

DOI <https://doi.org/10.15407/csc.2023.01.033>
УДК 681.3.06

О.Є. ВОЛКОВ, кандидат технічних наук, старший дослідник, директор,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН
України, 03187, м. Київ, просп. Акад. Глушкова, 40, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5418-6723>,
alexvolk@ukr.net

С.Є. ГНАТЮК, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник,
Адміністрація Держспецзв'язку,
04050, м. Київ, вул. Ілленка, 83-Г, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-7058>,
s.hnatiuk@cip.gov.ua

Р.С. ОДАРЧЕНКО, доктор техн. наук, провідний науковий співробітник,
доцент, професор, Національний авіаційний університет,
03058, м. Київ, просп. Любомира Гузара, 1, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7130-1375>,
odarchenko.r.s@ukr.net

С.О. БОНДАР, аспірант, наук. співроб., Міжнародний науково-навчальний
центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України,
03187, м. Київ, просп. Акад. Глушкова, 40, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4140-7985>,
seriybrm@gmail.com

В.М. СИМАХІН, аспірант, наук. співроб., Міжнародний науково-навчальний
центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України,
03187, м. Київ, просп. Акад. Глушкова, 40, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4497-0925>,
thevladsima@gmail.com

МЕТОД ОЦІНКИ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

Вдосконалено метод оцінки значень наробітку на відмову, середнього часу відновлення та коефіцієнта готовності радіотехнічних засобів зі змінною структурою. Сутність удосконалення полягає у врахуванні часу роботи окремих складових частин виробу в можливих режимах використання за призначенням. У відомих працях ця обставина не враховується, тому результати розрахунків дають занижену оцінку значень показників надійності, а це, своєю чергою, веде до завищення вартості виробу. Наведено приклад використання методу та показано ефект від його застосування.

Ключові слова: оцінка значень показників надійності, багаторежимні об'єкти зі змінною структурою, наробіток на відмову, середній час відновлення.

Вступ

Сучасні дослідження в галузі теорії надійності складних технічних систем спрямовано на

створення об'єктів із заданими значеннями показників надійності завдяки впровадженню резервування найменш надійних конструктивних елементів і виробництву так званих

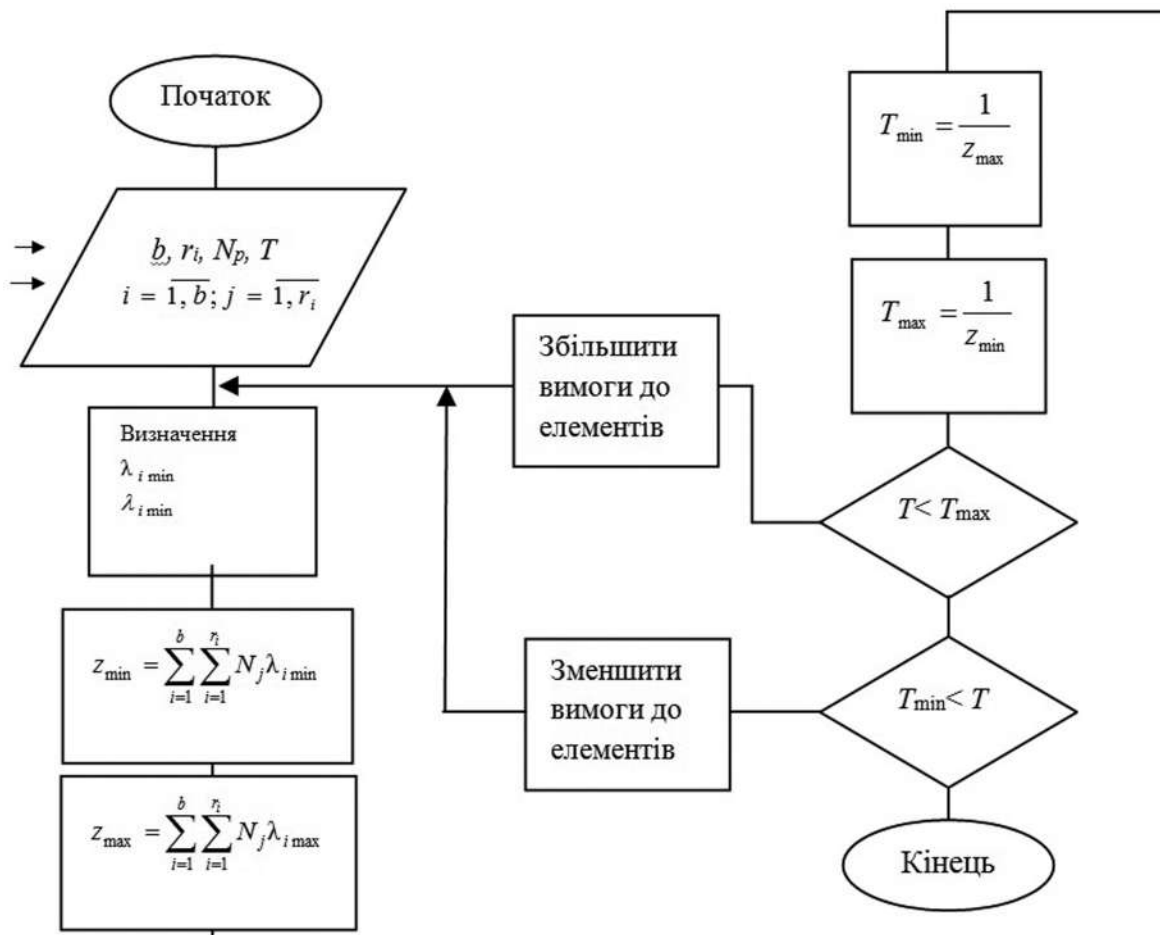


Рис. 1. Алгоритм орієнтовного розрахунку надійності

«абсолютно надійних систем», які мають коефіцієнт готовності $A \geq 0,997$ [1–5] (в окремих випадках, наприклад, для міжпланетних космічних апаратів, роботів для дослідження інших планет). Крім того, особлива увага приділяється розробці програмно-керованих радіотехнічних засобів і систем, що також впливає на їхню надійність [4, 6, 7]. Але складність сучасних радіотехнічних засобів і щільність монтажу безупинно зростає: тільки в радіостанціях тактичної ланки управління за останні тридцять років кількість елементів і щільність монтажу збільшилось більш ніж у шестеро [8]. При цьому вимоги до значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення цих виробів не змінилися.

У сучасних закордонних джерелах розглянуто різні аспекти забезпечення надійності радіо-електронних засобів від підвищення якості елементної бази до прогнозування зміни значень показників надійності з часом, але методи оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою не розглядаються [9–13].

Отже, є потреба забезпечення необхідного рівня надійності виробів при мінімізації їхньої вартості. Для цього потрібно удосконалити наявні методи розрахунку значень показників надійності складних технічних об'єктів з урахуванням їхніх властивостей: багаторежимності, багатофункціональності, наявності надлишковості, що веде до зміни структури об'єкта під час його використання за приз-

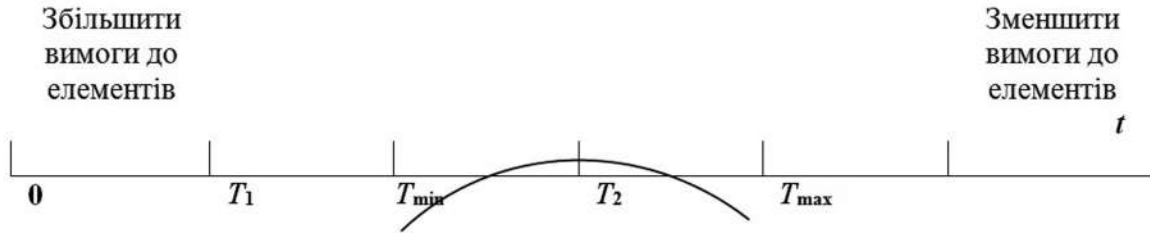


Рис. 2. Оцінка результатів розрахунку

наченням. Нині немає не лише практичних, а й теоретичних методів розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватися випадковим чином через короткі інтервали часу. Зміна структури завжди відбувається в залежності від зміни виконуваних системою функцій [1, 2].

Таким чином, метою статті є вдосконалення методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою завдяки врахуванню часу роботи окремих сукупностей елементів у можливих режимах використання за призначенням.

Методика розрахунку надійності радіоелектронних засобів

Орієнтовний розрахунок надійності радіоелектронних засобів (РЕЗ) без врахування властивості їхньої багаторежимності виконують за наведених далі припущеннях:

- відмови елементів є незалежними;
- відмова хоча б одного елемента тягне за собою відмову апаратури;
- інтенсивність відмов елементів від часу не залежить, тобто $\lambda_i = \text{const}$;
- елементи працюють у типових (номінальних) режимах;
- однотипні елементи є однаково надійними.

Друга умова практично означає, що в апаратурі резервування не застосовується, а елементи, які виконують допоміжні функції, з розрахунків мають бути виключені. Інакше кажучи, для орієнтовного розрахунку припускається, що всі елементи апаратури з'єднано послідовно, при цьому й повна, й часткова відмова будь-якого елемента призводить до відмови апаратури.

Враховуючи всі припущення, приступають до орієнтовного розрахунку надійності. Порядок розрахунку є таким (рис. 1):

1. За функціональною схемою визначають кількість (б) вузлів (блоків) у проектованій апаратурі.

2. Для кожного функціонального блока підраховують кількість груп g_i і кількість елементів у кожній групі $N_j; i = \overline{1, b}$.

3. За довідником з надійності визначають інтенсивність кожної j -ої групи елементів. При цьому враховується, що реально до групи однотипних елементів входять зразки, які відрізняються за номіналами потужності розсіювання або за робочою напругою, а інколи і за деякими конструктивними ознаками.

Тому інтенсивність відмов елементів λ_j визначається або шляхом задання можливих мінімальних і максимальних значень, або шляхом опосередкування всіх величин, які є в довіднику і належать до елементів даної групи: $\lambda_{j \text{ гр. min}}, \lambda_{j \text{ гр. max}}$.

4. Визначаються значення інтенсивності відмов або параметра потоку для всієї апаратури z_{min} і z_{max} , де N_j – кількість функціональних елементів у даній j -ій групі; r – кількість груп функціональних елементів.

5. Розраховується значення середнього часу напрацювання на відмову апаратури T_{min} і T_{max} .

6. Здійснюється аналіз і порівняння результатів із заданими значеннями T (рис. 2):

- якщо $T_{\text{min}} > T$, то розроблена схема є прийнятною й може бути взятою за основу розробки;

- якщо $T_{\text{max}} < T$, то запропонована схема не задовольняє вимогам, які висуваються.

У цьому разі необхідно знайти нове схемне



Рис. 3. Класифікація об'єктів зі змінною структурою

рішення (переопрацювання функціональної схеми, скорочення кількості функціональних вузлів і блоків, створення полегшеного режиму функціонування для елементів, які мають найбільше значення інтенсивності відмови λ тощо);

- якщо $T_{\min} < T < T_{\max}$, то запропонована схема може забезпечити необхідні показники надійності.

Але сучасні РЕЗ відрізняються властивостями багаторежимності, тобто їхні елементи працюють різний час.

Тому розглянуто теоретико-множинні моделі об'єктів, які дають змогу кількісно оцінити потужність підмножин елементів, що використовують у різних режимах роботи з метою оцінки показників надійності РЕЗ залежно від структури об'єкта та порядку зміни режимів роботи. За допомогою математичного апарату теорії множин доведено, що надійність РЕЗ буде максимальною при мінімальній потужності елементів, які використовуються під час роботи та навпаки.

Проаналізовано надійність РЕЗ, які відрізняються багатофункціональністю та багаторежимністю, тобто змінюють структуру під час використання за призначенням, застосовуючи математичний апарат теорії множин. Це дає змогу згодом оцінити значення показників надійності (напрацювання на відмову та середній час відновлення) залежно від порядку взаємодії підмножин елементів та їхньої потужності.

На сьогодні представлено велику кількість принципів, методів, методик, а також засобів виявлення та пошуку несправностей радіо-

елементів під час їхнього виготовлення та експлуатації, що становить основу прогнозування надійності РЕЗ у процесі виробництва. Підвищення надійності РЕЗ на всіх етапах життєвого циклу забезпечується покращенням показників, таких як коефіцієнт готовності, час відновлення працездатного стану, а також ресурс або термін служби та напрацювання на відмову.

Розглянуто підходи щодо обґрунтування важливості й актуальності розв'язання задачі, розробки методології отримання, обробки та управління діагностичною інформацією на основі використання теорії множин із метою оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою.

У сучасних публікаціях з теорії надійності складних технічних об'єктів зазначено, що є необхідність наукового аналізу технічних структур, конфігурація яких змінюється під час використання цих об'єктів за призначенням. Показано, що нині відсутні не лише практичні, а й теоретичні методи розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватися у випадковий спосіб або в заданій послідовності через визначені інтервали часу. Причому зміна структури завжди відбувається залежно від зміни функцій, які виконує система.

Встановлено особливості розрахунку надійності із врахуванням часу зберігання та використання за призначенням, причому інтенсивність відмов елементів під час зберігання, порівняно з роботою зменшується в 10...100 разів. У відомих роботах основна увага приділяється дослідженню надійності об'єктів з резервуванням. Окремо розглянуто вплив зміни структури об'єктів на ефективність їхнього діагностування.

Розширення умов експлуатації, підвищення відповідальності функцій, які виконують РЕЗ, їхнє ускладнення спричиняє підвищення вимог до надійності виробів. Тому найважливішим у забезпеченні надійності РЕЗ є підвищення їхньої безвідмовності.

Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами «життєвого циклу» від

виготовлення до списання. Під час розрахунку та проектування РЕЗ їхня надійність закладається в проєкт, при виготовленні забезпечується, а під час експлуатації реалізується. Тому проблема надійності є комплексною і розв'язувати її необхідно на всіх етапах і різними засобами. На етапі проектування техніки зв'язку визначається її структура, здійснюється вибір або розробка елементної бази, що надасть можливість забезпечити необхідний рівень надійності виробу. Вирішується це завдання за допомогою розрахунку значень показників надійності (насамперед безвідмовності), залежно від структури об'єкта та характеристик його складових частин, і з подальшою корекцією за необхідності.

При аналізі надійності складних систем їх розбивають на елементи (компоненти) з метою оцінки окремих елементів і в подальшому всієї системи. Під елементом, точніше кажучи, елементом розрахунку надійності, розуміють складову частину складної системи, яка може характеризуватися самостійними вхідними та вихідними параметрами. Під час дослідження надійності системи її елементи не розділяються на складові частини, а показники безвідмовності та довговічності стосуються елемента загалом. При цьому можливе відновлення працездатності елемента незалежно від інших частин й елементів системи. Такою є реалізація принципу агрегування.

Аналіз надійності складних систем має специфічні особливості. Різні відмови, а також зниження працездатності елементів системи по-різному впливають на надійність системи. Тому з погляду надійності розгляду й аналізу підлягають лише елементи, відмова яких призводить до відмови системи. Ці елементи та підсистеми виявляються при розгляді структурної надійності.

Структурною надійністю системи (пристрою) називається результуюча надійність системи (пристрою) при заданій її структурі та відомих значеннях надійності всіх вхідних у неї частин (блоків, вузлів, компонентів тощо, тобто конструктивів).

Моделі надійності встановлюють зв'язок між підсистемами (або елементами системи) та їхнім впливом на роботу всієї системи.

Дослідження структури дає змогу виявити вузькі місця в конструкції системи з погляду її надійності, а на етапі проектування розробити конструктивні заходи щодо усунення подібних вузьких місць. Наприклад, можна заздалегідь підрахувати, скільки резервних елементів необхідно для забезпечення заданого рівня надійності системи. Далі можна розрахувати надійність системи, побудованої з елементів із відомою надійністю або навпаки, виходячи з вимог надійності системи, пред'явити вимоги до надійності елементів.

До РЕЗ ставлять підвищені вимоги щодо їхньої надійності. Вони відрізняються властивостями багатофункціональності, багаторежимності та наявністю кількох інформаційних виходів, тобто належать до об'єктів зі змінною структурою (рис. 3), надійність яких залежить від їх надлишковості та часу роботи в окремих режимах.

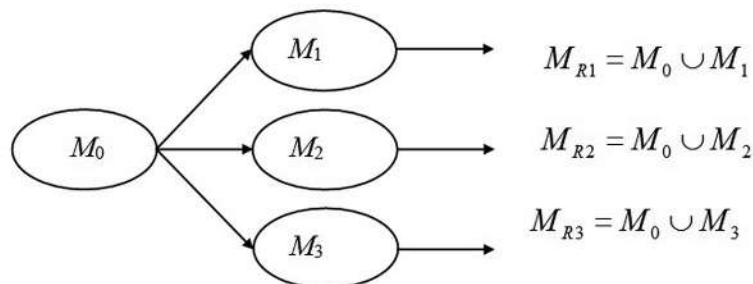
Багатофункціональність — властивість об'єкта, яка полягає в здатності задовольнити різні потреби користувача.

Багаторежимність — властивість об'єкта, яка полягає в здатності виконання покладених на нього функцій завдяки використанню різних сукупностей функціональних елементів або зміни їхніх властивостей.

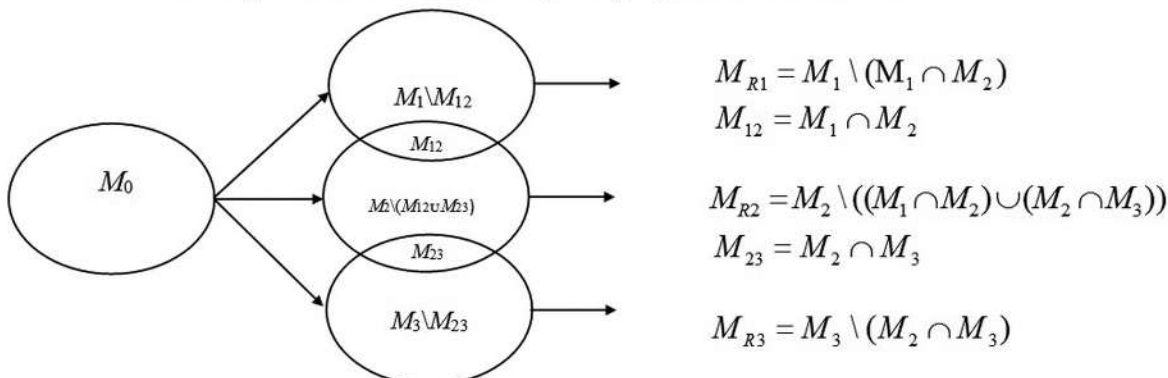
Надлишковість — додаткові засоби та можливості більш ніж необхідні для виконання об'єктом заданих функцій. Розрізняють конструктивну, часову, інформаційну, структурну та функціональну види надлишковості, що присутні у схемах зв'язку різного призначення.

Раніше було розглянуто різноманітні структури об'єктів з погляду їхнього відновлення, а не оцінки надійності з використанням математичного апарата теорії множин. Аналіз теоретико-множинних моделей об'єктів показує, що їхня надійність є максимальною при мінімальній потужності елементів, що використовують під час роботи, і навпаки.

Якщо багаторежимний об'єкт має ядро (наприклад, підсистема електроживлення), то



Багаторежимний об'єкт без перетину підмножин елементів



Багаторежимний об'єкт з перетином підмножин елементів

Рис. 4. Теоретико-множинні моделі багаторежимних об'єктів з ядром і довільної зміни режимів роботи

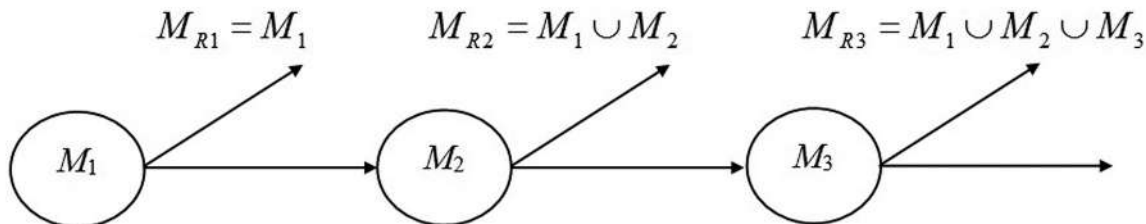


Рис. 5. Теоретико-множинна модель об'єкта з послідовною зміною режимів

можливими є варіанти без перетину або з перетином підмножин елементів, в R_i режимі роботи (рис. 4), що відповідає, наприклад, радіопередавачу та радіоприймачу радіостанції при різних режимах роботи.

При послідовній зміні режимів потужність підмножини елементів поступово збільшується, при цьому надійність виробу зменшується (рис. 5). Це відбувається, наприклад, у підсистемах управління функціонуванням радіопередавачів великої потужності.

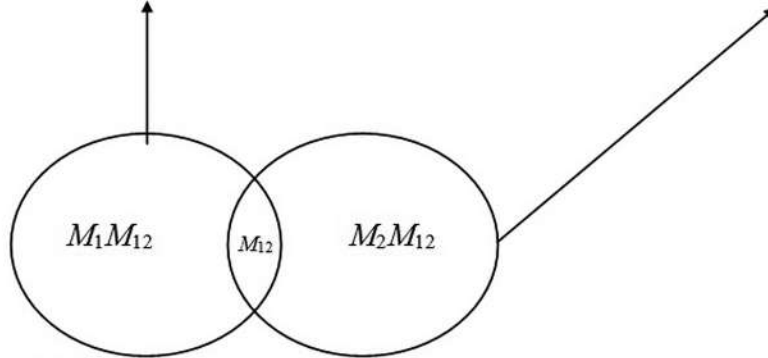
При цьому послідовно вмикається ввід, охолодження, зміщення та висока напруга. У

кожному режимі використовують усі елементи, підключені раніше. Таким чином, їхня загальна кількість поступово збільшується. Коли радіопередавач перебуває в гарячому режимі на випадок передачі найважливіших повідомлень висока напруга вмикається дистанційно. Тобто, елементи підсистеми працюють різний час, що при традиційній оцінці надійності не враховують.

Розгляньмо без'ядерну теоретико-множинну модель об'єктів із довільними змінами режимів роботи (рис. 6):

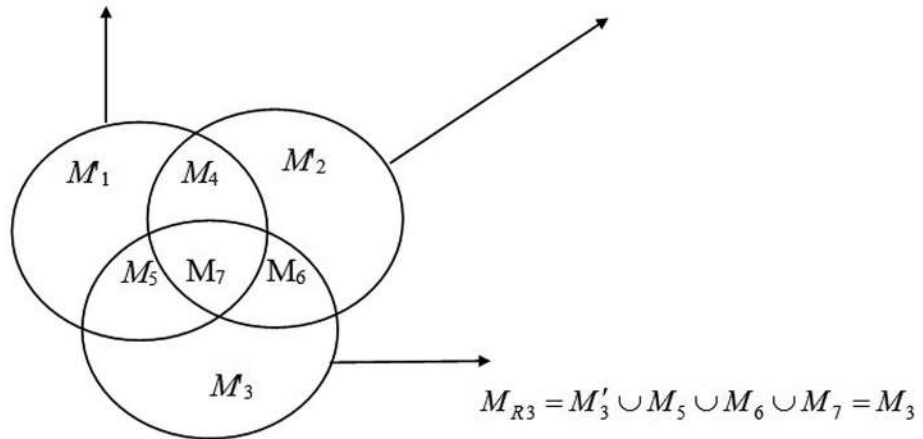
$$M'_1 = M_1 \setminus (M_1 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i$$

$$M_{R1} = M_1 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_1 \cap M_2) = M_1 \quad M_{R2} = M_2 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_1 \cap M_2) = M_2$$



$$M_{12} = M_1 \cap M_2$$

$$M_{R1} = M'_1 \cup M_4 \cup M_5 \cup M_7 = M_1 \quad M_{R2} = M'_2 \cup M_4 \cup M_6 \cup M_7 = M_2$$



$$M_{R3} = M'_3 \cup M_5 \cup M_6 \cup M_7 = M_3$$

Рис. 6. Теоретико-множинна модель об'єкта без ядер з довільною зміною режимів роботи

$$M'_2 = M_2 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_3 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i$$

$$M'_3 = M_3 \setminus (M_2 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_3) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i$$

Якщо в цих випадках також використовують послідовні зміни режимів роботи об'єкта, то отримуємо теоретико-множинну модель виду рис. 7.

За допомогою розглянутих теоретико-множинних моделей об'єктів оцінюємо кількісну потужність підмножин елементів, що використовуються в різних режимах роботи, з метою подальшої оцінки показників надійності залежно від структури об'єкта та порядку зміни режимів роботи. Застосуємо отримані

результати для оцінки показників надійності радіостанції, яка працює в режимах прийому або передачі, а в якості ядра використовують блок електроживлення, генератор сигналів та антену. Порядок зміни режимів є довільним, але відомо, що час роботи в режимі «прийм» (T_{p2}) є набагато тривалішим, ніж у режимі «передача» (T_{p3}) (рис. 8).

За відомими методиками, виходячи з потужності підмножини елементів, отримано параметр потоку відмов Z_i ($i = 1, 3$), а з технічних характеристик радіостанції відомо, що час роботи у кожному режимі при $T_{p1} = T_{p2} + T_{p3}$. У такому разі коефіцієнт використання кожної

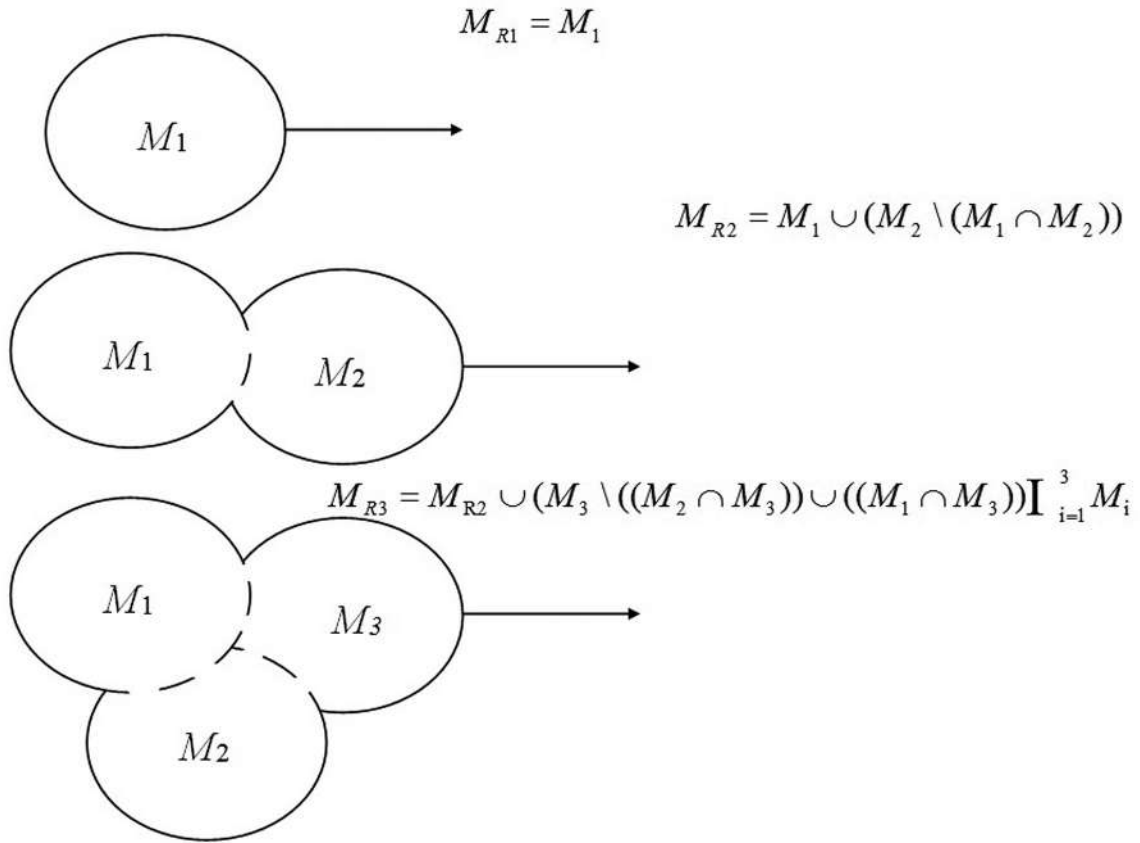


Рис. 7. Теоретико-множинна модель об'єкта без ядер з послідовною зміною режимів роботи

підмножини елементів дорівнює: $u_1 = \frac{T_{p1}}{T_{p2} + T_{p3}}$;
 $u_2 = \frac{T_{p2}}{T_{p2} + T_{p3}}$; $u_3 = \frac{T_{p3}}{T_{p2} + T_{p3}}$.

Напрацювання на відмову елементів кожної підмножини визначається параметром потоку відмови, що дає змогу оцінити загальну кількість відмов виробу та його напрацювання на відмову загалом, залежно від значення коефіцієнта використання кожної підмножин елементів. Діагностування радіостанції доцільно виконувати в порядку зменшення потужностей підмножин елементів із використанням умовних алгоритмів пошуку дефектів.

Після визначення напрацювання на відмову T і середнього часу відновлення T_B можливо кількісно оцінити значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності: $A = T / (T + T_B)$. Тобто, викорис-

тання теоретико-множинної моделі надійності РЕЗ дає змогу аналізувати їхню структуру в можливих режимах роботи й у подальшому кількісно оцінювати значення показників надійності.

Врахування властивості багаторежимності РЕЗ з використанням теоретико-множинної моделі їхньої структури дає змогу точніше кількісно оцінити значення показників надійності.

Вперше запропонований підхід до підвищення точності кількісної оцінки показників надійності РЕЗ зі змінною структурою, які працюють у різноманітних режимах роботи з використанням окремих сукупностей елементів у кожному з них. У відомих працях цю обставину не враховують і показники надійності виробу оцінюють у припущенні, що всі елементи працюють одночасно, що веде до зниження розрахункового значення нап-

рацювання на відмову. Завдання вирішується впровадженням коефіцієнта використання кожного конструктивного елемента виробу в усіх можливих режимах роботи. Наведено приклад використання отриманих результатів для кількісної оцінки напрацювання на відмову багаторежимного об'єкта й показано ефект від уточнення розрахунків.

Надійність РЕЗ кількісно оцінюють показниками, головними з яких є напрацювання виробу на відмову та середній час його відновлення. Вони визначають комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності. Зниження розрахункового значення напрацювання на відмову вимагає для забезпечення його потрібного значення використання надійнішої елементної бази, що веде до збільшення вартості виробу загалом.

Вперше отримано математичну модель оцінки показників надійності, що враховує час роботи виробу в кожному з можливих режимів, а під час розрахунку показника ремонтпридатності враховано метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки, які використовують у процесі діагностування під час поточного ремонту.

Запропоновану модель оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою доцільно використовувати на етапі проектування сучасних РЕЗ. Ефект від її впровадження полягає в забезпеченні заданих значень показників надійності багаторежимних РЕЗ при їх мінімальній вартості.

РЕЗ різноманітного призначення безперервно розвиваються й удосконалюються в напрямку покращення показників якості відповідно до вимог споживачів завдяки впровадженню нових схемних і конструктивних рішень, а також використання сучасної елементної бази. Це спричиняє відповідне ускладнення виробів, яке не веде до покращення значень показників їхньої надійності. Тому питання забезпечення необхідного рівня надійності сучасних РЕЗ є дуже важливим і для виробників, і для споживачів.

Відомі методи забезпечення необхідних значень показників надійності РЕЗ завдяки

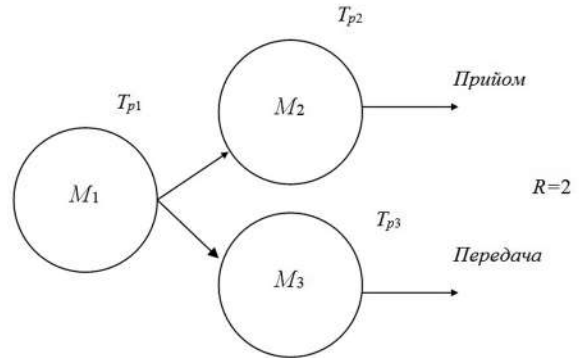


Рис. 8. Теоретико-множинна модель радіостанції

резервуванню найменш надійних конструктивних одиниць, що збільшує їхню вартість та масогабаритні показники, а також обсяг запасних інструментів та приладдя для реалізації поточного ремонту агрегатним методом. Також досліджуються напрями автоматизації розрахунків показників надійності РЕЗ та їх зміни з плином часу.

Перспективним напрямом розвитку РЕЗ у галузі зв'язку є впровадження програмного керування засобів, якість програмного забезпечення яких також впливає на надійність окремих виробів і системи зв'язку загалом.

На значення комплексного показника надійності РЕЗ – їхнього коефіцієнта готовності суттєво впливає не лише напрацювання на відмову, а й середній час відновлення, тому в спеціальній технічній літературі, науково-дослідних і дисертаційних роботах приділяється увага підвищенню якості діагностичного забезпечення ремонту. Під час кількісної оцінки значень показників надійності РЕЗ, які визначаються завданнями на проектування, не враховують властивість багаторежимності, що веде до зміни структури об'єктів під час використання їх за призначенням.

Нині відсутні не лише інженерні методи, а й теоретичні розробки аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, яка зумовлена її багатofункціональністю та багаторежимністю, коли в окремих режимах роботи використовують відповідні сукупності елементів. Властивості багаторежимності ви-

користують під час розробки діагностичного забезпечення, але при оцінці надійності традиційно вважають, що всі елементи об'єкта працюють одночасно, і це суттєво занижує значення напрацювання на відмову.

Сьогодні, в сучасних вітчизняних і зарубіжних публікаціях з актуальних питань надійності складних технічних об'єктів і систем розглянуто окремі напрями підвищення значень показників їхньої надійності. Але в цих виданнях зовсім не розглядаються питання комплексного врахування надійності окремих складових програмно керованих багаторежимних засобів зв'язку зі змінною структурою під час оцінки їхніх показників і в процесі проектування, й уточнення під час дослідної експлуатації.

Виникає завдання підвищення точності кількісної оцінки показників надійності РЕЗ зі змінною структурою завдяки використанню нової моделі, яка враховує час роботи окремих елементів об'єкта в різноманітних режимах роботи та підвищує точність розрахунків із врахуванням особливостей побудови та використання за призначенням цих об'єктів.

Завданням на розробку нормуються значення напрацювання на відмову та середній час відновлення наявних, модернізованих та перспективних зразків багаторежимних РЕЗ. Тому під час проектування обов'язково виконують розрахунок надійності з кількісною оцінкою всіх показників надійності, які потім перевіряють під час дослідної експлуатації.

Засоби зв'язку належать до класу об'єктів зі зміною структурою, які можуть бути одно- і багатофункціональними, багаторежимними з фіксованою або довільною зміною режимів роботи (рис. 3).

Для моделювання цих об'єктів використовують відомий математичний апарат теорії множин, але лише під час розробки діагностичного забезпечення. Теоретико-множинні моделі дають змогу оцінити потужності множин елементів, які використовують в окремих режимах роботи, а також їхній взаємозв'язок.

Наприклад, при фіксованій зміні режимів доцільно застосовувати модель типу «гір-

лянда», коли з кожним кроком кількість елементів об'єкта збільшується. Це веде до зниження напрацювання на відмову та збільшення середнього часу відновлення, що погіршує значення комплексного показника надійності коефіцієнта готовності об'єкта.

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 їхньої роботи в заданому режимі (наприклад, час роботи радіостанції в режимі «прийом» є в кілька разів більшим, ніж у режимі «передача»), тобто технічний ресурс елементів витрачається нерівномірно.

Для врахування цієї обставини пропонується застосовувати коефіцієнт використання за призначенням кожної підмножини елементів у 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 з аналізу використання засобів зв'язку, що відображено в апаратних журналах вузлів зв'язку.

Розгляньмо порядок використання цих пропозицій на прикладі багаторежимного об'єкта, схему якого наведено на рис. 9. Об'єкт працює у трьох режимах, у кожному з яких використано п'ять із восьми загальної підмножини елементів. Це є теоретико-множинною моделлю із сильними перетинами підмножини елементів і ядром, що складають елементи 7 і 8, які використовують у всіх режимах роботи.

При традиційному орієнтовному розрахунку надійності сумують мінімальні та максимальні значення параметра потоку відмов окремих елементів у Z_i , після чого визначаються межі зміни та середні значення напрацювання на відмову:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^L Z_i}.$$

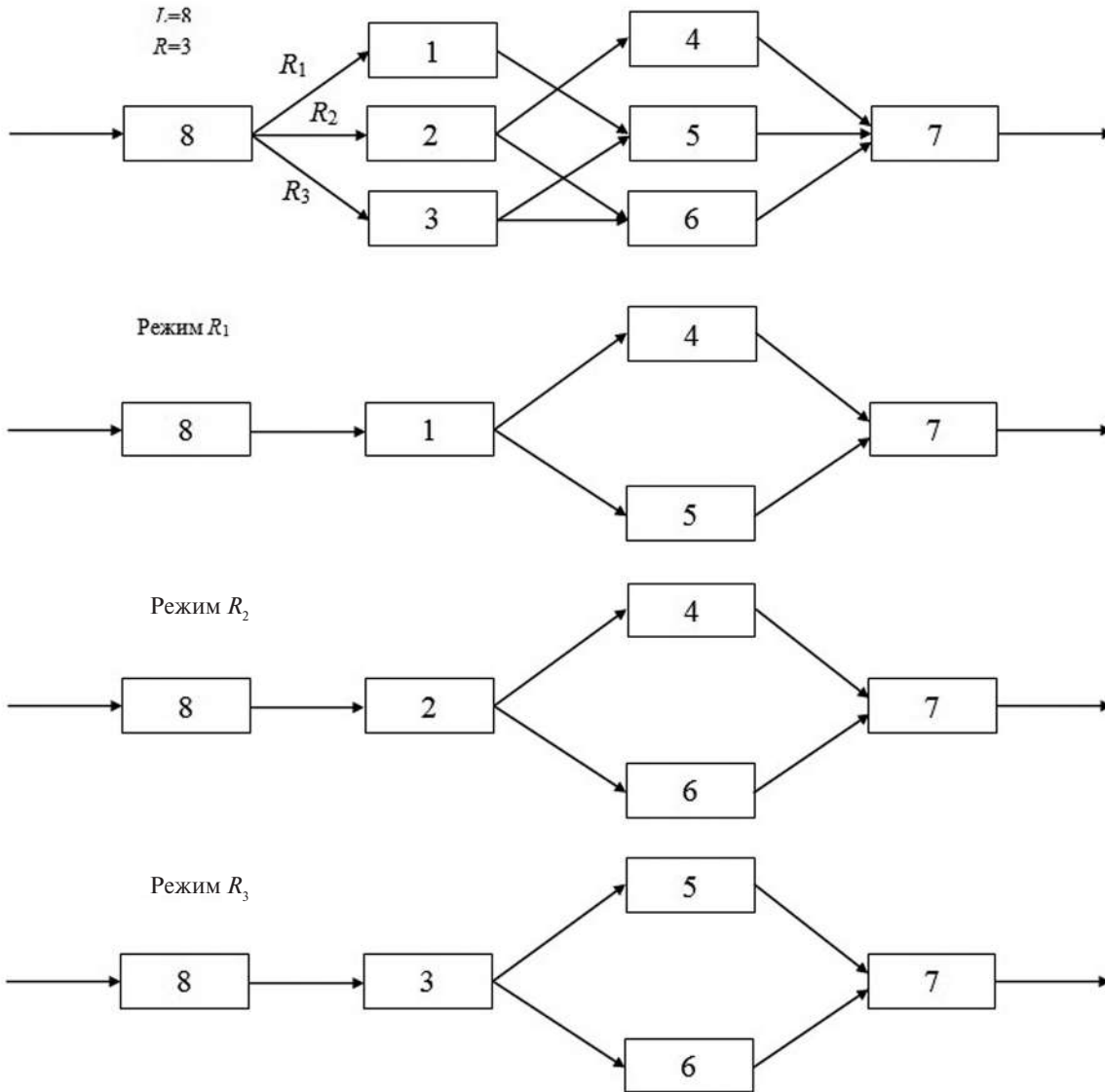


Рис. 9. Приклад багаторежимного технічного об'єкта з ядром сильним перетином підмножини елементів

При цьому реальний час роботи окремих елементів не враховується.

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

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

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

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

У такому разі напрацювання на відмову виробу в кожному режимі роботи дорівнює:

$$T_1 = \frac{1}{Z_{R1}}; T_2 = \frac{1}{Z_{R2}}; T_3 = \frac{1}{Z_{R3}}.$$

За наявності додаткових даних щодо часу роботи виробу в окремих режимах T_{pi} можливо розрахувати значення відносного коефіцієнта використання кожного елемента відповідно:

$$u_1 = \frac{T_{p1}}{T_p}; u_2 = \frac{T_{p2}}{T_p}; u_3 = \frac{T_{p3}}{T_p};$$

$$u_4 = \frac{T_{p1} + T_{p2}}{T_p}; u_5 = \frac{T_{p1} + T_{p3}}{T_p}; u_6 = \frac{T_{p2} + T_{p3}}{T_p};$$

$$u_7 = 1; u_8 = 1; T_p = T_{p1} + T_{p2} + T_{p3},$$

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

Це дозволяє з урахуванням конкретного часу роботи кожного елемента виробу кількісно оцінити прогнозу кількість відмов елементів і виробу як цілого:

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

Тоді параметр потоку відмов виробу загалом дорівнює:

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

де $T_{pi} / T_i = N_i$ – напрацювання на відмову окремих підмножин елементів, а напрацювання на відмову з врахуванням часу роботи підмножин елементів в окремих режимах, відповідно $T = T_p / N$.

Припустімо, що всі підмножини елементів у прикладі, який розглядається, рівно надійні $Z_i = Z$ і в кожному режимі роботи виріб працює однаково час $T_{pi} = T_p / 3$, тоді отримуємо $u_1 = u_2 = u_3 = 1/3; u_4 = u_5 = u_6 = 2/3; u_7 = u_8 = 1$.

Загальна кількість відмов виробу за час роботи T_p складає: $N = Z T_p \sum_{i=1}^8 u_i = 5 Z T_p$, а напрацювання на відмову $T = 1/5Z$.

За тих самих умов при традиційному умовному розрахунку надійності отримуємо $T' = 1/8Z$, тобто, реальне значення напрацювання на відмову виробу при врахуванні його властивості багаторежимності збільшилася в $T'/T = 1,6$ рази, або на $[(T - T')/T'] 100\% = 3$.

Очевидно, чим більшою є кількість можливих режимів роботи виробу, тим точнішою є оцінка значення напрацювання на відмову з урахуванням властивості багаторежимності. Але це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

Напрацювання на відмову РЕЗ загалом T залежить від часу роботи окремих частин виробу, які використовують у різноманітних

режимах роботи T_i , який, своєю чергою, визначається параметром потоку відмов цієї підмножини елементів $(Z_i) T_i = 1 / Z_i$.

Властивість багаторежимності РЕЗ враховується введенням коефіцієнта використання окремих сукупностей елементів залежно від відносного часу їхньої роботи $T_{pi}; u_i = T_{pi} / T_p; i = 1, n$; де n – кількість підмножин елементів РЕЗ, які використовують у різноманітних режимах; T_p – загальний час роботи РЕЗ.

У такому разі загальна кількість відмов виробу за час T_p складає

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{T_{pi}}{T_i} = T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i,$$

а параметр потоку відмов РЕЗ загалом дорівнює

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

де Z – параметр потоку відмов виробу.

Іншим показником надійності РЕЗ, що нормується та задається керівними документами, є середній час відновлення T_B . Він залежить від кваліфікації виконавців (t – середній час виконання перевірки параметра, t_y – середній час усунення несправності), якості метрологічного та діагностичного забезпечення, потужності підмножин елементів, які використовують в окремих режимах роботи виробу, та ймовірності їхньої відмови.

При пошуку дефектів під час поточного ремонту за програмами, побудованими на основі використання умовних алгоритмів мінімальної форми, середня кількість перевірок $K = \log_2 L_i; i = 1, n$, де K_i – середня кількість перевірок для пошуку дефектів у підмножині елементів L_i , серед яких необхідно визначити несправний.

Середня кількість перевірок при поточному ремонті виробу загалом складає:

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i.$$

При цьому загальна кількість елементів РЕЗ $L = \sum_{i=1}^n L_i$ за умови, що елементи підмножин використовуються лише в окремих режимах роботи.

Ймовірність відмови виробу внаслідок появи дефекту серед елементів дорівнює

$$\frac{N_i}{N} = \frac{T_{pi}}{T_i T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i} = \frac{u_i T_p}{\frac{1}{Z_i} T_p Z} = \frac{u_i Z_i}{Z},$$

при цьому $T \sum_{i=1}^n u_i Z_i = 1$.

Середній час відновлення виробу – це дискретна випадкова величина, математичне сподівання якої є сумою добутоків її можливих значень K_i на ймовірність їхньої появи $u_i Z_i / Z$. Тоді розрахунковий час відновлення РЕЗ (без врахування метрологічної надійності засобів вимірювань) дорівнює $T_{BP} = t_y + \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i$.

У такому разі комплексний показник надійності виробу – коефіцієнт готовності, дорівнює

$$A = \frac{T}{T + T_{BP}} = \frac{1}{1 + t \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i + t_y \sum_{i=1}^n u_i Z_i},$$

а коефіцієнт готовності $U = 1 - A$.

Цей вираз не враховує ймовірність правильної постановки діагнозу $P = p^k$, де p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки параметра РЕЗ, а також метрологічну надійність засобів вимірювань $P(\tau)$, де τ – період перевірки засобів вимірювань.

Отже, цільова функція досліджень – мінімізація значення комплексного показника надійності виробу – коефіцієнта неготовності при обмеженнях на припустимі значення напрацювання на відмову T_d та середнього часу відновлення $T_{вд}$, що визначаються керівними документами, при заданому режимі експлуатації T_{pi}, u_i , отримує вигляд:

$$U(x) = \min U(x^*); \quad x^* \in \Delta; \quad x = (L_i, u_i, T_{pi}, Z_i, n, t, t_y, P(\tau), T, T_{вд});$$

$$T(T_{pi}, u_i, Z_i, n) \geq T_{дi}; \quad T_{вд}(t, t_y, K, p, P(\tau)) \leq T_{вд}.$$

де x – параметри, що впливають на надійність виробу;

x^* – їхнє значення під час розв'язання завдання;

Δ – область припустимих меж зміни значень параметрів.

Групи некерованих параметрів:

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

Групи керованих параметрів в умовах експлуатації:

T_{pi}, u_i – залежать від режиму експлуатації виробу;

t, t_y – залежать від кваліфікації виконавців та умов відновлення працездатності;

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

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

У такому разі в якості показника ефективності доцільно використовувати відносне зниження коефіцієнта неготовності, значення якого розраховано при використанні відомих методик U' , порівняно з отриманим за запропованою моделлю надійності об'єктів зі змінною структурою U :

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

Отримані результати зібрано в таблиці, яка є математичною моделлю оцінки значень показників надійності РЕЗ зі змінною структурою.

Запропонована модель відрізняється від відомих врахуванням часу роботи виробу в окремих режимах, ймовірності відмови в кожному режимі роботи та метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки.

Адекватність моделі підтверджується тим, що отримані формули правого стовпця таблиці при $u_i = 1$ і $P(\tau) = 1$ без врахування ймовірності відмови підмножин елементів L_i перетворюються на відомі вирази, які наведено в лівому стовпчику таблиці.

Ця модель є математичною основою методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

Призначення методу, його сутність, вихідні дані, обмеження та припущення, а також результат від використання наведено на структурній схемі рис. 10. Запропонований математичний апарат зведено в таблиці, де вперше впроваджено коефіцієнти використання сукупностей елементів виробу, значення яких впливають на всі інші показники надійності.

Таблиця. Математична модель оцінки значень показників надійності РЕЗ зі змінною структурою

Показник	Функціональні залежності	
	Без врахування багаторежимності	Із врахуванням багато режимності
Параметр потоку відмов	$Z' = \sum_{i=1}^n Z_i$	$Z = \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Напрацювання на відмову	$T' = 1 / Z'$	$T = 1 / Z$
Загальна кількість відмов	$N' = T_p \sum_{i=1}^n Z_i$	$N = T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Розрахунковий середній час відновлення	$T'_{BP} = t_y + \frac{t}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	$T_{BP} = t_y + \frac{t}{Z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i$
Середня кількість перевірок	$K_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P = p^x$	
Середній час відновлення	$T'_B = \frac{T'_{BP}}{P}$	$T_B = \frac{T_{BP}}{P \cdot P(\tau)}$
Коефіцієнт готовності виробу	$A' = \frac{T'}{T' + T'_B}$	$A = \frac{T}{T + T_B}$
Коефіцієнт неготовності виробу	$U' = \frac{T'_B}{T' + T'_B}$	$U = \frac{T_B}{T + T_B}$
Ефект від використання моделі	$\eta = \frac{U' - U}{U'} \cdot 100\%$	

Блок-схему алгоритму реалізації вдосконаленого методу наведено на рис. 10, де додатково позначено: T_d – припустиме значення напрацювання виробу на відмову, $T_{вд}$ – припустимий час відновлення виробу при поточному ремонті. Значення цих показників є в керівних документах. Інші вихідні данні отримують:

L, n, L_i – із аналізу схеми виробу;

Z_i – розрахунок параметру потоку відмов сукупностей елементів за відомими методиками [1, 2, 5];

T_p, T_{pi} – з аналізу режиму роботи виробу під час експлуатації;

$p, P(\tau)$ – залежно від типу засобів виміральної техніки [14–17];

t, t_y – з аналізу роботи фахівців ремонтного органу залежно від їхньої кваліфікації.

Розгляньмо порядок використання отриманих результатів на прикладі оцінки значень показників надійності радіостанції п'ятого покоління [8]. Теоретико-множинна модель радіостанції приведена на рис. 6, де M_1 – множина елементів, яку використовують в режимі «передача»; M_2 – в режимі «прийом»; M_{12} – ядро, що використовують в обох режимах роботи (підсистеми електроживлення, управління і функціонування, генераторне обладнання, антена) [18].

Загальна кількість елементів радіостанції складає $L=4096$, з яких в обох режимах

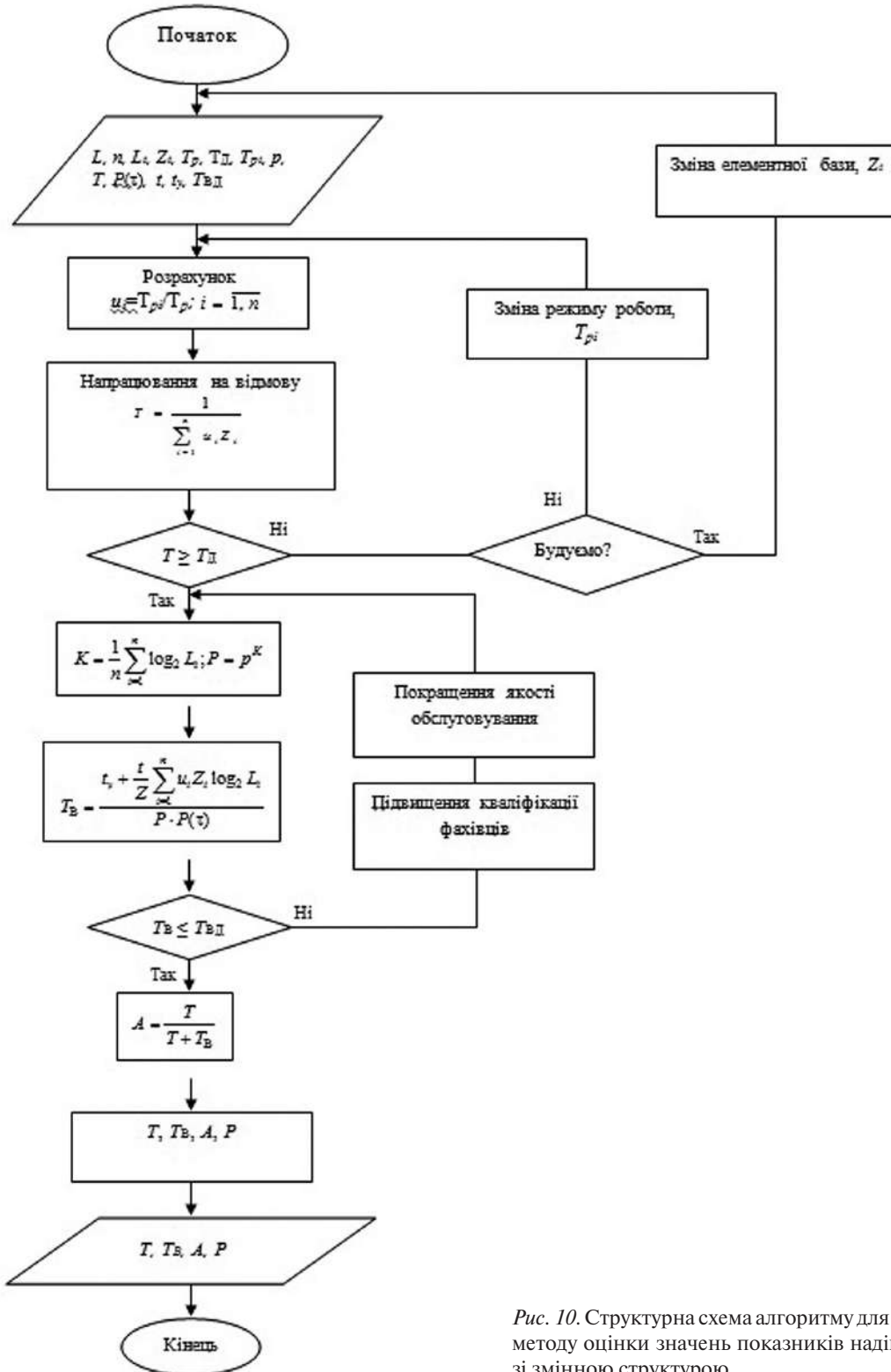


Рис. 10. Структурна схема алгоритму для впровадження методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою



Рис. 11. Структурна схема використання методу кількісної оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою

використовується $L_3=512$ елементів, в режимі «прийому» $L_2=3072$ елемента і в режимі «передача» $L_1=1024$ елемента. При цьому $Z_1 = 307 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, $Z_2 = 532 \cdot 10^{-6}$ год⁻², $Z_3 = 154 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

Без врахування властивостей багаторежимності отримуємо ($n=3$)

$$Z' = \sum_{i=1}^3 Z_i = 993 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1},$$

напрацювання на відмову дорівнює $T' = 1007$ год. Під час поточного ремонту радіостанції використовують засоби вимірювальної техніки з метрологічними характеристиками $p = 0,997$ і $P(\tau) = 0,96$ [14-17]. Якщо під час поточного ремонту застосовують умовні алгоритми діагностування, то $K = 8,86$. Вважаючи, що кваліфікація фахівців забезпечує $t = 3, 5$ хв і $t_v = 8$ хв отримуємо середній час відновлення $T'_B = 43$ хв. Ці показники цілковито відповідають вимогам до надійності аналогічних об'єктів $T_d \geq 1000$ год і $T_{\text{вд}} \leq 60$ хв, при цьому $A' = 0,9993$ ($U' = 0,0007$).

Результати обчислень для тих же вихідних даних за алгоритмом рис. 11 з використанням математичної моделі надійності таблиці при врахуванні властивості радіостанції роботи в двох режимах залежно від співвідношення часу роботи на «прийом» u_2 або «передачу» приведено на рис. 12–15.

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% (хв) і зниження коефіцієнта 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.

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням відносного часу роботи радіостанції в режимі «прийом»:

– напрацювання на відмову зменшується, оскільки в цьому режимі використовується більшість елементів радіостанції (рис. 12);

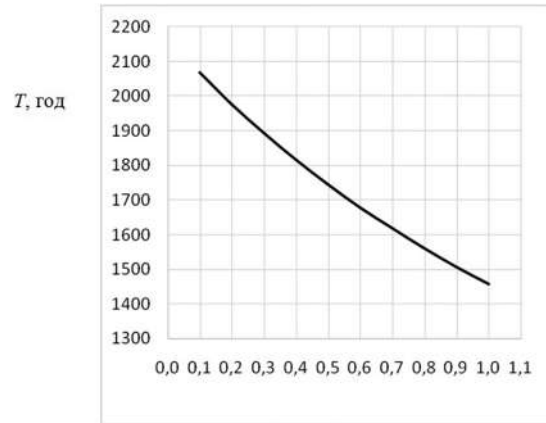


Рис. 12. Залежність напрацювання на відмову радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

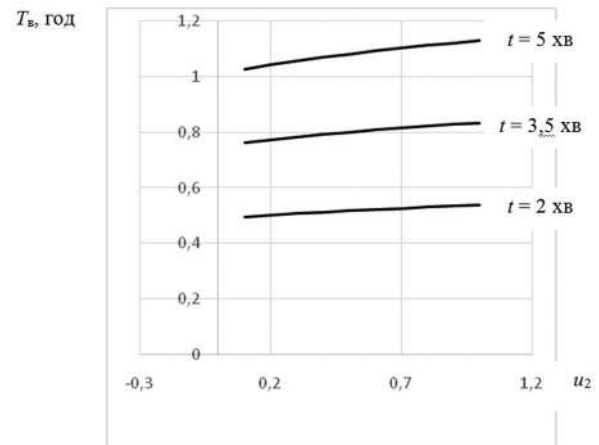


Рис. 13. Залежність середнього часу відновлення радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

– 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. 13);

– внаслідок зменшення значення наробітку на відмову T і збільшення середнього часу відновлення $T_{\text{в}}$, також зменшується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності A (рис. 14), та відповідно, зростає значення коефіцієнта неготовності U (рис. 15);

– вказані тенденції зберігаються при будь-яких значеннях середнього часу виконання перевірки t , при чому його скорочення за рахунок підвищення кваліфікації виконавців та удоско-

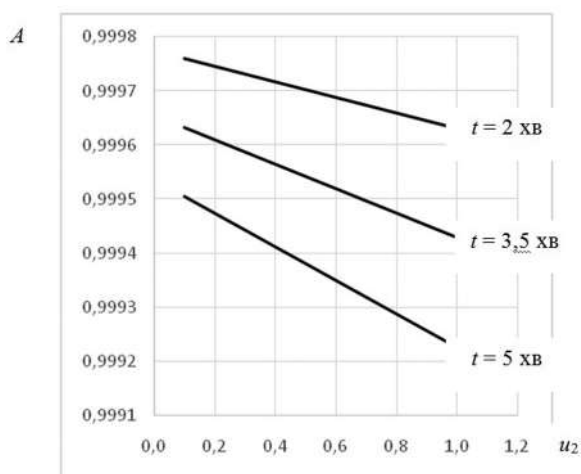


Рис. 14. Залежність коефіцієнта готовності радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

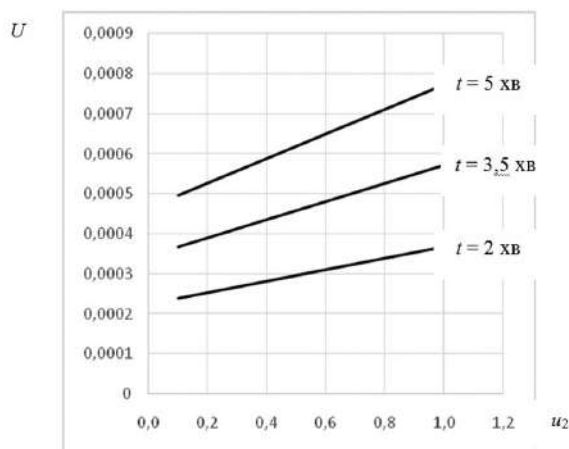


Рис. 15. Залежність коефіцієнта неготовності радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

налення діагностичного забезпечення (вибір перевірок з меншими працевтратами) веде до підвищення коефіцієнта готовності.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Острейковский В.А. Теория надежности, М.: Высша школа. 2003. 463 с.
2. Половко А.М. Основы теории надежности. Петербург. 2006. 704 с.

Традиційна оцінка напрацювання на відмову технічних об'єктів без врахування їхньої багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Тобто, якщо воно задовольняє вимоги, то реальне значення напрацювання на відмову буде більшим, що впливає на вартість виробу. Врахування властивості багаторежимності РЕЗ дає змогу уточнити значення напрацювання на відмову та середнього часу відновлення: наявні моделі занижують значення напрацювання на відмову та середній час відновлення.

Використання запропонованої моделі кількісної оцінки значень показників надійності РЕЗ зі змінною структурою дає змогу знизити вартість виробів при забезпеченні необхідних значень напрацювання на відмову та середнього часу відновлення завдяки зниженню вимог до надійності елементної бази.

Висновки

У статті запропоновано вдосконалення методу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою, наведено алгоритм реалізації та показано переваги відносно наявних нині методів. Встановлено, що використання властивостей багаторежимності, яке впливає на структуру об'єкта, покращує значення показників надійності: і напрацювання на відмову, і середнього часу відновлення.

Сутність удосконалення методу та його наукова новизна полягають у врахуванні властивостей багаторежимності об'єкта та часу роботи окремих підмножин елементів у можливих режимах за використання за призначенням. Подальше дослідження доцільно спрямувати на оцінку значень показників надійності РЕЗ із врахуванням можливості зміни їхньої структури під час використання за призначенням, а також часу роботи окремих елементів системи.

3. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем. Львів. 2003. 300 с.
4. Схиртладзе А.Г. Надёжность и диагностика технологических систем. М.: Новое знание. 2008. 518 с.
5. Василюшин В.І. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем, Х.: ХНУПС, 2018. 268 с.
6. Гнатюк С.Є. Кількісна оцінка надійності програмно-керованих засобів зв'язку, ІС33І, Збірник наукових праць "InformationTechnologyandsecuritu". 2016. том 4, №1. С. 84-90.
7. Гнатюк С.Є. Моделювання надійності програмного забезпечення обладнання енергетичних систем України, Одеса: Інститут проблем моделювання в енергетиці. 2018. С.17-26.
8. Єрохін В.Ф. Прогнозування основних характеристик перспективних радіостанцій силових структур. Зв'язок. 2005. №3. С. 61-64.
9. Military handbook: reliability prediction of electronic equipment, MIL-HDBK-217F, 02, Dec. 1991. 150 p.
10. Kharchenko V.A. "Problems of reliability of electronic components", Modern Electronic Materials. 2015. Volume 1, Issue 3, pp. 88-92. [Електронний ресурс] DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.moem.2016.03.002>.
11. Ignacio V., zaro Isidro L. Juan A. Reliability analysis of LED-based electronic devices. Procedia Engineering, 2012, 35. pp. 260-269. [Електронний ресурс] DOI: [10.1016/j.proeng.2012.04.189](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.189).
12. Catelani M., Ciani L. "Experimental tests and reliability assessment of electronic ballast system", Microelectronics Reliability, 2012. 52 (9–10), pp. 1833-1836. DOI: [Електронний ресурс] <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2012.06.077>.
13. Wan Y., Hailong Huang H., Das D., Pecht M. "Thermal reliability prediction and analysis for high-density electronic systems based on the Markov process", Microelectronics Reliability, 2016. Volume 56, pp. 182-188. [Електронний ресурс]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.10.006>.
14. Кононов Б.В. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Х.:ХНУПС. 2017. 288 с.
15. Рижов Є.В. Метод обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату перевірки параметрів, серія Приладобудування. 2017. Вип. 54 (2). С.96 -106.
16. Ryzhov Y., Sakovych L., Vankevych P., Yakovlev M., Nastishin Y. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. Measurement, 123, 2018. Pp. 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
17. Kononov V., Ryzhov Ye., Sakovych L. Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support / V. Kononov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych. Advanced Information System. Vol. 2, No. 1 pp. 91-95. [Електронний ресурс]. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
18. Сакович Л.М. Теоретико-множинні моделі об'єктів зі змінною структурою, Системи управління, навігації та зв'язку. 2018. Вип.5 (51). Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. С. 136 -139.

Надійшла 25.10.2022

REFERENCES

1. Ostreykovsky, V. (2003). Theory of Reliability. Moscow: Vyshaya Shkola. 463 p. (In Russian).
2. Polovko, A. (2006). Basics of the Reliability Theory, St. Petersburg, 704 p. (In Russian).
3. Bobao, Yu. (2003). Radioelectrical, electrotechnical and software system mathematic models and reliability analysis methods. Lviv, 300 p. (In Ukrainian).
4. Skhyrtladze, A. (2008). Reliability and diagnostics of technological systems. М.: Новое знание, pp. 518.
5. Vasylyshin, V.I., 2018. Basics of dependability theory and radioelectronic system operation, Kharkiv: KhNUPS, 268 p. (In Ukrainian).
6. Gnatyuk, S. (2016). "Quantitative reliability evaluation of the software-control connection devices", ISZZI, Zbirnyk nauk., prats "InformationTechnologyandsecuritu". 2016. 4 (1), pp. 84-90 (In Ukrainian).
7. Gnatyuk, S. (2018). "Ukrainian energy system equipment software reliability modelling", Odesa: Institute for Modelling in Energy Engineering, pp.17-26 (In Ukrainian).
8. Yerokhin, V. (2005). "Special Force Perspective Radiostation Basic Characteristics Broadcasting", Connection, no 3, pp. 61-64 (In Ukrainian).
9. Military handbook: reliability prediction of electronic equipment, MIL-HDBK-217F, 2, Dec. 1991. 150 p.
10. Kharchenko, V.A. (2015). "Problems of reliability of electronic components", Modern Electronic Materials, Volume 1, Issue 3, pp. 88 -92. [online] DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.moem.2016.03.002>.
11. Ignacio V., zaro Isidro L. Juan A. (2012). "Reliability analysis of LED-based electronic devices". Procedia Engineering, 35. pp. 260-269. [Електронний ресурс] DOI: [10.1016/j.proeng.2012.04.189](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.189).

12. *Catelani, M., Ciani, L.* (2012). “Experimental tests and reliability assessment of electronic ballast system”, *Microelectronics Reliability*, 52 (9–10), pp. 1833–1836. [online] DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2012.06.077>.
13. *Wan, Y., Huang, H., Das, D., Pecht, M.* (2016). “Thermal reliability prediction and analysis for high-density electronic systems based on the Markov process”. *Microelectronics Reliability*, 56, pp. 182–188. [online] DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.10.006>.
14. *Kononov, B.* (2017). *Military purpose measuring devices operation basics under the Counter Terrorism Operation conditions*, Kharkiv: KhNUPS, 288 p. (In Ukrainian).
15. *Ryzhov, Ye.* (2017). “Minimally acceptable parameter verification result probability value substantiation method”, *Equipment design series*, 54(2), pp. 96–106 (In Ukrainian).
16. *Ryzhov, Y., Sakovych, L., Vankevych, P., Yakovlev, M., Nastishin, Y.* (2018). “Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools”. *Journal of the International Measurement Confederation*, Volume 123, pp. 19–25. [online] DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.03.055>.
17. *Kononov, V.* “Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metro logical support”. *Advanced Information System*. Vol. 2, No. 1 pp. 91–95. [online] DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
18. *Sakovych, L.*, (2018). “Theoretically-variable object models with variable structure”, *Systems of control, navigation and connection*. Yuriy Kondratiuk Poltava National Technical University, Vol. 5(51), pp.136–139 (In Ukrainian).

Received 25.10.2022

O.Ye. Volkov, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Director, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5418-6723>, alexvolk@ukr.net

S.Ye. Hnatyuk, Ph.D. (Eng.), Senior Research Associate, State Special Communications Administration, str. Ilyenka, 83-G, Kyiv, 04050, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-7058>, s.hnatyuk@cip.gov.ua

R.S. Odarchenko, Doctor (Eng.), Senior Research Associate, National Aviation University, Liubomyr Husar avenue, 1, Kyiv, 03058, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7130-1375>, odarchenko.r.s@ukr.net

S.O. Bondar, PhD Student, Researcher, Department of Intellectual Management, International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4140-7985>, seriybrm@gmail.com

V.M. Simakhin, PhD Student, Researcher, Department of Intellectual Management, International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4497-0925>, thevladsima@gmail.com

VARIABLE STRUCTURE OBJECT DEPENDABILITY VALUES EVALUATION METHOD

Introduction. Modern researches at the domain of radiotechnical devices and parts are showing that mean time between failures often is omitting during the brand new device designing process.

Purpose of the development is to improve the method of the reliability values evaluation of the objects with variable structure including the different sets of elements working time at all possible usage modes as intended. The set-theoretic models of objects that are allowed to estimate power of element subsets quantitatively used in different modes of operation for the purpose of evaluation the reliability indicators of radio-electronic means depending on the structure of the object and the order of changing modes of operation. With the help of the mathematical apparatus of set theory, it has been proven that the reliability of radio-electronic devices will be maximum at the minimum power of the elements used during operation and vice versa.

Methods. Evaluation method is needed to take into account vast majority of the minor aspects that were not included before during the calculation procedures: multi-mode work, multi-functioning, excess availability that leads to the object structure changing during its usage for purpose.

Results. Taking the fifth-generation station for the experiment, several detail sets were chosen for installation into the device. Competence of the repair service, quality of the details, work-mode was taken into account for the certain result calculation achieving.

Conclusion. Brand new, detailed method has been developed for the effectiveness of the objects with variable structure evaluation. Multimode availability could be a significant reliability improving feature at the devices with such structure. Also, evaluation of some separate parts of the device structure would be much more useful for the working period prolongation than evaluation of the device as a whole.

Keywords: *Reliability value estimation, multi-mode objects with a variable structure, operating time between failures, average recovery time.*