

УДК 629.34.036 (043.3)

В.А. Сівак

*Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький*

## **ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ІНФОРМАТИВНОСТІ БОРТОВИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*В статті проведено визначення та розкрито сутність підвищення необхідної інформативності бортових засобів транспортних засобів підрозділів та органів охорони державного кордону шляхом впровадження нових інформаційних технологій. Розв'язання даного питання пропонується із використанням математичного апарата прикладної теорії інформації при вирішенні завдань технічного діагностування гальмівного механізму, який відповідає за безпеку руху транспортного засобу. Дане дослідження застосовується для вирішення проблематики підвищення безпеки експлуатації транспортних засобів органів охорони державного кордону.*

**Ключові слова:** бортові засоби діагностування, нові інформаційні технології, транспортні засоби.

### **Вступ**

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Розвиток України як суверенної держави вимагає здійснення захисту її національних інтересів. Одним із суб'єктів забезпечення національної безпеки є Державна прикордонна служба України (ДПСУ), яка забезпечує охорону та захист кордонів держави. Виконання функцій охорони державних кордонів тісно пов'язано з технічним забезпеченням виконання специфічних завдань, які покладено на підрозділи та органи охорони державного кордону (ООДК) [1].

В процесі виконання різноманітних оперативно-службових завдань (ОСЗ) підрозділами та органами ДПСУ залучається достатня кількість штатних сучасних транспортних засобів (ТЗ), наявність яких забезпечує оперативність та мобільність охорони державного кордону. Поряд з цим, в процесі управління технічним станом ТЗ та їх безпечною експлуатацією досить актуальною постає проблематика впровадження нових інформаційних технологій у дослідження шляхів вирішення проблеми підтримання безпечної експлуатації ТЗ підрозділами та ООДК [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор.** Досвід із дослідження питань використання нових інформаційних технологій в галузі експлуатації ТЗ, в тому числі проблематики експлуатаційної безпеки, здійснювалось в наукових працях таких вчених, як Гордієнко Є.К., Васільєв В.І. та інші [3, 4]. Однак існує необхідність проаналізувати можливість використання та адаптації результатів даних досліджень в площині специфіки вирішення проблеми безпеки експлуатації ТЗ в умовах виконання оперативно-службових завдань підрозділами та ООДК.

**Метою даної статті** є розгляд та визначення достатньої, в контексті безпечної експлуатації, інформативності бортових засобів діагностування транспортних засобів прикордонних підрозділів та ООДК, за допомогою впровадження нових інформаційних технологій.

### **Основна частина**

В рамках теоретичного аспекту розробленої та запропонованої автором Концепції забезпечення безпечної експлуатації ТЗ підрозділів та органів ДПСУ в умовах охорони державного кордону, сутність якої викладена у матеріалах [5], підвищення необхідної інформативності бортових засобів діагностування ТЗ пропонується здійснювати шляхом впровадження нових інформаційних технологій та синтезу оптимального комплексу параметрів та структур нейромережевого компоненту.

Одним з найбільш важливих питань при розробці методів і засобів технічного діагностування є визначення їх інформаційних властивостей і можливостей. Особливо це актуально в умовах відсутності стаціонарних авторемонтних підприємств (баз), при постійному виконання оперативно-службових, а нерідко і службово-бойових завдань з охорони державного кордону автономно, що є досить екстремальними за своєю суттю та змістом.

Як свідчать результати наукових досліджень, що наведені у матеріалах [6, 7] – використання малоінформативних приладів на практиці виявляється мало ефективним, у той же час зайва інформативність створює інформаційний шум, перешкоди, завантажує непотрібною інформацією водія та викликає збільшення вартості обладнання. Розв'язання даного питання можливе з використанням математичного апарата прикладної теорії інформації, який показав свою практичну цінність при розв'язку аналогічних завдань в авіації, на морському й річковому транспорті, у бу-

дівельних та дорожніх машинах, тощо. Залучення методів теорії інформації при розв'язанні завдань діагностування, а особливо завдань керування режимами руху (зокрема, вибором безпечної швидкості) ТЗ викликане об'єктивними вимогами до надійності, ефективності й безпеки транспортного процесу, що відбувається в рамках системи «Водій-Дорога-Середовище».

Використовуючи елементарні поняття теорії множин у структурі системи «Автомобіль-Водій-Дорога», можна виділити механічну підсистему «Автомобіль-Дорога», біомеханічні підсистеми «Водій-Автомобіль» і «Водій-Дорога». Сам водій, безумовно, є складною біологічною й соціально-психологічною системою.

Цінність інформаційних проявів полягає в тому, що завдяки їхній спільності та відносній абстрактності суттєво різномірні фізичні й технічні компоненти, а також характеристики системи, виявляється можливим виразити через деякі універсальні поняття такі, як ентропія, кількість інформації, пропускна здатність, тощо, а також виразити їх незалежно від фізичної сутності конкретних компонентів системи, причому не тільки виразити, але й зіставити, і не тільки якісно, але й кількісно.

Слід зазначити, що система «Автомобіль-Водій-Дорога» (АВД) ставиться до класу просторово-розподільних систем, характеристики яких (ефективність, продуктивність, безпека) перебувають у функціональній залежності від кількісних характеристик інформаційного обміну між її структурними складовими. При цьому кількісною характеристикою інформаційного блоку є величина інформаційного (ентропійного) потоку.

При розв'язанні класу завдань, які пов'язані з керуванням об'єктом у складній системі, теорія інформації значною мірою опирається на закон необхідного різноманіття, який був уперше сформульований У.Р. Ешбі.

У відповідності із цим законом різноманіття можливих збурень у системі повинне компенсуватися таким же різноманіттям керуючого впливу.

Стан процесу  $x(t)$  визначається, збуреними  $z = z(t)$  і керуючими  $u = u(t)$  впливами, причому  $z$  і  $u$  приймають значення з множини  $Z$  і  $U$  відповідно.

Збурені впливи, можуть викликатися як зміною зовнішніх умов, так і впливами усередині системи. Мірою кількісної оцінки різноманіття збурених впливів є їхня ентропія  $H(z)$ .

Мірою кількісної оцінки різноманіття керуючих впливів є величина, зворотна ентропії, що характеризується кількістю інформації, яка внесена керуючим елементом  $I(u)$ .

Для повної компенсації збурень (тобто у випадку ідеального керування) необхідне виконання наступної умови:

$$H(z) = I(u). \quad (1)$$

У реальних системах внаслідок втрати інформації на етапах її перетворення завжди виникає неузгодженість між множиною  $Z$  і  $U$ . Тому реальний процес функціонування системи завжди характеризується деяким заходом неупорядкованості відносно досягнення поставленої мети керування, яка характеризується функцією цільової ентропії  $H(x)$ :

$$H(z) - I(u) = H(x). \quad (2)$$

Розглянемо з даних позицій питання визначення необхідних інформативних можливостей проектованої діагностичної та інформаційної системи, вбудованої в ТЗ і призначеної для визначення рекомендацій водієві, щодо безпечного швидкісного режиму з урахуванням технічного стану гальм. При цьому необхідно відзначити, що хоча ймовірність проведення екстреного гальмування набагато менше, чим службового, саме цей режим гальмування висуває особливі вимоги до функціонування системи АВД. Тому надалі всі викладення будуть відноситись до режиму екстреного гальмування, як елементу безпеки ТЗ. Виходячи з аналізу особливостей функціонування структурних складових у рамках системи АВД, можна зробити допущення про ієрархічну адитивності ентропійних (інформаційних) процесів.

На підставі цього, множина збурюючих впливів у системі може бути представлена наступним виразом:

$$H_{ЗБ} = H_{СР} + H_{Д} + H_{ТС}, \quad (3)$$

де  $H_{СР}$  – ентропія збурень від середовища руху;  $H_{Д}$  – ентропія збурень від дорожнього покриття;  $H_{ТС}$  – ентропія збурень від відхилень технічного стану систем, які відповідають за безпеку руху від норми.

Ентропія  $H_{ЗБ}$  характеризує різноманіття збурюючих впливів середовища руху на підсистему АВД може бути визначена за експериментальним даними через різноманіття ситуацій, наприклад тих, які викликають необхідність застосування екстрених гальмувань:

$$H_{СД} = \sum_{i=1}^R \left( \frac{P_{ЕТ}}{V_i} \right) \log_2 \left( \frac{P_{ЕТ}}{V_i} \right), \quad (4)$$

де  $P_{ЕТ}/V_i$  – умовна ймовірність екстреного гальмування при швидкості  $V_i$ ;  $R$  – кількість інтервалів квантування швидкості автомобіля при підборі закону розподілу (визначається за формулою Стеджерса).

Ентропія  $H_{Д}$  характеризує різноманіття збурюючих впливів, що обурюють, дорожнього покриття на процес екстреного гальмування через розподіл коефіцієнтів зчеплення з поверхнею дороги.

Проведені дослідження розподілу коефіцієнтів зчеплення дорожнього покриття показують, що його можна розглядати як однорідне, нормальне двомірне стаціонарне випадкове поле, якщо не є яскраво виражених аномалій, наприклад, вибоїн, великих калюж, тощо.

Статистичні характеристики цього поля для випадку нормального стаціонарного процесу руху ТЗ

повністю визначаються його автокореляційною функцією або спектральною щільністю. У найбільш загальному виді спектральна щільність коефіцієнта зчеплення дороги може бути задана наступним виразом:

$$S(v) = \frac{K_0 (v^2 + v_1^2)(v^2 + v_2^2) \dots (v^2 + v_{2n}^2)}{v^2 (v^2 + v_2^2)(v^2 + v_4^2) \dots (v^2 + v_{2n}^2)}, \quad (5)$$

де  $v$  – частота;  $K_0, v_i$  – константи, що визначають рівень і вид спектральної щільності.

Практично при визначенні спектральної щільності характеристик автомобільних доріг буває досить мати тільки два члени розкладання.

На підставі вище зазначеного випливає, що величину ентропії НД можна визначити як ентропію випадкового Гаусівського процесу у безперервному часі.

При цьому найбільше зручно обчислювати ентропію в питомому вирахованні, тобто відносити її до одиниці швидкості ТЗ. Для цього випадку класична теорія інформації пропонує наступну залежність:

$$H_{Ді} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty G(S(v/v_i)/S(\infty)) dv, \quad (6)$$

де  $V$  – швидкість автомобіля;  $G(S(v/v_i)/S(\infty)) = (S(v/v_i)/S(\infty) - 1 - \ln(S(v/v_i)/S(\infty)))/2$ ;  $H_{Ді}$  – питома ентропія дороги на  $i$ -му швидкісному режимі автомобіля.

Ентропія НТС відбиває різноманіття збурюючі впливів відхилення технічного стану гальмової системи автомобіля від норми на процес гальмування. Теоретично її величина може бути визначена виходячи з ймовірностей фактів спільної появи відхилення параметрів, що характеризують процес гальмування з даної початкової швидкості й наявності конкретної несправності. Однак гальмова система як система, що забезпечує безпеку руху, накладає певні обмеження на проведення в повному обсязі активного експерименту для визначення вихідних даних для розрахунків шуканої ентропії. Тому найбільше доцільно визначати її на основі аналізу повного інформаційного ланцюга системи.

Безліч керуючих впливів у системі, покликаних компенсувати наявність збурень, формується водієм і визначається:

$$I_{кер} = I_v + I_{\Pi}, \quad (7)$$

де  $I_v$  – кількість інформації, внесеної водієм у систему АВД за допомогою керування швидкісним режимом ТЗ;  $I_{\Pi}$  – кількість інформації, внесеної водієм у систему АВД за допомогою вибору темпу натискання на гальмову педаль у процесі екстреного гальмування.

Кількість інформації  $I_v$  може бути визначена через характеристики статистичного розподілу швидкісного режиму ТЗ в даних дорожніх умовах:

$$I_v = \frac{\sigma_v}{\Delta V} \rho, \quad (7)$$

де  $\sigma_v$  – середньоквадратичне відхилення швидкісного режиму;  $\Delta V$  – інтервал квантування швидкості при доборі закону розподілу;  $\rho$  – коефіцієнт інформативності, для нормального закону розподілу  $\rho = \sqrt{2\pi e}$ .

Таке трактування керуючої інформації  $I_v$  виправдовується тим, що на практиці при екстрених гальмуваннях розподіл швидкісного режиму досить вірогідно характеризує розподіл початкових швидкостей екстреного гальмування. Кількість інформації  $I_{\Pi}$  може бути визначене через статичні характеристики розподілу темпу натискання на педаль гальма при екстреному гальмуванні по формулі, аналогічній (6).

Мірою неупорядкованості системи АВД у процесі екстреного гальмування є ентропія  $H_{НЕКОМП}$ , яка відбиває некомпенсовану безліч збурюючі впливів і може бути визначена через ймовірну характеристику спільної появи подій з відхилення параметрів ефективності процесу гальмування за даною початковою швидкістю:

$$H_{НЕКОМП} = \sum_{i=1}^R P(ПЕ/TV_i) \log_2 P(ПЕ/TV_i), \quad (8)$$

де  $P(ПЕ/TV_i)$  – імовірність події, що полягає у втраті гальмової ефективності при екстреному гальмуванні ( $T$ ) з початковою швидкістю  $V_i$ .

На підставі вище викладеного можна записати аналітичний вираз, що відображає застосування закону необхідної різноманітності для даного випадку:

$$H_{СД} + H_{Д} + H_{ТС} - I_v - I_{\Pi} = H_{НЕКОМП}.$$

Щоб підвищити ефективність керування процесом екстреного гальмування, необхідно максимально знизити величину  $H_{НЕКОМП}$ .

Аналіз рівняння (8) дозволяє намітити шляхи її зниження та кількісно оцінити можливості кожної структурної складової системи АВД у цьому напрямку. Так, безперервне збільшення керуючої інформації (яка в цьому випадку формується водієм) виявляється недоцільним, тому що верхня її межа обмежена інформаційною пропускну здатністю водія по його сенсорному ходу й моторному виходу. З іншого боку, обмеженням за кількістю керуючої інформації є показники ефективності процесу перевезення, які різко знижуються при зменшенні швидкості ТЗ. Значні можливості у зниженні рівня  $H_{НЕКОМП}$  мають зменшення  $H_{СД}$  та  $H_{Д}$ , що фізично можливо, наприклад при оптимізації організації дорожнього руху, а також поліпшенні якості дорожнього покриття, проте виходить за рамки даного дослідження.

У рамках даного дослідження основна увага приділена на зниження  $H_{НЕКОМП}$  за рахунок зменшення, збурюючої дії відхилення технічного стану гальмової системи від норми на процес екстреного гальмування, тобто за рахунок зменшення до мінімуму  $H_{ТС}$  шляхом застосування вбудованого діагностування.

Кількісно  $H_{TC}$  може бути визначено з рівняння (8). Проте загальна кількість ентропії складається із двох складових частин:

$$H_{TC} = H_{BO} + H_{PO}, \quad (9)$$

де  $H_{BO}$  – ентропія, що обумовлена наявністю раптових відмов;  $H_{PO}$  – ентропія, обумовлена поступовими відмовами.

Разом з тим, якщо система бортового діагностування спрямована на виявлення тільки поступових відмов, то справедливо наступне співвідношення:

$$H_{ВБУД} = H_{PO} = H_{TC} - H_{BO}, \quad (10)$$

де  $H_{ВБУД}$  – ентропія, яку повинні компенсувати вбудовані засоби діагностування гальм.

Отже, кількість інформації, яка повинні виробляти вбудовані засоби діагностування гальм, дорівнює:

$$I_{ВБУД} = - H_{ВБУД} \quad (11)$$

Ця інформація, надходячи на сенсорний вхід водія, дозволяє йому найбільше раціонально вибрати режим руху з урахуванням безпеки, а також прийняти правильний і достовірне рішення про припинення транспортного процесу якщо на це буде потреба, тобто забезпечити достатній рівень безпечної експлуатації ТЗ.

## Висновки

Таким чином, кількісна оцінка необхідної інформативності бортових засобів діагностування ТЗ, особливо в умовах відсутності стаціонарних діагностичних пунктів, дозволить також вибрати необхідну точність і вірогідність датчиків систем та механізмів ТЗ, а також дискретність шкал контрольно-вимірювальних приладів, що в цілому буде сприяти створенню більш ефективного діагностичного устаткування для забезпечення достатнього рівня безпечної експлуатації ТЗ підрозділів та ООДК.

## Список літератури

1. Закон України «Про Державну прикордонну службу України» (Відомості Верховної Ради, 2003, № 27, ст. 208) (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 965IV (96515) від 19.06.2003, ВВР, 2003, №45, ст.357).
2. Сівак В.А. Дослідження можливостей впровадження нових інформаційних технологій у вирішення проблеми підвищення безпеки експлуатації транспортних засобів ООДК / В.А. Сівак // Збірник наукових праць НАДПСУ, Серія: військові і технічні науки: наукове видання. - Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2015 – №62. – С. 125-137.
3. Гордиенко Е.К. Искусственные нейронные сети. Основные определения и модели / Е.К. Гордиенко, А.А. Лукьяница // Техническая кибернетика. – 1994. – №5. – С. 79-92.
4. Васильев В.И. Приложение теории информации к анализу транспортного процесса [Текст] / В.И. Васильев, А.В. Шарытов, А.В. Глазырин // Пути дальнейшего совершенствования организации перевозок пассажиров в сельской местности и пригородном сообщении: материалы Всесоюз. научно-технической конф. – Курган, 1983. – С. 46-49.
5. Сівак В.А. Концепція безпечної експлуатації транспортних засобів в умовах охорони державного кордону / В.А. Сівак // Збірник наукових праць НАДПСУ, Серія: військові і технічні науки: наукове видання. - Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2015 – №64. – С. 76-82.
6. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 179 с.
7. Гурко А.Г. Перспективы использования нечеткой логики в системах управления движением транспортными средствами [Текст] / А.Г. Гурко // Автомобильный транспорт в XXI веке: материалы международной научно-технич. конференции. – X., 2003. – С. 66-68.

Надійшла до редколегії 17.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.С. Андрощук, Національна академія ДПС України, Хмельницький.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.А. Сивак

В данной статье проведено определение и раскрыта сущность повышения необходимой информативности бортовых средств, транспортных средств подразделений и органов охраны государственной границы путем внедрения новых информационных технологий. Решение данного вопроса предлагается с использованием математического аппарата прикладной теории информации при решении задач технического диагностирования тормозного механизма, который отвечает за безопасность движения транспортного средства. Данное исследование применяется для решения проблематики повышения безопасности эксплуатации транспортных средств, органов охраны государственной границы.

**Ключевые слова:** бортовые средства диагностирования, новые информационные технологии, транспортные средства.

## DETERMINING OF THE REQUIRED INFORMATION CAPACITY OF ON-BOARD EQUIPMENT OF VEHICLE DIAGNOSTICS THROUGH INTRODUCTION OF NEW INFORMATION TECHNOLOGIES

V.A. Sivak

The article defines and reveals the essence of increasing the required information capacity of on-board equipment of vehicles of the state border guard units through introduction of new information technologies. As a solution for this problem the author suggests using of applied mathematical information theory apparatus when solving problems of technical diagnostics of the brake mechanism, which is essential for the vehicle safety. This research is conducted in order to solve the problem of increasing the safe operation of vehicles of state border guard units.

**Keywords:** on-board means of diagnostics, new information technologies, vehicle.