

Разгонов С. А., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Автомобільний транспорт»
Приазовського державного технічного університету
ORCID: 0000-0002-1244-2047

Черніков Д. О., аспірант кафедри «Підприємництво та торгівля»
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0009-0005-0349-9745

Горуля М. М., аспірант кафедри «Підприємництво та торгівля»
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0009-0009-8747-8093

ПРО МОДЕЛЬ БЕЗПЕКИ ДВОКАНАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗ ПЕРЕЗАПУСКУ КАНАЛІВ

Технічні пристрої на транспорті у більшості своїй охоплені вбудованим контролем. У статті розглянуто питання функціональної безпеки двоканальних транспортних пристроїв роботизованих бортових систем. Сучасним дослідженням безпеки та надійності двоканальних контрольованих пристроїв не приділено достатньої уваги. Так, у існуючих нормативних документах щодо надійності, комплексний показник надійності (коефіцієнт готовності пристрою) визначається у вигляді відношення середнього напрацювання на відмову до суми середнього напрацювання на відмову та середнього часу відновлення. Значення коефіцієнта готовності, визначене для умов роботи двоканальних пристроїв, коли середній параметр потоку відмов і середня тривалість відновлення залишаються сталими. Таке трактування передбачає, будь-який відмова пристрою виявляється і потім відразу відновлюється, тобто вбудовані засоби контролю ідеальні. У реальних умовах складно створити засоби контролю, що забезпечують повну гарантію виявлення відмови. В даній статті розглянуто підхід що формалізує прикладні проблеми функціональної безпеки та дає змогу знайти оптимальні рішення прикладних задач. Дослідженням безпеки та надійності двоканальних контрольованих пристроїв займалися багато вчнення минулих часів та сучасності. Отримано формульні вирази стаціонарних імовірнісних для відновлюються двоканальних пристроїв із вбудованим апаратним контролем. Ці формульні вирази дозволяють враховувати реальні характеристики ефективності та надійності засобів контролю, що підвищують достовірність одержуваних результатів аналізу систем. Відомо, що надійність транспортного пристрою полягає у властивості зберігати працездатність на протязі заданого часу із збереженням заданих експлуатаційних характеристик за відповідних технічних умов експлуатації. Ця властивість безпосередньо пов'язана з економічними експлуатаційними параметрами. В кінцевому підсумку, економічні параметри, в сучасних умовах, відіграють вирішальну роль як у виробництві цього пристрою, так і в бізнес-процесах експлуатації. Коротко розглянуте часові показники безпеки та надійності двоканального контрольованого транспортного пристрою роботизованих бортових систем. Визначене показники тривалості часу між відмовами та окремо між прихованими відмовами, а також часу відновлення та часу простою пристрою.

Ключові слова: модель, відмова, автоматичне керування, роботизовані бортові транспортні системи, функціональна безпека, двоканальні контрольовані пристрої.

Razghonov S. A., Chernikov D. O., Horulia M. M. About the security model of dual-channel devices without channel restart

The majority of technical devices in transport have their own heating control. The article examines the power supply for the functional safety of dual-channel transport devices of robotic on-board systems. Current research into the safety and reliability of dual-channel monitoring devices has not been given sufficient respect. Thus, in other regulatory documents, for reliability, a comprehensive indicator of reliability (readiness coefficient of the device) is indicated by the appearance of average focus on vidmova to the sum of average focus on At the end of the day, at the middle hour of renewal. The values of the availability coefficient are determined for the purposes of operation of dual-channel devices if the average parameter for the flow of outputs and the average cost of renewal are deprived of steel. Such an interpretation conveys that any kind of device is revealed and then immediately updated, so that the control methods are ideal. It is difficult for real minds to create control mechanisms to provide a further guarantee of the identification of your identity. This article examines an approach that formalizes applied problems of functional security and allows one to find optimal solutions to applied problems. The safety and reliability of dual-channel control devices have been studied for many years now. The formulaic expressions of stationary and international networks have been removed for updating dual-channel devices with the required hardware control. These formulas allow us to establish real



characteristics of the effectiveness and reliability of control methods, which promotes the reliability of the results of system analysis. It is clear that the reliability of the transport device lies in the power to preserve efficiency at a given time by preserving the performance characteristics of the relevant technical minds of the operation. This power is closely related to economical operating parameters. In the end pouch, economical parameters, in current minds, play a vital role in both the manufacturing system and business processes of operation. Take a brief look at the hourly demonstrations of the safety and reliability of the dual-channel controlled transport device of robotic on-board systems. What is important is the display of triviality between the vids and around the visiting vids, as well as the time of renewal and the time of the simple structure.

Key words: model, failure, automatic handling, robotic on-board transport systems, functional safety, dual-channel control devices.

Постановка завдання. У цій статті досліджуватиметься двоканальний пристрій. Воно містить два ідентичні та незалежні канали, а також засоби діагностики, які з прийнятною для забезпечення безпеки частотою перевіряють стан працездатності кожного каналу та порівнюють їх вихідні результати. Відмови каналів несиметричні. При справних засобах діагностики виявляється факт відмови в роботі будь-якого каналу, після чого здійснюється переведення пристрою в стан захисної відмови. У разі відмови засоби діагностики виникає безпечна відмова пристрою. Наступна за цією подією відмова каналу призводить до небезпечної відмови пристрою.

Модель безпеки. Граф станів безпеки двоканального пристрою із засобами діагностики без перезапуску (варіант 1) показано на рис. 1.

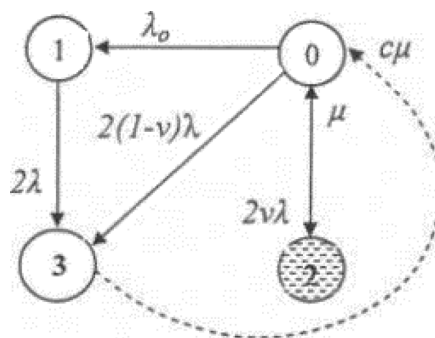


Рис. 1. Граф станів безпеки двоканального пристрою без перезапуску каналів

Опис станів:

0 – справний стан;

1 – відмова засобів діагностики;

2 – захисна відмова пристрою, викликана виявленим штатними засобами діагностики з ймовірністю відмовою одного з каналів;

3 – невиявлена відмова одного з каналів, внаслідок відмови або недостатньої ефективності засобів діагностики (небезпечна відмова пристрою).

Передбачається, що потоки відмов та відновлення, а також потік виявлення відмов одного каналу – найпростіші з інтенсивностями λ , λ_0 , μ . Відновлення здійснюється у стані захисної відмови 2.

Ребра графа на рис. 1 позначені такими параметрами: λ_0 – інтенсивність відмов засобів діагностики; 2λ – інтенсивність відмов двох працюючих каналів; μ – інтенсивність відновлення відмов однією ремонтною бригадою.

З поглинаючого стану 3 небезпечної відмови показаний умовною (переривчастою) лінією перехід у початковий стан 0. Це умовне ребро (3-0) графа введено як надлишкове ребро як прийом для визначення коефіцієнта безпеки двоканального пристрою.

Дане ребро позначено параметром $c\mu$ – інтенсивність усунення небезпечної відмови пристрою, де коефіцієнт $0 < c \leq 1$. Якщо для усунення небезпечної відмови не потрібно допрацьовувати пристрій, то $c = 1$ і інтенсивність усунення небезпечної відмови дорівнює інтенсивності відновлення пристрою. Якщо потрібно допрацьовувати пристрій, то залежно від тривалості допрацювання τ даний коефіцієнт матиме значення $c = 1/\tau$, яке набагато менше 1.

Модель функціональної безпеки двоканального пристрою на рис. 1 передбачає наступну логіку функціонування пристрою: початковий стан 0 (всі справні елементи пристрою). У разі відмови засобів діагностики відбувається перехід у стан 1. Якщо при справних засобах діагностики відмовив один будь-який канал (стан 2), і відмова каналу своєчасно виявлено з ймовірністю ν , то пристрій переводиться в стан захисної відмови (пристрій не функціонує, канал ремонтується). При прихованій відмові каналу з ймовірністю $1 - \nu$ або при відмові одного каналу після відмови засобів діагностики (шлях 0-1-3) відбувається перехід та стан 3 небезпечної відмови.

Рішення даної моделі полягатиме в аналітичному визначенні та дослідженні основних показників безпеки двоканального пристрою: середнього доробку до небезпечної відмови, інтенсивності небезпечних відмов, ймовірності небезпечної відмови, коефіцієнта безпеки.

Для вирішення поставленої задачі використовується введений графовий метод та попередньо визначаються вихідні параметри – ймовірність переходів та математичні очікування безумовного часу перебування пристрою у перерахованих станах. Цих вихідних параметрів достатньо для найпростіших потоків відмов та відновлень, щоб розрахувати та дослідити шукані показники безпеки.

Ймовірності переходів:

$$p_{01} = \frac{\lambda_0}{2\lambda + \lambda_0}; \quad p_{02} = \frac{2\nu\lambda}{2\lambda + \lambda_0}; \quad p_{03} = \frac{2(1-\nu)\lambda}{2\lambda + \lambda_0}; \quad p_{20} = 1; \quad p_{13} = 1; \quad p_{30} = 1 \text{ (умовно)}.$$

Математичні очікування часу перебування пристрою у станах:

$$T_0 = \frac{1}{2\lambda + \lambda_0}; \quad T_1 = \frac{1}{2\lambda}; \quad T_2 = \frac{1}{\mu}; \quad T_3 = \frac{1}{\text{сш}} \text{ (умовно)}.$$

Після цього визначають ваги шляхів та контурів на графі:

– ваги шляхів:

$$l_{01} = p_{01}; \quad l_{02} = p_{02}; \quad l_{03} = p_{01}p_{13} + p_{03} = p_{01} + p_{03}; \quad l_{13} = 1; \quad l_{20} = 1; \quad l_{30} = 1;$$

– ваги контурів у підмножині безпечних станів $S_\mu = \{0, 1, 2\}$:

$$C_0 = p_{02}p_{20} = p_{02}.$$

У підмножині безпечних станів *середнє напрацювання до небезпечної відмови* пристрою визначається виразом:

$$T_{оп} = \frac{T_0 + l_{01}T_1 + l_{02}T_2}{1 - C_0} = \frac{T_0 + p_{01}T_1 + p_{02}T_2}{1 - p_{02}} = \frac{\frac{1}{1\lambda + \lambda_0} + \frac{\lambda_0}{(2\lambda + \lambda_0)2\lambda} + \frac{2\nu\lambda}{(2\lambda + \lambda_0)\mu}}{1 - \frac{2\nu\lambda}{2\lambda + \lambda_0}} = \frac{2\lambda(\mu + 2\nu\lambda) + \lambda_0\mu}{2\lambda\mu[2\lambda(1-\nu) + \lambda_0]}.$$

Якщо врахувати, що $\lambda \leq \mu$; $\lambda_0 \leq \lambda$, то з похибкою менше першого порядку децимі справедливо наближений вираз.

$$T_{оп} \approx \frac{1}{2\lambda\bar{\nu} + \lambda_0}, \quad (1)$$

де $\bar{\nu} = 1 - \nu$.

З формули (1) можна зробити висновок, що безпека двоканального пристрою з засобами діагностики без компаратора в основному назад пропорційна потрійної інтенсивності відмов засобів діагностування, оскільки $\lambda\bar{\nu} \approx \lambda_0$.

Так як потік небезпечних відмов багаторазово розріджений щодо вихідного потоку безпечних відмов пристрою, який є пуассонівським (найпростішим), то відповідно до відомої теореми І. Б. Погожева [2], багаторазово розріджений найпростіший потік відмов також є найпростішим потоком з постійним параметром:

$$\lambda_{оп} = \frac{1}{T_{оп}} \approx 2\lambda\bar{\nu} + \lambda_0, \quad (2)$$

який є інтенсивністю небезпечних відмов пристрою.

У свою чергу, ймовірність небезпечної відмови досліджуваного пристрою дорівнює:

$$Q_{оп} = 1 - \exp(-\lambda_{оп}t) \approx (2\lambda\bar{\nu} + \lambda_0)t.$$

Коефіцієнт безпеки пристрою визначається у множині безпечних станів $S_\mu = \{0, 1, 2\}$ наступним чином:

$$K_B = \frac{T_0\Delta G_0 + T_1 \sum I_{01}^k \Delta G_k^1 + T_2 \sum I_{02}^k \Delta G_k^{02}}{T_0\Delta G_0 + T_1 \sum I_{01}^k \Delta G_k^1 + T_2 \sum I_{02}^k \Delta G_k^{02} + T_1 \sum I_{01}^k \Delta G_{01}^k + T_3 \sum I_{03}^k \Delta G_k^{03}}.$$

Оскільки контур з вагою C_0 на графі рис. 1 містить вершину 0, то він не бере участі у формуванні наведених вище ваг розкладів графа у формулі коефіцієнта K_B і ці ваги відповідно дорівнюють $\Delta G_0 = \Delta G_k^{01} = \Delta G_k^{02} = \Delta G_k^{03} = 1$. Звідси наведена вище формула перетворюється на простий вид:

$$K_B = 1 - \frac{T_3 I_{03}}{T_0 + T_1 I_{01} + T_2 I_{02} + T_3 I_{03}}$$

Після встановлення вихідних параметрів формула коефіцієнта безпеки визначається як:

$$K_B = 1 - \frac{2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1-\nu)]}{c\mu(2\lambda + \lambda_0) + 2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1+c\nu-\nu)]}$$

Або, з похибкою менше першого порядку невеликості, може бути визначений як:

$$K_B \approx 1 - \frac{2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1-\nu)]}{c\mu(2\lambda + \lambda_0)}$$

При $c = 1$ коефіцієнт безпеки двоканального безпечного пристрою дорівнює:

$$K_B \approx 1 - \frac{2\lambda}{\mu} + \frac{2\lambda_0}{\mu(2\lambda + \lambda_0)} \quad (3)$$

Використовуючи відомий графо-аналітичний метод, оцінимо показники середнього напрацювання до відмови та коефіцієнта готовності та порівняємо їх відповідно показниками середнього напрацювання до небезпечної відмови та коефіцієнтом безпеки.

Для розрахунку та дослідження показників надійності досліджуваного пристрою (випадок 1) усі безліч станів графа на рис. 1 ділять на підмножину працездатних станів $S_p = \{0, 1\}$ та непрацездатних станів $S_r = \{2, 3\}$, оскільки захисний стан 2 також непрацездатний.

У підграфі, що містить стан 0,1, відсутні замкнуті контури. Тому всі ваги розкладів графа дорівнюють 1, а показник середнього напрацювання до відмови пристрою визначається у вигляді:

$$T = T_0 + I_{01}T_1 = \frac{1}{2\lambda + \lambda_0} + \frac{\lambda_0}{(2\lambda + \lambda_0)} \frac{1}{2\lambda} = \frac{1}{2\lambda}$$

Таким чином, організація двоканального безпечного пристрою призводить до зниження його надійності за показником середнього напрацювання в два рази по відношенню до вихідного одноканального пристрою. Коефіцієнт готовності у сфері працездатних станів дорівнює:

$$K_z = 1 - \frac{2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1-\nu)] + 4\lambda\nu c}{c\mu(2\lambda + \lambda_0) + 2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1+c\nu-\nu)]}$$

Або, з похибкою менш ніж другий порядок малості:

$$K_z \approx 1 - \frac{2\lambda[\lambda_0 + 2\lambda(1+c\nu-\nu)]}{c\mu(2\lambda + \lambda_0)}$$

При $c = 1$ коефіцієнт готовності безпечного двоканального пристрою визначається виразом:

$$K_z \approx 1 - \frac{2\lambda}{\mu} \quad (4)$$

Висновки. Порівняння формул (3) і (4) показує, що коефіцієнт готовності даного пристрою суттєво поступається коефіцієнту його безпеки. Виграш у безпеці тим вищий, що вища вірогідність правильного виявлення ν відмови штатними засобами діагностики.

Список використаних джерел:

1. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94 – [Чинний від 1 січня 1996] – К. : Держспоживстандарт України, 1994. 75 с. (Національні стандарти України).
2. Шубинський І. Б., Пивень Е. М. Розрахунок надійності ЄОМ. – Київ : Техніка, 1979. 232с.
3. Вентцель Е. С. Теорія випадкових процесів та її інженерне застосування. / Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. – М. : Наука. 1991. 384 с. ISBN 5-02-014125-9
4. Разгонов С. А., Леснікова І. Ю., Огліх В. В., Шаповалов О. В. Про модель функціональної безпеки керованих одноканальних транспортних пристроїв./ (2025) *Системи та технології*, 69(1), 237–244. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2025-1-69.28>

References:

1. Reliability of technology. Terms and definitions: DSTU 2860-94 (1996) K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
2. Shubinsky I. B., Pyven E. M. Calculation of computer reliability. – Kyiv : Tekhnika, 1979. – 232p.
3. Ventshel, E. S., Ovcharov, L. A. (1991). Theory of random processes and its engineering application. M. : Navuka. ISBN 5-02-014125-9
4. Razghonov, S. A., Lesnikova, I. Yu., Oglikh, V. V., Shapovalov, O. V. (2025). On the functional safety model of controlled single-channel transport devices. *Systems and Technologies*, 69(1), 237–244. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2025-1-69.28>

Дата першого надходження статті до видання: 20.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026