

УДК 621.396.6

канд. техн. наук Сакович Л. М. ORCID: 0000-0002-8257-7086 (ІСЗЗІ НТУУ «КПІ»)

канд. техн. наук Єлісов Ю. М. ORCID: 0009-0007-4441-0721 (НДІ ВР)

Мороз М. В. ORCID: 0009-0007-9455-3886 (НДІ ВР)

РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ

Технічні засоби розвідки широко використовуються в усіх сферах розвідувальної діяльності. Їхня елементна база і схемні рішення безперервно удосконалюються в напрямку автоматизації виконання технологічних операцій. Це призводить до збільшення кількості елементів у виробі, що зі свого боку не сприяє підвищенню показників надійності. Тому питання відновлення працездатності при відмовах технічних засобів розвідки досить актуальні, оскільки час технічного діагностування займає до 80 відсотків часу ремонту. Автори багато років працюють в галузі технічної діагностики складних об'єктів і систем, які відрізняються за призначенням, схемною і конструктивною побудовою та вимогами до часу відновлення. При цьому важливо розробити якісне діагностичне забезпечення ремонту із врахуванням особливостей конкретного об'єкта діагностування, а також умов відновлення працездатності.

В окремих джерелах розглянуто використання деяких особливостей об'єкта діагностування під час розробки їхнього діагностичного забезпечення, але загальний підхід до цього відсутній. Тому в статті запропоновано використання всіх особливостей об'єкта діагностування для підвищення якості їхнього діагностичного забезпечення. Це дозволяє з мінімальними витратами забезпечити необхідну якість відновлення працездатності об'єкта діагностування. Запропоновані пропозиції доцільно використовувати під час удосконалення існуючого діагностичного забезпечення і його розробки для перспективних технічних засобів розвідки.

У подальшому автори планують виконати дослідження в напрямку підвищення ефективності діагностування дискретних об'єктів, а також з аварійними та бойовими пошкодженнями при наявності кратних дефектів.

Ключові слова: технічні засоби розвідки, технічне діагностування, діагностичне забезпечення, метрологічне забезпечення.

L. Sakovich, Y. Yeliso, M. Moroz Development of diagnostic programs for current repair of intelligence equipment.

Technical means of intelligence (hereinafter – TMI) are widely used in all spheres of intelligence activity. Their element base and schematic solutions are continuously improved in the direction of automating the execution of technological operations. This leads to an increase in the number of elements in the product, which in turn does not contribute increasing reliability indicators. Therefore, the issue of restoring performance in the event of failures of TMI is quite relevant, since the time of technical diagnosis takes up to 80 percent of the repair time.

The authors have been working for many years in the field of technical diagnostics of complex objects and systems, which differ in purpose, schematic and constructive construction, and requirements for recovery time. At the same time, it is important to develop high-quality diagnostic support for repairs, taking into account the specifics of the specific object of diagnosis, as well as the conditions for restoring performance. Some sources consider the use of some features of the object of diagnosis during the development of their diagnostic support, but there is no general approach to this. Therefore, the article proposes the use of all features of the object of diagnosis to improve the quality of their diagnostic support.

This makes it possible to ensure the necessary quality of restoration of the functionality of the object of diagnosis with minimal costs. It is advisable to use the proposed proposals during the improvement of the existing diagnostic support and its development for promising technical means of intelligence. In the future, the authors plan to conduct research in the direction of increasing the efficiency of diagnosing discrete objects, as well as with accident and combat damage in the presence of multiple defects.

Keywords: technical means of intelligence, technical diagnostics, diagnostic support, metrological support.

Постановка завдання. Сучасні технічні засоби розвідки (далі – ТЗР) широко використовуються в усіх сферах розвідувальної діяльності. Елементна база ТЗР і схемні рішення безперервно удосконалюються в напрямку автоматизації виконання технологічних операцій. Це призводить до збільшення кількості елементів у виробі, що зі свого боку не сприяє підвищенню показників надійності. Тому питання відновлення працездатності при відмовах ТЗР є досить актуальним, так як час технічного діагностування займає до 80 відсотків часу ремонту.

Автори вважають що необхідно вирішити наступну наукову задачу, а саме здійснити аналіз сучасних досягнень в галузі технічної діагностики і метрології, встановити їхні можливості щодо підвищення якості діагностичного забезпечення (далі – ДЗ) перспективних та існуючих ТЗР. У світі накопичено великий досвід в галузі технічної діагностики складних об'єктів і систем, які відрізняються за призначенням, схемною і конструктивною побудовою та вимогами до часу відновлення [1–5]. При цьому важливо розробити якісне ДЗ ремонту із врахуванням особливостей конкретного об'єкта діагностування (далі – ОД), а також умов відновлення працездатності. В окремих джерелах розглянуто використання деяких особливостей ОД під час розробки їхнього ДЗ, але загальний науковий підхід до цього відсутній. У статті запропоновано аналіз та наукове обґрунтування щодо використання всіх особливостей ОД та підвищення якості їхнього ДЗ. Це дозволить забезпечити необхідну якість відновлення працездатності ОД з мінімальними витратами. Запропоновані пропозиції доцільно використовувати під час удосконалення існуючого ДЗ та при його розробці для перспективних ТЗР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження в галузі технічної діагностики ТЗР направлені на підвищення достовірності оцінки їхнього технічного стану, скорочення середнього часу відновлення, мінімального відхилення діагнозу від істинного при помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки. Це досягається без додаткових витрат на створення ДЗ і тільки завдяки використанню особливостей побудови ТЗР та впровадженню в практику розробки ДЗ сучасних досягнень технічної діагностики.

У зарубіжних роботах [1; 2] для підвищення комплексного показника надійності, а саме «коефіцієнта готовності», основну увагу приділяють не скороченню часу відновлення, а збільшенню значення показника напрацювання на відмову. Цей підхід доцільно використовувати для ТЗР загального призначення, але неможливо для техніки силових структур, яка може під час їхньої експлуатації отримувати аварійні або бойові пошкодження.

Залежно від типу ТЗР (аналогові або дискретні) під час відновлення працездатності використовують функціональне або тестове діагностування з використанням відповідних моделей ОД [3; 4]. При цьому сучасні ТЗР відносяться до програмно керованих об'єктів, що також впливає на процес діагностування: він може бути непрацездатним як при відмові апаратної частини, так і при наявності помилок програмного забезпечення [5; 6].

Окремо розглянуто особливості розробки ДЗ ТЗР із аварійними або бойовими пошкодженнями при наявності кратних дефектів [7], а також багато вихідних ОД, до яких відносяться підсистеми електроживлення ТЗР [8; 9].

Відновлення ТЗР великої розмірності з рознесеними в просторі елементами виконують бригади фахівців. При цьому використовують груповий пошук дефектів, що суттєво скорочує середній час відновлення працездатності [10; 11].

Останнім часом при розробці ДЗ сучасних ТЗР особливу увагу приділяють якості метрологічного забезпечення [12; 13] і врахуванню можливості помилки фахівця в оцінці результату виконання перевірки при роботі у важких польових умовах та стресовій ситуації [4; 14]. При цьому важливо, щоб при реалізації ремонту ТЗР агрегатним методом навіть при помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки несправний елемент знаходився в середині конструктивної частини виробу, яка підлягає заміні.

При усуненні кратних дефектів внаслідок аварійних або бойових пошкоджень ТЗР виникає задача раціонального розподілу зусиль між етапами дефектації з метою визначення ступеня пошкодження і діагностування, яка отримала рішення в [15; 16].

Проведений аналіз показав, що у відомих публікаціях автори досліджували окремі питання розробки ДЗ сучасних ТЗР, причому не завжди враховуючи отримані раніше результати. Таким чином виникає наукове завдання дослідження можливості підвищення ефективності ДЗ існуючих і перспективних ТЗР різноманітного призначення шляхом об'єднання і комплексного використання відомих результатів.

Метою статті є розробка загального алгоритму створення ДЗ сучасних ТЗР з врахуванням відомих, отриманих раніше часткових результатів, удосконалення цього процесу

для досягнення максимального ефекту скорочення середнього часу відновлення при будь-якому ступені пошкодження об'єкта і залежно від його розмірності при роботі одного або бригади фахівців.

Виклад основного матеріалу. Сформульована авторами наукова задача щодо розробки діагностичних програм для підвищення ефективності поточного ремонту ТЗР вирішується поетапно відповідно до наступних кроків.

1. Отримання й аналіз вихідних даних:

$T_{ВП}$ – максимально припустимий час відновлення ТЗР;

S – ступінь пошкодження (визначається під час дефектації);

μ – кількість фахівців;

t – середній час виконання перевірки;

t_{γ} – середній час усунення несправностей;

відомості про метрологічне забезпечення:

n – кількість засобів виміральної техніки (ЗВТ), які використовуються при ремонті ТЗР;

p_i – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки ЗВТ виду $i = \overline{1, n}$;

$P_i(\tau)$ – ймовірність відсутності метрологічних відмов ЗВТ виду $i = \overline{1, n}$ за період між плановими перевірками τ .

2. Формування цільової функції і показника якості системи ремонту.

До цільової функції висуваються такі вимоги: однозначність (наявність екстремуму), відповідність реальному процесу, запис через параметри керування, розробка до головного показника системи і відсутність розривів. При цьому частина аргументів виноситься у вигляді обмежень (ймовірність рішення задачі за встановлений час, вартість, показники надійності не гірше необхідних й інші).

Для системи ремонту ТЗР цільова функція полягає в мінімізації розрахункового часу відновлення:

$$T_{ВР} \leq T_{ВП}; T_{ВР}(X) = \min T_{ВР}(X^*); X^* \in \Delta,$$

де X – параметри системи ремонту;

X^* – значення при вирішенні завдання;

Δ – область припустимих значень зміни параметрів.

Параметри системи ділять на керовані (наприклад, алгоритми діагностування) і некеровані, які неможливо змінити (наприклад, кількість фахівців ремонту і їхня кваліфікація). Якщо основних параметрів декілька (наприклад, час і вартість) й цільова функція є системою рівнянь або нерівностей, то у цьому випадку доцільно знаходити не оптимальне за кожним критерієм, а компромісне раціональне рішення в сенсі Парето. У простому випадку це двовірний модель, але можливо і більше оцінюючих показників (наприклад, час, вартість, надійність).

Математична формалізація завдання у вигляді цільової функції дозволяє кількісно оцінити ефект від її рішення у вигляді показника ефективності. Як правило, він відображається не в абсолютних, а у відносних одиницях (відсотках). У такому разі для системи ремонту ТЗР показник ефективності характеризує відносне зменшення середнього часу відновлення в модернізованій системі ремонту відносно до існуючої або до припустимого:

$$0 \leq \frac{T_{ВП} - T_{ВР}}{T_{ВП}} \leq 1; \quad \eta = \frac{T_{ВП} - T_{ВР}}{T_{ВП}} 100\%.$$

Далі обґрунтовується адекватний математичний апарат і розробляється структура рішення завдання отримання цільової функції у явному вигляді, враховуючи особливості ОД, початкових даних, обмежень і припущень функціонування ремонтного органу (рис. 1).

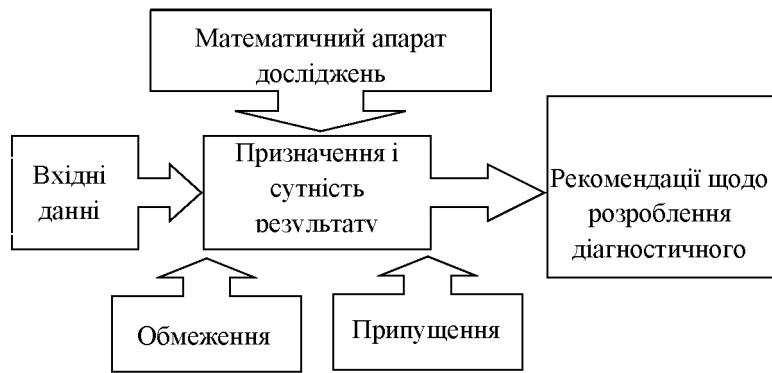


Рис. 1. Структура процесу розроблення ДЗ сучасних ТЗР

3. Аналіз ОД й обґрунтування вибору його моделі.

Залежно від схемної та конструктивної побудови ТЗР, вони мають окремі види надлишковості чи їх сукупності, що дозволяє підвищити достовірність визначення технічного стану (рис. 2).



Рис. 2. Використання видів надлишковості ТЗР для підвищення достовірності результатів їхнього діагностування

Порівняльний аналіз варіантів підвищення достовірності діагностування ТЗР за рахунок використання їхньої надлишковості наведено в таблиці 1.

Порівняльний аналіз варіантів підвищення
достовірності діагностування ТЗР з використанням їхньої надлишковості

Варіант	Переваги	Недоліки
Конструктивний	– реалізація ремонту агрегатним методом; – використання процедур пробних заміщень; – зменшення часу діагностування	– застосування тільки для об'єктів модульної конструкції; – збільшення обсягу і вартості ЗПП
Часовий	– простота реалізації; – відсутність матеріальних витрат;	– збільшення часу діагностування;
Структурний	– зменшення кількості внутрішніх перевірок; – розрізнення незалежних кратних дефектів; – застосування неоднорідних алгоритмів пошуку	– застосування тільки для об'єктів з дивергуючими структурами; – можливість помилкових діагнозів при наявності кратних дефектів
Функціональний	– використання методу переключень; – скорочення простору пошуку; – граф-схемне зображення алгоритмів пошуку	– застосування тільки для багаторежимних і багатофункціональних об'єктів
Інформаційний	– можливість виявлення і усунення несправностей частини датчиків; – локалізація кратних дефектів; – зменшення часу діагностування, застосування неоднорідних алгоритмів і групового пошуку дефектів	– ускладнення апаратурної реалізації засобів діагностування; – необхідність додаткової підготовки фахівців і використання дорогих ЗВТ

Під ОД розуміють виріб або його складові частини, технічний стан яких підлягає визначенню. За характером перетворення енергії і інформації ОД поділяють на безперервні (аналогові) і дискретні (цифрові). Формальний опис ОД, який враховує можливість зміни його стану в часі, називається діагностичною моделлю, яка має властивості виявлення і розрізнення дефектів. ТЗР як ОД і моделювання мають функціональну різноманітність, ієрархічну конструкцію і відрізняються складністю завдань, які виконуються, високою автономністю і вартістю наслідків відмов, що дозволяє віднести їх до категорії складних технічних систем, які представляються основними групами діагностичних моделей:

1. Безперервні моделі, які представляють об'єкт і процеси, що в ньому протікають в безперервно змінюваному часі.
2. Дискретні моделі, які визначають стан ОД для послідовності дискретних значень часу.
3. Гібридні моделі, які описують реальні моделі, що складаються з пристроїв безперервної дії і дискретних пристроїв.
4. Спеціальні моделі, які враховують особливості ДЗ і функціонування об'єкта.

За видами представлення взаємозв'язків між станами ОД, його елементами і параметрами вихідних сигналів методи синтезу моделей поділяються на аналітичні, графоаналітичні, функціонально-логічні й інформаційні.

Узагальнена класифікація моделей ОД приведена на рисунку 3.

Словесні або описові моделі є найпростішими, але досить широко використовуються не тільки в технічній, але й в медичній діагностиці. До них відносяться симптоми стану ОД і таблиці типових несправностей. Подібні моделі використовуються при підготовці ремонтного персоналу в процесі ремонту складної побутової радіоелектронної апаратури спеціалістами низької кваліфікації.

Графічні моделі володіють наочністю, відображають логіку взаємодії елементів об'єкта, проходження енергії й інформації. Використовуються для розробки алгоритмів діагностування, які розрізняють дефекти типу обрив і перевантаження. Подібні моделі мають обмеження: елементи можуть мати будь-яке число входів, але тільки один вихід.

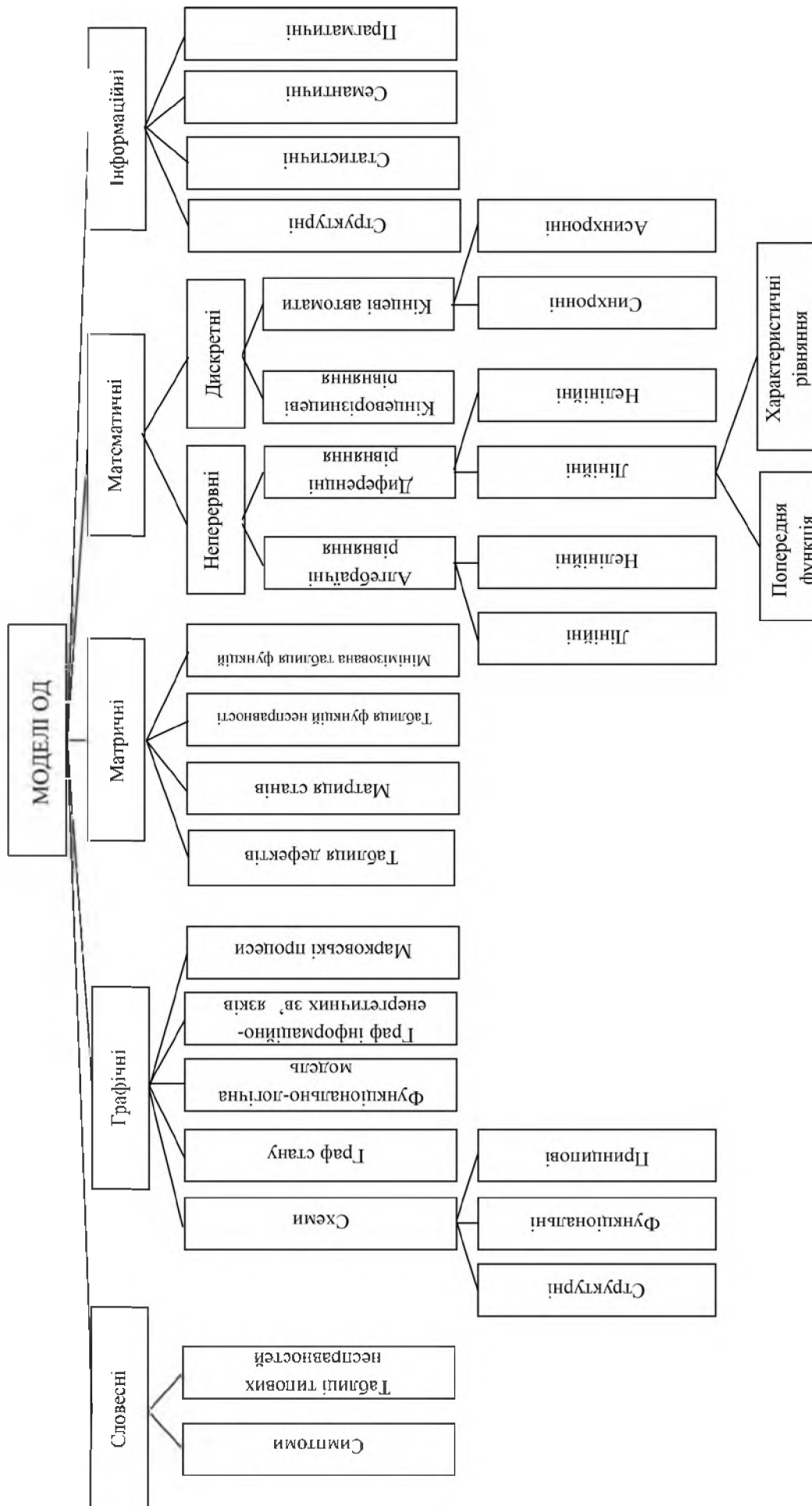


Рис. 3. Узагальнена класифікація моделей ОД

Матричні моделі зручні для обробки за допомогою ЕОМ і не вимагають від користувача високої кваліфікації при підготовці вихідних даних. На їхній базі можливий синтез як умовних, так і безумовних алгоритмів діагностування. Ці моделі мають обмеження на ступінь пошкодження об'єкта: при наявності кратних дефектів можливе встановлення неправильного діагнозу. Вони можуть подаватись у формі таблиці дефектів, матриці станів, таблиці функцій несправностей (далі – ТФН) або мінімізованої ТФН і широко використовуються при розробці засобів технічного діагностування (далі – ЗТД).

Математичні та інформаційні моделі використовуються переважно при проектуванні засобів і систем технічного проектування (далі – СТД) складних об'єктів на базі ЕОМ. Так, наприклад, застосування моделей у вигляді диз'юнктивно-нормальної форми (далі – ДНФ) або мінімальної ДНФ на мові алгебри логіки при синтезі ЗТД знімає обмеження на кратність дефектів в об'єкті і на число виходів його елементів.

Аналіз моделей ОД показує їх взаємозв'язок і можливість перетворення з одного виду в інший залежно від завдань, що виконуються (розробка алгоритмів або засобів діагностування), та кваліфікації користувача.

Залежно від використання процедур діагностування, які встановлюють послідовність та зміст дій оператора, розрізняють тестове і функціональне діагностування. Процедури зовнішнього огляду, проміжних вимірювань і пробних заміщень є універсальними. При тестовому діагностуванні використовується аналіз деформації сигналу, послідовна або комбінаторна процедури. При функціональному діагностуванні об'єктів з кратними дефектами застосовуються специфічні скорочені процедури пошуку.

Узагальнення сучасних досягнень в галузі технічної діагностики і метрології дозволяє обґрунтувати алгоритм розробки ДЗ ТЗР (рис. 4).

Під час аналізу вихідних даних з керівних документів визначають значення $T_{ВП}$. Також отримують опис схемної і конструктивної побудови. Із аналізу можливих умов ремонту визначають кількість μ і кваліфікацію фахівців, що впливає на значення t_i і t_y . Також важливо отримати відомості щодо метрологічного забезпечення: тип і кількість ЗВТ, їхні показники, що впливають на час ремонту (p $P(\tau)$).

За цільову функцію приймається досягнення мінімального часу відновлення в заданих умовах роботи ремонтного органу, а показник ефективності кількісно оцінює відносне зменшення розрахункового часу відновлення, порівняно з максимально допустимим згідно із завданням.

Важливо якісно виконати аналіз ОД. Насамперед, схемну і конструктивну побудову: визначити ділянки, які охоплюють вбудовані засоби діагностування, щоб пізніше використовувати їх при розробці ДЗ поточного ремонту. Аналіз конструкції дозволяє визначити глибину пошуку дефектів L і вид ремонту (агрегатний чи детальний). Властивості багаторежимності і багатофункціональності, а також наявність окремих видів надлишковості, також підвищують ефективність ДЗ. Важливо враховувати можливий ступінь пошкодження ОД для визначення виду ремонту: поточний (наявність одного дефекту) або усунення аварійних і бойових пошкоджень (наявність кратних дефектів). При цьому доцільно оптимально розподілити час дефектації і діагностування для мінімізації значення $T_{ВП}$.

Враховуючи вимоги до ДЗ, визначають критерії оптимізації алгоритму діагностування: мінімум часу відновлення або вартості ремонту при заданих обмеженнях. Далі обирають вид та форму алгоритму пошуку дефектів. Перевагу мають умовні алгоритми мінімальної форми. При наявності тільки функціональної схеми виробу використовують граф інформаційно-енергетичних зв'язків як діагностичну модель і побудову алгоритму діагностування виконують методом половинного ділення за допомогою індексів передування. За наявності додаткових даних щодо часу і вартості виконання окремих перевірок, показників надійності елементів на обраній глибині пошуку доцільно використовувати ймовірність переважного вибору перевірок, що також скорочує значення

Для отриманого алгоритму пошуку дефектів кількісно оцінюють його показники якості: середню кількість перевірок для локалізації несправного елемента, ймовірність правильної постановки діагнозу, метрологічну надійність ЗВТ, відхилення діагнозу від істинного

значення при помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки, розрахункове значення середнього часу відновлення й ефект від впровадження ДЗ в практику ремонту ТЗР.

Якщо $T_{BP} > T_{BП}$, то необхідно замінити алгоритм діагностування на більш ефективний або замінити вихідні дані щодо кваліфікації фахівців, умов ремонту, якості метрологічного забезпечення. А при $T_{BP} \leq T_{BП}$ отриманий алгоритм використовують для розробки діагностичної програми.



Рис. 4. Загальний алгоритм розроблення ДЗ ТЗР

Якщо при експериментальній перевірці програми виникають суперечності, які потребують пояснення, тоді здійснюють її доопрацювання. Таким чином отримують ДЗ ТЗР, яке відповідає вимогам.

Під час розроблення ДЗ використовують відомі рекомендації, приведені в [3; 6–11; 14], щодо оптимізації форми алгоритму діагностування із врахуванням особливостей ОД і кількісної оцінки його показників якості.

Висновки. Проведено аналіз сучасних досягнень в галузі технічної діагностики і метрології, встановлено їхню можливість для підвищення якості ДЗ перспективних та існуючих ТЗР.

Запропоновано загальний алгоритм розроблення ДЗ радіоелектронних засобів з врахуванням особливостей їхньої побудови, умов ремонту, метрологічного забезпечення для мінімізації середнього часу відновлення.

Подальші дослідження доцільно виконати в напрямку підвищення ефективності діагностування дискретних об'єктів, а також з аварійними та бойовими пошкодженнями при наявності кратних дефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kharchenko V. A. (2015), Problems of reliability of electronic components, Modern Electronic Materials, Volume 1, Issue 3, pp. 88–92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.moem.2016.03.002>.
2. Yi Wan, Hailong Huang, Diganta Das, Michael Pecht (2016). Thermal reliability prediction and analysis for high-density electronic systems based on the Markov process, Microelectronics Reliability, Volume 56, pp. 182–188. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.10.006>.
3. Ксенз С. П. Диагностика і ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1989. 248 с.
4. Ксенз С. П., Полтаржицький М. И., Алексеев С. П., Минеев В. В. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации. СПб.: ВАС, 2010. 240 с.
5. Бобало Ю. Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю. Я. Бобало, Б. Ю. Волочій, О. Ю. Лозинський, Б. А. Манзді, Л. Д. Озірківський, Д. В. Федасюк, С. В. Щербаковських, В. С. Яковина. Львів: Львівська політехніка, 2013. 300 с.
6. Гнатюк С. Є. Кількісна оцінка надійності програмно керованих засобів зв'язку / С. Є. Гнатюк, Л. М. Сакович, Є. В. Рижов // Information Technology Security. 2016. Том. 4. № 1. С. 84–90.
7. Сакович Л. Н., Рижак В. А. Оптимизация формы алгоритмов диагностирования средств связи с кратными дефектами // Зв'язок. 2002. № 5. С. 33–34.
8. Сакович Л. М. Діагностичне забезпечення підсистем електроживлення засобів спеціального зв'язку / Л. М. Сакович, Я. Ю. Богдан // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. 2018. № 2 (4). С. 69–73.
9. Сакович Л. М. Дослідження умовних алгоритмів діагностування багатовивідних об'єктів / Л. М. Сакович, О. В. Ходич, Ю. В. Мирошніченко // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. 2021. Вип. 1 (8). С. 13–21.
10. Романенко В. П. Сакович Л. М. Методика розробки діагностичного забезпечення групового пошуку дефектів при ремонті техніки зв'язку в польових умовах // Зв'язок. 2015. № 2. С. 53–56.
11. Рижов С. В. Сакович Л. М. Дослідження показників якості групового пошуку дефектів під час поточного ремонту військової техніки зв'язку // Збірник наукових праць військової академії. 2017. № 2 (28). С. 82–88.
12. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО / В. Б. Кононов, О. В. Водолажко, О. В. Коваль та ін. Х.: ХНУПС, 2017. 288 с.
13. Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support / V. Kononov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych // Advanced Information Systems. Vol. 2, № 1. Pp. 91–95. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
14. Ryzhov Ye. Minimization measurement requirements for maintenance and repair special communication means / Ye. Ryzhov, L. Sakovych // Institute of Special communication and Information Protection National Technical University of Ukraine – Igor Sikorskiy Kyiv Politechnic Institute – Scientific Works – Information Technology and Security. 2017. Vol. 5, Iss. 1 (8). Pp.106–114.
15. Павлов В. П., Сакович Л. М. Синтез алгоритму дефекації техніки зв'язку з аварійними пошкодженнями // Зв'язок. 2007. № 6. С. 54–55.
16. L. Sakovych. Metod of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects / L. Sakovych, Ye. Ryzhov, A. Sobolev // Військово-технічний збірник НАСВ. 2019. № 21. С. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019/72-77>.