

DOI: 10.18372/2310-5461.60.18271

УДК 519.233.2: 621.391.83 (045)

О. В. Зуєв, канд. техн. наук, доцент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4520-3288
e-mail: 0801zuiev@gmail.com;

М. Ю. Заліський, д-р техн. наук, професор
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-1535-4384
e-mail: maximus2812@ukr.net;

О. О. Соломенцев,
Національний авіаційний університет
orcid.org/0009-0004-8247-3879
e-mail: solomentsev@ukr.net

ПРОЦЕДУРА ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ З ПРОГНОЗУВАННЯМ СТАНУ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Вступ

Аналіз теоретичних результатів [1–5] та практика експлуатації сучасних засобів зв'язку, навігації та спостереження (ЗНС) свідчать про необхідність широкого застосування інформаційних технологій для обробки експлуатаційних даних щодо роботи цих засобів та подальшої модернізації системи експлуатації (СЕ). Засоби контролю сучасних ЗНС дозволяють отримати великий обсяг даних про їх технічний стан (ТС), але алгоритми обробки цих даних застосовуються в достатній мірі. Цей факт призводить до обмеження можливостей оптимізації процесів експлуатації засобів ЗНС. Тобто, інформаційні технології для аналізу власне процесів експлуатації застосовуються недостатньо, що не дозволяє цілеспрямовано та ефективно вдосконалювати СЕ [6].

Побудова СЕ може базуватися на реалізації системного та процесного підходів [7]. Всі процеси повинні здійснюватися у керованих та контрольованих умовах, що передбачає виконання операцій з регулювання параметрів окремих засобів та складових їх СЕ. Ця стратегія дій є адаптивним підходом до управління експлуатаційними процесами.

Для реалізації адаптивної експлуатації доцільно реалізувати наступні заходи:

- розробити основні підходи до вирішення задач класифікації технічного стану засобів ЗНС;
- виявити основні фактори, які бажано врахувати для реалізації процесу класифікації;
- визначити основні функції СЕ засобів ЗНС;
- обґрунтувати основні дії та операції, які необхідно виконати під час експлуатації (контроль, регулювання тощо);

- проаналізувати схеми інформаційної взаємодії окремих складових СЕ у процесі класифікації;
- розглянути можливі варіанти оцінки ефективності від застосування адаптивної експлуатації.

На цей час виникає необхідність застосування адекватних методів обробки статистичних даних і побудов спеціальних адаптивних алгоритмів для прийняття рішень з управління експлуатаційною надійністю конкретних типів обладнання ЗНС. Впровадження сучасних методів експлуатації пов'язана із застосуванням технологій штучного інтелекту, робастних методів оброблення сигналів та даних, зокрема заснованих на використанні непараметричних виявлювачів, що засновані на класичних та послідовних підходах щодо використання обсягу вибіркової сукупності [8].

З погляду теорії дослідження операцій, класифікація, як будь-який інший захід (або система дій), об'єднаний одним задумом і спрямований на досягнення певної мети, є операцією.

Процес класифікації об'єктів складається з сукупності елементарних (неподільних в умовах даного експерименту) операцій, призначених для виконання певних функцій над об'єктом у певній послідовності відповідно до обраного алгоритму класифікації. Ступінь деталізації на елементарні операції (ЕО) визначається метою дослідження.

У запропонованій моделі, класифікація – це послідовність перетворення вектору станів (ВС) у вектор реалізацій (ВР) внаслідок спільної дії сукупності ЕО. Отже, якість виконання класифікації об'єктів визначається якістю виконання кожної з досліджуваної сукупності ЕО. У зв'язку з вище викладеним, запропонована процедура формування рішення при класифікації об'єктів ґрунтуватиметься на математичній моделі ЕО.

Ефективність прийняття рішень у СЕ тим більша, чим більший обсяг апріорної інформації береться до увагу. Можна розрізнити два типи даних, що формують уявлення щодо змісту та обсягу апріорної інформації. Перший тип передбачає знання передісторії протікання процесів, що є об'єктом дослідження. У другому варіанті необхідно знати розвиток процесів у майбутньому. Слід зазначити, що технології оброблення даних під час аналізу трендів зміни параметрів відрізняються. Найбільш складними є процедури прогнозування.

Під час прогнозування доцільно вирішити певний перелік завдань, а саме:

- визначити цілі прогнозування,
- визначити моделі явищ та оброблюваних даних,
- визначити показника ефективності,
- обрати метод прогнозування,
- вирішити задачі синтезу алгоритмів прогнозування,
- вирішити задачі аналізу алгоритмів прогнозування,
- обрати корегувальні дії у разі недостатньої ефективності обраних методів та відповідних алгоритмів,
- безпосереднє виконання прогнозу,
- оцінити достовірність прогнозу.

Аналіз літератури та постановка задачі

Система експлуатації є системою систем. З точки зору системного підходу при її аналізі необхідно описати мету, цілі, функції, вміст, організаційну побудову, взаємозв'язки з оточуючим середовищем тощо [9 – 12].

До складу СЕ входять процеси використання засобів за призначенням, технічного обслуговування, ремонту, діагностування, контролю, моніторингу, класифікації та прогнозування технічного стану, продовження ресурсу, підготовки та підвищення кваліфікації персоналу тощо [13, 14].

Перехід до четвертої промислової революції ознаменувався широким застосування інформаційних технологій оброблення даних для формування та реалізації своєчасних та вірних корегувальних та запобіжних дій [15]. Ця тенденція зокрема стосується всіх процесів експлуатації шляхом використання технологій штучного інтелекту та технологій Інтернету речей [16]. В умовах обмеженої кількості кваліфікованого експлуатаційного персоналу дистанційне керування, діагностування та контроль технічного стану є актуальною науково-технічною задачею.

Ефективність системи експлуатації Ψ визначається сукупністю дій \overrightarrow{Action} . Вектор можливих дій обумовлений технічним станом засобів ЗНС –

вектором \overrightarrow{TC} . Технічний стан обладнання може бути класифікований за трендами змін визначальних параметрів та показників надійності, та може бути двох- та трьох- альтернативним. Технічний стан обладнання визначається процедурами $\overrightarrow{Procedures}$, що залежать від алгоритмів оброблення даних \overrightarrow{Alg} та моделей визначальних параметрів та показників надійності \overrightarrow{Models} . Тоді можна записати

$$\Psi = \overrightarrow{Action}(\overrightarrow{TC} / \overrightarrow{Procedures}(\overrightarrow{Alg}, \overrightarrow{Models})).$$

Отже, головною науковою задачею цього дослідження є визначення залежності показника ефективності СЕ від параметрів та характеристик процесу класифікації та прогнозування технічного стану засобів зв'язку, навігації та спостереження.

Задачі дослідження

Метою цієї статті є отримання аналітичних співвідношень, що описують процес класифікації технічного стану засобів ЗНС з подальшим прогнозуванням. Такі співвідношення загалом можуть бути використані для вирішення задач підвищення достовірності прийняття рішень під час реалізації прогноуючого контролю.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі завдання:

- запропоновано імовірнісний граф формування рішення під час класифікації об'єктів з прогнозуванням (КОП),
- розроблено модель класифікації, як послідовність перетворення ВС у ВР внаслідок спільної дії сукупності ЕО та подальша покрокова методика визначення ймовірностей прийняття рішення за результатами КОП про належність засобів ЗНС до певного КС,
- проаналізовано стохастичні графи формування рішень при обраному алгоритмі КОП та урахуванням похибок.

Математична модель формування рішень при класифікації об'єктів з прогнозуванням

Графічно операція формування рішення при класифікації об'єктів з прогнозуванням (КОП) може бути представлена у вигляді імовірнісного графа (рис. 1).

На рис. 1 зроблено наступні позначення: $P(i, \tau_n) = P[E(i, \tau_n)]$, $i = \overline{1, M}$ – ймовірність знаходження радіоелектронного засобу (РЕЗ) в i -му класифікованому стані (КС) в інтервалі прогнозування. $\omega_{ir}(\tau_n) = P[F(r, \tau_n) / E(i, i_n)]$ – умовна ймовірність прийняти за результатами КОП рішення про належність засобу ЗНС до r -го КС, якщо він насправді перебував у i -му КС;

– ймовірність прийняти за результатами КОП рішення про належність до j -го КС.

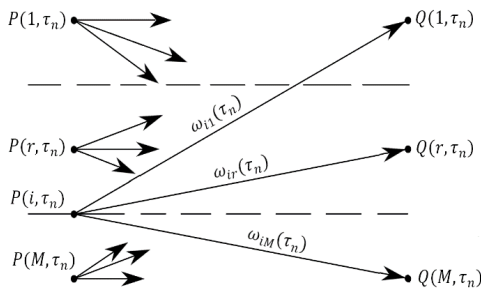


Рис. 1. Ймовірнісний граф формування рішення під час класифікації об’єктів з прогнозуванням

Ймовірності прийняття рішення за результатами КОП про належність засобу ЗНС до певного КС з урахуванням прийнятих позначень та відповідно до рис. 1 визначаються з виразу

$$Q(j, \tau_n) = \sum_{i=1}^M P(i, \tau_n) \omega_{ij}(\tau_n); \quad j = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Розглянемо докладніше процес формування рішення при КОП.

Відповідно до прийнятої математичної моделі засобу ЗНС [17] зміни в часі ВС сукупності об’єктів одного і того ж типу описуються апріорним векторним випадковим процесом, характеристики якого відомі на часовому інтервалі $[0, \tau_n]$. Одна з реалізацій цього процесу, що відповідає ВС конкретного екземпляра ЗНС, спостерігається засобами поточної класифікації (ПК) у дискретні моменти часу $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n; 0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n < \tau_k$, що передують інтервалу прогнозування.

Зважаючи на дискретність характеру моментів і результатів спостережень ВС, сукупність його ординат у моменти спостережень $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ зручно уявити [18] у вигляді деякої траєкторії E_z – зміни його справжніх значень.

$$E_z = \{E(i, \tau_1), E(i, \tau_2), \dots, E(\omega, \tau_n)\}; \quad (i, j, \dots, \omega) = \overline{1, M}, z = \overline{1, Z}, \quad (2)$$

де z – множина траєкторій змін справжніх значень ВС в інтервалі спостережень. Кожна траєкторія E_z характеризується ймовірністю існування $P_z = P(E_z)$.

Кількісні результати спостережень (вимірювань, обчислень за ВС $\vec{Y}_{(\tau_1)}^{(n)}, \dots, \vec{Y}_{(\tau_n)}^{(n)}$) перетворюються засобами ПК в номери одного з M станів, що розрізняються:

Зазначене вище може бути поширене на будь-яку з траєкторій дійсних змін ВС.

Результат ПК у кожен час спостережень є результатом підсумком послідовного виконання низки операцій ПК: нормалізацій, вимірів, обчислень, порівнянь тощо.

$$F(i, \tau_1), F(j, \tau_2), \dots, F(\omega, \tau); \quad (i, j, \dots, \omega) = \overline{1, M}. \quad (3)$$

На основі сукупності результатів $F(i, \tau_1), \dots, F(j, \tau_k)$, отриманих в інтервалі спостережень $[\tau_1, \dots, \tau_k]$ формується результат прогнозування та надається висновок про належність

$$F(\tau_n) = \psi[F(i, \tau_1); F(j, \tau_2), \dots, F(\omega, \tau_n)] \quad (4)$$

засобу ЗНС до деякого l -го розрізняемого з n можливих результатів прогнозування ($l = \overline{1, W}, W \leq M$) в інтервалі прогнозування.

Будемо розрізняти множину траєкторій F_s , сформованих результатами спостережень засобами ПК за зміною ВС

$$F_s = \{F(i, \tau_1), F(j, \tau_2), \dots, F(\omega, \tau_k)\}, \quad (5)$$

де $S = F_s \in S$ – множина траєкторій, сформованих результатами спостережень засобами ПК за ВС в інтервалі спостережень. Кожна траєкторія F_s характеризується ймовірністю існування $P_s = P(F_s)$.

Внаслідок похибок обраних засобів ПК, отримані в момент спостережень номери КС засобу ЗНС, можуть відрізнятися від номерів $E(i, \tau_1), E(j, \tau_2), \dots, E(\omega, \tau_n), (i, j, \dots, \omega) = \overline{1, M}$, в яких знаходилися справжні значення ВС у зазначені моменти часу. У зв’язку з цим, будь-яка z траєкторія змін істинних значень ВС – E_z з ймовірністю $\omega_{zs}(\tau_k)$ може сприйматися засобами прогнозування як будь-яка S -а з можливих траєкторій, сформованих результатами засобами ПК за зміною значень ВС.

Засіб прогнозування внаслідок похибок реалізації приймає рішення про належність засобу ЗНС j -му КС з ймовірністю:

$$\omega_{sj}(\tau_n) = P\{F(\tau_n) \in j/F_s\}; j = \overline{1, W}. \quad (6)$$

Графічно операція формування рішення при обраному алгоритмі КОП для ВС, що належить до z -ї траєкторії, відповідно до [5] та з урахуванням вищевикладеного, представлена у вигляді стохастичного графа, рис. 2.

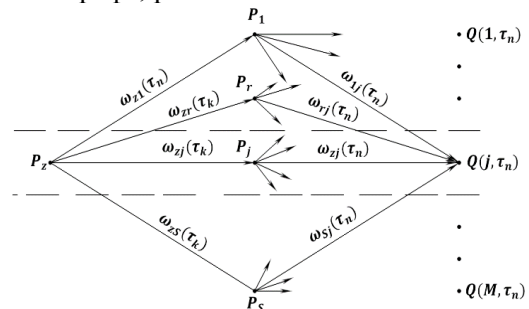


Рис. 2. Стохастичний граф формування рішень при обраному алгоритмі КОП

Відповідно до [18], елементарна операція класифікації характеризується матрицею умовних ймовірностей переходів з одних станів, що розрізняються на вході операції, в інші або ті ж стани на її виході. Безумовні ймовірності станів ВС на виході ЕО знаходяться шляхом множення зазначеної матриці на матрицю-рядок безумовних ймовірностей станів ВС на її вході. Імовірнісні характеристики ВС на виході довільно обраної операції класифікації знаходять послідовним множенням матриці ймовірностей на вході першої у ряді операцій, що послідовно перетворюють значення ВС, на матриці перехідних ймовірностей всіх операцій ряду, починаючи з першої та завершуючи обраною.

Остання обставина дозволяє знаходити ймовірнісні характеристики укрупнених операцій класифікації.

У зв'язку з цим всі операції ПК для елементів спостережень за ВС можна замінити однією укрупненою операцією ПК, що характеризується матрицею, елементи якої є ймовірністю переходів істинних траєкторій у спостережувані:

$$|W_{nep}^T| = \left\| \begin{matrix} \omega_{11}(\tau_k), \dots, \omega_{1j}(\tau_k), \dots, \omega_{1S}(\tau_k) \\ \omega_{z1}(\tau_k), \dots, \omega_{zj}(\tau_k), \dots, \omega_{zS}(\tau_k) \\ \omega_{z1}(\tau_k), \dots, \omega_{zj}(\tau_k), \dots, \omega_{zS}(\tau_k) \end{matrix} \right\|, \quad (7)$$

де

$$\sum_{s \in S} \omega_{zs} = 1; z = \overline{1, Z}.$$

Множина Z характеризується матрицею-рядком ймовірностей існування істинних траєкторій ВС, що визначаються випадковим процесом, яка є входною для укрупненої операції ПК:

$$|P_z^T| = \|P_1, P_2, \dots, P_z, \dots, P_Z\|, \quad \sum_{z \in Z} P_z = 1. \quad (8)$$

Матриця-рядок ймовірностей на виході укрупненої операції ПК, яка є результатом перемноження матриць (7) і (8), містить у якості елементів ймовірності, отримані за результатами спостережень кожної з траєкторій множини S :

$$|P_s| = \|P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_S\| = |P_z^T \parallel W_{nep}^T|, \quad \sum_{s \in S} P_s = 1. \quad (9)$$

Взаємозв'язок окремих складових показаний на ймовірнісному графі.

Відповідно до рис. 2

$$P_s = P(F_s) = \sum_{z \in Z} P_z W_{zs}; s = \overline{1, S}. \quad (10)$$

Класифікація об'єктів з прогнозуванням за складом операцій відрізняється від ПК наявністю ЕО прогнозування, результуючу спільну дію яких також можна замінити однією укрупненою операцією прогнозування.

Її відмінністю від операції ПК є те, що входними для неї є не ймовірності станів ВС, а ймовірності сполучень цих станів у дискретні моменти спостережень.

Оскільки зазначені сполучення характеризуються ймовірностями існування траєкторій множини Z , що є входними для укрупненої операції прогнозування, пропонується ймовірнісні характеристики цієї операції, подібної до операції ПК, описувати матрицею перехідних ймовірностей $|W_{nep}^n|$

$$|W_{nep}^n| = \left\| \begin{matrix} \omega_{11}(\tau_n), \dots, \omega_{1j}(\tau_n), \dots, \omega_{1\omega}(\tau_n) \\ \omega_{s1}(\tau_n), \dots, \omega_{sj}(\tau_n), \dots, \omega_{s\omega}(\tau_n) \\ \omega_{s\omega}(\tau_n), \dots, \omega_{s\omega}(\tau_n), \dots, \omega_{s\omega}(\tau_n) \end{matrix} \right\|, \quad (11)$$

де

$$\sum_{j \in V} W_{sj}(\tau_n) = 1.$$

Імовірнісні характеристики КОП знаходять шляхом підсумовування певних добутоків елементів матриць. Наприклад, ймовірність прийняти рішення за результатами КОП "Об'єкт належить до j -го КС" визначається виразом

$$Q(j, \tau_n) = \sum_{z \in Z} \sum_{s \in S} P_z W_{zs} W_{sj}(\tau_n); \quad j = \overline{1, M}. \quad (12)$$

Висновки

Аналіз теоретичних результатів та практика експлуатації сучасних засобів ЗНС свідчать про необхідність широкого застосування інформаційних технологій для обробки експлуатаційних даних. Щодо роботи цих засобів та подальшої модернізації СЕ.

У статті розглядається процес класифікації засобів ЗНС, що складається з сукупності елементарних операцій, призначених для виконання певних функцій, у певній послідовності відповідно до обраного алгоритму класифікації. У статті запропоновано ймовірнісний граф формування рішення під час КОП, розроблено модель класифі-

кації, як послідовність перетворення ВС у ВР внаслідок спільної дії сукупності ЕО та подальшу покровоку методику визначення ймовірностей прийняття рішення за результатами КОП про належність засобу ЗНС до певного КС, проаналізовано стохастичні графи формування рішень при обраному алгоритмі КОП та урахуванням похибок. Отримано аналітичні співвідношення, що описують процес класифікації технічного стану засобів ЗНС з подальшим прогнозуванням.

Результати дослідження можуть бути використані в процесі проектування та вдосконалення системи експлуатації засобів ЗНС під час процесів моніторингу технічного стану.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Dhillon B.S. Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. New York, Taylor & Francis Group, 2006, 214 p.
- [2] Smith D. J. Reliability, Maintainability and Risk. Practical Methods for Engineers. 10th edition, London, Elsevier, 2021, 516 p.
- [3] Грищенко Ю. В. Оцінка якості техніки пілотування екіпажу в авіакомпанії. *Наукоємні технології*. 2020. Вип. 2(46). С. 245–263.
- [4] Соломенцев О. В., Мелкумян В. Г., Заліський М. Ю. Системи експлуатації радіоелектронних засобів. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. № 3. С. 149–154.
- [5] Rausand M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 458 p.
- [6] Stark J. Product Lifecycle Management, Volume 1: 21st Century Paradigm for Product Realization. Third Edition. London, Springer, 2019, 1032 p.
- [7] Jardine A. K. S., Tsang A. H. C. Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications. Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2017, 364 p.
- [8] Ren H., Chen X., Chen Y. Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications. Academic Press, 2017, 260 p.
- [9] Заліський М. Ю., Соломенцев О. В., Зуєв О. В., Петрова Ю. В. Аналіз процесів погіршення технічного стану складних телекомунікаційних та радіоелектронних систем. *Наукоємні технології*. 2021. № 3 (Том 51). С. 229–236.
- [10] Zaliskyi M. Yu. Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. *Electronics and Control Systems*. 2015. № 3 (45). pp. 18–22.
- [11] Taranenka A. G., Gabrousenko Ye. I., Holubnychy A. G., Slipukhina I.A. Estimation of redundant radionavigation system reliability. *Methods and Systems of Navigation and Motion Control*. Proceedings of the IEEE 5th International Conference. October 16–18, 2018. Kyiv, Ukraine, pp. 28–31.
- [12] Solomentsev O. V., Zaliskyi M. Yu., Kozhokhina O. V., Herasyenko T. S. Data Processing During Condition Based Maintenance of Radio Electronic Equipment. *Electronics and control systems*. 2017. № 4. pp. 11–17.
- [13] Nakagawa T. Maintenance theory of reliability. London: Springer-Verlag, 2005. 270 p.
- [14] Tartakovsky A., Nikiforov I., Basseville M. Sequential analysis. Hypothesis testing and changepoint detection. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015. 580 p.
- [15] Ulansky V., Terentyeva I. Availability assessment of a telecommunications system with permanent and intermittent faults. Proceedings of 2017 IEEE Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). P. 908–911.
- [16] Zuiev O.V. Problems of Radio Navigation Systems Adaptive Operation. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control. P. 193–198.
- [17] Zuiev O.V. Ground Radio Navigation Systems Maintenance Processes Improvement. *Electronics and Control Systems*. № 4(50). 2016. P. 78–83.
- [18] Zuiev O.V. Instrument Landing Systems' Control Processes Investigation. Proceedings of Signal Processing Symposium 2017 (SPS 2017). P. 1–4.

Зуєв О. В., Заліський М. Ю., Соломенцев О. О.

ПРОЦЕДУРА ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ З ПРОГНОЗУВАННЯМ СТАНУ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Стаття присвячена питанням побудови моделей формування рішень при класифікації з прогнозуванням засобів зв'язку, навігації та спостереження. Аналіз теоретичних результатів та практика експлуатації сучасних засобів зв'язку, навігації та спостереження свідчать про необхідність широкого застосування інформаційних технологій для обробки експлуатаційних даних щодо роботи цих засобів та подальшої модернізації системи

експлуатації. На цей час виникає необхідність застосування адекватних методів обробки статистичних даних і побудов спеціальних адаптивних алгоритмів моделей для прийняття рішень з управління експлуатаційною надійністю конкретних типів обладнання. Впровадження сучасних регламентів ТО передбачає застосування апарату теорії керування випадковими процесами в умовах стохастичної невизначеності інформації про параметри обладнання, створює необхідні умови для розробки моделей для класифікації технічного стану з подальшим прогнозуванням подій у системі експлуатації. Процес класифікації об'єктів розглядається у статті, як сукупність елементарних операцій, призначених для виконання певних функцій, у певній послідовності відповідно до обраного алгоритму класифікації. Ступінь деталізації на елементарні операції визначається метою дослідження. У запропонованій моделі, класифікація розглядається, як послідовність перетворення вектору станів у вектор реалізації внаслідок спільної дії сукупності елементарних операцій. Якість виконання класифікації засобів зв'язку, навігації та спостереження визначається якістю виконання кожної з досліджуваної сукупності елементарних операцій та математична модель формування рішення при класифікації ґрунтуватиметься на математичній моделі кожної з досліджуваних операцій. При здійсненні прогнозуючого контролю в процесі класифікації досліджуваних засобів, прийняття рішення про технічний стан здійснюється на певному інтервалі прогнозування. Прогнозуючий контроль, усуває суттєвий недолік поточного контролю, який полягає у розбіжності часу прийняття рішення про стан засобів та часу його використання за призначенням, збільшуючи тим самим ефективність контролю, та, відповідно, і ефективність використання засобів. У статті розроблено покрокову методику визначення ймовірностей прийняття рішення за результатами класифікації з прогнозуванням, про належність засобу до певного класифікованого стану. Проаналізовано стохастичні графи формування рішень при обраному алгоритмі класифікації з прогнозуванням та урахуванням похибок. Отримано аналітичні співвідношення, що описують процес класифікації технічного стану засобів з подальшим прогнозуванням. Такі співвідношення загалом можуть бути використані для вирішення задач підвищення достовірності прийняття рішень під час реалізації прогнозуючого контролю. Результати досліджень можуть бути використані в процесі проектування та вдосконалення системи експлуатації засобів зв'язку, навігації та спостереження під час процесів моніторингу технічного стану.

Ключові слова: система експлуатації, засоби зв'язку, навігації та спостереження, класифікація, прогнозування, прийняття рішень

Zuiev O. V., Zaliskyi M. Yu., Solomentsev O. O.

CONTROL DECISIONS FORMATION PROCEDURE FOR CLASSIFICATION WITH PREDICTION OF THE STATE OF COMMUNICATION, NAVIGATION AND SURVEILLANCE EQUIPMENT

The article is devoted to the issue of building decision-making models for the classification and forecasting of communication, navigation and surveillance equipment. The analysis of theoretical results and the practice of operation of modern devices of communication, navigation and surveillance testify to the need for wide application of information technologies for processing operational data regarding the operation of these devices and further modernization of the operation system. At this time, there is a need to apply adequate methods of processing statistical data and building special adaptive algorithms of models for making decisions on operational reliability management of specific types of equipment. The implementation of modern maintenance regulations involves the application of the tools of the theory of controlled random processes in the conditions of stochastic uncertainty of information about equipment parameters, creates the necessary conditions for the development of models for the classification of the technical condition with further forecasting of events in the system operation. The object classification process is considered in the article as a set of elementary operations designed to perform certain functions in a certain sequence according to the chosen classification algorithm. The degree of detailing into elementary operations is determined by the purpose of the study. In the proposed model, classification is considered as a sequence of transformation of a vector of states into a vector of realizations as a result of the joint action of a set of elementary operations. The quality of performance of the classification of communication, navigation and surveillance equipment is determined by the quality of performance of each of the studied set of elementary operations, and the mathematical model of decision-making during classification will be based on the mathematical model of each of the studied operations. When performing predictive control in the process of classifying the researched devices, a decision about the technical condition is made at a certain forecasting interval. Predictive control eliminates a significant drawback of current control, which consists of the discrepancy between the time of making a decision about the condition of equipment and the time of its use as intended, thus increasing the effectiveness of control and, accordingly, the effectiveness of the use of equipment. The article has developed a systematic method for determining the probabilities of making a decision based on the results of classification with forecasting, about the belonging of a

devices to a certain classified state. The stochastic graphs of decision formation with the chosen classification algorithm with forecasting and taking into account errors were analyzed. Analytical ratios describing the process of classification of the technical condition of the means with subsequent forecasting were obtained. Such ratios can generally be used to solve the problems of increasing the reliability of decision-making during the implementation of predictive control. The results of the research can be used in the process of designing and improving the system of operation of communication, navigation and surveillance equipment during the processes of monitoring the technical condition.

Keywords: operation system, devices of communication, navigation and surveillance, classification, forecasting, decision-making.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2023 р.

Прийнято до друку 19.12.2023 р.