

**ДЕКОМПОЗИЦІЯ СТАНІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ
КОМБАЙНІВ**

І. Л. РОГОВСЬКИЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри,
<https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

E-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

І. М. НИЧАЙ, аспірант, <https://orcid.org/0000-0003-3720-5061>

E-mail: nychay@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

[https://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.024](https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.024)

Анотація. У статті розкрито методологічні підходи до формування обґрунтованості застосування імітаційної модель декомпозиції станів безвідмовності зернозбиральних комбайнів. Автори відтворюють функціональну декомпозицію безвідмовності зернозбиральних комбайнів виходить через аналіз функцій системи. Авторами розкриваються аналітичні підходи до питання, що робить система, незалежно від того, як вона працює. Базисом автори сформували розбиття на функціональні підсистеми у спільності функцій, виконуваних групами елементів. Під час проведення експерименту спочатку згенеровано набір випадкових подій, що відбуваються з модулем, що розглядається – подія виходу з ладу блокованого модуля, подія спрацьовування блокування модуля і подія справності передачі модуля. Потім, призначаючи відповідні ймовірності визначено стани та знайдено логічні залежності між ними. Експеримент полягав у послідовній генерації подій та отриманні підсумкових станів функціонального модуля. Даний експеримент повторювався кілька разів, потім розраховувався, у кількох випадках функціональний модуль за підсумками роботи зернозбиральний комбайн опинився у справному стані. Відношення кількості результатів експерименту, в яких функціональний модуль виявився справним до всіх результатів показує можливість справності функціонального модуля. Виконуючи певну кількість обчислень кожного стану, підсумовуючи результати кожного обчислення, приймаючи справжнє значення за одиницю, а хибне – за нуль, а потім ділячи результат на довжину множини, отримуємо значення ймовірності заблокованої відмови, обчислене методом Монте-Карло. При виконанні обчислень та вихідними даними воно дорівнювало 0,885. Схожість результату до результату прийнятої за вірну доводить вірність. Наведена в статті методика дозволяє поліпшити якість роботи системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів, забезпечуючи більш точний облік безвідмовності, розширення списку аналізованих параметрів надійності і повніше використання технічних засобів контролю параметрів технічного стану.

Ключові слова: безвідмовність, декомпозиція, імітація, модель, зернозбиральний комбайн

Актуальність. На етапі декомпозиції станів безвідмовності зернозбиральних комбайнів, що забезпечує загальне уявлення системи, здійснюються визначення та декомпозиція загальної мети дослідження та основної функції системи як обмеження траєкторії у просторі станів системи або в області допустимих ситуацій (Parekh et al., 2022). Найчастіше декомпозиція проводиться шляхом побудови дерева цілей та дерева функцій (Aulin et al., 2024). Глибина декомпозиції обмежується. Декомпозиція повинна припинятись, якщо необхідно змінити рівень абстракції – подати елемент як підсистему (Prytz et al., 2015). Якщо декомпозиції з'ясовується, що модель починає описувати внутрішній алгоритм функціонування елемента замість закону його функціонування у вигляді «чорної скриньки», то в цьому випадку відбулася зміна рівня абстракції (Volokha, et al., 2023). Це означає вихід межі мети дослідження системи і, отже, викликає припинення декомпозиції (Chen X., & Chen, J., 2020).

Декомпозиція за компонентами виділяє окремі складові безвідмовності зернозбиральних комбайнів – її модулі (Rogovskii, Lyubarets, & Borek, 2022). У випадку компонент не є принципово неподільним (Ahmed & Gharavi, 2018). Таким чином, постає завдання постановки межі декомпозиції (Rogovskii, 2021). Декомпозиція

обмежується шляхом встановлення ознаки виділення (Padilla-Atondo, et al., 2021). Ознака виділення окремих компонентів – сильний зв'язок між їхніми деталями за одним із типів відносин (зв'язків), що існують у системі (інформаційних, логічних, ієрархічних, енергетичних тощо) Rolison, et al., 2018). Силу зв'язку, наприклад, за інформацією можна оцінити коефіцієнтом інформаційного взаємозв'язку $k = N/N_0$, де N – кількість інформаційних масивів, що взаємовикористовуються, N_0 – загальна кількість інформаційних масивів. Для опису всієї системи має бути побудована складова модель, що поєднує всі окремі моделі (Rogovskii, 2021a). Рекомендується використовувати розкладання на підсистеми лише тоді, коли такий поділ на основні частини системи не змінюється (Nazarenko, et al, 2021). Нестабільність кордонів підсистем швидко знецінить як окремі моделі, і їх об'єднання (Kuzmich, et al, 2021). Тобто межі окремих компонентів задаватимуться зв'язками між їхніми частинами.

Функціональна декомпозиція безвідмовності зернозбиральних комбайнів виходить з аналізу функцій системи (Gorea, 2016). При цьому порушується питання, що робить система, незалежно від того, як вона працює (Rogovskii, 2021b). Підставою розбиття на функціональні підсистеми є спільність функцій,

Роговський І. Л., Ничай І. М.

виконуваних групами елементів (Rogovskii, 2021c). У базовому методі передбачається декомпозиція рівня одиничних резервованих функціональних модулів безвідмовності зернозбиральних комбайнів.

Актуальною проблемою на сьогоднішній день є те, що у базовій методі безвідмовності зернозбиральних комбайнів передбачається декомпозиція рівня одиничних резервованих функціональних модулів.

Запропонована глибина декомпозиції безвідмовності зернозбиральних комбайнів обмежується рівнем функціональних послідовностей. Дані послідовності є безліччю модулів, чия працездатність необхідна для виконання певної функції системи (Britton, Asnaashari, & Read, 2016).

І кожна така послідовність, забезпечуючи виконання своєї частини загальної функції системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів, вносить свою частку W_n до загального кінцевого результату W .

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n \quad (1)$$

Отже, дослідження можливих станів послідовностей показує, наскільки повно виконується функція системи (Dirnbach, et al., 2020). Задля більшої виконання виявлених функцій застосовуються методи підвищення безвідмовності зернозбиральних комбайнів (Dela Cruz, Padilla, & Victoria, 2021).

Показником, що визначає здатність технічного пристрою виконувати основні свої функції, незважаючи на отримані ушкодження, є живучість (Low, Tekler, & Cheah, 2020). Це властивість системи, що полягає у її здатності протистояти великим збуренням поза, встановленими їхнього штатного функціонування, не допускаючи подальшого каскадного розвитку аварійних ситуацій. Система при виникненні відмови у певній послідовності елементів продовжує виконувати відповідну функцію (Young, et al., 2014). Збереження функціональних можливостей системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів забезпечується широкою розгалуженістю її первинної мережі, організацією обхідних напрямів та резервних каналів зв'язку, використанням резервних засобів. До кожної окремої послідовності функції належать елементи, при несправності яких виконання порушується (Slobodyanyuk, & Gorobchenko, 2020). У цьому зовсім необов'язково, щоб ці елементи розташовувалися послідовно у структурі передачі. У першу чергу функцією системи управління технологічного процесу безвідмовності зернозбиральних комбайнів можна назвати отримання будь-якого матеріального результату, вихідного продукту, але також функцією безвідмовності зернозбиральних комбайнів може бути контроль над певним

Роговський І. Л., Ничай І. М.

параметром, отримання інформації. Отже, кількість виконуваних функцій визначається сумою кількості виходів та кількості елементів, що виконують контроль параметрів технічного стану зернозбирального комбайну. З погляду наслідків відмови важливішою є функція управління технологічним процесом. Функція контролю процесу менш важливою. З огляду на це змінюється підхід до визначення надійних показників системи загалом (Oladimeji, et al., 2023).

Стан усієї системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів виражається шляхом обчислення логічної формули системи, аргументами якої стану окремих елементів, що входять у функціональні послідовності (Casado-Sanz, Guirao, Attard, 2020). Можливими станами системи звично називаються працездатне та непрацездатне. Такий дуальний підхід дозволяє застосовувати до розрахунку фактичного стану звичайну булеву логіку. Але такий набір станів не є всеосяжним. Можливо запропонувати розширене уявлення про стан елементів/системи. Для оперування різноманітними станами, звичайно, потрібно застосовувати особливу систему обчислень, хоча вона багато в чому буде ґрунтуватися на звичній булевій логіці. Відмінністю запропонованої системи буде більше можливих значень змінних стану. Для ілюстрації

універсальності даного підходу розглянемо кілька станів V_1 , V_2 , V_3 , у яких може перебувати як система, і її модулі:

V_1 – непрацездатний стан. В даному стані зернозбиральний комбайн повністю не виконує своєї функції, і всі його параметри не відповідають необхідним.

V_2 – несправний стан комбайну, при якому він не відповідає хоча б одній із вимог нормативної технічної та (або) конструкторської документації.

V_3 – стан справний. У ньому комбайн відповідає всім вимогам нормативно-технічної та конструкторської документації.

Залежно від справності тієї чи іншої функції визначається економічний ефект, який приносить система (Abu Dabous, et al., 2021). Згідно з цими визначеннями, система, яка не виконує жодну свою функцію, буде несправна. Несправна система знаходиться у прикордонному стані, який може дозволити виконати її мету.

Методи та матеріали дослідження. Опишемо послідовність виконання системою функцій (рис. 1), як наведено вище. Для виконання будь-яким довільно взятим пристроєм функції збору інформації про параметри об'єкта потрібно, щоб справні всі устрою, управляючі об'єктом. Кількість послідовностей, що виконують функції, повинна враховуватися при

виборі пріоритетного резервування модуля.

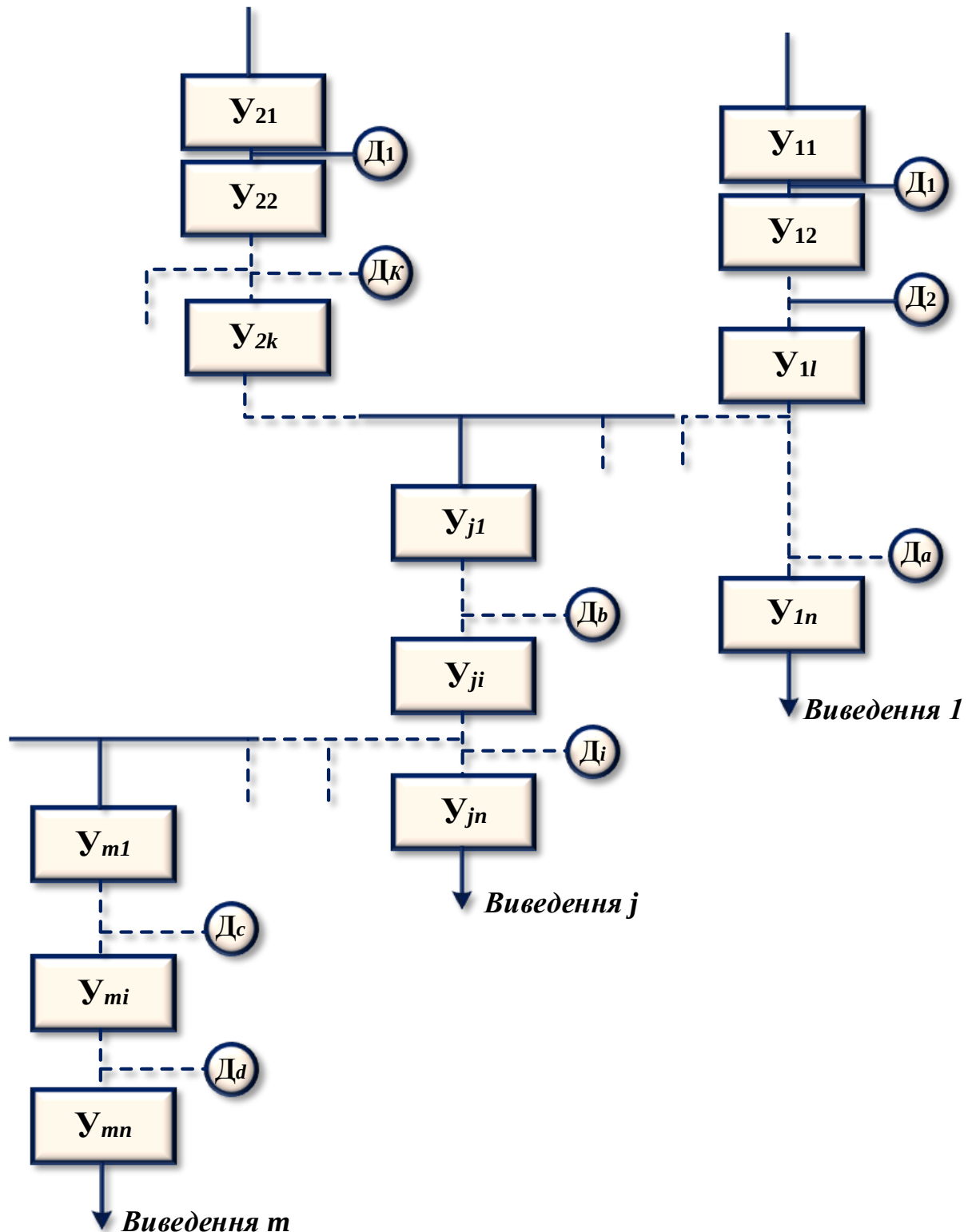


Рис. 1. Загальний вид деревоподібної структури

У разі представленого рисунку 1 пристрою збору інформації Д; ймовірність того, що їм виконуватиметься його функція,

дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи всіх елементів, що лежать вище за процесом, враховуючи всі сполуки матеріальних

потоків.

формула виглядатиме як

Для наведеного елемента

$$P = \prod_{s=1}^l D_{1s} \cdot \prod_{s=1}^k D_{2s} \cdot \dots \cdot \prod_{s=1}^i D_{js} \quad (2)$$

Аналогічно, у разі пристрою Y_{ji}

$$P = \prod_{s=1}^l Y_{1s} \cdot \prod_{s=1}^k Y_{2s} \cdot \dots \cdot \prod_{s=1}^i Y_{js} \quad (3)$$

Кількість послідовностей, що виконують функції, повинна враховуватися при виборі пріоритетного резервування модуля. Важливість послідовностей, що виконують функції, повинна враховуватись при виборі пріоритетного для резервування модуля. Цей облік може бути здійснений шляхом запровадження коефіцієнта, що відображає важливість кожної функції.

Результати дослідження та їх обговорення. У процесі виконання функції системою її елементах виникають події. Деякі з цих подій завдають зниження безвідмовності зернозбиральних комбайнів. А ще один набір подій можуть мати події, що завдають шкоди, своїм наслідком. Для кращого розгляду ланцюжків таких подій будуються схеми структури подій (рис. 2).

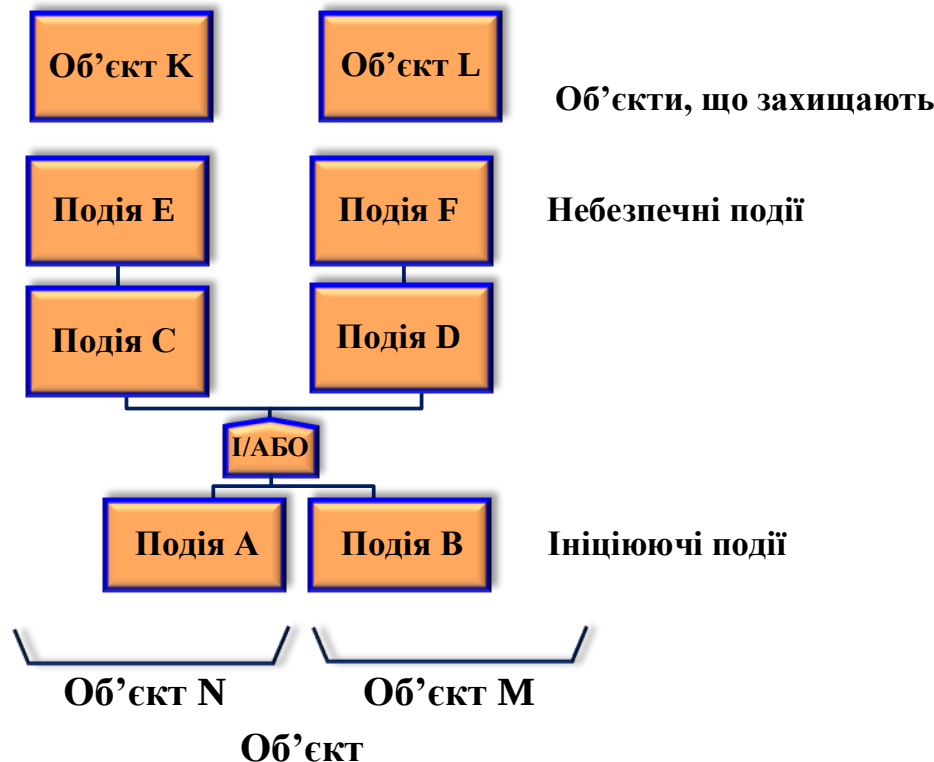


Рис. 2. Схема структури подій

Пристрої та заходи, що забезпечують усунення небезпеки,

захист від неї таким чином будуть своєрідними обробниками подій.

Роговський І. Л., Ничай І. М.

Такими пристроями будуть системи пожежогасіння, плани та схеми процесів пожежогасіння, набори ізолюючого спецодягу та інструментів, матеріали, що адсорбують та абсорбують шкідливі речовини та інші подібні об'єкти. Відмінність небезпек щодо їхнього впливу може бути виражена у вигляді певної величини, коефіцієнта. Слід визначити для кожного модуля значення величини, що кількісно оцінює небезпеку, яку несе відмова, причому необхідно враховувати поділ по модулях небезпеки, що викликається взаємним впливом двох або більше відмов.

Цей коефіцієнт допоможе оцінити відносну важливість підвищення ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента зернозбиральних комбайнів. Виникнення небезпечних подій спричиняє збитки для підприємства, економічного середовища, в якому функціонує безвідмовність зернозбиральних комбайнів. Він може мати різний характер, але для аналізу слід висловити його через єдину величину. Оцінка прийнятності є дуже важливим питанням проектування систем безвідмовності зернозбиральних комбайнів. Необхідно враховувати як, наскільки якісно працює система, а й наскільки економічно виправдана та чи інша її конфігурація.

Виникаючі ризики різняться характером виникнення. Існують

небезпеки, що виникають, коли повністю припиняється виконання функції тим чи іншим модулем. Запобігаються дані загрози шляхом підвищення безвідмовності модуля, наприклад, резервуванням. Але є також небезпеки, які виникають, коли відбувається відмова лише елемента. Прикладом джерела таких небезпек можуть бути паралельно та одночасно працюючі робочі та резервні реле або магнітні пускачі. У такому випадку для запобігання небезпеці необхідно застосовувати методи запобігання відмові елементів або поглинання небезпечних впливів.

Залежно від походження небезпеки від відмови модуля або елемента величина C переводиться в величину C_T для небезпеки, що виникає при відмові модуля, або C_e для небезпеки, що виникає при відмові елемента. Алгоритм обліку небезпек відмов зернозбиральних комбайнів (рис. 3) складається з наступних етапів:

- визначення можливих небезпечних впливів системи;
- визначення для кожного модуля величини, що кількісно – оцінює небезпеку відмови;
- аналіз того, чи виникає небезпечна дія при відмові модуля або його резервного елемента;
- виявлення комплексних небезпек - небезпек, що виникають через кілька одночасних відмов;
- обчислення для модулів чи елементів коефіцієнтів пріоритету з

урахуванням їх часток у комплексних небезпеках.

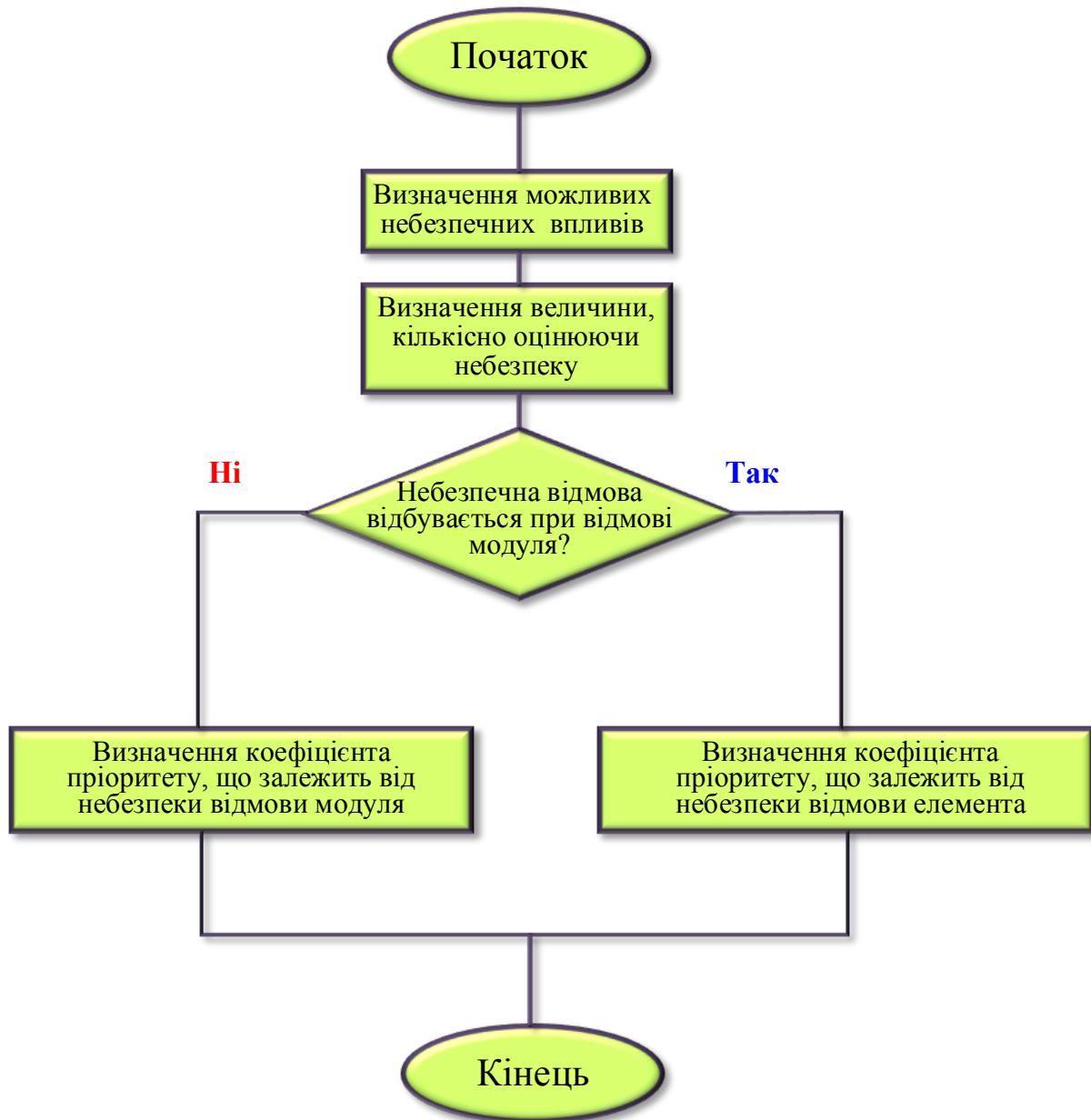


Рис. 3. Блок схема алгоритму обліку небезпек

Створення алгоритму обліку небезпек потенційних відмов дозволяє системі розділити небезпеки на категорії за значущістю залежно від масштабів небезпеки і шкоди, що завдаються ними.

Розгляд небезпечних впливів, що виникають через відмов, і особливо небезпечних впливів, що виникають через відмов резервних елементів, призводить до необхідності

застосування додаткових, інших, ніж додавання резервних елементів, що знаходяться під навантаженням, заходів.

Для максимального підвищення ефективності аналізу та підвищення надійності слід враховувати інші напрями підвищення ймовірності виконання системою всіх функцій.

Для якіснішого розгляду надійності системи слід підходити до

Роговський І. Л., Ничай І. М.

цього комплексно. Поряд із резервуванням можна застосовувати і часткові методи підвищення надійності, специфічні для безвідмовності зернозбиральних комбайнів. Одним із таких методів є метод блокуючих модулів. Ними досягається підвищення ймовірності безвідмовної роботи зернозбиральних комбайнів шляхом введення елементів, що блокують руйнівні зовнішні впливи, по відношенню до

$$P = P_1 + P_2 = 1 \quad (4)$$

де P - ймовірність виходу з ладу модуля,

P_1 - ймовірність того, що напруга на виході зникла,

P_2 - ймовірність того, що напруга на виході мережі не зникла.

Причому подія, що описується P_1 , поділяється на під дії:

P_a - ймовірність того, що

$$P_2 = 1 - P_1$$

$$P_2 = 1 - (1 - P_2)$$

Запишемо можливість виходу з

$$P_1 = 1 - P_2$$

Але якщо виходи з ладу блокуватимуться, то модуль вийде з

$$P_1 = (1 - P_2) \times (1 - P_b).$$

Отже,

$$P_2 = 1 - (1 - P_2) \times (1 - P_b).$$

З урахуванням ймовірності виходу з ладу самого блокуючого

$$P = (1 - (1 - P_2) \times (1 - P_b)) \times P_c,$$

де P_2 - ймовірність того, що відмова функціонального модуля не відбулася,

системи пристроїв, що забезпечують її роботу. Ці відмови та блокують модулі, через що вони і отримали свою назву.

Розглянемо формулу підвищення надійності модуля, що блокує відмову. Відповідно до теорії ймовірності це описується так. Повна сукупність подій, властива цим пристроям, описується такими величинами:

пристрій спрацював,

P_b - ймовірність того, що пристрій не спрацював.

І водночас існує певна ймовірність виходу з ладу самого пристрою P_c , припинення передачі їм напруги.

Ймовірність того, що модуль не вийшов з ладу, буде

$$(5)$$

$$(6)$$

ладу як:

$$(7)$$

ладу, коли не працюватиме ні він, ні блокуючий модуль.

$$(8)$$

$$(9)$$

модуля формула надійності матиме вигляд:

$$(10)$$

P_b - ймовірність того, що блокуючий модуль не спрацював,

P_c - можливість виходу з ладу

самого блокуючого модуля.

Щоб перевірити формули для обчислення надійностей подібних систем, проведемо обчислювальний експеримент, який імітує роботу модуля, скориставшись методом Монте-Карло. Вибір подібного методу обумовлюється його універсальністю і гарантованою точністю, оскільки він дозволяє розраховувати надійність систем з фактичних подій у системі. Основна ідея методу Монте-Карло при статистичному моделюванні надійності елементів полягає в багаторазовому розрахунку визначального параметра або параметрів за відомими

залежностями, що описують процес втрати працездатності, причому для випадкових аргументів, що входять до формул, вибираються їх найбільш ймовірні значення відповідно до відомих законів розподілу. Кожне статистичне випробування полягає у виявленні однієї з реалізацій випадкового процесу, які сукупність дозволяє оцінити хід цього процесу його основні параметри.

У випадку можна вважати, що значення визначального параметра X визначається набором випадкових величин $Z_t (t = 1, 2, \dots, n)$, закони розподілу яких відомі (або дискретні значення яких задані своїми ймовірностями):

$$X = X(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \quad (11)$$

Оскільки аргументи функції (n) є випадковими величинами, то параметр X є випадковою величиною. Тому для аналізу надійності за параметром X необхідно проаналізувати його розподіл і для оцінки ймовірності безвідмовної роботи визначити частку, яку складають допустимі режими (загалом $X_{min} \leq X \leq X_{max}$). На першому етапі реалізації методу Монте-Карло в залежності від

необхідної точності визначення характеристик надійності вибирається необхідна кількість реалізацій N . Потім із заданого діапазону зміни кожного з аргументів Z_t , за відомими законами розподілу $f(Z_i)$ випадковим чином (з використанням таблиць або генератора випадкових чисел) вибирається за N значень кожного з аргументів:

$$Z_1 \in \{\xi_{11}, \xi_{12}, \dots, \xi_{1\varphi}, \dots, \xi_{1N}\}$$

$$Z_2 \in \{\xi_{21}, \xi_{22}, \dots, \xi_{2\varphi}, \dots, \xi_{2N}\}$$

...

$$Z_t \in \{\xi_{t1}, \xi_{t2}, \dots, \xi_{t\varphi}, \dots, \xi_{tN}\}$$

$$Z_v \in \{\xi_{v1}, \xi_{v2}, \dots, \xi_{v\varphi}, \dots, \xi_{vN}\}$$

Після цього з отриманих значень аргументів Z_i випадково вибираються

Роговський І. Л., Ничай І. М.

N наборів значень (у кожному наборі по одному значенню кожного аргументу Z). Для кожного набору значень за формулою (11) розраховується визначальний параметр X . Визначальним параметром системи, що розглядається, буде справність. Вона виражається функціями, які використовують логічні залежності. Справність кожного елемента

$$S_i = 1, \text{ при } R_i < P_i$$

$$S_i = 0, \text{ при } R_i > P_i$$

де 1 означає робочий стан, а 0 - неробочий.

При проведенні експерименту спочатку призначимо (згенеруємо) набір випадкових подій, що відбуваються з модулем, що розглядається – подія виходу з ладу

1. Показники надійності модулів

Надійність передачі	Надійність блокування	Надійність модуля
0,9	0,9	0,8

Функціональний модуль буде справним, якщо він справний сам собою або несправний, але справна

$$(S_1 \vee \bar{S}_1 \wedge S_a) \wedge S_c$$

Експеримент полягатиме у послідовній генерації подій та отриманні підсумкових станів функціонального модуля, використовуючи вирази (12), (13), (14). Даний експеримент повторюється кілька разів, потім підраховується, у кількох випадках

виражається значенням P_i – ймовірності безвідмовної роботи, а стан – традиційно логічної змінної S_i , що приймає значення 1 у разі справності елемента і 0 у разі несправності. Визначає ж наступ стану випадкове подія, що виражається числом R_i , що приймає випадкове значення з інтервалу $(0...1)$. Отже, визначення стану бачиться можливим застосувати такі вирази:

$$(12)$$

$$(13)$$

блокованого модуля (R_1), подія спрацьовування блокування модуля (R_a) і подія справності передачі модуля (R_c). Потім, призначаючи відповідні ймовірності (табл. 1), визначаємо стани та знаходимо логічні залежності між ними.

блокуюча функція, а також справний сам модуль.

$$(14)$$

функціональний модуль за підсумками роботи зернозбиральний комбайн опинився у справному стані. Відношення кількості результатів експерименту, в яких функціональний модуль виявився справним до всіх результатів показує можливість справності

Роговський І. Л., Ничай І. М.

функціонального модуля.

Виконуючи певну кількість обчислень кожного стану, підставляючи в (14), підсумовуючи результати кожного обчислення, приймаючи справжнє значення за одиницю, а хибне – за нуль, а потім ділячи результат на довжину множини, отримаємо значення ймовірності заблокованої відмови, обчислене методом Монте-Карло. При виконанні обчислень над (14) та вихідними даними з таблиці 1 воно дорівнюватиме $P_2 \approx 0,885$. А при підстановці (10) результатом обчислення буде $P_2 = 0,882$.

Схожість результату формули (10) до результату прийнятої за вірну (14) доводить вірність (10). Наведена вище методика дозволяє поліпшити якість роботи системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів, забезпечуючи більш точний облік безвідмовності, розширення списку аналізованих параметрів надійності і повніше використання технічних засобів контролю параметрів технічного стану.

Висновки

1. Запропонована методика декомпозиції безвідмовності

Список використаних джерел

1. 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>.

2. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hryniv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O.

зернозбиральних комбайнів на функціональні послідовності з урахуванням важливості дозволяє оцінити ймовірність перебування системи у різних станах та підвищити ймовірність безвідмовної роботи найважливішої для мети функції.

2. Алгоритм обліку системою небезпек дозволяє при побудові системи цілеспрямовано знижувати ймовірність небезпечної відмови зернозбиральних комбайнів. Механізм включення системою на етапі розробки блокувальних модулів для формування структури безвідмовності зернозбиральних комбайнів дозволяє забезпечити зменшення небезпечних впливів та підвищення надійності модулів системи.

3. Алгоритм включення при формуванні системи блокуючих модулів дозволяє забезпечити зменшення небезпечних впливів та підвищення надійності модулів системи. Таким чином, запропоновані модифікації дозволяють не тільки підвищити безвідмовність системи безвідмовності зернозбиральних комбайнів, а й забезпечити безпеку відмов та обмеженість їх наслідків.

& 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>.

3. Prytz, R., Nowaczyk, S., Rögnvaldsson, T. & Bytner, S. (2015). Predicting the need for vehicle compressor repairs using maintenance records and logged

Роговський І. Л., Нічай І. М.

vehicle data. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 41, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.02.009>.

4. 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](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).f1).

5. 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>.

6. 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>.

7. 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>.

8. Rogovskii, I.L. (2021). 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. Rogovskii, I. L. (2021a). 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>.

12. 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>.

13. 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>.

14. 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>

15. 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>

16. Rogovskii, I.L. (2021c). 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>

17. 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>.

18. Dirnbach, I., Kubjatko, T., Kolla, E., Ondruš, J. & Šarić, Ž. (2020). Methodology Designed to Evaluate Accidents at Intersection Crossings with Respect to Forensic Purposes

Роговський І. Л., Ничай І. М.

and Transport Sustainability. Sustainability, 12 (5), 1972. <https://doi.org/10.3390/su12051972>.

19. 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>.

20. 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>.

21. 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>.

22. 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>.

23. 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>.

24. 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>.

25. 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>.

References

1. 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>.

2. 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>.

3. Prytz, R., Nowaczyk, S., Rögnavaldsson, 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>.

4. 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](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).f1).

5. 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>.

6. 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>.

7. 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>.

8. Rogovskii, I.L. (2021). 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. Rogovskii, I. L. (2021a). 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>.

12. Nazarenko, I., Bernyk, I., Dedov, O., Rogovskii, I., Ruchynskiy, 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>.

13. 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>.

14. 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>

15. 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>

16. Rogovskii, I.L. (2021c). 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>

17. 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>.

18. 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>.

19. 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>.

20. 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>.

21. 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>.

22. 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>.

23. 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>.

24. 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>.

25. Abu Dabous, S., Ibrahim, F., Feroz, S. & Alsayouf, 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>.

DECOMPOSITION OF FAILURE STATES OF GRAIN HARVESTING COMBINERS

I. L. Rogovskii, I. M. Nichay

Abstract. *The article discloses methodological approaches to the formation of the validity of the application of the simulation model of the decomposition of failure-free states of combine harvesters. The authors reproduce the functional decomposition of the reliability of grain harvesters obtained through the analysis of system functions. The authors reveal analytical approaches to the question of what the system does, regardless of how it works. As a basis, the authors formed a division into functional subsystems in the community of functions performed by groups of elements. When conducting the experiment, a set of random events that occur with the module under consideration is first generated - the event of failure of the blocked module, the event of activation of the blocking of the module and the event of the transmission of the module. Then, by assigning the corresponding probabilities, states are defined and logical dependencies between them are found. The experiment consisted in the sequential generation of events and obtaining the final states of the functional module. This experiment was repeated several times, then it was calculated, in several cases the functional module of the grain harvester was in good condition. The ratio of the number of experiment results in which the functional module was found to be working to all results shows the possibility of the functioning of the functional module. By performing a certain number of calculations of each state, summing the results of each calculation, taking the true value as one and the false value as zero, and then dividing the result by the length of the set, we obtain the value of the probability of blocked failure calculated by the Monte Carlo method. When performing the calculations and with the original data, it was equal to 0.885. The similarity of the result to the result accepted as true proves the truth. The method given in the article allows to improve the quality of work of the fail-safe system of grain harvesters, providing more accurate failure-free accounting, expanding the list of analyzed reliability parameters and making fuller use of technical means of monitoring technical condition parameters.*

Key words: reliability, decomposition, simulation, model, harvesting combine