

УДК 621.317

д-р техн. наук, професор Міночкін А. І. ORCID: 0000-0001-5723-5052 (ВІТІ ім. Героїв Крут)
д-р техн. наук, професор Кузавков В. В. ORCID: 0000-0002-0655-9759 (ВІТІ ім. Героїв Крут)
канд. техн. наук Клімович С. О. ORCID: 0000-0001-7209-2176 (ВІТІ ім. Героїв Крут)

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ІЗ ВБУДОВАНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

У статті пов'язані між собою питання стану військово-політичних відносин України (стійкий напрям до інтеграції зі стандартами НАТО та реальні бойові дії на сході країни) зі створенням ефективної системи контролю технічного стану озброєння та військової техніки (іноземних виробників різних країн та років випуску) в місцях їхнього безпосереднього застосування.

Зміни, які відбуваються у світі, призводять до необхідності проведення відповідних змін і у середині України. Значний процент сучасної зброї з боку супротивника, а також стрімке зростання кількості зброї іноземного виробництва в нашій країні спонукає до перегляду поглядів на форми та способи ведення бойових дій, форми логістичного забезпечення, стану та організації ефективної системи технічного забезпечення та ремонту військової техніки й озброєння.

Під ефективною системою контролю технічного стану (діагностування) радіоелектронного озброєння розумімо програмно-апаратні засоби визначення технічного стану (на базі комп'ютерно-вимірювальних систем), які забезпечують підвищення показників надійності й ефективності функціонування озброєння при оптимальному співвідношенні витрати на систему – ефект від застосування. При цьому, прийняття рішення про фактичний технічний стан об'єкта контролю здійснюється шляхом розв'язання задачі аналізу значень фізичних величин, виміряних безконтактним методом.

На сьогодні, при зростаючій складності сучасного радіоелектронного озброєння, збільшенні числа контрольованих параметрів, мініатюризації розмірів елементів, а також низького рівня оснащення системами, які виконують функції прогнозування та діагностування, актуальними є завдання щодо прогнозування відмов, зменшення часу відновлення, економії ресурсів сил та засобів, необхідних для вирішення задач діагностування, особливо на місцях експлуатації радіоелектронного озброєння.

Ключові слова: контроль технічного стану, радіоелектронне озброєння, вбудоване програмне забезпечення, комп'ютерно-вимірювальна система, надійність, ефективність.

A. Minochkin, V. Kuzavkov, S. Klimovych Prospects for the creation and development of radio electronic devices diagnostic systems with built-in software.

In the article, the issues of the current state of military-political relations of Ukraine (stable direction towards integration with NATO standards and real combat operations in the east of the country) are connected with the creation of an effective system of monitoring the technical condition of weapons and military equipment (foreign manufacturers of different countries and years of manufacture) in places of their direct application.

Changes in military and political relations that are taking place in the world lead to changes both at the global level and in the middle of Ukraine. The level of the enemy's equipment with modern weapons, as well as the rapid development of scientific and technical progress, prompts a review of views on the forms and methods of conducting hostilities, the form of logistical support, the state and organization of an effective system of technical support and repair of military equipment and weapons.

By an effective system for monitoring the technical condition (diagnosis) of radio-electronic weapons, we mean a set of hardware and software tools (based on computer-measurement systems) that are designed to solve the problems of technical diagnosis and ensure an increase in the reliability and efficiency of the weapon with an optimal cost-effectiveness ratio on the system - the effect of application.

At the moment, with the increasing complexity of modern radio-electronic weapons, the increase in the number of controlled parameters, the miniaturization of the size of elements, as well as the low level of equipment with systems that perform the functions of forecasting and diagnosis, the tasks of predicting failures, reducing recovery time, saving resources of forces and means are urgent necessary for solving diagnostic problems, especially at the sites of operation of radio-electronic weapons.

Keywords: technical condition control, radio-electronic weapons, embedded software, computer-measurement system, reliability, efficiency.

Постановка проблеми. Система діагностування технічного стану радіоелектронного озброєння (далі – РЕО) є важливим інструментом забезпечення надійності технічних систем та безпеки її застосування. Ця система повинна здійснювати моніторинг та контролювати основні параметри устаткування, оперативно сигналізувати про можливі несправності, запобігати їх виникненню, а у випадку виявлення відхилень від заданих нормативів – автоматично генерувати попередження або сигнали тривоги оператору.

Для об'єктів РЕО із вбудованим програмним забезпеченням (далі – ВПЗ) система діагностування може бути інтегрована до основного устаткування на різних рівнях (на апаратному або програмному), або, як перспективна альтернатива, виконуватися у вигляді автономних уніфікованих систем контролю зі складними алгоритмами обробки інформації та доступом до глобальних інформаційних баз. На рівні апаратного забезпечення система оснащується датчиками та сенсорами безперервного моніторингу основних параметрів об'єкта контролю (далі – ОК). На рівні програмного забезпечення (далі – ПЗ) система повинна використовувати алгоритми та моделі для аналізу та обробки отриманих діагностичних даних.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Сучасні системи діагностування (далі – СД) РЕО можуть бути вбудованими в апаратуру або надаватись їй. Фізично такі системи виконуються на програмно-логічних інтегральних схемах чи з використанням мікропроцесорної техніки. Перспективним вважається метод автоматичного самоконтролю [1; 2]. Відповідно до основного принципу вказаного методу, контрольне обладнання повинно проектуватися одночасно з основним устаткуванням. Збільшення кількості територіально рознесених пристроїв із провідним та бездротовим інтерфейсом, до яких належать не тільки засоби зв'язку, а й комунікаційні пристрої, об'єднані в мережі, їхня мініатюризація, також сприяють підвищенню вимог до СД РЕО.

У нашій країні та за кордоном ведеться значна кількість робіт із дослідження, розробки, виробництва та експлуатації СД РЕО. Ці системи різні за призначенням, складністю, вартістю, принципами управління та обробки інформації, а також технічним рівнем їх виконання. Зарубіжний досвід показує, що застосування CALS-технологій (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support – інформаційна підтримка життєвого циклу РЕО на всіх його етапах), заснована на використанні єдиного інформаційного простору та дозволяє підвищити достовірність, ефективність й інші показники якості СД [3].

Питання надійності апаратної складової діагностичної системи (як і будь-якої технічної системи) досліджено та описано достатньо розгорнуто. Низка праць представляє ПЗ безвідмовним. У таких роботах оцінюється тільки надійність апаратних засобів (АЗ) [4; 5]. У випадку, коли оцінка надійності складної системи включає в себе обидві складові (програмної й апаратної), загальні значення показників надійності можуть змінюватися суттєво. Навіть якщо програмна складова функціонує відповідно до заданих параметрів, ефективність всієї системи залежатиме від відмов апаратної складової [6]. І навпаки, бездоганно налаштована апаратна складова втрачає свою ефективність у випадку збоїв програмної складової [7].

Наявність різних підходів підтверджує складність оцінки надійності програмно-апаратних засобів та необхідність аналізу конкретної ситуації з урахуванням можливих впливів для отримання об'єктивних результатів.

Під час оцінювання надійності засобів, які функціонують під керівництвом ПЗ, необхідно враховувати особливості функціонування ПЗ на всіх етапах життєвого циклу технічних засобів. Для цього застосовується модель, в якій після процедури оновлення ПЗ надійність зростає стрибкоподібно. Однак навіть у випадку використання такої моделі надійності ПЗ, ймовірність безвідмовної роботи системи буде заниженою, оскільки не враховуються появи відмов і збоїв АЗ та ПЗ. Тому, комплексний аналіз надійності (як складової ефективності) програмно-апаратних засобів має неабияке наукове значення.

При цьому, існуючі варіанти побудови систем контролю мають низку недоліків, які іноді не дозволяють забезпечити високу достовірність та ефективність контролю. Згадані недоліки обумовлені відсутністю єдиного методологічного підходу до створення систем контролю, а також необхідністю інтегрування зразків цивільного виробництва в існуючу систему технічного обслуговування ЗСУ. Основними недоліками сучасних СД слід вважати [8]: вартість, складність, низьку надійність, недостатню завадостійкість, відсутність можливості уніфікації та самонавчання.

У зв'язку з цим доцільно проводити дослідження з можливості спрощення систем контролю, зменшення вартості діагностичного обладнання з одночасним підвищення їхньої надійності та точності вимірювань. Спрощення системи контролю обумовлене необхідністю проведення процедур перевірки (визначення технічного стану РЕО) безпосередньо на місцях експлуатації силами обслуговуючого персоналу (та засобами, які є в наявності). Одним зі шляхів досягнення цієї мети є створення уніфікованих автономних автоматизованих систем контролю (діагностування) РЕО.

Виклад основного матеріалу дослідження. Створення, утримання та розвиток зразків озброєння та військової техніки (далі – ОВТ) супроводжується значними витратами бюджетних коштів в оборонній сфері. При цьому величина витрат на утримання зразків ОВТ (та ефективність використання технічних засобів) не рівномірна на різних стадіях життєвого циклу (далі – ЖЦ). Це обумовлено нерівномірністю в рівнях наукоємності та часових витратах від початку обґрунтування необхідності створення системи до обґрунтованого етапу припинення використання певного зразку озброєння.

Для оцінки стану та готовності складових оборони, країни Північноатлантичного альянсу регулярно проводять огляд результатів виконання заходів 4-річного циклу оборонного планування (NATO Defense Planning Process). Цей цикл включає в себе наступні етапи: аналіз політичних вказівок; визначення потреб; розподіл потреб за цілями; сприйняття реалізації плану; оцінювання отриманих результатів. Загальною метою цього процесу є узгодження національних оборонних програм із цілями та завданнями НАТО щодо досягнення визначеного рівня колективної безпеки та оборони. [9].

Відповідно до нормативних документів Альянсу, ЖЦ зразків ОВТ представляється як еволюція системи, виробу, послуг, проєктів тощо в часі, починаючи від його задуму на створення зразку до його вилучення з обігу (утилізації) [10]. Типовий ЖЦ виробу ОВТ включає в себе декілька стадій і етапів (рис. 1).



Рис. 1. Типові стадії ЖЦ виробу ОВТ

В нашій державі (на відміну від набору стадій ЖЦ зразків ОВТ, прийнятого в країнах-членах НАТО) відсутня стадія «перед-концепція» (preconception stage) [11]. Цю стадію використовують як сполучення питань планування оборонного бюджету та програм створення

зразків ОВТ. При цьому, слід розуміти, що на утримання, розвиток і створення ОВТ витрачають близько 60 % від загальної сукупності оборонного бюджету.

Як зазначалось раніше, система технічного контролю (діагностування) спрямована на підвищення ефективності використання систем ОВТ, в першу чергу шляхом зменшення витрат на підтримку ЖЦ технічних засобів (від початку етапу експлуатації виробу). Саме на цьому етапі відбувається зниження ефективності зразку, пов'язане з додатковими витратами на планові та позапланові ремонтно-відновлювальні роботи, які спрямовані на підтримання зразка у боєздатному стані (шляхом відновлення його ресурсу до показників, визначених у технологічній документації).

Вбудовані системи контролю не уніфіковані та дуже обмежені за своїми можливостями. Для виробників технічних систем загального призначення створення ефективної системи контролю є додатковим фінансовим навантаженням. В умовах, коли на озброєння надходять системи різних країн (різного рівня технологічної складності), напрямок створення уніфікованої системи контролю та діагностування набуває ще більшої важливості.

Отже, ЖЦ є складний процес, кожний етап якого потребує часових, фінансових, технологічних та інших ресурсних витрат, які впливають на показники ефективності технічного засобу. Час, необхідний для створення нового зразка озброєння, становить приблизно 10–12 років. Враховуючи час, необхідний для налагодження серійного виробництва, цей термін може сягати 15–20 років. Тому термін ефективного використання зразку озброєння також повинен становити не менше 15 років.

В якості критерія ефективності зразків ОВТ може виступати показник (співвідношення) отриманого ефекту з матеріальними витратами. Візуально це можливо представити у вигляді графіку, який пов'яже стадії ЖЦ РЕО (ОВТ) з ефектом/вартістю (рис. 2, який є баченням авторського колективу).

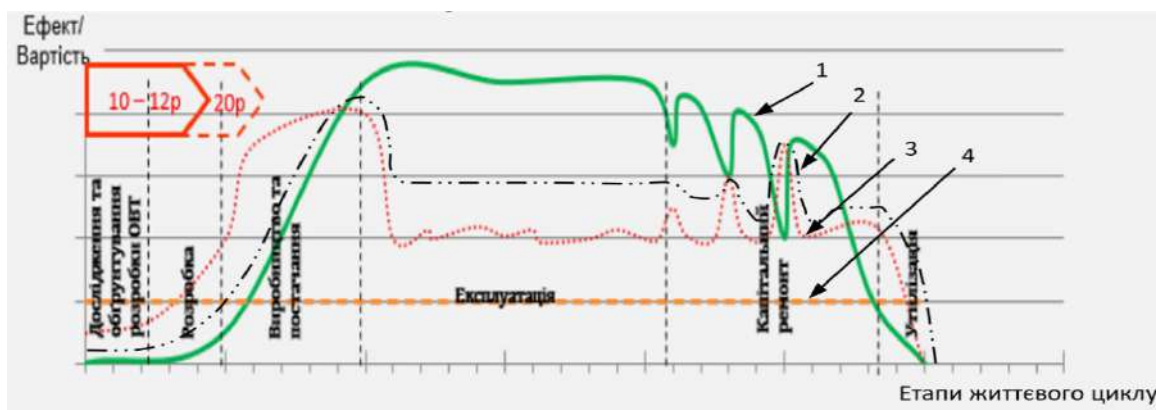


Рис. 2. Залежність ефекту/вартості від стадії ЖЦ виробу ОВТ:

- 1 – витрати фінансових ресурсів на реалізацію стадій ЖЦ; 2 – ефект від функціонування зразку ОВТ із вбудованою системою контролю (діагностування); 3 – ефект від функціонування зразку ОВТ із зовнішньою системою контролю; 4 – гранично допустимий рівень експлуатаційних витрат

Найбільш тривалий період ЖЦ РЕО пов'язаний саме з етапом експлуатації. Головне завдання системи технічного обслуговування (системи технічного діагностування) полягає в максимальному подовженні цього періоду, бажано завдяки скороченню (уникненню) етапу капітального ремонту. Досягнення цієї мети цілком можливе за принциповими умовами:

перехід на сучасні форми технічного обслуговування (за фактичним технічним станом); наявність ефективної автономної, уніфікованої системи контролю технічного стану (діагностування) РЕО.

Автономні системи контролю (за зразком інших сучасних технічних систем) також будуються за схемою: апаратна складова – програмна складова в єдиній системі. Ефективність такої системи залежить від надійності обох складових, а відмови можуть бути спричинені наступними причинами: випадкові відмови та дефекти апаратної складової; помилки та відмови ПЗ; збої внаслідок зовнішнього впливу.

Модель поведінки програмно-апаратних засобів зазвичай можливо описати Марковською моделлю, в якій визначаються стани, пов'язані з надійністю ПЗ, та стани, які не залежать від надійності ПЗ. Однак така модель не враховує всі можливі види відмов та помилок ПЗ, їхні наслідки та способи їх виправлення.

Тому для визначення показників надійності ПЗ програмно-апаратних засобів доцільно використовувати моделі на основі підрахунку відмов, які дозволяють враховувати різноманітні можливі сценарії відмов та їхні наслідки.

Апаратні засоби контролю є додатковим обладнанням для здійснення перевірки правильності функціонування ОК (бажано без впливу на функціональність та швидкодю основного устаткування). Вони є більш ефективними порівняно з програмними засобами через постійне вдосконалення апаратної складової та зниження фінансової вартості.

Працездатність складної системи можливо встановити шляхом аналізу результатів виконання спеціальної програми (перевірочного тесту), для якої відомий правильний результат. Висновок про технічний стан об'єкта контролю робиться за результатами автоматизованого порівняння результатів контролю з еталонними результатами [12].

Залежно від призначення виділяються налагоджувальні тести (перевірка працездатності окремих елементів програмної системи на початковому етапі наладки), перевірочні тести (періодична перевірка працездатності системи та виявлення несправностей на етапі експлуатації) і діагностичні тести (використовуються для виявлення помилок і локалізації місця несправності).

Доведено, що системи діагностики, які базуються на комп'ютерно-вимірювальних засобах, забезпечують підвищення показників надійності й ефективності функціонування [13].

Оскільки оцінюється ефективність використання автоматизованої системи контролю технічного стану (яка є програмно-апаратним комплексом), оцінку надійності та ефективності слід розглядати окремо для програмної та апаратної складових. Тренд зміни показників надійності ПЗ й апаратної складових істотно різниться залежно від вхідних даних і часу функціонування системи. Інтенсивна обробка даних спричиняє додаткове навантаження на апаратну частину (а надмірне навантаження процесора призводить до зростання споживаної потужності та додаткового нагріву, що може спричинити підвищення частоти збоїв).

Типові криві надійності програмно-апаратних засобів наведено на рис. 3.

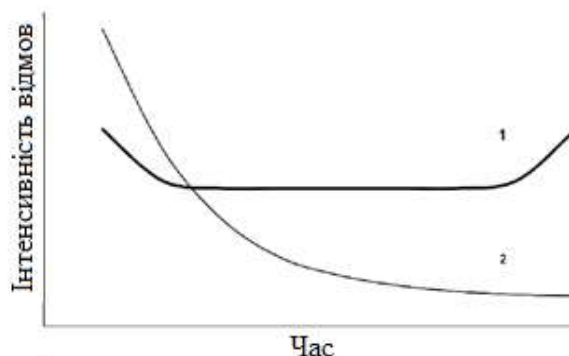


Рис. 3. Залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації апаратних (1) і програмних (2) засобів

Інтенсивність відмов апаратури (крива 1 на рис. 3) змінюється з часом експлуатації. У початковому періоді функціонування, на етапі виявлення та виправлення помилок проектування та виробничих дефектів, інтенсивність відмов апаратури зменшується з часом. Потім, протягом більшої частини терміну служби, вона залишається стабільною. Наприкінці терміну служби інтенсивність відмов значно збільшується внаслідок зношування апаратури.

Залежність надійності ПЗ (крива 2 на рис. 3) від часу експлуатації має непрямий тренд. Частота виявлення помилок визначається лише вхідними даними. Зменшення інтенсивності відмов ПЗ з часом є результатом виявлення та усунення прихованих помилок у процесі експлуатації.

Оцінку ефективності функціонування програмної складової системи з ВПЗ можна проводити на основі різних моделей. Це може бути модель з дискретно-знижувальною частотою (інтенсивністю) виявлення помилок – аналітичні моделі надійності спеціалізованого ПЗ або моделі з дискретним збільшенням часу до відмови.

Окремо стоять експоненціальні моделі, або моделі по імені авторів (Джелінського – Моранди, Шика – Уолвертона, Липова тощо) [4]. Найбільший інтерес викликає експоненціальна модель, яка добре узгоджується з фізико-хімічними процесами старіння напівпровідникових структур і характером зміни у часі числа помилок у програмі. Такі моделі надають можливість досліджувати закономірності виникнення помилок, а також прогнозувати надійність ПЗ на всіх етапах життєвого циклу РЕО.

У цьому випадку використовуються наступні характеристики надійності:

ймовірність того, що помилки програми не виявляться на інтервалі часу від 0 до t , позначається як функція надійності $P(t)$ і визначає час її безвідмовної роботи протягом часу t ;

ймовірність того, що на інтервалі часу від 0 до t виникне відмова програмної складової, позначається як функція ненадійності $Q(t)$:

$$Q(t) = -P(t).$$

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ і функція надійності $P(t)$ пов'язані між собою виразом [14]:

$$P(t) = \exp[-n\lambda(t)dt].$$

Число помилок, що залишилися $m_0(\tau)$ після тестування, можливо визначити виразом:

$$m_0(\tau) = M - m(\tau),$$

де τ – інтервал тестування (час тестування); n – число виявлених відмов протягом певного інтервалу часу; M – кількість помилок у програмі перед фазою тестування; $m(\tau)$ – кінцева кількість виправлених помилок.

Середній час напрацювання до відмови (T_0) (за припущенням, що в процесі коригування нові помилки не з'являються):

$$T_0 = T_0' \exp\left(\frac{\lambda(\tau)}{MT_0'}\right).$$

Інтенсивність відмов ($\lambda(\tau)$):

$$\lambda(\tau) = \frac{1}{T_0},$$

де T_0' – вихідне значення середнього часу напрацювання перед тестуванням.

При оцінці ефективності функціонування апаратної складової системи контролю необхідно враховувати надійність та оперативність функціонування цієї системи за показником ΔP_3 (приріст надійності прогнозу завдяки впровадженню підсистеми контролю) [15]:

$$\Delta P_3 = P_M - P_{\text{бс}},$$

де P_M – ймовірність досягнення мети; $P_{\text{бс}}$ – ймовірність досягнення мети без системи контролю.

Приріст оперативності прогнозу при наявності системи контролю ($\Delta T_{ОП}$):

$$\Delta T_{ОП} = M(T_M) - M(T_{\delta c}),$$

де $M(T_M)$ – математичне очікування часу досягнення мети; $M(T_{\delta c})$ – математичне очікування часу досягнення мети без системи контролю.

Через відсутність достовірних відомостей про надійність та час проведення робіт у випадку відсутності системи контролю розрахувати ці два показники практично неможливо. Тому, для оцінки ефективності функціонування системи контролю будемо використовувати інші параметри:

$P_{ВН}$ – ймовірність виявлення несправності системою контролю;

ΔP – програш у безвідмовності контрольованого пристрою під час використання вбудованої системи контролю;

ΔD – вигреш у достовірності під час використання системи контролю.

Для оцінки ефективності застосування системи контролю можливо використовувати показник «програш у безвідмовності контрольованого пристрою з вбудованою системою контролю».

Значення показника ΔP визначається виразом:

$$\Delta P = |P_{ВНХ}P_K - P_{ВНХ}|,$$

де $P_{ВНХ}$ – ймовірність безвідмовної роботи початкової схеми без системи контролю;

P_K – ймовірність безвідмовної роботи початкової схеми за наявності системи контролю.

Ймовірність безвідмовної роботи початкової схеми $P_{ВНХ}$:

$$P_{ВНХ} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0}{\theta}},$$

де λ_0 – параметр потоку відмов ОК; θ – інтенсивність відновлення ОК.

Вигреш у достовірності при використанні системи контролю:

$$\Delta D = P_{ВНХ} - D, \tag{1}$$

де D – достовірність функціонування ОК у процесі перевірки:

$$D = P_{ВН} + P_{ВНХ} \times P_K - P_{ВНХ}P_KP_{ВН}. \tag{2}$$

Підставивши вираз (2) у вираз (1), отримаємо:

$$\Delta D = P_{ВН} - P_{ВНХ}(1 - P_K) - P_{ВНХ}P_KP_{ВН}.$$

Графіки залежності ΔD та ΔP від кількості діагностичної інформації δ % будуються для різних значень $P_{ВН}$ і ймовірності безвідмовної роботи вихідної системи $P_{ВНХ}$ (рис. 4, 5).

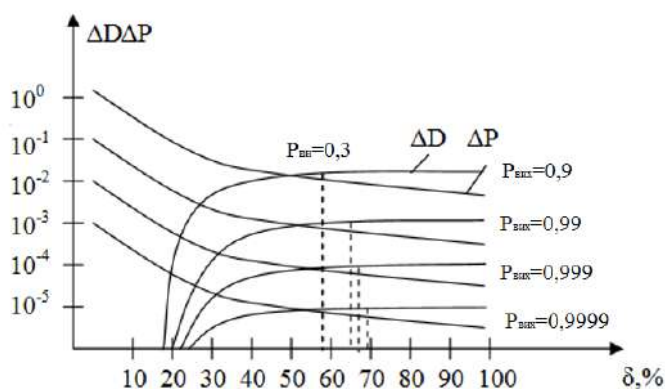


Рис. 4. Залежності ΔP ΔD від δ % при $P_{ВН} = 0,3$ та різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{ВНХ}$

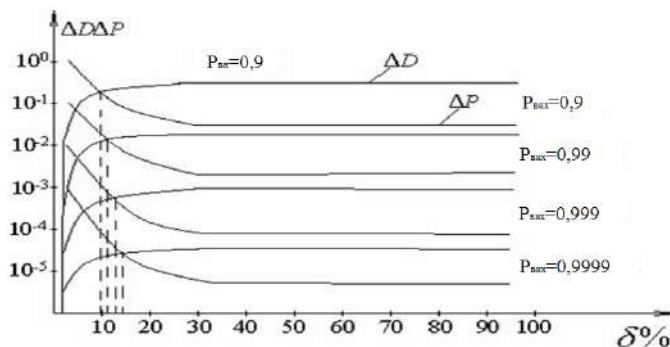


Рис. 5. Залежності ΔP ΔD від δ % при $P_{BH} = 0,9$ та різних значеннях імовірності безвідмовної роботи вихідної схеми P_{BVIK}

Чисельні значення параметру δ реєструються в точках перетину кривих ΔP та ΔD як компроміс між вигрешом у достовірності та програшем у безвідмовності системи контролю.

Порівняння показника ймовірності виявлення дефектів для ОК, який містить в собі вбудовану систему контролю, показує можливий приріст у достовірності виявлення дефектів на рівні від 10 % до 30 % залежно від імовірності безвідмовної роботи вихідної схеми.

Збільшення обсягу діагностичної інформації призводить до незначного зростання ймовірності виявлення дефектів. При цьому, ускладнення системи контролю завдяки збільшенню кількості діагностичних показників є економічно неефективним.

Висновки. У перспективі розвитку технологій системи автоматичного контролю повинні стати не лише складовою частиною, а й важливим елементом систем, що мають здатність до самоорганізації. Це означає, що такі системи будуть здатні не лише реагувати на виникнення проблем та несправностей, а й автоматично адаптуватися до змінних умов і вирішувати проблеми безпосередньо на місці, забезпечуючи тим самим безперебійну роботу і високий рівень надійності.

У цьому контексті важливим аспектом є забезпечення систем діагностики технічного стану неруйнівними методами контролю, які дозволяють здійснювати моніторинг стану об'єктів без пошкодження їхньої структури. Крім того, використання принципів штучних нейронних мереж у розробці систем контролю дозволить розширити їхні логічні можливості та надати їм здатність до самонавчання.

Такий підхід до розвитку систем контролю технічного стану відкриває широкі перспективи для покращення їхньої ефективності та надійності. Впровадження інноваційних технологій у цю галузь дозволить забезпечити більш високий рівень безпеки та стабільності функціонування технічних систем у різних галузях промисловості та виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ворочич Б. О., Наливайко А. Д., Поляев А. І. Проблемні питання щодо удосконалення системи оборонного планування в силах оборони України. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. Київ, 2017. № 2 (60). С. 30–33. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2017-2-60/30-33>.
2. Слюсар В. І., Кулагін К. К. Особливості процесу оборонного планування НАТО. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. Харків, 2019. № 3 (36). С. 47–59. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.36.06>.
3. Денежкін М. М., Крикун П. М., Руснак І. С. Проблеми проведення комплексного огляду сектору безпеки та оборони України: погляди на його організацію та вирішення завдань. *Наука і оборона*. Дніпропетровськ. 2014. № 4. С. 3–10.

4. Koren I., Mani C. Krishna Fault-Tolerant Systems. Elsevier Science, 2010. 400 p.
5. Rausand M., Barros A., Hoyland A. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. John Wiley & Sons, 2021. 864 p.
6. Yusupbekov N. R., Gulyamov Sh. M., Mirzaev D. A., Kuziyev Z. J. Analysis of the current status of the theory and practice of assessing the reliability of software of automated information and control systems. *Galaxy international interdisciplinary research journal*. 2022. Vol. 10, Issue 10. P. 418–4025.
7. Pham H. Handbook of Reliability Engineering. London:Springer, 2003. 696 p.
8. Про затвердження Порядку організації та здійснення оборонного планування в Міністерстві оборони України, Збройних Силах України та інших складових сил оборони: Закон України від 22.12.2020 № 484. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0196-21#Text> (дата звернення: 20.02.2024).
9. Наливайко А. Д., Поляєв А. І., Сівоха І. М. Генезис та розвиток оборонного планування в Україні. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ, 2017. № 2 (29). С. 138–143. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-29-2-138-143>.
10. ДСТУ В 15.004:2022 Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки.
11. AAP-20:2015 NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model).
12. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation. PWS, 2012. 452 p.
13. Кузавков В. В., Хусаїнов П. В. Прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018. № 1 С. 57–68.
14. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця: ВНТУ, 2010. 130 с.
15. Кузавков В. В., Янковський О. Г., Болотюк Ю. В. Обґрунтування вибору показників оцінки ефективності функціонування автоматизованої системи контролю. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ. 2022. Том 2 (44). С. 21–27. DOI: [10.33099/2311-7249/2022-44-2-21-27](https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-44-2-21-27).