

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБТ

УДК 623.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.3-8>Є.В. Рижов<sup>1</sup>, Л.М. Сакович<sup>2</sup>, С.І. Глухов<sup>3</sup>, Ю.А. Настишин<sup>1</sup><sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів<sup>2</sup>Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ<sup>3</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### ОЦІНКА ВПЛИВУ ДІАГНОСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА НАДІЙНІСТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

У теперішній час зберігається тенденція цифрової обробки інформації в радіоелектронних системах озброєння та військової техніки. Впроваджуються програмно-керовані засоби зв'язку. Це потребує нових підходів при їх діагностуванні під час поточного ремонту, які суттєво відрізняються від процесу пошуку дефектів в аналогових засобах.

Особлива увага приділяється впровадженню сучасних досягнень в галузі технічної діагностики і метрології. Розглядається можливість використання спеціальних методів оцінки технічного стану цифрових пристроїв (енергостатичний, енергодинамічний, електромагнітний) як окремо, так і комплексно. Це незначно збільшує середній час відновлення, але суттєво впливає на досягнення необхідного значення комплексного показника надійності виробу – його коефіцієнта готовності.

Вперше розглядається можливість відношення радіоелектронних систем до класу "абсолютно надійних" за рахунок особливостей метрологічного і діагностичного забезпечення. Досліджено вплив керованих змінних на значення коефіцієнта готовності виробу. Залежно від умов функціонування ремонтного органу обґрунтовано припустимі значення до кваліфікації фахівців (середній час виконання перевірки і усунення несправності), а також до метрологічної надійності засобів виміральної техніки.

За результатами досліджень запропоновано алгоритм забезпечення необхідних значень показників надійності виробів як під час їх проектування, так і при експлуатації та відновленні працездатності у військових умовах. Показано, що найбільший вплив на значення показників надійності виробів здійснює підготовка фахівців ремонтного органу, їх вміння в повному обсязі використовувати можливості сучасних засобів виміральної техніки.

В статті розглянуто можливість використання методів діагностування цифрових радіоелектронних систем і приведено оцінку якості діагностичного забезпечення на надійність систем в цілому.

**Ключові слова:** радіоелектронні системи, діагностичне забезпечення, надійність.

#### Постановка проблеми

Діагностичне забезпечення (ДЗ) поточного ремонту (ПР) радіоелектронних систем (РЕС) – сукупність апаратних засобів і програм пошуку дефектів, які використовують під час відновлення їх працездатності. Поступове впровадження цифрових РЕС без відповідного ДЗ їх ПР у військових умовах спричиняє відповідні труднощі при визначенні реального технічного стану. Існують різноманітні методи технічного діагностування цифрових пристроїв зі складу РЕС, але відсутня кількісна оцінка їх впливу на комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності, тобто

ймовірності справного стану РЕС в будь який момент часу, крім запланованих періодів, коли їх використання не передбачено (технічне обслуговування, планові ремонти).

Таким чином, виникає необхідність оцінки доцільності використання перспективних методів технічного діагностування цифрових пристроїв для визначення можливості забезпечення необхідного значення коефіцієнта готовності РЕС.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до ДСТУ 2860-94 коефіцієнт готовності дорівнює відношенню

$$K_G = T / (T + T_B),$$

де  $T$  - напрацювання виробу на відмову;

$T_B$  - середній час відновлення виробу.

Значення  $T$  РЕС визначається під час проектування вибором відповідної елементної бази та забезпечується в процесі виробництва суворим дотриманням технології і підтримується при експлуатації якісним виконанням технічного обслуговування і поточного ремонту [1, 2]. Тобто, під час експлуатації РЕС є можливість впливати на значення  $K_G$  скороченням  $T_B$  за рахунок якісного діагностичного [3, 4] і метрологічного [5, 6] забезпечення, що показано на прикладі засобів зв'язку [7-9]:

$$T_B = \frac{T_{ПП}}{P_i P(\tau)},$$

де  $T_{ПП}$  - розрахункове значення часу поточного ремонту;

$P_i$  - ймовірність правильної постановки діагнозу методом  $i$ ;

$P(\tau)$  - метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Відомо, що для аналогових РЕС [3, 4]

$$P_i = p^k,$$

де  $p$  - ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

$k$  - кількість перевірок за умовним алгоритмом пошуку дефектів,

$$T_{ПП} = kt + t_y,$$

де  $t$  - середній час виконання перевірки;

$t_y$  - середній час усунення несправності.

Для діагностування цифрових пристроїв рекомендується використовувати спеціальні методи [10-13]:

1. Енергостатичний метод використовує в якості діагностичного параметру значення напруги сигналів на додатковому опорі, який включено в розрив корпусної шини електроживлення при знаходженні цифрових пристроїв в сталому режимі.

2. Енергодинамічний метод використовує для контролю стану цифрових пристроїв і локалізації дефектних елементів комплексний аналіз діагностичної інформації від двох різних джерел.

3. Електромагнітний метод полягає у визначенні значення напруги імпульсів, наведених у антені, накладений на елементи цифрового пристрою.

Приведемо значення достовірності запропонованих методів [13]:

$P_1 = 0,97$  - енергостатичний метод;

$P_2 = 0,95$  - енергодинамічний метод;

$P_3 = 0,97$  - електромагнітний метод,

а також їх комплексного використання:

$$P_{12} = P_{13} = 0,99985; P_{23} = 0,99991; P_{123} = 0,99995.$$

Але в приведених роботах відсутня оцінка впливу діагностичного і метрологічного забезпечення на значення комплексного показника надійності.

**Метою статті є:** кількісна оцінка впливу показників діагностичного і метрологічного забезпечення на значення коефіцієнта готовності виробу в цілому.

## Виклад основного матеріалу

Завдання забезпечення максимальної ймовірності оцінки технічного стану РЕС під час їх технічного обслуговування і ПР виникає залежно від їх важливості і недопущення переривів роботи: наприклад, в системах стратегічної ланки управління, військового або урядового зв'язку. В такому разі РЕС відносяться до "абсолютно надійних систем", коли  $K_G \geq 0,999$  [2]. Це можливо забезпечити тільки комплексним використанням методів фізичного діагностування цифрових пристроїв [10-13].

Використання відомих результатів дозволяє кількісно оцінити  $T_{ПП}$  цифрових пристроїв при наступних припущеннях:

- час реалізації кожного методу фізичного діагностування однаковий і дорівнює  $t$ ;

- кожен метод використовує тільки один ЗВТ (амперметр або вольтметр), тому у всіх випадках  $P(\tau) = 0,98$ .

На рис. 1 відображена підмножина можливих технічних станів цифрових пристроїв, встановлених при використанні методів фізичного діагностування [10-13].

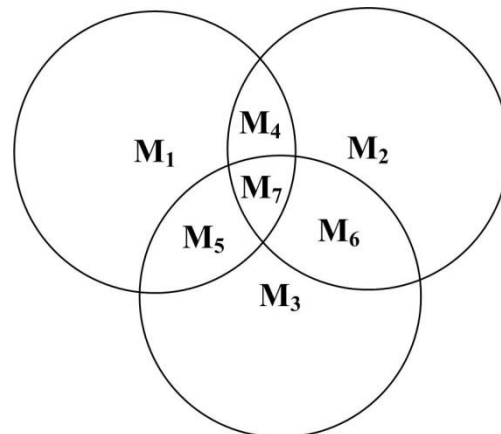


Рис. 1. Підмножина технічних станів цифрового пристрою

В цьому випадку підмножини  $M_1, M_2, M_3$  відповідають справному технічному стану виробу з ймовірністю  $0,95 \dots 0,97$ , підмножини  $M_4, M_5, M_6$  - з ймовірністю  $0,99985 \dots 0,99991$ , а підмножина  $M_7$  визначає справний технічний стан з максимально можливою ймовірністю  $0,99995$ .

Взагалі при використанні трьох методів фізичного діагностування досліджуються усі можливі технічні стани виробу:

$$M = M_I \cup M_{II} \cup M_{III},$$

$$\text{де } M_I = M_1 \cup M_4 \cup M_5 \cup M_7;$$

$$M_{II} = M_2 \cup M_4 \cup M_6 \cup M_7;$$

$$M_{III} = M_3 \cup M_5 \cup M_6 \cup M_7.$$

Другою умовою існування абсолютно надійної системи є те, що середній час відновлення після відмови при поточному ремонті не перевищує припустимого значення. Тобто, необхідно дослідити вплив керованих змінних на значення  $T_B$ .

В такому разі отримуємо:

$$T_{B1} = T_{B3} = \frac{t + t_y}{0,97 \cdot 0,98} = \frac{t + t_y}{0,9506};$$

$$T_{B2} = \frac{t + t_y}{0,95 \cdot 0,98} = \frac{t + t_y}{0,931};$$

$$T_{B12} = T_{B13} = \frac{2t + t_y}{0,99985 \cdot 0,98} = \frac{2t + t_y}{0,979853};$$

$$T_{B23} = \frac{2t + t_y}{0,99991 \cdot 0,98} = \frac{2t + t_y}{0,979912};$$

$$T_{B123} = \frac{3t + t_y}{0,99995 \cdot 0,98} = \frac{3t + t_y}{0,979951}.$$

Результати розрахунків значення  $T_B$  при  $t_y = 0,25$  год. і  $P(\tau) = 0,98$  залежно від часу виконання реалізації одного методу при їх можливій сукупності (від одного до трьох) приведено на рис. 2.

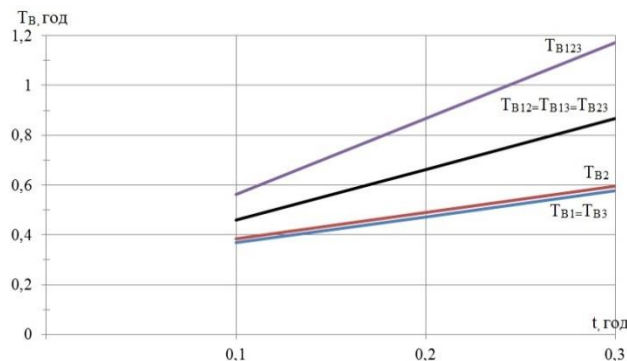


Рис. 2. Середній час відновлення цифрового пристрою залежно від часу виконання перевірки технічного стану методами фізичного діагностування

Очевидно, що збільшення достовірності оцінки технічного стану цифрового пристрою потребує відповідних витрат часу на використання методів фізичного діагностування.

Коефіцієнт готовності PEC дорівнює

$$K_G = \frac{T}{T + \frac{nt + t_y}{Pi(n) \cdot P(\tau)}}.$$

Розглянемо залежність коефіцієнта готовності PEC від часу виконання перевірки  $t$  і сукупності методів діагностування (рис. 3) при фіксованому значенні  $T = 500$  год.

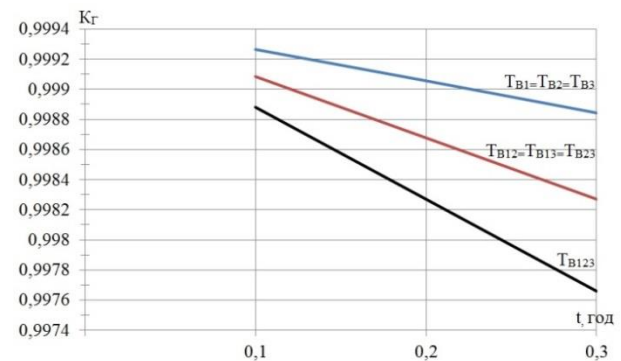


Рис. 3. Залежність коефіцієнта готовності від часу встановлення перевірки і сукупності методів

Це дозволяє при розрахованому значенні напрацювання на відмову визначити гранично допустимий час діагностування. Наприклад, при  $T = 500$  год. і  $K_G \geq 0,99$  у випадку використання трьох методів фізичного діагностування необхідно, щоб час його реалізації  $t \leq 0,212$  год.

За умови забезпечення  $K_G \geq 0,999$  отримані результати дозволяють обґрунтувати вимоги до надійності цифрових пристроїв під час їх проектування при відомій кількості методів ( $n$ ), кваліфікації фахівців ( $t$ ,  $t_y$ ) і ЗВТ ремонтного органу ( $P(\tau)$ ):

$$T = \frac{999(nt + t_y)}{Pi(n) \cdot P(\tau)}.$$

На рис. 4 приведено залежність  $T$  від кількості методів фізичного діагностування ( $n$ ) при  $t = t_y = 0,2$  год. для забезпечення потрібного значення  $K_G \geq 0,999$ .

Це дозволяє виходячи із показників надійності цифрового пристрою і умов ПР обґрунтовано обирати методи діагностування і потрібні для цього ЗВТ.

Аналіз залежностей рис. 4 показує, що значення  $T$  практично не залежить від  $P(\tau)$  і

визначається тільки кількістю методів фізичного діагностування.

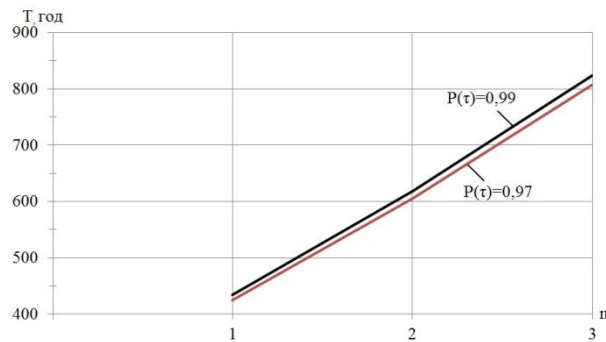


Рис. 4. Залежність потрібного значення напрацювання на відмову  $T$  від кількості методів діагностування  $n$  і метрологічної надійності  $P(\tau)$  для забезпечення  $K_T \geq 0,999$

Узагальнення отриманих результатів дозволяє формалізувати послідовність дій у вигляді алгоритму рис. 5 при проектуванні цифрового пристрою із заданим рівнем надійності або його забезпечення під час експлуатації РЕС.

Якщо при проектуванні РЕС не виконується умова  $T \geq T_0$ , то необхідно обрати для технічного обслуговування і ПР більш надійні ЗВТ, або підвищити кваліфікацію фахівців ремонтного органу для скорочення  $t$  і  $t_y$ .

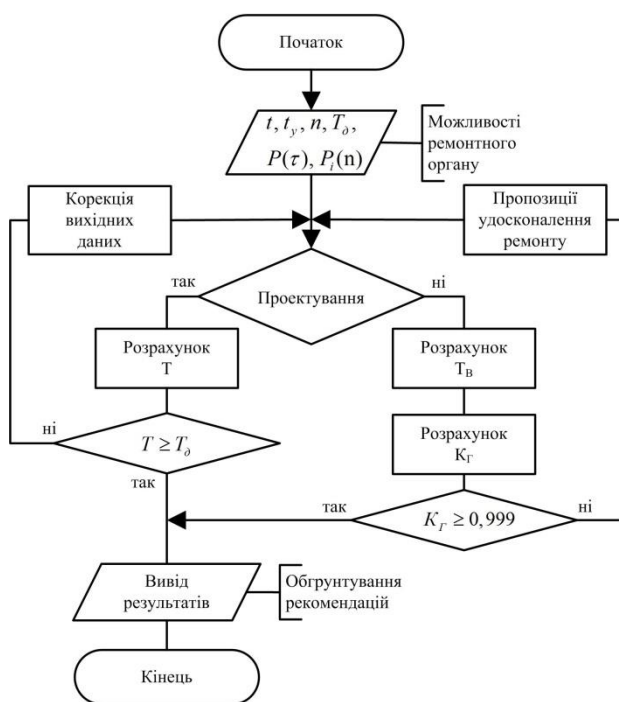


Рис. 5. Алгоритм забезпечення показників надійності цифрових пристроїв під час проектування і поточного ремонту

При експлуатації для досягнення необхідного значення  $K_T \geq 0,999$  також, крім перерахованих дій, доцільно розглянути можливість автоматизованого використання окремих технологічних операцій.

## Висновки

Проведено аналіз стану існуючих методів фізичного діагностування цифрових пристроїв сучасних програмно-керованих радіоелектронних систем з дискретною обробкою інформації.

Отримано і досліджено функціональні залежності середнього часу відновлення, коефіцієнта готовності і напрацювання на відмову цифрових пристроїв від керованих змінних.

Результати дослідження формалізовано у вигляді алгоритму забезпечення показників надійності цифрових пристроїв як під час проектування, так і при реалізації поточного ремонту.

**Подальші дослідження доцільно направити** на удосконалення існуючих і розробку нових методів діагностування цифрових пристроїв.

## Список літератури

1. Острейковский В. А. Теория надежности. Москва: Высшая школа, 2003. 463 с.
2. Половко А. М, Гуров С. В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
3. Ксёэнз С. П., Волынский А. А., Климентов В. И. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации. Ленинград: ВАС, 1990. 336 с.
4. Ксёэнз С. П., Полжаржицкий Н. И., Алексеев С. П., Минеев В. В. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации. Санкт-Петербург: ВАС, 2006. 240 с.
5. Кононов В. Б., Водолажко О. В., Коваль О. В. Основы эксплуатации засобів вимрювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.
6. Volodymyr Kononov, Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych. (2017), Dependence of parametrs of repair of military communication means on the quality of metrological support. *Advanced Information Systems*. Vol. 2, № 1, pp. 91-95. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
7. Sakovych L., Ryzhov Ye., Sobolev A. Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 21. С. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>.
8. Рижов Є. В., Сакович Л. М. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимрювальної техніки на показники ремонтпридатності військової техніки зв'язку. *Озброєння та військова техніка Науково-технічний журнал*. ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2018. № 2(18). С. 58–61. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2\(18\).58-61](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2(18).58-61).
9. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin. (2018), Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. Volume 123). pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.

10. Жиров Г.Б. Методика контролю технічного стану цифрових пристроїв енергостатичним методом на місці дислокації об'єктів РЕЗО. *Збірник наукових праць Військової академії*. Одеса, 2005. № 11. С. 55–61.
11. Гахович С.В. Метод діагностування цифрових ТЕЗ. *Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ"*, 2004. Вип. № 4. С. 24–30.
12. Глухов С.І. Методика обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 2019. № 1(59). С. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.11>.
13. Глухов С.І., Сакович Л.М., Яковлев М.Ю., Гальоса А.О. Розробка техніко-економічного обґрунтування автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування. *Збірник наукових праць НАНГ України*, 2020. № 1(35). С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2020/1/35/207355>.

## References

1. Ostreykovsky V.A. (2003), *"Teoriya nadezhnosti"* [Reliability theory]. Moscow: Higher School, 463 p. [in Russian]
2. Polovko A.M. and Gurov S.V. (2006), *"Osnovy teorii nadezhnosti"* [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg: ВНС-Petersburg, 704 p. [in Russian]
3. Ksenz S.P., Volynsky A.A. and Klimentov V.I. (1990), *"Teoreticheskie i prikladnye zadachi diagnostirovaniya sredstv svyazi i avtomatizatsii"* [Theoretical and applied problems of communication and automation diagnostics]. Leningrad: VAS. 336 p. [in Russian]
4. Ksenz S.P., Polzharzhickij M.I., Alekseev S.P. and Mineev V.V. (2006), *"Borba s diagnosticheskimi oshibkami pri tehničeskom obsluzhivanii i remonte sistem upravleniya svyazi i navigatsii"* [Combat diagnostic errors in the maintenance and repair of communication and navigation control systems]. St. Petersburg: VAS, 240 p. [in Russian]
5. Kononov V.B., Vodolozhko O.V. and Koval O.V. (2017), *"Osnovy ekspluatatsiji zasobiv vymirjuval'noji tekhniki vijs'kovoho pryznachennja v umovax provedennja ATO"* [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes in the Conditions of ATO]: Teaching. Manual. Kh. KhNUPS, 288 p. [in Ukrainian]
6. Volodymyr Kononov, Yevhen Ryzhov and Lev Sakovych. (2017), Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support. *Advanced Information Systems*. Vol. 2, № 1, pp. 91-95. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.

7. Sakovych L., Ryzhov Ye. and Sobolev A. (2019), Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Military Technical Collection*. Issue № 21. pp. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>.
8. Ryzhov Ye. and Sakovych L. (2018), "Otsinka vplyvu metrolohichnoi nadiinosti zasobiv vymirjuvalnoi tekhniki na pokaznyky remontoprydatnosti viiskovoi tekhniki zviazku" [Estimation of influence of metrological reliability of means of measuring equipment on indicators of maintainability of military communication equipment]. *Weapons and military equipment*. Issue №2 (18). pp. 58–61. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2\(18\).58-61](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2(18).58-61). [in Ukrainian]
9. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev and Yuriy Nastishin. (2018), Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. Volume 123). pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
10. Zhiron G.B. (2005), "Metodyka kontroliu tekhnichnoho stanu tsyfrovyykh prystroiv enerhostatichnym metodom na misti dyslokatsii ob'ektiv REZO" [Methods of monitoring the technical condition of digital devices by the energy-static method at the location of RESO objects]. *Collection of scientific works of the Military Academy: Odessa*, Issue №11. pp. 55–61. [in Ukrainian]
11. Gakhovich S.V. (2004), "Metod diahnostuvannya tsyfrovyykh TEZ" [Method of diagnosing digital abstracts]. *Collection of scientific works of the VITI NTUU "KPI"*, Issue № 4. pp. 24–30. [in Ukrainian]
12. Hlukhov S.I. (2019), "Metodyka obrobky diahnostychnoi informatsii na osnovi metodiv fizychnoho diahnostuvannya ta rezultativ forsovanykh vyprobuvan radioelektronnykh komponentiv tsyfrovyykh prystroiv ob'ektiv radioelektronnoi tekhniki" [Methods of diagnostic information processing based on physical diagnosis methods and extreme tests results of digital devices' radio-electronic components of radio-electronics], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 1(59), pp. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.11>. [in Ukrainian]
13. Glukhov S.I., Sakovich L.M., Yakovlev M.Yu. and Galosa A.O. (2020), "Rozrobka tekhniko-ekonomichnoho obgruntuвання avtomatyzovanoi systemy tekhnichnoi diahnostyky radioelektronnoi tekhniki na osnovi fizychnoho diahnostuvannya" [Development of technical and economic substantiation of the automated system of technical diagnostics of radio electronic equipment on the basis of physical diagnostics]. *Collection of scientific works of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Vol. № 1 (35). pp. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2020/1/35/207355>. [in Ukrainian]

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Е.В. Рыжов, Л.Н. Сакович, С.И. Глухов, Ю.А. Настышин

В настоящее время сохраняется тенденция цифровой обработки информации в радиоэлектронных системах вооружения и военной техники. Внедряются программно-управляемые средства связи. Это требует новых подходов при их диагностике во время текущего ремонта, которые существенно отличаются от процесса поиска дефектов в аналоговых средствах.

Особое внимание уделяется внедрению современных достижений в области технической диагностики и метрологии. Рассматривается возможность использования специальных методов оценки технического состояния цифровых устройств (энергостатический, энергодинамический, электромагнитный) как отдельно, так и комплексно.

Это незначительно увеличивает среднее время восстановления, но существенно влияет на достижение требуемого значения комплексного показателя надежности изделия - его коэффициента готовности.

Впервые рассматривается возможность отношения радиоэлектронных систем к классу "абсолютно надежных" за счет особенностей метрологического и диагностического обеспечения. Исследовано влияние управляемых переменных на значение коэффициента готовности изделия. В зависимости от условий функционирования ремонтного органа обоснованы допустимые требования к квалификации специалистов (среднее время выполнения проверки и устранения неисправности), а также к метрологической надежности средств измерительной техники.

По результатам исследований предложен алгоритм обеспечения требуемых значений показателей надежности изделий как во время их проектирования, так и при эксплуатации и восстановлении работоспособности в полевых условиях. Показано, что наибольшее влияние на значения показателей надежности изделий оказывает подготовка специалистов ремонтного органа, их умение в полном объеме использовать возможности современных средств измерительной техники.

В статье рассмотрена возможность использования методов диагностирования цифровых радиоэлектронных систем и приведена оценка влияния качества диагностического обеспечения на надежность систем в целом.

**Ключевые слова:** радиоэлектронные системы, диагностическое обеспечение, надежность.

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF DIAGNOSTIC SUPPORT ON RELIABILITY OF RADIO ELECTRONIC SYSTEMS

Ye.V. Ryzhov, L.N. Sakovych, S.I. Glukhov, Yu.A. Nastishin

Currently, there is a trend of digital information processing in electronic weapons systems and military equipment. Software-controlled means of communication are being implemented. This requires new approaches in diagnosing them during maintenance, which are significantly different from the process of finding defects in analog tools.

Particular attention is paid to the introduction of modern advances in technical diagnostics and metrology. The possibility of using special methods for assessing the technical condition of digital devices (energy-static, energy-dynamic, electromagnetic), both separately and in combination. This slightly increases the average recovery time, but significantly affects the achievement of the required value of a comprehensive indicator of product reliability - its readiness factor.

For the first time, the possibility of classifying electronic systems as "absolutely reliable" due to the peculiarities of metrological and diagnostic software is considered. The influence of controlled variables on the value of the product readiness factor is investigated. Depending on the operating conditions of the repair body, the permissible values for the qualification of specialists (average time of inspection and troubleshooting), as well as for the metrological reliability of measuring equipment are justified.

According to the results of research, an algorithm for providing the necessary values of reliability indicators of products, both during their design and during operation and recovery in military conditions. It is shown that the greatest influence on the value of the reliability of products has the training of specialists of the repair body, their ability to fully use the capabilities of modern measuring equipment.

The article considers the possibility of using methods for diagnosing digital electronic systems and provides an assessment of the quality of diagnostic software for the reliability of systems as a whole.

**Keywords:** electronic systems, diagnostic support, reliability.

---

UDC 623.465.35

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.8-12>

B. Seredyuk

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv

## ANALYSIS OF MAGNETIC PROPERTIES OF A<sub>3</sub>B<sub>6</sub> TYPE OF SEMICONDUCTOR CRYSTALS WITH METALIC IMPURITIES DUE TO THEIR MILITARY APPLICATIONS

The Earth's magnetic field is affected by the presence of heavy military armored vehicles which creates an additional magnetic moment. This distortion of the magnetic field, can be detected using magnetoresistive structures. This article touches base on the possibility of using semiconductor material such as InSe for high precision measurement of the magnetic field. The properties of InSe structures with regard to electrical, magnetic and optical characteristics are discussed. The effect of sharp anisotropy of InSe layered structure which consists in the strong covalent bond within the layers and a weak van-der-Waals bond in the interlayer space is discussed with regard to the explanation of how electrical, magnetic and optical properties are altered. The peculiarity of the spatial orientation of the material with regard to the direction of the magnetic field is considered. The impact of intercalation of InSe, GaSe by various concentrations of metal impurities such as nickel and other elements of