

Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецький, Я. Е. Небесна

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Київ, Україна

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БАГАТОРЕЖИМНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета статті – підвищення точності кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів. **Результати.** У статті запропоновано підхід до кількісної оцінки значення наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів, до яких відносяться засоби спеціального зв'язку. У відомих роботах під час розрахунку надійності цю обставину не враховують, що веде до заниження значення наробітку на відмову. Завдання вирішується впровадженням коефіцієнту використання кожного конструктивного елементу виробу в усіх можливих режимах роботи. Приведено приклад використання отриманих результатів для кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимного об'єкту і показано ефект від уточнення розрахунків. **Висновки.** Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів спеціального зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багаторежимних об'єктів. В дійсний час відомі залежності впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на середній час технічного обслуговування та поточного ремонту засобів спеціального зв'язку, що також необхідно враховувати під час оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

Ключові слова: багаторежимні об'єкти, оцінка надійності, наробіток на відмову.

Вступ

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даний час відсутні не тільки інженерні методи, але й теоретичні розробки аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, яка обумовлена її багатофункціональністю та багаторежимністю, коли в окремих режимах роботи використовують відповідні сукупності елементів [1, 2].

Властивості багаторежимності використовують під час розробки діагностичного забезпечення [3, 4], але при оцінці надійності традиційно вважають, що всі елементи об'єкту працюють одночасно [5–7], що суттєво занижує значення наробітку на відмову.

В дійсний час в сучасних вітчизняних і зарубіжних публікаціях з актуальних питань надійності складних технічних об'єктів і систем розглянуто окремі напрями підвищення значень показників їх надійності [8–15].

Але в цих виданнях зовсім не розглядаються питання комплексного врахування надійності окремих складових програмно-керованих багаторежимних засобів спеціального зв'язку зі змінною структурою під час оцінки їх показників як в процесі проектування, так і уточнення при дослідній експлуатації.

Мета статті – підвищення точності кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Керівними документами нормується значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення існуючих, модернізуємих та перспективних зразків засобів спеціального зв'язку. Тому під час проектування обов'язково виконують розрахунок надійності з кількісною оцінкою всіх показників надійності, які потім перевіряють під час дослідної експлуатації.

Засоби спеціального зв'язку відносяться до класу об'єктів зі змінною структурою, які можуть

бути одно і багатофункціональними, багаторежимними з фіксованою або довільною зміною режимів роботи.

Наприклад, радіостанція працює в режимі "прийм" або "передача", причому порядок зміни режимів роботи не фіксований. Система управління функціонуванням радіопередавача великої потужності послідовно в фіксованому порядку змінює кількість елементів в міру включення (ввід, охолодження, накалювання, зміщення, висока напруга).

Для моделювання цих об'єктів використовують відомий математичний апарат теорії множин [3, 4], але тільки під час розробки діагностичного забезпечення. Теоретико-множинні моделі дозволяють оцінити потужності множин елементів, які використовують в окремих режимах роботи, а також їх взаємозв'язок.

Наприклад, при фіксованій зміні режимів доцільно застосувати модель типу "гірлянда", коли з кожним кроком кількість задіяних елементів об'єкту збільшується. Це веде до зниження напрацювання на відмову і збільшення середнього часу відновлення, що погіршує значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності об'єкту.

При довільній зміні режимів роботи радіоприймача або радіостанції доцільно використовувати теоретико – множинну модель із перетинами підмножин елементів, які мають ядро (наприклад, підсилювачі, електроживлення або генераторне обладнання). У цьому разі на надійність окремих підмножин елементів суттєво впливає час їх роботи в заданому режимі (наприклад, час роботи радіостанції в режимі "прийм" в разі більший ніж "передача"), тобто технічних ресурс елементів розходжується нерівномірно.

Для врахування цієї обставини пропонується застосовувати коефіцієнт використання за призначенням кожної підмножини елементів в можливих режимах роботи виробу, який розраховують як відношення часу роботи підмножини елементів до

загального часу роботи виробу в усіх можливих режимах. Його значення можливо кількісно оцінити із аналізу використання засобів спеціального зв'язку, що відображено в апаратних журналах вузлів зв'язку.

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багатого режимності. Але, це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

В дійсний час при проектування нових або модернізації існуючих засобів РЕЗ і засобів спеціального зв'язку виконують орієнтовний і уточнений розрахунок показників надійності.

В першому випадку усі елементи виробу піділяють на групи (резистори, конденсатори, транзистори, діоди, мікросхеми та інші) з приблизно однаковим значенням інтенсивності відмов, причому розглядають як мінімальні, так і максимальні значення, що отримані з довідників. Потім перемножують кількість елементів кожної групи на граничні значення інтенсивності відмов і сумують результати.

Таким чином отримують граничні значення параметру потоку відмов виробу і розраховують значення наробітку на відмову. Якщо необхідне значення попадає у ці межі, то виконують уточнений розрахунок надійності. Якщо ні, то потрібно змінити елементи на більш надійні і повторити розрахунок.

Тут і далі під вибором розуміють радіостанції тактичної ланки управління.

При уточненому розрахунку надійності використовують середні значення інтенсивності відмов кожного елемента з врахуванням коефіцієнта його електричного навантаження, а також кліматичних умов (температура, вологість, тиск) та механічного навантаження (вібрації, удари) залежно від умов подальшої експлуатації виробів.

В обох випадках не враховують час роботи елементів в окремих режимах (T_{pi}), що знижує реальне значення наробітку на відмову РЕЗ в цілому.

Таким чином, цільова функція досліджень – мінімізація значення комплексного показника надійності виробу – коефіцієнту неготовності при обмеженнях на припустимі значення наробітку на відмову (T_d) і середнього часу відновлення (T_{ed}), що визначаються керівними документами, при заданому режимі експлуатації (T_{pi}, u_i), приймає вигляд:

$$U(x) = \min U(x^*); x^* \in \Delta;$$

$$x = (L_i, u_i, T_{pi}, Z_i, n, p, t, t_y, P(\tau), T, T_e);$$

$$T(T_{pi}, u_i, Z_i, n) \geq T_d;$$

$$T_e(t, t_y, K, p, P(\tau)) \leq T_{вд};$$

де x – параметри, що впливають на надійність виробу; x^* – їх значення при рішення завдання; Δ – область припустимих меж зміни значень параметрів.

Групи некерованих параметрів:

L_i, n, Z_i – залежать від схеми виробу і надійності елементної бази.

Групи керованих параметрів в умовах експлуатації:

T_i, u_i – залежать від режиму експлуатації виробу; t, t_y – залежать від кваліфікації виконавців і умов відновлення працездатності;

K – залежить від якості діагностичного забезпечення і форми умовних алгоритмів пошуку дефектів;

$p, P(\tau)$ – залежать від засобів виміральної техніки, які використовують під час поточного ремонту для оцінки значень сигналів в контрольних точках виробу.

В такому разі в якості показника ефективності доцільно використовувати відносно зниження коефіцієнту неготовності, значення якого розраховано при використанні відомих методик (U'), в порівнянні з отриманим за пропонованою моделлю надійності об'єктів зі змінною структурою (U)

$$\eta = 100(U' - U) / U' \%.$$

Розглянемо порядок використання цих пропозицій на прикладі багаторежимного об'єкту, схема якого приведено на рис.1. Об'єкт працює в трьох режимах, в кожному із яких використано п'ять із восьми загальної підмножини елементів. Це є теоретико – множинна модель з сильними перетинами підмножини елементів і ядром, що складають елементи 7 і 8, які використовують в усіх режимах роботи.

При традиційному орієнтовному розрахунку надійності сумують мінімальні і максимальні значення параметру потоку відмов окремих елементів (Z_i), після чого визначаються межі зміни і середнє значення наробітку на відмову [5-7]

$$T' = \frac{1}{\sum_{i=1}^L Z_i},$$

При цьому реальний час роботи окремих елементів не враховується.

Якщо відоме значення параметру Z_{Ri} відмов окремих елементів виробу, то для кожного режиму роботи отримуємо:

$$Z_{R1} = Z_1 + Z_4 + Z_5 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R2} = Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R3} = Z_3 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8.$$

В такому разі наробіток на відмову виробу в кожному режимі роботи дорівнює:

$$T_1 = \frac{1}{Z_{R1}};$$

$$T_2 = \frac{1}{Z_{R2}};$$

$$T_3 = \frac{1}{Z_{R3}}.$$

При наявності додаткових даних щодо часу роботи виробу в окремих режимах (T_{pi}) можливо розрахувати значення відносного коефіцієнту використання кожного елемента відповідно:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \frac{T_{p1}}{T_p}; \\
 u_2 &= \frac{T_{p2}}{T_p}; \\
 u_3 &= \frac{T_{p3}}{T_p}; \\
 u_4 &= \frac{T_{p1} + T_{p2}}{T_p}; \\
 u_5 &= \frac{T_{p1} + T_{p3}}{T_p}; \\
 u_6 &= \frac{T_{p2} + T_{p3}}{T_p}; \\
 u_7 &= 1; \\
 u_8 &= 1; \\
 T_p &= T_{p1} + T_{p2} + T_{p3};
 \end{aligned}$$

де T_p – загальний час роботи виробу в усіх можливих режимах.

Це дозволяє з урахуванням конкретного часу роботи кожного елемента виробу кількісно оцінити прогнозуємо число їх відмов і виробу в цілому:

$$N = T_p \sum_{i=1}^8 u_i Z_i = \sum_{i=1}^8 Z_i T_{pi}.$$

Тоді параметр потоку відмов виробу в цілому дорівнює

$$Z = \frac{N}{T_p} = \sum_{i=1}^8 u_i Z_i$$

а наробіток на відмову з урахуванням часу роботи підмножин елементів в окремих режимах, відповідно

$$T = T_p / N.$$

Припустимо, що всі підмножини елементів в прикладі, який розглядається, рівно надійні ($Z_i = Z$) і в кожному режимі роботи вибір працює однаковий час ($T_{pi} = T_p/3$), тоді отримуємо:

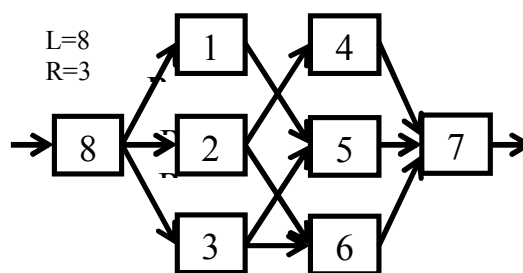
$$\begin{aligned}
 u_1 &= u_2 = u_3 = 1/3; \\
 u_4 &= u_5 = u_6 = 2/3; \\
 u_7 &= u_8 = 1.
 \end{aligned}$$

Загальна кількість відмов виробу за час роботи T_p складає:

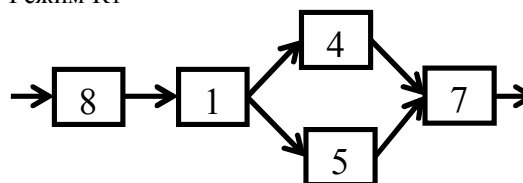
$$N = Z T_p \sum_{i=1}^8 u_i = 5Z T_p.$$

а наробіток виробу на відмову $T = 1/5Z$.

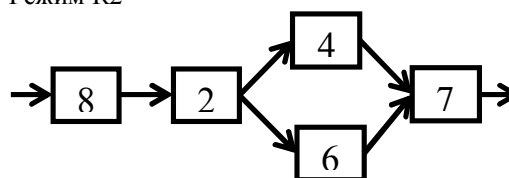
За тих же умов при традиційному орієнтовному розрахунку надійності отримуємо $T = 1/8Z$, тобто реальне значення наробітку на відмову виробу при врахуванні його властивості багаторежимності збільшилось в $\eta = T/T' = 1,6$ рази.



Режим R1



Режим R2



Режим R3

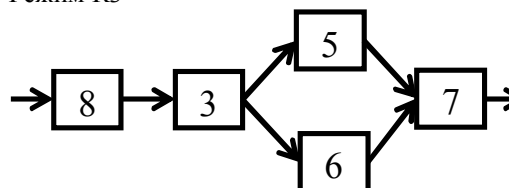


Рис. 1. Приклад багаторежимного технічного об'єкту з ядром і кількісним перетином підмножини елементів

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багаторежимності.

Але, це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

Використання отриманих результатів на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173М1 показує, що зі збільшенням відносного часу роботи радіостанції в режимі "прийм":

наробіток на відмову зменшується, оскільки в цьому режимі використовується більшість елементів радіостанції (рис. 2);

середній час відновлення також не суттєво збільшується оскільки зростає значення імовірності відмови в прийомній частині радіостанції, при чому ця закономірність зберігається в будь-якому часі виконання перевірки t (рис. 3);

внаслідок зменшення значення наробітку на відмову T і збільшення середнього часу відновлення T_0 також зменшується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності A та, відповідно, зростає значення коефіцієнту неготовності U ;

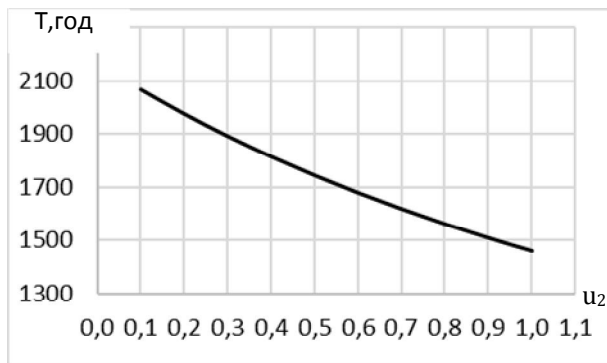


Рис. 2. Залежність наробітку на відмову радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

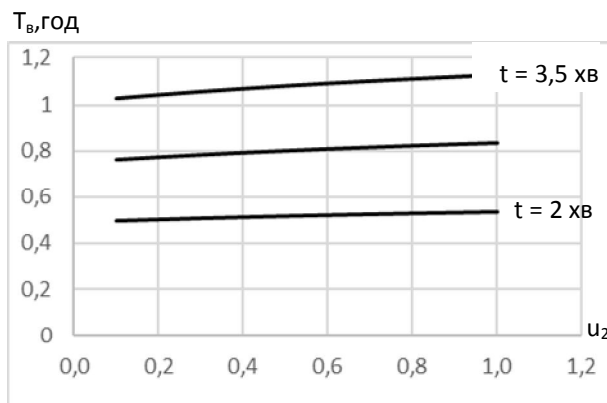


Рис. 3. Залежність середнього часу відновлення радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

при збільшенні метрологічної надійності $P(\tau)$ засобів вимірювань параметрів радіостанції на 6,7% значення коефіцієнту неготовності зменшується всього на 6,5%;

при скороченні середнього часу усунення несправності на 50% (з 10 до 5 хв) значення коефіцієнту неготовності зменшується всього на 11,2%;

при збільшенні значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки на 5,9% (з 0,941 до 0,997) значення коефіцієнту неготовності зменшується на 63,5%;

вказані тенденції зберігаються при будь яких значеннях середнього часу виконання перевірки t , причому його скорочення за рахунок підвищення кваліфікації виконавців та удосконалення діагностичного забезпечення (вибір перевірок з меншими

працевтратами) веде до підвищення коефіцієнту готовності (A).

Проведений аналіз показує, що найбільший ефект в підвищенні показників надійності досягається удосконаленням діагностичного і метрологічного забезпечення поточного ремонту радіостанції.

Порівняння результатів з прототипом (розрахунок аналогічних показників без врахування багаторежимності радіостанції) показує, що при 90% часу роботи радіостанції в режимі «прийом» ($u_2 = 0,9$), що найчастіше має місце на практиці, маємо уточнення часу наробітку на відмову на 33% ($T = 1507$ год), середнього часу відновлення на 14% ($T_v = 50$ хв.) і зниження коефіцієнту неготовності на 28% ($U = 0,000548$).

Тобто, можливо було використовувати елементи меншої вартості для забезпечення необхідних вимог щодо надійності радіостанції під час її проектування і виробництва.

Висновки

1. Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Тобто, якщо воно задовольняє вимогам, то реальне значення наробітку на відмову буде більше, що впливає на вартість виробу.

2. Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів спеціального зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багаторежимних об'єктів.

3. В дійсний час відомі залежності впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на середній час технічного обслуговування [16] та поточного ремонту засобів спеціального зв'язку, що також необхідно враховувати під час оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

4. Подальші дослідження слід направити на оцінку впливу можливості зміни структури системи зв'язку (особливо польові елементи під час навчальних або бойових дій) для оцінки показників її надійності – коефіцієнту готовності і ймовірності зв'язку абонентів, що не враховують відомі методики [17–19].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Половко А.М. Основи теорії надійності / А.М.Половко, С.В.Гуров. – СПб.: БВХ – Петербург, 2006. – 704 с.
2. Сакович Л.М. Оцінка надійності технічних об'єктів зі змінною структурою / Л.М.Сакович, Я.Е.Небесна / XXII всеукраїнська науково – практична конференція. Тези доповідей – Житомир, ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2018. – С.201–203.
3. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / С.П.Ксенз, А.А.Волынский, Л.Н. Сакович и другие Л.: ВАС, 1990 – 336 с.
4. Ксенз С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации / С.П. Ксенз, М.И. Полтаржицкий, С.П. Алексеев, В.В. Минеев. – СПб.: ВАС, 2010 – 240 с.
5. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А.Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
6. Хабаров Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 376 с.
7. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю.Я.Бобало, Б.Ю. Волочий, С.Ю.Лозинський та ін.. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.

8. Хенли, Э.Дж. Надёжность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984.
9. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надёжности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984.
10. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
11. V. Manikandan, V. Porkodi, Amin Salih Mohammed and M. Sivaram (2018), “Privacy preserving data mining using threshold based fuzzy cmeans clustering”, ICTACT Journal On Soft Computing, 2018, Vol. 09, Issue 01, pp. 1813-1816.
12. Amin Salih Mohammed, D Yuvaraj, M. Sivaram Murugan, V. Porkodi, “Detection and removal of black hole attack in mobile ad hoc networks using grp protocol”, International Journal of Advanced Computer Research, vol. 9, no. 6, pp. 1-6, 2018, DOI: <http://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
13. Saravana Balaji B., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, “Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey”, International Journal of Computer Applications, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
14. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
15. Кучук, Г.А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 93 – 96.
16. Сакович Л.М., Небесна Я.Е. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна // IC33I Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. – 2018 Випуск № 1 (3)Том 3, С. 49-53.
17. Сакович Л.М. Кількісне оцінювання значень показників надійності систем зв'язку / Л.М.Сакович, С.Є.Гнатюк // Зв'язок.–2013.–№6.–С. 10-15.
18. Гнатюк С.Є. Методика оцінки показників надійності систем спеціального зв'язку / С.Є.Гнатюк, Л.М.Сакович // Озброєння та військова техніка. - №1 (5). – 2015, С. 26-28.
19. СаковичЛ.М. Комплексність підходу щодо оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку за відповідними показниками якості / Л.М.Сакович, В.П.Романенко, С.Є.Гнатюк, І.Ю.Розум // Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони. - №1 (31). – К.: 2018, НУОУ імені Івана Черняхівського. – С.95-103.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В.Козловський,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України “КПІ ім. І.Сікорського”, Київ

Received (Надійшла) 08.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

Оценка надежности многорежимных технических объектов

Л. Н. Сакович, Г. Я. Криховецкий, Я. Э. Небесная

Цель статьи - повышение точности количественной оценки наработки на отказ многорежимный технических объектов. **Результаты.** В статье предложен подход к оценке надежности объектов с переменной структурой, определяемой возможными режимами работы. В известных работах это обстоятельство при количественной оценке значения наработки изделия на отказ не учитывается, что ведет к занижению расчетного значения указанного показателя надежности и повышению стоимости. Предлагается использование коэффициента, учитывающего время работы отдельных конструктивных элементов в каждом режиме. Приведен пример использования полученных результатов и рекомендации по их дальнейшему развитию. **Выводы.** Традиционная оценка наработки на отказ технических объектов без учета их многорежимности занижает значение этого показателя надежности. Полученные результаты целесообразно использовать при проектировании перспективных средств специальной связи при оценке их наработки на отказ, что позволит уменьшить стоимость изделий за счет рационального выбора элементов многорежимный объектов. В настоящее время известны зависимости влияния метрологической надежности средств измерительной техники на среднее время технического обслуживания и текущего ремонта средств специальной связи, что также необходимо учитывать при оценке значений показателей надежности объектов с переменной структурой.

Ключевые слова: многорежимные объекты, оценка надежности, наработка на отказ.

Evaluation of the reliability of multi-mode technical object

L. Sakovich, G. Krykhovetskiy, Y. Nebesna

The purpose of the paper is to increase the accuracy of the quantitative assessment of the failure of multi-mode technical objects. **Results.** The article proposes an approach to assessing the reliability of objects with a variable structure determined by possible modes of operation. In well-known works, this circumstance is not taken into account when quantifying the value of the product's time between failures, which leads to an underestimation of the calculated value of the indicated reliability index and an increase in cost. It is proposed to use a coefficient that takes into account the time of operation of individual structural elements in each mode. An example of the use of the results obtained and recommendations for their further development are given. **Conclusions.** The traditional assessment of the failure of technical objects without taking into account their multi-mode understate the value of this reliability index. The obtained results should be used during the design of promising means of special communication when evaluating their work abandonment, which will reduce the cost of products due to rational choice of elements of multi-mode objects. At the present time, the dependence of the influence of the metrological reliability of measuring equipment on the average maintenance time and the current repair of special communication means is also known, which also needs to be taken into account when evaluating the values of reliability indicators of variable-structured objects.

Keywords: multimode objects, reliability assessment, MTBF.