Тітова Л. Л.

УДК 631.225.001.4

АНАЛІТИЧНІСТЬ АЛГОРИТМУ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ НА ОСНОВІ ОБРОБКИ ШВИДКОЗМІННИХ ВЕЛИЧИН

Л. Л. ТІТОВА, кандидат технічних наук, доцент, доцент,
https://orcid.org/0000-0001-7313-1253
E-mail: l_titova@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

https://doi.org/10.31548/dopovidi.3(109).2024.020

Анотація. *У статті розглядається завдання організації обробки швидкозмінних параметрів та контролю технічного стану бортових систем зернозбиральних комбайнів, яка є особливо актуальною в умовах обмежень, що накладаються її виконанням у режимі реального часу, тобто під час збирання зернових культур зернозбиральними комбайнами. Новизна методики полягає в обґрунтуванні порядку вибору оцінюваних характеристик бортових систем з урахуванням задоволення вимог щодо повноти прийнятого рішення в умовах тимчасових обмежень. Наведено приклад практичного розрахунку застосування методики та зроблено висновки про доцільність її застосування під час аналізу технічного стану бортових інформаційно-керованих систем зернозбиральних комбайнів. Алгоритмічна складність залежить від числа відліків, що потрапили у віконну функцію, ширини (тривалості) віконної функції до кроку віконної функції. Швидкозмінні параметри, для Вейвлет-перетворення та перетворення Фур'є. Число відліків залежить від ширини віконної функції та від інформації зчитування з бортової інформаційно-керованої системи зернозбирального комбайна. Таким чином, обрано алгоритм обробки однієї характеристики. Далі, вибираючи тим самим способом алгоритми обробки для характеристик швидкозмінних параметрів, що залишилися, отримуємо набір з десяти характеристик швидкозмінних параметрів, які обробляються найкращими за показником оперативності алгоритмами з урахуванням вимог за показником точності. Формується безліч альтернатив вирішення поставленого завдання. Альтернатива є однією з характеристик швидкозмінних параметрів, яку можна обробити одним із методів із застосуванням однієї з віконних функцій. Кожна віконна функція, у свою чергу, характеризується своїми характеристиками, такими як ширина, крок та тип вікна, що значно збільшує безліч альтернатив. Таким чином, сформований набір вихідних даних дозволяє врахувати всі необхідні способи обробки швидкозмінних параметрів у реальному часі для вибору найкращого рішення поставленої задачі. Формування скороченого за показником точності набору альтернатив. На цьому кроці розраховується показник точності для кожної альтернативи, після чого з безлічі альтернатив вибираємо ті з них, показник точності яких вище або дорівнює заданому. Таким чином, скорочується набір вихідних даних за показником точності.*

Ключові слова: *контроль, технічний стан, бортова система,*

Тітова Л. Л.

зернозбиральний комбайн, параметр

Актуальність. Розвиток агропромислового комплексу пов'язано з постійним конструктивним ускладненням технічних засобів і логіки процесів, що протікають в них, що тягне за собою підвищення вимог до якості їх контролю та діагностування на різних етапах їх експлуатації (Aulin, et all, 2024). Виконання цих вимог вносить істотні труднощі у процес контролю технічного стану бортових інформаційно-керованих систем зернозбиральних комбайнів особливо в масштабі часу, близькому до реального (Parekh, et all, 2022). Контроль технічного стану бортових інформаційно-керованих систем у масштабі часу, близькому до реального здійснюється на оперативному етапі обробки інформації зернозбиральних комбайнів (Casado-Sanz, Guirao, Attard, 2020). На оперативному етапі обробки інформації вирішуються такі завдання:

- забезпечення безпеки випробувань зернозбиральних комбайнів шляхом оперативного визначення аварійних ситуацій (Abu Dabous, et all, 2021);
- уточнення цільових вказівок для прийняття рішення на управління зернозбиральних комбайнів при відхиленні нормальних умов експлуатації від розрахункової внаслідок позаштатних ситуацій під час збирання зернових культур (Ahmed, & Gharavi, 2018);
- отримання початкових команд управління для зернозбиральних комбайнів, які можуть та повинні компенсувати позаштатні ситуації під час збирання зернових культур (Dela Cruz, Padilla, Victoria, 2021.

Актуальною проблемою на сьогоднішній день є те, що існуючий підхід до контролю технічного стану бортових інформаційно-керованих систем зернозбиральних комбайнів є недостатнім виявлення позаштатних ситуацій на початковому етапі дослідження (Britton, Asnaashari, Read, 2016). Це пов'язано з тим, що на початковому етапі обробки інформації значення показника повноти контролю становить близько 0,1 для зернозбиральних комбайнів «John Deere», тому дослідження, створені задля підвищення показника повноти контролю на початковому етапі обробки та аналізу інформації зернозбиральних комбайнів є актуальними (Chen, X., & Chen, J. 2020).

Аналіз останніх досліджень. Повнота контролю є кількісною величиною, яка показує, якою мірою контроль об'єкта за обраною сукупністю параметрів відрізняється від контролю за всіма вихідними параметрами (Gorea, 2016), тобто вона відноситься до показників ефективності вирішення завдань за

призначенням (Kuzmich, et all, 2021), і визначаються за формулою:

$$V = \frac{H_{(n)}}{H} \quad (1)$$

де H – вихідна невизначеність стану досліджуваного об'єкта (ентропія); $H_{(n)}$ – знята невизначеність; n – кількість контрольованих характеристик.

Для підвищення показника повноти контролю на початковому етапі обробки інформації зернозбиральних комбайнів існує кілька підходів: апаратний, апаратно-програмний та програмний (Dirnbach, et all, 2020).

Апаратний підхід має на увазі кількісне збільшення апаратних засобів. Це збільшення кількості датчиків як у засобах технічного контролю зернозбиральних комбайнів, і на самих комбайнів, і навіть збільшення кількості засобів обробки інформації (Low, Tekler, Cheah, 2020). Основним недоліком цього є конструктивне ускладнення зернозбиральних комбайнів, що, крім того, веде до проблем, пов'язаних з організацією передачі даних (Oladimeji, et all, 2023).

Апаратно-програмний підхід має на увазі удосконалення бортових інформаційно-керованих систем, а також методів передачі інформації про технічний стан машини (Rogovskii,et all, 2024). До переваг цього підходу можна віднести перехід від групового інформаційного показника до пакетної передачі даних безпосередньо в базу даних (Padilla-Atondo, et all, 2021). До основного недоліку слід віднести необхідність обробки параметрів, що реєструються кінцевими датчиками (Nazarenko, et all, 2021).

Програмний підхід передбачає вдосконалення методів обробки інформації. У рамках даного підходу, вільного від зазначених раніше недоліків, пропонується (Prytz, et all, 2015), крім обробки повільно змінюваних параметрів, додатково здійснювати обробку швидкозмінних параметрів, на початковому етапі, так як збільшення кількості повільно змінних параметрів незначно підвищує показник повноти контролю порівняно з швидкозмінними параметрами (Rogovskii, Lyubarets, Borek, 2022). Таким чином, предметом наданої статті є розробка методики обробки швидкозмінних параметрів на початковому етапі обробки інформації зернозбиральних комбайнів (Rogovskii, 2021a).

Завдання вибору інформативних ознак характерні для будь-яких систем виявлення, класифікації чи розпізнавання об'єктів, процесів та явищ (Rogovskii, 2021b). Ці завдання важко формалізувати, оскільки у вирішенні істотну роль грають евристичні методи та використання накопичених статистичних даних

(Rogovskii, 2021c). Це стосується повільно змінних параметрів, а для обробки та аналізу швидкозмінних параметрів в реальному часі (на початковому етапі) потрібно, до всього іншого, ще враховувати величезну кількість обмежень (Rogovskii, 2021d), таких як обмеження обчислювальних засобів та тимчасові обмеження (Rolison, et all, 2018). Тому вибір параметрів обробки на початковому етапі залежить від змісту розв'язуваних завдань (Slobodyanyuk, & Gorobchenko, 2020). Вибір однієї й тієї ж інформаційної ознаки об'єкта (Volokha, et all, 2023), що досліджується, може мати високу ефективність для одних завдань і може бути малоефективним у завданнях іншого класу (Young, et all, 2014).

Мета дослідження. Метою даної статті є визначення методики контролю технічного стану зернозбиральних комбайнів на основі обробки швидкозмінних параметрів у реальному часі з урахуванням різних обмежень.

Результати дослідження та їх обговорення. Для вирішення задачі обробки швидкозмінних параметрів у реальному масштабі часу (Chen, X., & Chen, J., 2020) розглянемо безліч показників швидкозмінних параметрів. Аналіз документації з обробки параметрів елементів конструкцій зернозбиральних комбайнів показав, що з наявності близько 30 швидкозмінних параметрів у комбайнів число контрольованих показників становить 369, тобто можна ввести до розгляду безліч характеристик швидкозмінних параметрів – $I = \{i_j | j = \overline{1,369}\}$. Однак всі характеристики розглядати в рамках статті недоцільно, тому для наочності розглянемо лише 10 з них, що утворюють множину $I = \{i_j | j = \overline{1,10}\}$.

Крім розглянутих характеристик необхідно врахувати різнорідність інформації зернозбиральних комбайнів та можливість розподіленої обробки швидкозмінних параметрів на різних автоматизованих робочих місцях (Gorea, 2016). Для позначення автоматизованих робочих місць введемо множину $J = \{j_1, \dots, j_7\}\}$.

Основні методи обробки високочастотних сигналів (Padilla-Atondo, et all, 2021) утворюють безліч $M = \{m_w | w = \overline{1,3}\}$; де m_1 – перетворення Фур'є; m_2 – швидке перетворення Фур'є; m_3 – Вейвлет-перетворення.

Щоб усунути обмеження необхідності обробки всього сигналу відразу, необхідно до алгоритму обробки застосувати віконну функцію. Представимо основні типи віконних функцій у вигляді множини $G = \{g_e | e = \overline{1,5}\}$, де g_1 – прямокутне вікно; g_2 – вікно Ханнінга; g_3 – вікно Кайзера; g_4 – вікно Блекмана; g_{e5} – вікно Flat-top.

Тітова Л. Л.

Щоб врахувати можливість перекриття вікон, розглянемо безліч можливих кроків віконної функції $S = \{S_d | d = \overline{1,5}\}$ де S_1-0,1 с; S_2 – 0,2 с; S_3 – 0,3 с; S_4 – 0,4 с; S_5 – 0,5 с.

Представимо також варіанти ширини віконної функції у вигляді множини $K = \{k_l | l = \overline{1,5}\}$ де k_1 – 1 с; k_2 –2 с; k_3 –3 с; k_4 –4 с; k_5 –5 с.

Введемо в розгляд безліч A_j, кожен елемент якого являє собою алгоритм обробки характеристик швидкозмінних параметрів i_j, при реалізації якого використовуються один з методів $m_w \in M$. В результаті отримаємо безліч $A_j = \{a^j_{mgsk_z} | z = \overline{1,375}\}$, яке є множиною алгоритмів обробки характеристик швидкозмінних параметрів i_j.

Безліч A_j є вектором $A^T_{j\langle 375\rangle}$, що складається з 374 нулів і однієї одиниці. Всі можливі комбінації цих векторів утворюють одиничну матрицю квадратну $A_{j[375]}$.

Для матриці $A_{j[375]}$ необхідно вибрати алгоритм, що задовольняє вимоги щодо точності та оперативності.

Спочатку з елементів $a^j_{zz}(z = \overline{1,375})$ виберемо такі, які відповідають вимогам точності. Для цього розрахуємо показник точності (Chen, X., & Chen, J., 2020) кожного елемента за формулою

$$P = \frac{N\Delta f_{\text{п}}}{N\Delta f_{\text{п}} + \beta f_s} \quad (2)$$

де f_s – частота дискретизації сигналу; N – кількість звітів, що потрапили у віконну функцію; β – коефіцієнт когерентного посилення віконної функції, що характеризує збільшення ширини смуги для обраного вікна.

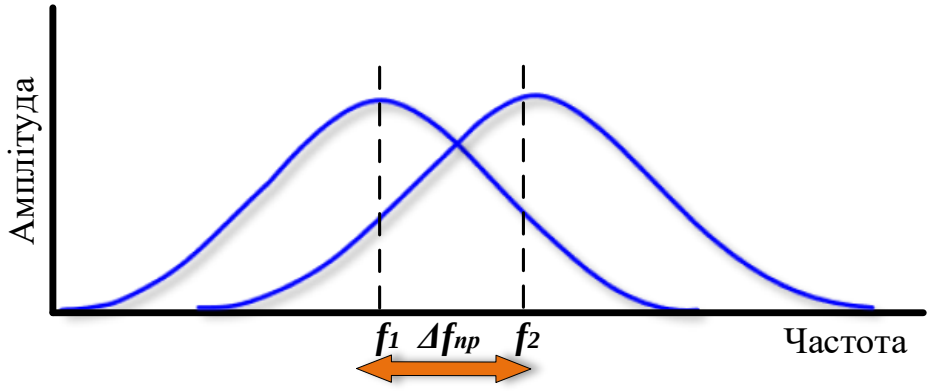

Рис. 1. Графічна візуалізація мінімального необхідного дозволу

Значення показника точності будуть однакові для елементів $a^j_{zz}(z = \overline{1,375})$, які не відрізняються застосовуваними методами $m_w \in M$, і кроком віконної функції $S_d \in S$. Тобто. рядки матриці $A_{j[375]}$ утворюють 15 блоків по 25 значень (число поєднань елементів $m_w \in M$ і $S_d \in S$) показника точності. Таким чином, задане значення показника

точності дозволяє вибрати кілька блоків елементів $a_{zz}^{j}(z=\overline{1,375})$, показник точності яких вищий за заданий, що дозволяє значно скоротити матрицю.

Далі з елементів, що залишилися $A_{j[375]}$ необхідно вибрати той, в якому використовується найшвидший алгоритм обробки характеристики. Показник оперативності має вигляд

$$B = O(n) = O\left(\frac{Nk}{S}\right)$$

де $O(n)$ – алгоритмічна складність вибраного методу обробки швидкозмінних параметрів. Алгоритмічна складність залежить від числа N відліків, що потрапили у віконну функцію, ширини (тривалості) віконної функції k до кроку віконної функції S.

Наприклад, для швидкозмінних параметрів $O(n) = \frac{Nk}{S} log\left(\frac{Nk}{S}\right)$, для вейвлет-перетворення та перетворення Фур'є $O(n) = \left(\frac{Nk}{S}\right)^2$. Число відліків залежить від ширини віконної функції та від інформації зчитування з бортової інформаційно-керованої системи зернозбиральних комбайнів.

Таким чином, обрано алгоритм обробки однієї характеристики. Далі, вибираючи тим самим способом алгоритми обробки для характеристик швидкозмінних параметрів, що залишилися, отримуємо набір з 10 характеристик швидкозмінних параметрів, які обробляються найкращими за показником оперативності алгоритмами з урахуванням вимог за показником точності.

На другому етапі необхідно максимізувати цільову функцію (1) (Chen, X., & Chen, J., 2020). Іншими словами, необхідно з 10 характеристик швидкозмінних параметрів відібрати такі, при використанні яких показник повноти буде максимальним (Casado-Sanz, Guirao, Attard, (2020). Цільова функція (1) матиме вигляд

$$V = \frac{H_{(n)}}{H} \to 1 \quad (4)$$

Цільова функція у такій постановці відбиває підвищення повноти контролю як зменшення загальної невизначеності технічний стан, тобто. Чим вище показник повноти, тим більше нештатних ситуацій можна виявити і, тим самим, скоротити час отримання результатів етапу повної післязбиральної обробки інформації.

Невизначеність, знята за сукупністю контрольованих характеристик (Low, Tekler, Cheah, 2020), має такий вигляд:

$$H_{(n)} = H - H_{(o)} \quad (5)$$

де $H_{(o)}$ – невизначеність, що залишилася в результаті контролю за набором характеристик.

Для обчислення H скористаємося формулою:

$$H = -P\log(P) - (1-P)\log(1-P)$$

де P – ймовірність того, що значення всіх характеристик $i_j(j=\overline{1,10})$ потрапили в корисний інтервал, обчислюється за формулою:

$$P = 1 - \prod_{j=1}^{10}(1-p_j)$$

де p_j – ймовірність влучення вимірюваного значення параметра $i_j(j=\overline{1,10})$ у корисний інтервал (рис. 2), яка обчислюється за формулою:

$$p_j = \frac{\Delta З_{шт} + \Delta З_{ншт}}{Д}$$

де $\Delta З_{шт}$ – інтервал значень характеристики, що відповідає штатній роботі об'єкта (див. рис 2). Довжина інтервалу $\Delta З_{шт}$ – довжина відрізка $|CD|$. $\Delta З_{ншт}$ – інтервал значень характеристики, що відповідає позаштатній роботі об'єкта. Його довжина обчислюється як сума відрізків $\Delta З^{-}_{ншт} = |BC|$ і $\Delta З^{+}_{ншт} = |DE|$. Д – весь спектр шкали виміру показники, тобто. відрізок $|AF|$ рисунку 2.

Усі значення розрахунку корисних інтервалів беруться з інструкцій з оцінки поведінки параметрів конструкції зернозбиральних комбайнів.

Рис. 2. Графічна візуалізація корисного інтервалу.

Невизначеність $H_{(o)}$, що залишилася в результаті контролю набору характеристик, обчислюється за формулою:

$$H_o = \prod_{j\in I_n} p_j \left(-\prod_{j\in I_n} p_j \log\left(\prod_{j\in I_H} p_j\right) - \left(1-\prod_{j\in I_H} p_j\right)\log\left(\prod_{j\in I_H} p_j\right)\right) \quad (6)$$

де I_H – множина неконтрольованих характеристик, I_n - множина контрольованих характеристик. Об'єднання I_H та I_n утворює безліч всіх характеристик.

Враховуючи (6), запишемо формулу (5) у вигляді:

Тітова Л. Л.

$$H_n = H - \prod_{j\in \mathrm{I}_n} p_j \left(-\prod_{j\in \mathrm{I}_n} p_j \log\left(\prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right) - \left(1 - \prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right) \cdot \log\left(\prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right)\right) \quad (7)$$

Графік залежності невизначеності, що залишилася, від кількості характеристик представлений на рисунку 3. Для отримання графіка проведені наступні обчислення: взято 10 характеристик швидкозмінних параметрів $i_j (j = \overline{1,10})$, задано значення p_j=0,97, після чого за формулою (6) пораховано невизначеність H_o для наступних наборів параметрів:

–за відсутності контролю характеристик $H_o = H$, тобто решта невизначеності дорівнює вихідній невизначеності;

–при контролі 2-х показників H_o= 0,066;

–при контролі 4-х показників H_o= 0,024;

–при контролі 6-и показників H_o= 0,014;

–при контролі 8-и показників H_o= 0,010;

–при контролі всіх показників H_o= 0,007.

З урахуванням (7) вираз (1) подаємо у наступному вигляді:

$$V = 1 - \frac{\prod_{j\in \mathrm{I}_n} p_j \left(-\prod_{j\in \mathrm{I}_n} p_j \log\left(\prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right) - \left(1-\prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right)\cdot \log\left(\prod_{j\in \mathrm{I}_H} p_j\right)\right)}{H} \quad (8)$$

Показник повноти відбиває ступінь зменшення вихідної невизначеності внаслідок контролю обраного набору характеристик. Якщо контролюються всі можливі характеристики, то показник повноти дорівнює 1, оскільки тоді невизначеність, що залишилася, дорівнює 0. У випадку, коли не контролюється жодна характеристика, що залишилася невизначеність дорівнює вихідної невизначеності, і показник повноти V дорівнює 0. Графік залежності повноти від кількості контрольованих характеристик представлений рисунку 4.

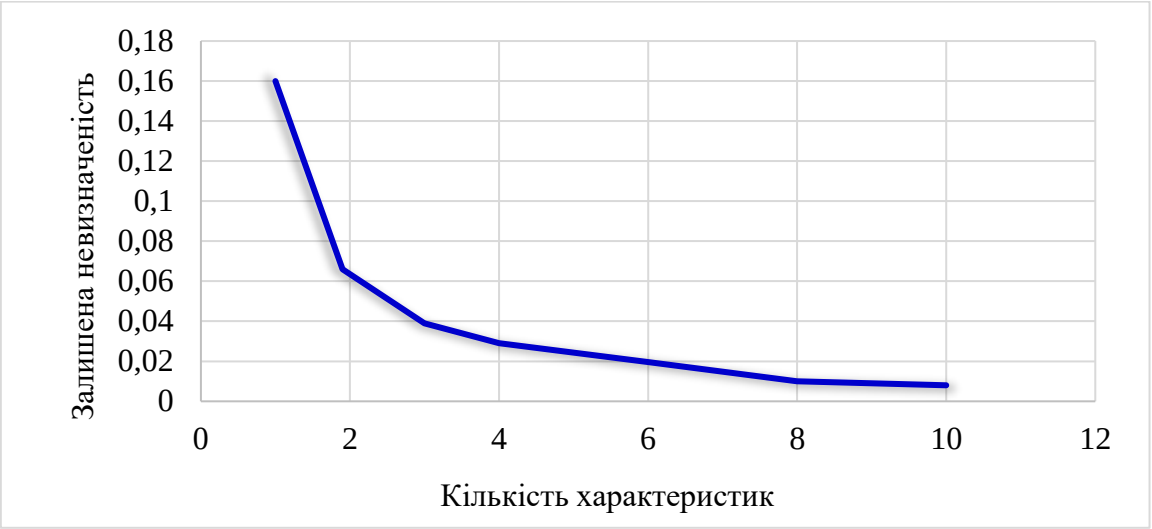

Рис 3. Графік залежності невизначеності, що залишилася від кількості контрольованих характеристик

На рисунку 4 по осі ординат відкладено значення показника повноти, а по осі абсцис - кількість контрольованих характеристик набору. Для отримання графіка проведено такі обчислення: взято 10 характеристик швидкозмінних параметрів $i_j(j = \overline{1,10})$, задано p_j=0,97, після чого за формулою (8) розрахований показник повноти V для наступних наборів характеристик:

– за відсутності контролю H_o=0,

– при контролі 2-х параметрів V=0,63;

– при контролі 4-х параметрів V=0,86;

– при контролі 6 характеристик V= 0,92;

– при контролі 8 характеристик V= 0,94;

– при контролі всіх показників H=1.

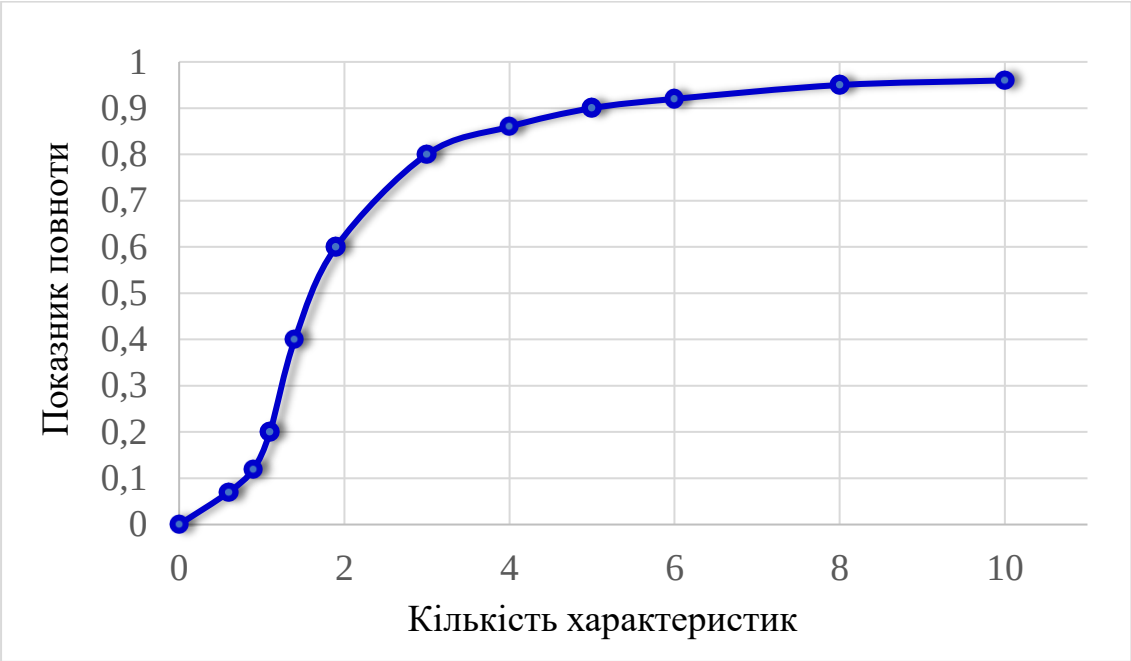

Рис. 4. Графік залежності показника повноти кількості контрольованих характеристик

З метою аналізу можливості розв'язати задачу оптимальним чином розглянемо існуючі методи оптимізації (Dirnbach, et all, 2020). На рисунку 5 наведено загальну класифікацію оптимізаційних завдань.

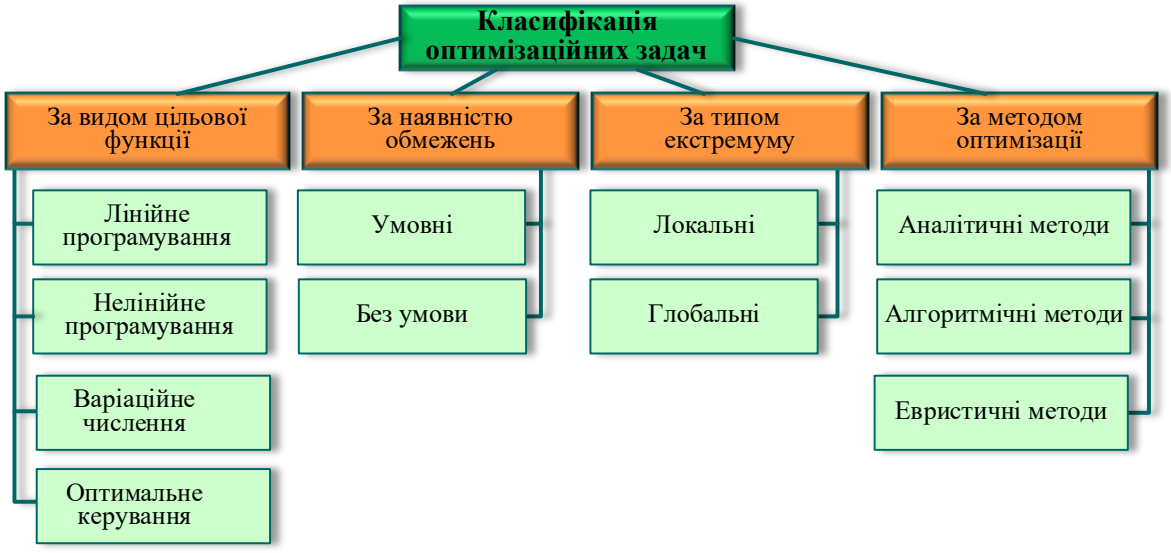

Рис. 5. Класифікація оптимізаційних завдань

Наявність обмежень задачі дозволяє вибрати умовні методи оптимізації.

За допомогою лінійного програмування вирішується оптимізаційна задача, цільова функція та обмеження якої виражені у лінійній формі. Щоб застосувати метод

лінійного програмування до цільової функції, що розглядається, необхідна її лінеаризація. Для цього спростимо вираз (8) і отримаємо вираз:

$$V \approx \frac{\prod_{j \in I_n} p_j \prod_{j \in I_H} p_j}{H} + 1,$$

що дозволяє вирішувати завдання значно швидше. Однак, до лінійної форми цільову функцію звести не вдалося, тому метод лінійного програмування не підходить для вирішення цього завдання.

У разі коли якість обраного рішення оптимізаційної задачі не вдається описати за допомогою цільової функції, застосовують величини, чисельне значення яких визначається вибором конкретних функцій - функціонали. Пошук екстремумів функціоналів здійснюється за допомогою варіаційного обчислення (Britton, Asnaashari, Read, 2016). Для вирішення завдання у поточній постановці воно неприйнятне, оскільки обмеження та цільова функція не містять функціоналів.

За необхідності визначення оптимального впливу керуючого для перекладу динамічної системи (Dela Cruz, Padilla, Victoria, 2021), що описується системою диференціальних рівнянь у формі Коші, з одного стану в інший, застосовують методи оптимального управління (Chen, X., & Chen, J., 2020). Для вирішення цього завдання методи оптимального управління не підходять, оскільки цільова функція та обмеження не містять диференціальних рівнянь (Abu Dabous, et all, 2021).

Для вирішення оптимізаційних завдань, у яких нелінійні та (або) цільова функція, та (або) обмеження, застосовують методи нелінійного програмування (Britton, Asnaashari, Read, 2016). Методи цієї групи застосовують для декомпозиції складного завдання на складові компоненти, що повторюються, тобто. за можливості рекурсивного подання цільової функції. Оскільки цільову функцію звести до рекурсивного вигляду не вдалося, а вдалося спростити вираз (8), то застосування методів цієї групи не доцільно.

Класифікація методів розв’язання оптимізаційних завдань (Kuzmich, et all, 2021) представлена на рисунку 6.

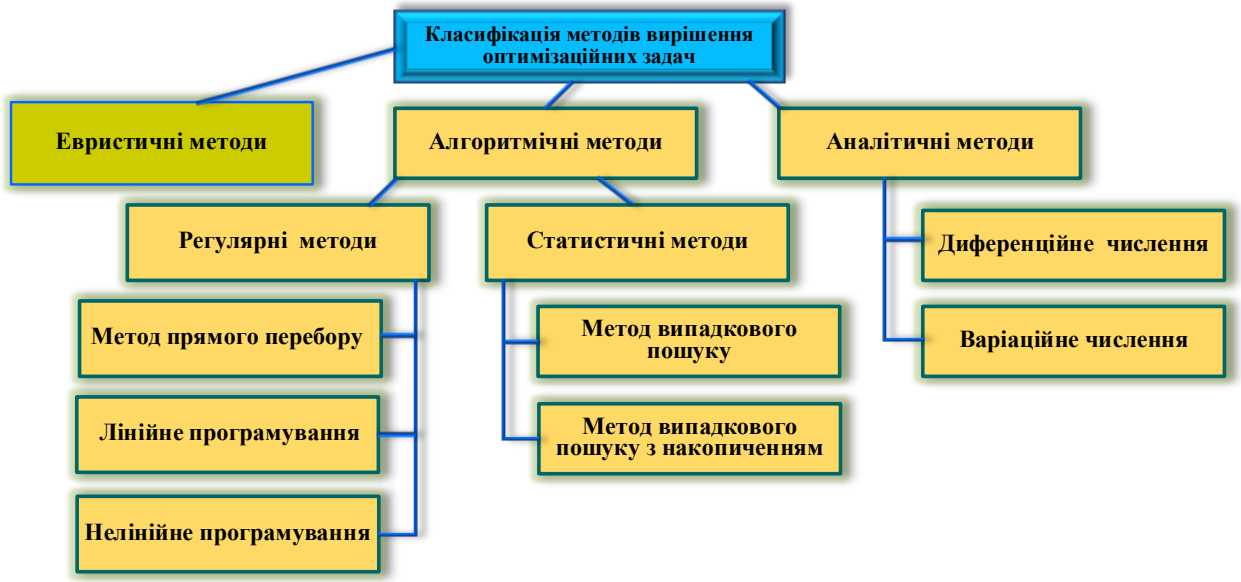

Рис. 6. Класифікація методів розв'язання оптимізаційних завдань

Методи оптимізації, що входять до груп аналітичних та регулярних методів, розглянуті раніше, тому перейдемо до статистичних методів.

Під випадковими або статистичними методами розуміють методи, що використовують елемент випадковості або при зборі інформації про цільову функцію при пробних кроках, або для покращення значень функції при робочому кроці (Gorea, 2016). Серед переваг цих методів виділяють простоту реалізації, універсальність, можливість введення операцій навчання в алгоритм пошуку та можливість введення операцій прогнозування оптимальної точки, крім того, обчислювальні витрати в детермінованих методах пошуку зі зростанням розмірності зростають швидше, ніж у статистичних алгоритмах (Gorea, 2016).

Таким чином, представлена класифікація оптимізаційних завдань, дозволяє зробити вибір найкращого методу її вирішення в предметній галузі, що розглядається, яким є метод статистичного пошуку. У зв'язку з цим рішення поставленого завдання буде сатисфакційним.

Розглянемо застосування методики практичному прикладі. Як приклад представлений набір з 26250 альтернатив. Кількість альтернатив отримано як число поєднань з 10 наведених раніше характеристик, 3-х методів обробки характеристик, 5 віконних функцій, 5 варіантів розмірів віконних функцій, 5 варіантів кроків віконних функцій і 7 варіантів вузлів обробки. Ця кількість розглядається для прикладу, оскільки в зернозбиральних комбайнах використовується 369 характеристик та значно більше за інших змінних. Розгляд повного набору змінних призведе до розгляду близько 2млн. альтернатив, що є недоцільним у

рамках цієї статті.

Для початку зменшимо безліч альтернатив за показником точності (2), який дозволяє задати нижню межу показника точності та обмежити кількість варіантів алгоритмів обробки кожної характеристики. Провівши розрахунки та обравши нижню межу значення показника точності 0,95, скоротимо кількість альтернатив до 1825 розрахунки представляються у вигляді таблиці.

На рисунку 7 перший стовпець відповідає порядковому номеру альтернативи. Під альтернативою розуміється характеристика, яка складається з назви характеристики (стовпець 2), діапазону частот (стовпець 3) та допускового інтервалу значень характеристики (стовпець 4). Стовпець 5 – метод обробки; стовпець 6 – номер вузла обробки; стовпець 7 – тип віконної функції; стовпець 8 – розмір віконної функції; стовпець 9 – крок віконної функції; стовпець 10 – значення показника точності кожної альтернативи; стовпець 11 – значення показника оперативності кожної альтернативи (Dirnbach, et all, 2020). Показник оперативності вимірюється у одиницях елементарних операцій, тобто чим менше необхідно виконати елементарних операцій для розрахунку, тим краще альтернатива.

Далі розрахуємо показник повноти. Методика розрахунку показника повноти (Low, Tekler, Cheah, (2020), дозволяє вибрати такий набір характеристик, при якому повнота буде не менш заданою при мінімальній кількості характеристик, що оцінюються (Kuzmich, et all, 2021). У розглянутому прикладі знайдено мінімальний набір характеристик, показник повноти якого не менший за заданий (не менше 0,8).

Отриманий набір характеристик може бути оброблений в масштабі часу, близькому до реального, вибраним способом на вибраних вузлах, що дозволяє використовувати їх як діагностичні ознаки, якими доповниться безліч діагностичних ознак, сформованих на основі повільно змінних та сигнальних параметрів, для аналізу технічного стану зернозбиральних комбайнів на початковому етапі за допомогою застосовуваних методів аналізу (Oladimeji, et all, 2023).

Таким чином, розроблено методику обробки швидкозмінних параметрів у реальному масштабі часу, схема якої представлена на рисунку 7.

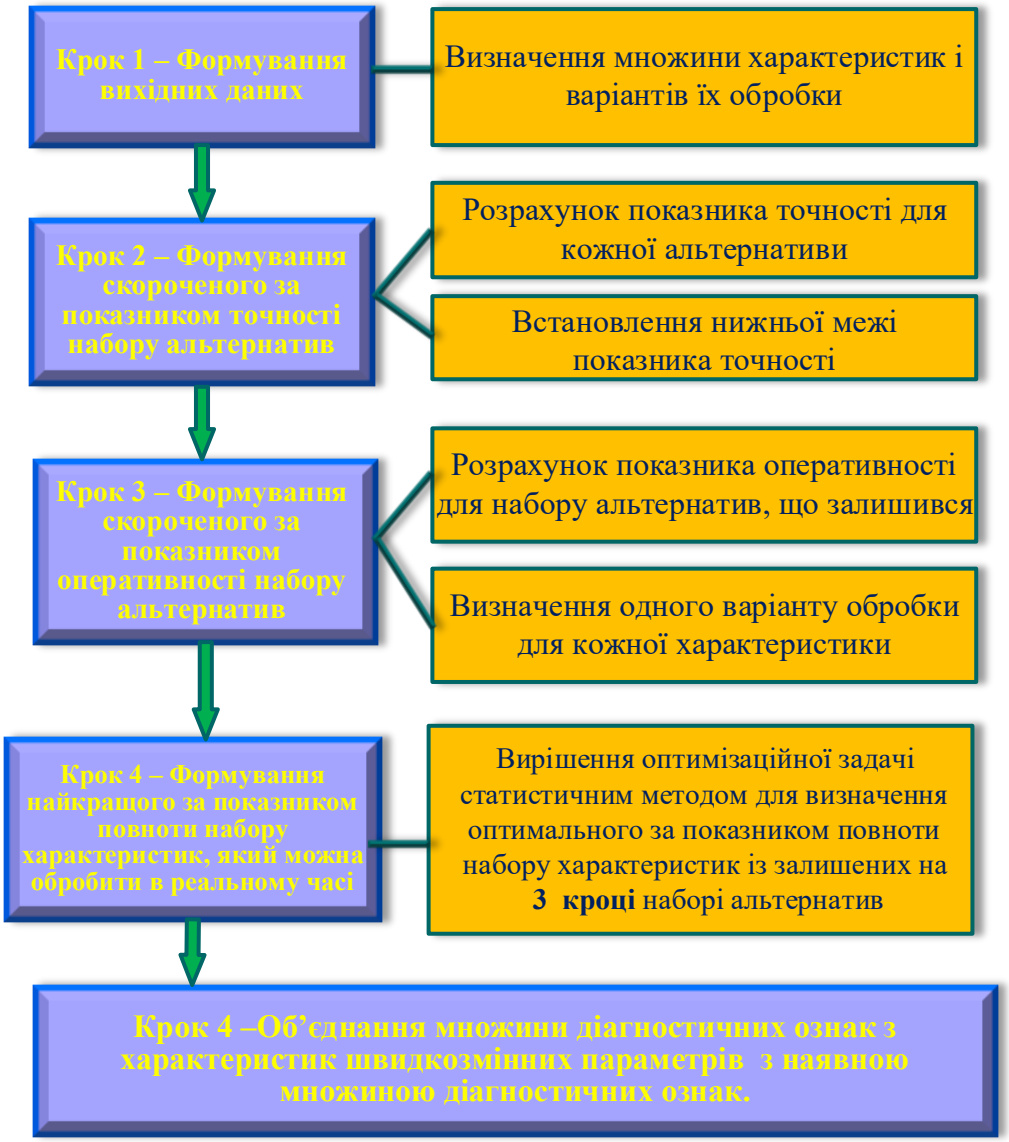

Рис. 7. Методика обробки швидкозмінних параметрів у реальному часі

Крок 1. Формування вихідних даних. На цьому етапі формується безліч альтернатив вирішення поставленого завдання. Альтернатива є однією з характеристик швидкозмінних параметрів, яку можна обробити одним із методів із застосуванням однієї з віконних функцій. Кожна віконна функція, у свою чергу, характеризується своїми характеристиками, такими як ширина, крок та тип вікна, що значно збільшує безліч альтернатив. Таким чином, сформований набір вихідних даних дозволяє врахувати всі необхідні способи обробки швидкозмінних параметрів у реальному часі для вибору найкращого рішення поставленої задачі.

Крок 2. Формування скороченого за показником точності набору альтернатив. На цьому кроці розраховується показник точності для кожної альтернативи, після чого з безлічі альтернатив вибираємо ті з них, показник точності яких вище або

дорівнює заданому. Таким чином, скорочується набір вихідних даних за показником точності.

Крок 3. Формування скороченого за показником оперативності набору альтернатив. На цьому етапі розраховується показник оперативності кожної альтернативи. Після цього вибираються альтернативи, у яких кожній характеристиці відповідає єдиний, найкращий за показником оперативності, алгоритм її обробки. Таким чином, сформовано набір вихідних даних, в якому для кожної характеристики вибрано лише один алгоритм її обробки.

Крок 4. Формування найкращого за показником повноти набору характеристик, який можна обробити в реальному часі. На цьому кроці методом перебору поєднань вибирається мінімальна кількість характеристик, оцінювання яких забезпечить повноту рішення про технічний стан бортової інформаційно-керованою системою зернозбиральних комбайнів не менш заданої.

Крок 5. Об'єднання множини діагностичних ознак з характеристик швидкозмінних параметрів з наявною множиною діагностичних ознак. На цьому кроці формується нова вимога до програми вимірювань та внесення змін до інструкції з оцінки роботи бортової інформаційно-керованої системи зернозбиральних комбайнів.

Висновки.

1. Поставлено та вирішено завдання обробки швидкозмінних параметрів у реальному часі з урахуванням різних обмежень. Розв'язання задачі пов'язане з підготовкою вихідних даних, що враховують кількість швидкозмінних параметрів, кількість їх характеристик, враховано варіанти застосування різних алгоритмів обробки характеристик. Кількість алгоритмів, що розглядаються, залежить від досліджуваних наборів віконних функцій, розмірів віконних функцій, кроків віконних функцій, а також методів цифрової обробки сигналів.

2. Для вирішення поставленого завдання розроблено методику контролю технічного стану бортової інформаційно-керованої системи зернозбиральних комбайнів на основі обробки швидкозмінних параметрів, яка дозволяє підвищити повноту контролю на початковому етапі обробки інформації. Методика дозволяє вибрати найкращий за показником повноти, оперативності та точності набору характеристик швидкозмінних параметрів, а також підготувати діагностичні ознаки на основі характеристик швидкозмінних параметрів та доповнити ними безліч діагностичних ознак, сформованих на основі повільно змінних параметрів. Це дозволить підвищити повноту контролю технічного стану бортової інформаційно-керованої системи у

масштабі часу близького до реального.

References

1. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O. & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (127)), 37–46. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567.

2. Parekh, D., Poddar, N., Rajpurkar, A., Chahal, M., Kumar, N., Joshi, G. P. & Cho, W. (2022). A review on autonomous vehicles: progress, methods and challenges. Electronics, 11 (14), 2162. https://doi.org/10.3390/electronics11142162.

3. Casado-Sanz, N., Guirao, B. & Attard, M. (2020). Analysis of the risk factors affecting the severity of traffic accidents on spanish crosstown roads: the driver's perspective. Sustainability, 12 (6), 2237. https://doi.org/10.3390/su12062237.

4. Abu Dabous, S., Ibrahim, F., Feroz, S. & Alsyouf, I. (2021). Integration of failure mode, effects, and criticality analysis with multi-criteria decision-making in engineering applications: Part I – Manufacturing industry. Engineering Failure Analysis, 122, 105264. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105264.

5. Ahmed, E., Gharavi, H. (2018). Cooperative vehicular networking: a survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19 (3), 996–1014. https://doi.org/10.1109/tits.2018.2795381.

6. Dela Cruz, O.G., Padilla, J.A. & Victoria, A.N. (2021). Managing Road Traffic Accidents: A Review on Its Contributing Factors. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 822 (1), 012015. https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012015.

7. Britton, M., Asnaashari, S. & Read, G. (2016). Analysis of train derailment cause and outcome in Victoria, Australia, between 2007 and 2013: implications for regulation. Journal of Transportation Safety & Security, 9 (1), 45–63. https://doi.org/10.1080/19439962.2015.1088906.

8. Chen, X., Chen, J. (2020). Optimization of the impeller geometry for an automotive torque converter using response surface methodology and desirability function. Open Journal of Applied Sciences, 10 (07), 455–475. https://doi.org/10.4236/ojapps.2020.107032.

9. Gorea, R. K. (2016). Financial impact of road traffic accidents on the society. International Journal of Ethics, Trauma & Victimology, 2 (01), 6–9. https://doi.org/10.18099/ijetv.v2i1.11129

10. 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, https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002.

11. Dirnbach, I., Kubjatko, T., Kolla, E., Ondruš, J. & Šarić, Ž. (2020). Methodology Designed to Evaluate Accidents at Intersection Crossings with Respect to Forensic Purposes and Transport Sustainability. Sustainability, 12 (5), 1972. https://doi.org/10.3390/su12051972.

12. Low, R., Tekler, Z. & Cheah, L. (2020). Predicting commercial vehicle parking duration using generative adversarial multiple imputation networks. transportation research record. Journal of the Transportation Research Board, 2674(9), 820–831. https://doi.org/10.1177/0361198120932166.

13. Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N., Gundogan, K., Ge, L. & Liang, F. (2023). Smart transportation: an overview of technologies and applications. Sensors, 23 (8), 3880. https://doi.org/10.3390/s23083880.

14. Rogovskii, I., Sivak, I., Shatrov, R., & Nadtochiy, O. (2024). Agroengineering studies of tillage and harvesting parameters in soybean cultivation. Engineering of Rural Development, 23, 965–970. https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF195.

15. Padilla-Atondo, J. M., Limon-Romero, J., Perez-Sanchez, A., Tlapa, D., Baez-Lopez, Y., Puente, C. & Ontiveros, S. (2021). The impact of hydrogen on a stationary

gasoline-based engine through multi-response optimization: a desirability function approach. Sustainability, 13 (3), 1385. https://doi.org/10.3390/su13031385.

16. Nazarenko, I., Bernyk, I., Dedov, O., Rogovskii, I., Ruchynskyi, M., Pereginets, I., & Titova, L. (2021). Research of technical systems of processes of mixing materials. Dynamic processes in technological technical systems. Kharkiv: PC Technology Center. 57-76. https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch4.

17. Prytz, R., Nowaczyk, S., Rögnvaldsson, T. & Byttner, S. (2015). Predicting the need for vehicle compressor repairs using maintenance records and logged vehicle data. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 41, 139–150. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.02.009 .

18. Rogovskii, I., Lyubarets, B. & Borek, K. (2022). Analyticity of non-stationary processes of change in diagnostic parameters of hydrostatic transmissions of harvesters. Machinery and Energetics, 13(1), 67–76. https://doi.org/10.31548/machenergy2022.01.067.

19. Rogovskii, I.L. (2021a). Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. Machinery and Energetics, 12(4), 129–138. https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.129

20. Rogovskii, I.L. (2021b). Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. Machinery and Energetics, 12(3), 157–166. https://doi.org/10.31548/machenergy2021.03.157

21. Rogovskii, I.L. (2021c). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery and Energetics, 12(1), 137–146, https://doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

22. Rogovskii, I. L. (2021d). Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. Machinery and Energetics, 12(2), 123–131. https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123.

23. Rolison, J., Regev, S., Moutari, S. & Feeney, A. (2018). What are the factors that contribute to road accidents? An assessment of law enforcement views, ordinary drivers' opinions, and road accident records. Accident Analysis & Prevention, 115, 11–24. https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.025.

24. Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. (2020). Structural analysis of territorial transport systems based on classification methods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4(103)), 23–32. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158.

25. Volokha, M., Rogovskii, I., Fryshev, S., Sobczuk, H., Virchenko, G. & Yablonskyi, P. (2023). Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. Journal of Engineering Sciences (Ukraine), 10(2), F1-F9, https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).f1.

26. Young, W., Sobhani, A., Lenné, M. & Sarvi, M. (2014). Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling. Accident Analysis & Prevention, 66, 89–103. https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.01.008.

ANALYTICS OF ALGORITHM FOR CONTROL OF TECHNICAL CONDITION PARAMETERS OF ON-BOARD SYSTEM OF GRAIN HARVESTER BASED ON PROCESSING OF FAST-CHANGING VALUES

L. L. Titova

Abstract. *The article considers the task of organizing the processing of rapidly changing parameters and monitoring the technical condition of on-board systems of combine harvesters, which is especially relevant in the conditions of restrictions imposed by its implementation in real time, that is, during the harvesting of grain crops*

by combine harvesters. The novelty of the methodology consists in justifying the order of selection of the evaluated characteristics of on-board systems, taking into account the satisfaction of the requirements regarding the completeness of the decision made under the conditions of time constraints. An example of a practical calculation of the application of the method is given and conclusions are drawn about the expediency of its application during the analysis of the technical condition of the on-board information-controlled systems of grain harvesters. Algorithmic complexity depends on the number of counts included in the window function, the width (duration) of the window function, and the step of the window function. Fast-changing parameters for wavelet transform and Fourier transform. The number of counts depends on the width of the window function and on the reading information from the on-board information-controlled system of the grain harvester. Thus, the algorithm for processing one characteristic was chosen.Further, choosing processing algorithms for the characteristics of the remaining fast-changing parameters in the same way, we obtain a set of ten characteristics of the fast-changing parameters, which are processed by the algorithms best in terms of efficiency, taking into account the requirements of the accuracy indicator. Many alternatives for solving the task are being formed. An alternative is one of the characteristics of fast-changing parameters, which can be processed by one of the methods using one of the window functions. Each window function, in turn, is characterized by its own characteristics, such as width, pitch and window type, which greatly increases the number of alternatives. Thus, the formed set of initial data allows you to take into account all the necessary methods of processing rapidly changing parameters in real time for choosing the best solution to the given task. Formation of a set of alternatives reduced by the accuracy index. At this step, the accuracy index is calculated for each alternative, after which we select those whose accuracy index is higher than or equal to the given one from the set of alternatives. Thus, the set of original data is reduced by the accuracy indicator.

Key words: *control, technical condition, on-board system, combine harvester, parameter*

How to Cite: Titova, L. (2024). Analytics of algorithm for control of technical condition parameters of on-board system of grain harvester based on processing of fast-changing values. *Scientific Reports of NULES of Ukraine, 0*(3/109). doi:http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi.3(109).2024.020