

ІНФОРМАЦІЙНО-ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ СЕРВІСНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Тітова Л., канд. техн. наук., доц.,

e-mail: l_titova@nubip.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7313-1253>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Анотація

Мета дослідження: обґрунтування інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів. Практичним результатом буде формування Smart-технології інженерного менеджменту забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів відносно інформаційно-динамічних моделей управління сервісним відновленням працездатності складних технічних систем, зокрема зернозбиральних комбайнів, та використання системного підходу. Для формування наукової проблеми, визначення мети і постановки задач дослідження використовувався аналітичний метод та порівняльний аналіз. Для створення емпіричних моделей використані основні положення теорії системотехніки, методології системного аналізу та дослідження за теорією графів.

Результати дослідження. У статті розглядались дані, які мають статистичну достовірність як унімодальні та відповідні одному з відомих законів розподілу випадкових величин за критерієм Пірсона. Після формування сукупності контрольованих унімодальних параметрів виконано аналіз їхнього взаємного впливу задля таких потреб: перевірка незалежності вибраних параметрів, виявлення закономірностей між параметрами, визначення порядку використання параметрів моделі.

Із розрахованих даних втрат коефіцієнта технічної готовності зернозбиральних комбайнів випливає, що 40,3 % втрат коефіцієнта технічної готовності пов'язано з простоем в очікуванні технічного обслуговування і ремонту зернозбиральних комбайнів та з очікуванням відправки на відновлення працездатності зернозбирального комбайна, технічне обслуговування і ремонт складають у втраті коефіцієнта технічної готовності 32,5 %. Найбільші втрати коефіцієнта технічної готовності з усіх видів технічного обслуговування і ремонту припадає на друге номерне технічне обслуговування 9,5 %, непланові ремонти разом з очікуванням непланових ремонтів та очікуванням пересилки становлять 25,2 % у втратах коефіцієнта технічної готовності, що пов'язано з низькою надійністю досліджуваних зернозбиральних комбайнів.

Висновок. У результаті проведених досліджень отримано нові науково обґрунтовані технічні та технологічні рішення та розробки, які спрямовані на підвищення ефективності функціонування виробничих процесів відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів у сільськогосподарських підприємствах. Внаслідок виконаного аналізу об'єкта дослідження та світового досвіду організації виробничих процесів визначено базові функціональні підсистеми, які мають входити до складу запропонованої моделі. Організація моніторингу експлуатації та технічного стану зернозбиральних комбайнів: збір інформації про роботу зернозбиральних комбайнів, режими експлуатації зернозбиральних комбайнів і технічний стан з бортових МСУ, а також (у разі нестачі інформації) зі стаціонарних і переносних автоматизованих систем технічного діагностування, які використовуються в сервісних агропромислових підприємств. Структура запропонованої інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів має характерні відмінності від сучасних інноваційних підходів, щодо фокусування саме на можливостях реалізації Smart-технології інженерного менеджменту забезпечення працездат-

ності зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: відновлення, коефіцієнт технічної готовності, зернозбиральний комбайн, надійність, працездатність, ремонт.

Вступ. Головний принцип, покладений в основу дослідження, це перевірка достовірності вихідного матеріалу з його унімодальності [Rogovskii, 2022]. У наукових дослідженнях відновлення працездатності показано [Nazarenko, 2021], що наявна система аналізу роботи зернозбиральних комбайнів агропромислового комплексу України часто користується статистично недостовірною інформацією. У літературі проблема часто позначається популярною фразою — середня температура, коли бімодальні і навіть мультимодальні дані розглядаються як єдина вибірка і зрештою виходить результат, який не має фізичної інтерпретації або спотворює об'єктивну ситуацію.

Дотримання рівня надійності: тариф кілометрової роботи множить на понижувальний коефіцієнт, якщо коефіцієнт технічної готовності зернозбирального комбайна нижчий передбаченого у договорі на сервісне обслуговування між ПП «Україна» та сервісними компаніями [Kuzmich, 2021]; по суті, в SLA (Service Level Agreement).

Отже, сервісне обслуговування у своїй основі досить просте: необхідно виконати планові види технічного обслуговування і ремонту у встановлені терміни, зробити в установленому порядку діагностування та усунути виявлені відмови [Zubko, 2022]. Однак такий підхід вимагатиме суттєвого (у півтора-два рази) збільшення вартості відновлення працездатності, великих витрат на заміну обладнання зернозбиральних комбайнів (понад 500 млн. грн.) і відновлення верстатного обладнання ремонтних сільськогосподарських підприємств (оцінюється в сотні млн грн.) [Mozharivskyi, 2022]. Тому прийнято компромісне рішення: розрахувати вартість технічного обслуговування і ремонту за кожною серією зернозбирального комбайна кожного сільськогосподарського господарства за фактично наявними

[Najafi, 2017]. Виходячи з фактичного середньодобового наробітку розрахована вартість технічного обслуговування і ремонту на 1 га наробітку зернозбирального комбайна, або на 1 годину роботи та встановлено рівень надійності на рівні досягнутого на момент початку сервісного обслуговування, отже розробляючи моделі сервісного технічного обслуговування і ремонту необхідно врахувати, що модель створюється для умов керування за наявності дефіциту ресурсів та низької надійності зернозбиральних комбайнів [Hryniv, 2020]. Прикладом може бути середній час простою зернозбиральних комбайнів на ремонті: оскільки ремонт може виконуватися в різному обсязі, то й простій суттєво змінюється [Najafi, 2017]. У цьому випадку поняття «середній простій» за правильності математичних дій не застосовується в інженерній діяльності та науковому аналізі, можливі помилкові висновки [Nazarenko, 2020]. Наприклад, про можливість наявності часу проведення оздоровчих заходів під час заходу зернозбирального комбайна на станціях машинно-тракторного парку сільськогосподарських господарств [Kuzmich, 2021].

Невідповідність закону розподілу випадкової величини потребує зміни правил формування вихідної вибірки або відмови від застосування цього параметра як коефіцієнта технічної готовності [Voinalovych, 2020].

Постановка завдань. Метою дослідження є обґрунтування інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів. Практичним результатом буде формування Smart-технології інженерного менеджменту забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів. Для досягнення мети сформульовані такі задачі: 1) обґрунтування алгоритму перевірки статистичних даних про показники надійності зернозбиральних комбайнів

на унімодальність; 2) обґрунтування інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів.

Методи і матеріали. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів відносно інформаційно-динамічних моделей управління сервісним відновленням працездатності складних технічних систем, зокрема зернозбиральних комбайнів, та використання системного підходу. Для формування наукової проблеми, визначення мети і постановки задач дослідження використовувався аналітичний метод та порівняльний аналіз. Створюючи емпіричні моделі, використали основні положення теорії системотехніки, методології системного аналізу та дослідження за теорією графів.

Результати. Вирішуючи першу задачу, а саме обґрунтування алгоритму перевірки статистичних даних про показники надійності зернозбиральних комбайнів на унімодальності, було проведено аналіз унімодальності вибірки даних (рис. 1), який слід починати з обчислення базових статистичних показників: математичне очікування m_x випадкової величини x_i (сформованої за певними правилами вибірки в об'ємі N) даних і середньоквадратичне відхилення σ_x за відомими формулами [Rogovskii, 2022]:

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2}. \quad (2)$$

Обсяг вибірки N повинен бути не меншим від мінімального значення: $N \geq N_{min}$ за цих умов N_{min} розраховується за формулою:

$$N_{min} = \left(\frac{t_{\beta} \cdot v_x}{\delta} \right)^2 \quad (3)$$

де: δ – стандартне значення точності, прийнято $\delta=0,05$; β – довірча ймовірність, прийнято $\beta=0,95$; v_x – коефіцієнт варіації, характеристика відносного розкиду випадкової величини x :

$$v_x = \frac{\sigma_x}{m_x}. \quad (4)$$

До розрахунку відповідності розподілу законам візуально перевіряється форма гістограми на зовнішню схожість із одним із законів розподілу [Najafi, 2017]. Одночасно перевіряється наявність послідовного чергування високих і низьких стовпців гістограми (так званий ефект гребінки): слід змінити крок розбиття діапазону випадкової величини, оскільки

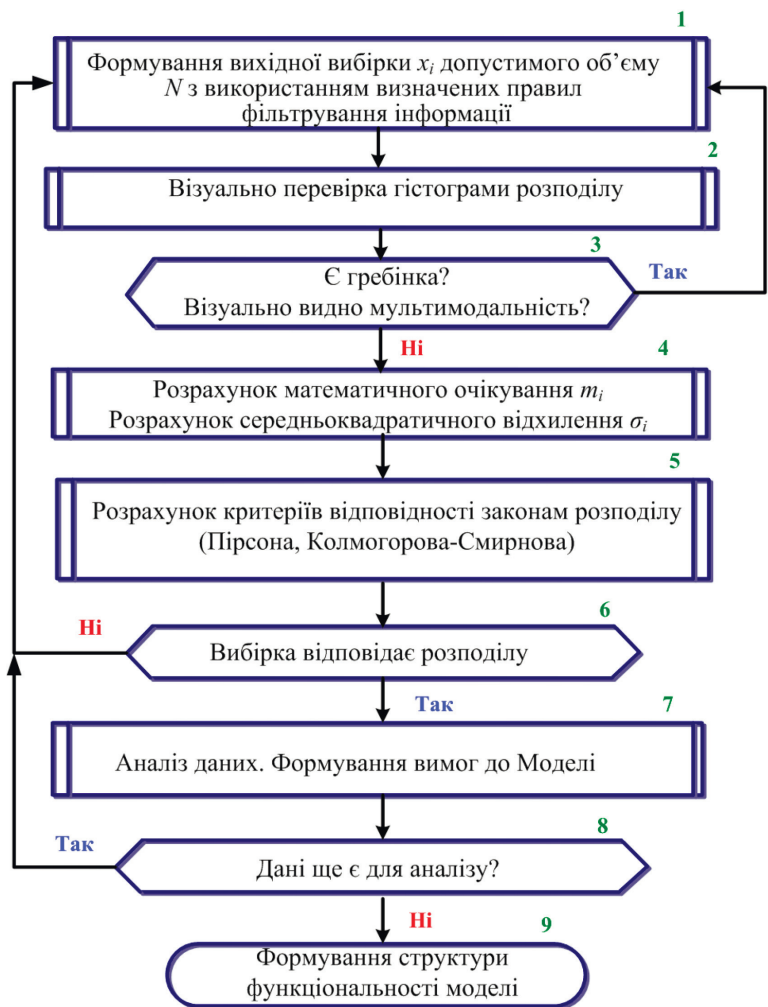


Рисунок 1 – Алгоритм перевірки статистичних даних про показники надійності зернозбиральних комбайнів на унімодальність

це часто є першопричиною. Попередньо діапазон ділиться на K ділянок згідно з правилом Старджеса [Kuzmich, 2021]:

$$K = (1 + 3,3 \cdot \lg N) \quad (5)$$

Після розрахунку статистичних параметрів вибірки виконується перевірка її відповідності одному із законів розподілу випадкової величини – нормальному, логнормальному, експоненційному та ін. У нашому дослідженні відповідність перевіряється за критерієм Пірсона, для чого розраховується показник χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^K \frac{(n_j - n_j^*)^2}{n_j^*}, \quad (6)$$

де: K – обране число діапазонів розбиття в гістограмі; n_j^* – фактичне число попадань у діапазон u , визначається за статистичною інформацією (за повної відповідності до закону розподілу випадкової величини збігається з n_j); n_j – розрахункове число попадань в діапазон визначається за формулою:

$$n_j = N \cdot P_j, \quad (7)$$

де: P_j – ймовірність влучення випадкової величини x в інтервал $[x_j^L; x_j^P]$:

$$P_j = \int_{x_j^L}^{x_j^P} f(x) dx, \quad (8)$$

де: $f(x)$ – функція щільності розподілу випадкової величини.

Додатково проводиться обчислення числа ступенів свободи:

$$r = K - S, \quad (9)$$

де: S – число накладається на P_j зв'язків ($S=2$ для експоненційного розподілу (однопараметричного) і $S=3$ для двопараметричних розподілів: рівномірний, нормальний, логнормальний, гамма-розподіл накладається та ін).

За значеннями χ^2 і r оцінюється можливість відповідності отриманої статистичної гістограми теоретичному розподілу, для чого використовується таблиця значень критерію згоди Пірсона (можливість визначається з точністю до діа-

пазону) [Nazarenko, 2021]. Якщо вибірка не пройшла перевірку за критерієм згоди Пірсона одному з розглянутих законів розподілу випадкової величини ($P=0$), то вибірка вважається неоднорідною (мультимодальною), отже, слід змінити правила формування.

Якщо домогтися унімодальності не вдається, слід виключити грубі помилки, що очевидно призводять до спотворення унімодальності вибірки x_j . Для цього використовувався принцип трьох сигм (3σ):

$$x_j - m_x > 3\sigma. \quad (10)$$

Отже, у статті будуть розглядатися дані, які мають статистичну достовірність як унімодальні та відповідні одному з відомих законів розподілу випадкових величин за критерієм Пірсона.

Після формування сукупності контрольованих унімодальних параметрів слід виконати аналіз їхнього взаємного впливу задля таких потреб: перевірка незалежності вибраних параметрів, виявлення закономірностей між параметрами, визначення порядку використання параметрів моделі.

З отриманих експериментальних даних втрат коефіцієнта технічної готовності зернозбиральних комбайнів впливає, що 40,3 % втрат коефіцієнта технічної готовності пов'язано з простоем в очікуванні технічного обслуговування і ремонту зернозбиральних комбайнів та з очікуванням відправки на відновлення працездатності зернозбирального комбайна, технічне обслуговування і ремонт складають у втрату коефіцієнта технічної готовності 32,5 %. Найбільші втрати коефіцієнта технічної готовності зернозбиральних комбайнів з усіх видів технічного обслуговування і ремонту припадає на друге номерне технічне обслуговування 9,5 %, непланові ремонти разом з очікуванням непланових ремонтів та очікуванням пересилки становлять 25,2 % у втратах коефіцієнта технічної готовності, які пов'язані з низькою надійністю досліджуваної групи зернозбиральних комбайнів.

Аналіз показав, що цих параметрів недостатньо для сервісної системи від-

новлення працездатності зернозбиральних комбайнів, оскільки вони відбивають лише зовнішні стосовно обслуговування показники надійності. Значна кількість відмов чи передвідмовних станів зернозбиральних комбайнів усувається як за непланового заходу зерно-

збирального комбайна у пункті відновлення працездатності, а й під час виконання діагностичних робіт. Для цього в реєстрі відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів інформаційних форм, які запропоновані кожному агропромисловому підприємстві на кожен зернозбиральний комбайн, який досліджувався, за будь-якого заходу зернозбирального комбайна фіксуються всі зауваження, які його стосуються. У цьому використовуються всі доступні джерела інформації (рис. 2).

Для відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів важливо знати реальні витрати фінансових і трудових ресурсів (рис. 2), які виникають під час відновлення. Тому необхідно враховувати усі втрати від низької надійності зернозбиральних комбайнів.

У виробничому процесі під відновленням працездатності мається на увазі комплекс операцій з підтримки працездатності зернозбиральних комбайнів або справності виробничого обладнання (виробів, деталей) у процесі технічної експлуатації, зберігання та транспортування [Zubko, 2022], який включає і захисні функції, спрямовані на зниження складності можливих наслідків відмов та їхньому запобіганню. Відновлення пра-



Рисунок 2 – Реєстрація зауважень щодо технічного стану зернозбиральних комбайнів для подальшого визначення об'єму надциклових робіт

цездатності зернозбиральних комбайнів поділяється на технічне обслуговування (нормативне, адаптивне, регламентоване та нерегламентоване), ремонт, модернізацію та заміну.

Відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів має нормативно-адитивний характер і виконується відповідно до розроблених для конкретного виробничого циклу агропідприємства норм і нормативів, в обов'язковому регламентному порядку після певного напрацювання за заздалегідь затвердженим регламентом агропідприємства. Можуть виникнути додаткові роботи через відмову обладнання зернозбиральних комбайнів або фінансову ресурсність агропідприємства.

Для вирішення другої задачі, а саме обґрунтування інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів, було сфокусовано, що за реалізації сервісного відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів накладаються додаткові вимоги. З одного боку, сервісне обслуговування сучасної промислової продукції, як правило, орієнтується на життєвий цикл зернозбиральних комбайнів з моменту виготовлення до моменту утилізації. З іншого боку,

будь-яке обслуговування орієнтоване на задоволення клієнта (замовник повинен не просто отримати послугу, а й відчувати задоволення роботи із сервісом), яке накладає додаткові вимоги: слід урахувати психологічні особливості процесу взаємовідносини замовник-сервіс. Отже, завдання сервісного відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, як і промислових складних технічних систем загалом, полягає у забезпеченні надійної роботи мобільних засобів відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів. Одним із найпопулярніших способів візуалізації процесу управління є діаграми Ганта [Najafi, 2017]. Діаграма Ганта є відрізками, розміщеними на горизонтальній шкалі часу. Кожен відрізок відповідає окремому проекту, задачі чи підзавданню. Проекти, завдання та підзавдання, які становлять план, розміщуються по вертикалі (кожному рядку відповідає одна дія, операція). Початок, кінець та довжина відрізка на шкалі часу відповідають початку, кінцю та тривалості завдання. На рисунку 3 показаний приклад діаграми Ганта: кожна операція зображена синім квадратом, довжина якого пропорційна тривалості операції. Стрілки показують послідовність виконання операцій.

Діаграми Ганта менш наочні, ніж графі, але набагато зручніше в управлінні завдяки можливості їх комплексного використання, кріплення даних до кожної операції, а саме резервування всього рядка за операцією) тобто збирання врожаю. Діаграми Ганта (рис. 3) дають можливість менеджерам всіх рівнів контролювати виробничі процеси. Необхідний рівень

деталізації за необхідності проводити збирання врожаю: отримання діаграми Ганта як розшифровка однієї з квадратів. Комплексне використання можливостей принципу діаграм Ганта – головна їхня валидність.

Мережевий графік у просторі інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів повинен давати змогу:

- представляти технологічний процес загалом від виїзду зернозбирального комбайна з ангару до його заїзду, укрупнено і з точністю до технологічної операції. Перехід від рівня до іншого може бути можливий в інтерактивному режимі, зокрема, подвійним клацанням мишкою по квадрату операції, яка цікавить;
- виводити у рядку операції числових та текстових даних, які стосуються цієї операції: час, вартість, трудовитрати та ін.;
- виконувати індивідуальні налаштування;
- одночасно відображати типовий мережевий графік, поточний план та фактичне виконання: усі три, частково або один із них;
- роздруковувати графік;
- експортувати дані в MS Excel, MS Project;

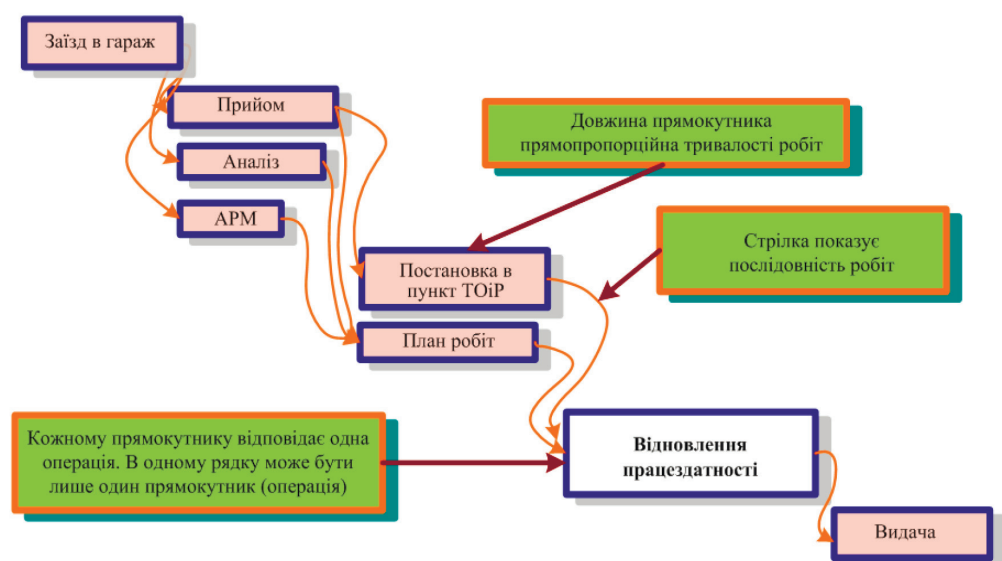


Рисунок 3 – Принцип мережевого планування в діаграмах Ганта у просторі інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів

- забезпечувати інформаційний супровід системи управління базами даних;
- мати інтерактивні можливості підтримки ухвалення рішень;
- реалізовувати іншу функційність, властиву для діаграм Ганта, зокрема з пакета програм MS Project;
- порівнювати фактичний стан одночасно кількох об'єктів ремонту;
- автоматично визначати фактичний дефіцит трудових, матеріальних ресурсів на поточну дату і будувати прогноз з випередженням не менше 15 календарних днів, прогнозувати залежно від даних, які вводяться (перспективне завдання);
- передбачати можливість побудови графіка не тільки на час перебування зернозбирального комбайна в гаражі чи на майданчику, а й на можливі підготовчі та завершальні операції, які проводяться до заходу та після виходу зернозбирального комбайна з гаража (особливо під час проведення ремонтів).

Наприклад, відновлення працездатності допоміжних зернозбиральних машин починається задовго до постановки зернозбирального комбайна в ремонт завдяки наявності перехідного комплексу обладнання, а частина обладнання демонтованого в процесі відновлення працездатності зернозбирального комбайна після відповідного ремонту встановлюється на інший зернозбиральний комбайн.

Це зумовлено тим, що час на ремонт окремих вузлів зернозбирального комбайна не укладається в норматив простою зернозбирального комбайна під час відновлення працездатності і тим, що окремі вузли вимагають більшого трудомісткого виду ремонту за станом або ресурсністю.

Наведений аналіз світових тенденцій у сфері управління життєвим циклом складних технічних систем формулює основні вимоги до професійної моделі управління відновлення працездатністю зернозбиральних комбайнів:

- модель має призвести до суттєвого підвищення ефективності відновлення працездатністю зернозбиральних комбайнів з отриманням економічного ефекту;

- модель позиціонується як ключовий елемент автоматизованої системи управління технологічним процесом відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів;

- модель має передбачати візуалізацію; бажана можливість перегляду мережного графіка як графа;

- функціональну та графічну основу моделі повинні складати діаграми Ганта, які повинні узгоджуватися з усіма необхідними для управління даними, мати можливість «свердління», адаптації до розв'язуваних завдань (наприклад, виведення планових та фактичних показників, зміна планової тривалості операції);

- оскільки ринок систем автоматизованого управління технологічними процесами відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів досить великий, необхідно вибирати одну з наявних платформ програмування;

- модель має бути розподіленою системою управління, працювати в Інтернеті з можливістю віддаленого доступу до даних;

- модель повинна відстежувати життєвий цикл будь-якого інциденту: ситуації, яка відрізняється від нормальної експлуатації зернозбиральних комбайнів (планові відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, відмови та непланові ремонти, зауваження машиністів, передвідмовні стани);

- модель має бути вбудована у систему управління підприємством (ERP-систему).

Крім перелічених основних вимог до моделі пред'являються і специфічні вимоги.

Масштабованість: здатність системи, мережі чи процесу справлятися зі збільшенням робочого навантаження (збільшувати свою продуктивність) з додаванням ресурсів (зазвичай апаратних); модель має збільшувати продуктивність пропорційну до додаткових ресурсів.

Виконаний аналіз світового та вітчизняного досвіду (літературних джерел) дає змогу зробити такі висновки (рис. 4):

- зараз у світовій та вітчизняній практиці створена методологічна база для організації управління якістю та надійністю

виробів, якістю їх виготовлення та відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів (зокрема професійного), сформульована у міжнародних (ISO), національних (ДСТУ) та галузевих (СОУ) стандартах;

- математична та логічна підсистеми моделі повинні використовувати у своїй основі методи цих стандартів [Najafi, 2017];

- структурну основу моделі має становити принцип постійного покращення (цикл Демінга, цикл PDCA);

- модель повинна базуватися на ймовірно-статистичних методах управління, що становлять основу теорії варіабельності; логічний принцип побудови моделі повинен мати в основі положення міжнародних, вітчизняних та галузевих стандартів у галузі менеджменту якості, управління підприємством та управління надійністю;

- управління згідно з методом пірамід Гейнріха (рис. 4) має бути спрямовано на причини низької надійності зернозбиральних комбайнів, основними з яких повинні бути порушення режимів експлуатації та надциклові роботи;

- є комплекс передумов щодо подальших досліджень у галузі розроблення інформаційно-динамічної моделі управління професійним технічним обслуговуванням і ремонтом зернозбиральних комбайнів;

- масштабованість має проводитися без структурних змін системи.

Внаслідок виконаного аналізу об'єкта

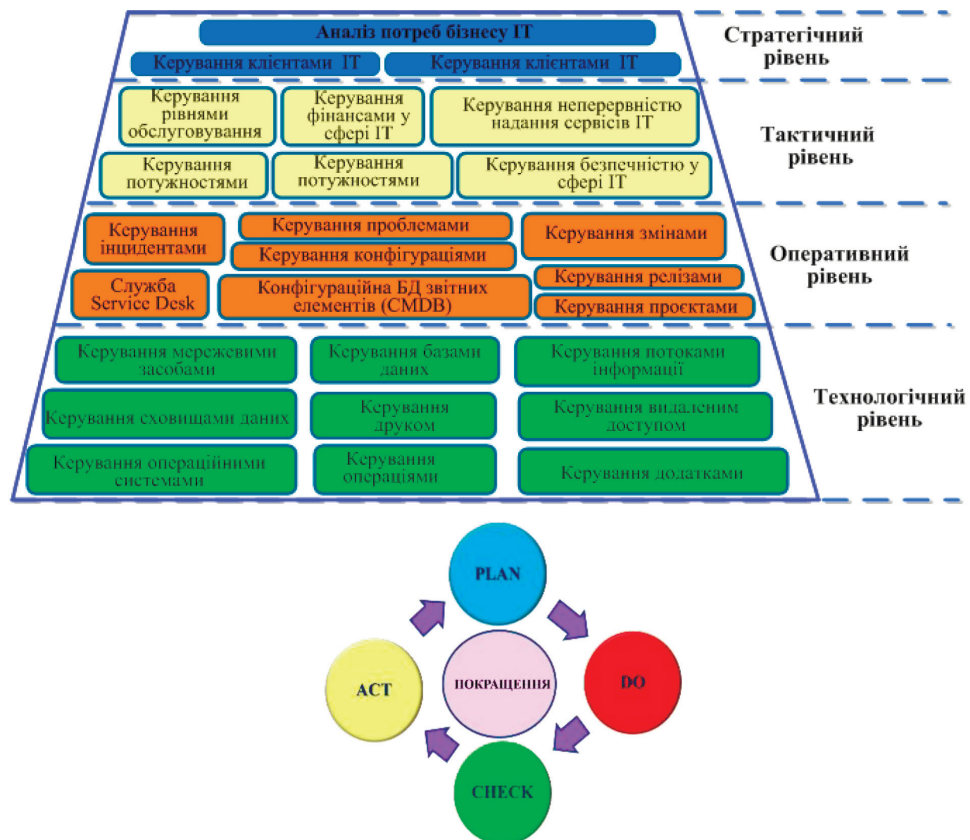


Рисунок 4 – Структура інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів



дослідження та світового досвіду організації виробничих процесів визначено базові функціональні підсистеми, які мають входити до складу запропонованої моделі (рис. 5).

Обговорення. Запропонована модель дає порівняно з відомими [Palamarchuk, 2021] чіткішу організацію моніторингу експлуатації та технічного стану зернозбиральних комбайнів: збір інформації про роботу зернозбирального комбайна, режими експлуатації зернозбиральних комбайнів і технічний стан з бортових систем, а також, у разі нестачі інформації, зі стаціонарних та переносних автоматизованих систем технічного діагностування, які використовуються у сервісних сільськогосподарських підприємств.

На цьому етапі роботи моделі визначається фактично виконаний зернозбиральним комбайном об'єм роботи (наробіток, витрата палива), наявність порушень режимів експлуатації та їхню кількість, порівняно з відомими [Biaou, 2016].

Одночасно визначається фактичний

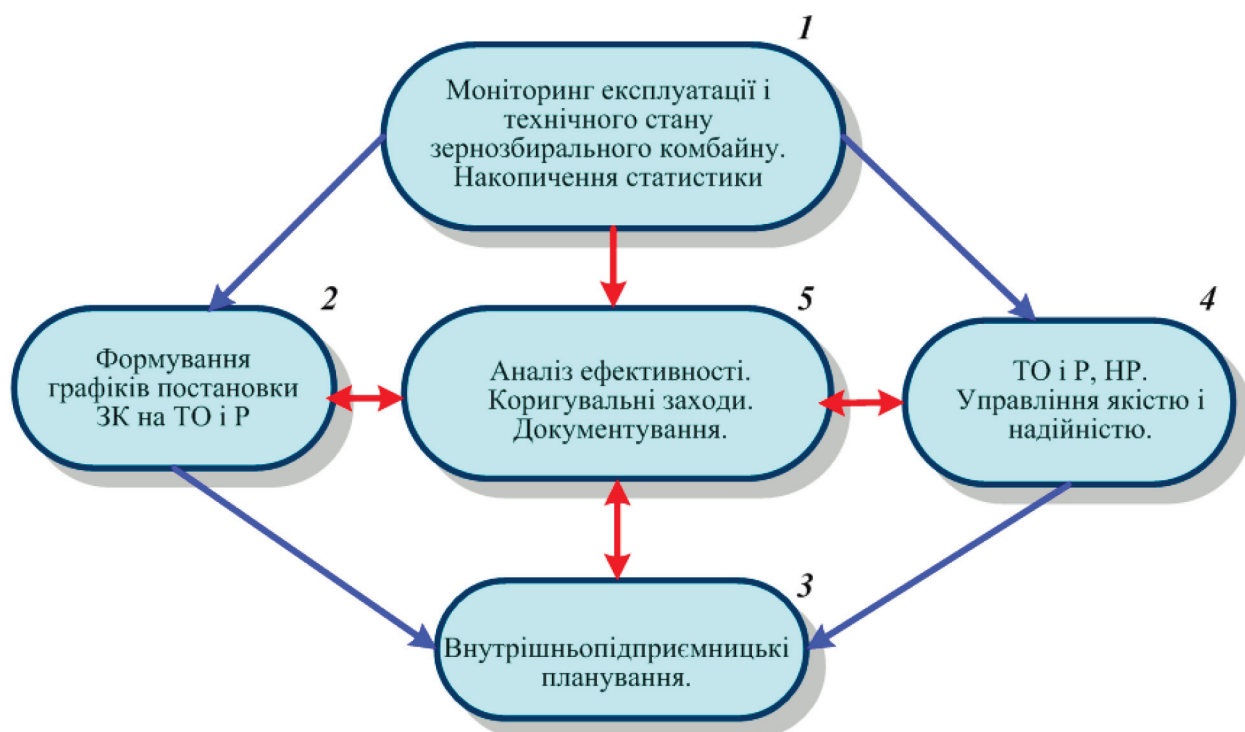


Рисунок 5 – Базові функціональні підсистеми інформаційно-динамічної моделі управління відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів

стан зернозбирального комбайна як набір параметрів, які характеризують правильність функціонування обладнання та працездатність зернозбирального комбайна, справність вузлів та обладнання зернозбирального комбайна, порівняно з відомими [Partko, 2020].

Висновки. Внаслідок виконаного аналізу об'єкта дослідження та світового досвіду організації виробничих процесів визначено базові функціональні підсистеми, які мають входити до складу запропонованої моделі (рис. 5). Організація моніторингу експлуатації та технічного стану зернозбиральних комбайнів: збір інформації про роботу зернозбирального комбайна А, режими експлуатації зернозбиральних комбайнів та технічний стан з бортових систем, а також (у разі нестачі інформації) зі стаціонарних та переносних автоматизованих систем технічного діагностування, що використовуються у сільськогосподарських підприємств обслуговування.

Структура запропонованої інформаційно-динамічної моделі управління сервісним відновленням працездатності зернозбиральних комбайнів має характерні відмінності від сучасних інноваційних підходів, щодо фокусування саме на можливостях реалізації Smart-технології інженерного менеджменту забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів.

нозбиральних комбайнів має характерні відмінності від сучасних інноваційних підходів, щодо фокусування саме на можливостях реалізації Smart-технології інженерного менеджменту забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів.

Перелік літератури

Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., 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). pp. 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.

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. pp. 052002. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.

Mozharivskyi D. M., Nadtochiy O. V., Dasic P. (2022) Aspects of expert system of engineering management of technical

condition of grain harvesters. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 13(1). pp. 60-66. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2022.01.060>.

Najafi P., Asoodar M., Marzban A., Hormozi M. (2017) Reliability analysis of agricultural machinery: a case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal*. March 17(1)1. pp. 158-165.

Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A. (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). pp. 71-79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.

Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova 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)). pp. 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

Rogovskii I., Sivak I., Berezova L., Vyhovskyi A. (2022) Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*. 21. pp. 884-890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.

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. pp. 291-298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.

Voinalovych O., Aniskevych L., Motrich M. (2020) Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damages of responsible parts. *Engineering for Rural Development*. 19. pp. 784-792.

Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Koszel M., Shchur T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering*. 26(1). pp. 25-37. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0003>.

Palamarchuk I., Rogovskii I., Omelyanov O. (2021) Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*. 20. pp. 1761-1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.

Partko S. A., Sirotenko A. N. (2020) Self-oscillation in agricultural mobile machine units. *Journal Physics*. 1515. pp. 042084.

Biaou O., Moreira J., Hounhouigan J., Amponsah S. (2016) Effect of threshing drum speed and crop weight on paddy grain quality in axial-flow thresher (ASI). *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. 3(1). pp. 3716-3721.

UDC 631.4.001

INFORMATION-DYNAMIC MODEL OF SERVICE RESTORATION MANAGEMENT OF HARVESTERS WORKING CAPACITY

Titova L., Candi. of Tech. Scs, Associate Prof.,
e-mail: l_titova@nubip.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7313-1253>
National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Summary

Purpose of the study is to substantiate the information-dynamic management model of service restoration of grain harvesters. The practical result will be the formation of Smart-technology engineering management to ensure the efficiency of combine harvesters.

Research methods. *The methodological basis of the work is the generalization and analysis of known scientific results on information and dynamic models of management of service recovery of complex technical systems, and in particular combine harvesters, and the use of a systems approach. Analytical method and comparative analysis were used to form a scientific problem, determine the purpose and set research objectives. The main provisions of the theory of systems engineering, methodology of systems analysis and research on the theory of graphs were used in the creation of empirical models.*

The results of the study. *The article considered data that have statistical reliability as unimodal and correspond to one of the known laws of distribution of random variables according to Pearson's criterion. After forming a set of controlled unimodal parameters, the analysis of their mutual influence was performed to achieve the following goals: checking the independence of selected parameters, identifying patterns between parameters, determining the order of use of model parameters. From the calculated data of losses of the coefficient of technical readiness of combine harvesters it follows that 40.3 % of losses of the coefficient of technical readiness are due to downtime waiting for maintenance and repair of combine harvesters and waiting for sending to restore the combine harvester, maintenance and repair coefficient of technical readiness of 32.5 %. The largest loss of the readiness factor for all types of maintenance and repairs is accounted for by the second number of maintenance 9.5 %, unplanned repairs together with the expectation of unplanned repairs and waiting for shipment is 25.2 % of the loss of technical readiness due to low reliability of the studied combine harvesters.*

Conclusions. *As a result of the conducted researches new scientifically substantiated technical and technological decisions and developments which are directed on increase of restoration production processes functioning efficiency of combine harvesters working capacity in the agricultural enterprises are received. As a result of the analysis of the object of study and world experience in the organization of production processes, the basic functional subsystems that should be part of the proposed model are identified. Organization of monitoring the operation and technical condition of combine harvesters: collecting information on the operation of combine harvesters, modes of operation of combine harvesters and technical condition of onboard ISU, as well as (in case of lack of information) from stationary and portable automated technical diagnostic systems used in service. The structure of the proposed information-dynamic model of service recovery management of combine harvesters has characteristic differences from modern innovative approaches, in terms of focusing on the implementation of Smart-technology engineering management to ensure the efficiency of combine harvesters.*

Key words: *restoration, coefficient of technical readiness, combine harvester, reliability, efficiency, repair.*