

УДК 629.7 + 621.396

Р.М. Залужний, О.В. Лаврінчук, І.І. Серяков

Національна академія оборони України, Київ

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАДІЙНОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті розглянуті поняття надійності та живучості складних систем, напрямки їх вивчення та відмінності між ними, що дозволяє виділити основні проблеми дослідження даних понять і можливі шляхи вирішення визначених проблем. Показана доцільність використання методів аналізу живучості для оцінки топологічних структур складних систем військового призначення та раціонального просторового розміщення їх елементів. Наведені особливості оцінки живучості перспективних систем навігаційного забезпечення Збройних Сил України в умовах впливу на них противника.

**Ключові слова:** надійність та живучість складних систем, працездатність системи, навігаційне забезпечення, наземне функціональне доповнення глобальних навігаційних супутникових систем, локальна багатопозиційна радіонавігаційна система.

### Вступ

Практика створення і експлуатації складних систем, у тому числі і систем військового призначення, показує, що проблема забезпечення необхідних рівнів надійності, живучості і ефективності має першорядне значення [1 – 4]. Актуальними є питання аналізу властивостей надійності і живучості систем, які вимагають уточнення, подальшої розробки і аналізу даних властивостей, встановлення спільних рис і відмінностей між ними з метою уникнення шаблонності у виборі показників їх кількісної оцінки і розрахункових моделей.

Аналіз останніх публікацій з питань дослідження властивостей надійності і живучості складних систем [1, 3, 5 – 7] показує, що, хоча вони визначають працездатність систем в певних реальних, але різних умовах експлуатації, проте методи аналізу і забезпечення заданих рівнів показників цих властивостей суттєво відрізняються.

Особливу увагу слід звернути на те, що, в порівнянні з теорією дослідження надійності складних систем, на даний час не розроблено розвинутої теорії, яка б дозволяла досліджувати властивість живучості, оцінювати її кількісно та розробляти практичні рекомендації по забезпеченню живучості.

Метою статті є проведення порівняльного аналізу властивостей надійності та живучості складних систем та визначення основних проблем їх дослідження з урахуванням особливостей застосування систем військового призначення.

### Основний матеріал

Надійність визначається як складна властивість об'єкта, що включає властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збережуваності [8, 9]. Найважливішою складовою надійності зазначених систем є властивість безвідмовності, що характеризує здатність системи безперервно зберігати

працездатність в заданих умовах і на заданому інтервалі експлуатації. Для систем, модель працездатності яких визначається тільки двома станами: працездатним і непрацездатним, показник ймовірності безвідмовної роботи є вичерпною характеристикою їх безвідмовності. В інших випадках, для так званих багатофункціональних систем складної структури, відмова окремих елементів, як правило, не призводить до втрати працездатності всієї системи. Для аналізу надійності таких систем розробляються методи, засновані на розбитті простору станів працездатності системи на підпростори, відповідні певним (заданим) рівням якості її функціонування. Тоді безвідмовність такої системи характеризується набором показників виду ймовірності потрапляння системи в підпростір працездатності, відповідний заданому рівню якості функціонування. Такий підхід не суперечить загальному визначенню надійності як складної властивості згідно з ДСТУ [8]. Поняття надійності як складної властивості розвивається за двома напрямками:

– розширення показників надійності, тобто використання оцінок типу ймовірності знаходження об'єкта дослідження в визначених (заданих) фізичних станах внаслідок порушення працездатності окремих його елементів, в тому числі елементів управління;

– використання багатокритеріальних (векторних) показників, що характеризують працездатність об'єкта дослідження складної структури. Складовими таких показників є ймовірності знаходження об'єкта в підпросторі станів, які відповідають різним рівням якості його функціонування.

Одночасно з надійністю об'єкта дослідження розглядають і його живучість, яка також визначає працездатність даного об'єкта в певних реальних, але різних, по відношенню до надійності, умовах експлуатації.

Під живучістю [5, 10] розуміється здатність систем до збереження своїх основних функцій (з допустимою втратою якості їх виконання) при впливі несприятливих факторів зовнішнього середовища, що виходять за рамки проектних умов експлуатації. Іншими словами, живучість — це властивість об'єкта, що полягає в його здатності виконувати завдання

за цільовим призначенням в процесі дії несприятливих впливів (НВ) на весь об'єкт або окремі його елементи, підтримуючи в допустимих межах свої експлуатаційні показники.

З наведених визначень живучості витікає деяка загальна модель аналізу цієї властивості, яка представлена на рис. 1.

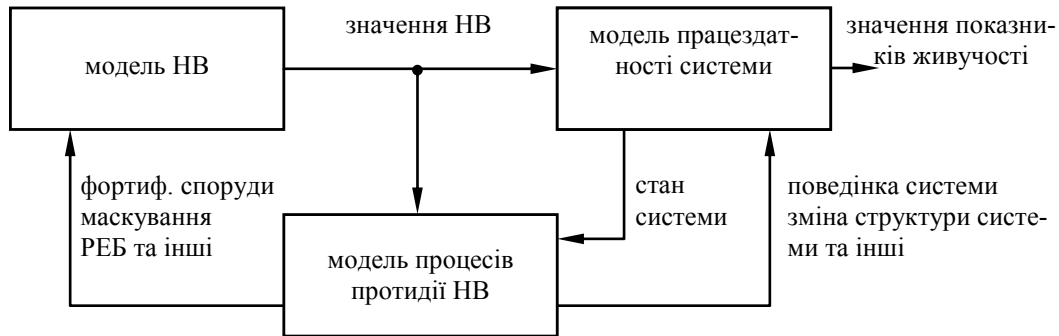


Рис. 1. Загальна модель аналізу живучості системи

У теорії дослідження живучості можна виділити три напрями і, відповідно, три види моделей аналізу: теоретико-ігрові [11, 12]; імовірнісні [6]; детерміновані [7]. Для практичного застосування найповніше розроблені імовірнісні і детерміновані моделі.

Імовірнісні моделі будуються з припущенням про рівномірний закон розподілу НВ в об'ємі досліджуваної системи або з припущенням про однаковий об'єм руйнувань, що виникають в будь-якому місці системи при реалізації одноразового (однократного) НВ.

Детерміновані моделі живучості будуються на основі зіставлення конкретних видів вражаючих факторів НВ і стійкості до них елементів і об'єкту дослідження в цілому. У цьому напрямі намітилися два підходи: статичний і динамічний. Сутність першого підходу полягає в тому, що задаються область ураження об'єкту в просторі (або в просторі можливих станів функціонування об'єкта дослідження) і величина факторів ураження, визначаються елементи, які можуть бути знищені, і за допомогою логічних функцій працездатності знаходиться рівень якості функціонування системи. Динамічний підхід ґрунтується на використанні ряду імітаційних моделей:

- виникнення і розвитку НВ;
- розвитку вражаючих факторів НВ, які впливають на стан елементів об'єкта;
- функціонування об'єкта в умовах змін структури системи і значень параметрів, викликаних впливом несприятливих факторів і засобами протидії НВ.

Важливі переваги динамічного підходу до оцінки живучості складних систем полягають в урахуванні фактора часу при визначенні рівня працездатності об'єкта дослідження і можливості отримання кількісних залежностей показників живучості від значення параметрів об'єкта дослідження [13].

В даний час проблемним є формування показників живучості для детермінованого динамічного підходу. Области працездатності можуть бути побудовані як в просторі параметрів об'єкта, так і в просторі параметрів НВ. У першому випадку в якості показників живучості приймаються параметри об'єкта дослідження, а їх критичні значення (відповідні межі непрацездатності об'єкта) виступають як кількісні оцінки живучості. У другому випадку показники – це параметри НВ, кількісні оцінки яких є значеннями параметрів НВ, при яких система переходить в область непрацездатності. Подвійність у виборі показників живучості, з одного боку, дозволяє сформулювати вимоги до параметрів системи і її структури, включаючи топологічну структуру, з іншого боку – отримати вимоги для розробки і застосування заходів або засобів протидії НВ.

З аналізу визначень надійності і живучості та порівняння методів і моделей, які застосовуються для їх оцінки, випливають докорінні відмінності даних понять, що дозволяє виділити наступні основні проблеми їх дослідження:

- проблема вибору моделі відмов елементів системи (тип моделі, математичний апарат);
- проблема вибору показників ефективності з урахуванням досліджуваної властивості системи;
- проблема вибору методу знаходження кількісних значень показників;
- проблема вибору початкових вихідних даних;
- проблема вибору способів забезпечення надійності або живучості (працездатності системи).

Можливі шляхи вирішення зазначених проблем наведені в табл. 1.

Аналіз табл. 1 показує схожість надійності і живучості системи за своєю сутністю (оскільки вони визначають працездатність системи але в різних умовах експлуатації), однак методи аналізу і заходи

забезпечення необхідних рівнів показників цих властивостей суттєво відрізняються. Особливу увагу необхідно звернути на те, що методи аналізу живу-

чості дозволяють оцінити топологію структури систем і визначити раціональне просторове розміщення їх складових елементів.

Таблиця 1

Шляхи вирішення зазначених проблем

Проблема	Шляхи вирішення		
	Надійність	Живучість	
Вибір моделі відмов елементів системи: а) тип моделей, б) математ. апарат	а) Імовірнісні б) Теорія ймовірності і апарат алгебри логіки	а) Імовірнісні б) Теорія ймовірності апарат алгебри логіки	а) Детерміновані б) Теорія диференціальних рівнянь
Вибір показників ефективності з урахуванням властивості системи, що досліджується: а) характеристики, б) показник ефективності	а) Імовірнісні характеристики: ймовірність безвідмовної роботи і так далі б) Ймовірність попадання системи в характерні області станів функціонування	а) Умовний закон уразливості систем б) Середнє число НВ, що переводить систему в характерні області станів функціонування	а) Параметри системи що визначають перехід її в стан непрацездатності б) Початкові значення параметрів НВ, відповідні межі області непрацездатності
Вибір методу знаходження кількісних значень показників: а) тип моделей, б) математичний апарат	а) Аналітичні методи аналізу б) Методи статистичного моделювання	а) Аналітичні методи аналізу б) Методи статистичного моделювання	а) Логічний аналіз функцій працездатності систем б) Імітаційні моделі аналізу живучості на основі динамічних моделей НВ, зміни структури і параметрів системи
Отримання початкових даних	– Статистична обробка даних про відмови елементів в умовах експлуатації – Проведення спеціальних випробувань елементів на надійність – Аналіз технічної структури системи і експлуатаційних умов її функціонування з метою вибору показників надійності і розрахункових методів	– Теоретична оцінка стійкості елементів системи до вражаючих факторів заданих НВ – Проведення спеціальних випробувань за оцінкою стійкості елементів системи до вражаючих факторів заданих НВ – Аналіз експлуатаційних умов функціонування системи з метою визначення можливих НВ і характеру їх розвитку – Аналіз технічної і топологічної структур системи з метою отримання розрахункових структур для аналізу показників живучості	
Вибір способів забезпечення надійності або живучості	– Використання різних видів надлишковості (функціональна, апаратна, часова та ін.) – Заходи аварійного захисту – Заходи відновлення – Заходи техн. обслуговування	– Вибір оптимального розміщення елементів системи – Використання засобів підвищення стійкості елементів системи до уразливих факторів НВ – Вплив на процес розвитку НВ – Всі напрямки, що вказані в надійності	

В порівнянні з надійністю, живучість визначається як зовнішньою, так і внутрішньою властивостями системи. Якщо розглядати перспективні напрями навігаційного забезпечення Збройних Сил (ЗС) України:

1) створення та експлуатація системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України (СКЧНЗУ) [14, 15];

2) розгортання та застосування локальної багатопозиційної радіонавігаційної системи (ЛБРНС) [15, 16], то, в першому випадку, у зв'язку зі стаціонарністю просторового розміщення системи на території України і входження її як складової до відповідних європейських наземних функціональних підсистем глобальної навігаційної супутникової си-

стеми (ГНСС), живучість системи доцільно розглядати як внутрішню властивість, так як заходи протидії НВ з боку противника (наприклад, маскування чи побудова фортифікаційних споруд) як зовнішні елементи забезпечення живучості є неефективними. В другому випадку, при розгортанні та застосуванні ЛБРНС, яка буде складатися з малопомітних рухомих радіонавігаційних точок (РНТ), живучість системи доцільно розглядати як зовнішню її властивість. Це пояснюється можливістю суттєвого зниження зовнішніх НВ на систему шляхом здійснення ряду організаційних та технічних заходів (створення змінної з часом структури системи, застосування засобів маскування, зменшення розмірів та ефективною поверхні розсіювання РНТ і т.ін.).

## Висновки

1. Для оцінки надійності багатofункціональних систем складної структури доцільно застосовувати методи, що засновані на розбитті простору станів працездатності системи на підпростори з відповідними рівнями якості її функціонування та оцінювати ймовірність потрапляння системи в зазначені підпростори працездатності.

2. Порівняння понять надійності та живучості та аналіз методів, що використовуються для їх дослідження та оцінки, вказує на суттєві відмінності даних понять. Вони схожі лише в тому, що і при аналізі надійності, і при аналізі живучості оцінюється працездатність системи. Методологія аналізу живучості принципово відрізняється від методології аналізу надійності у визначеннях понять, показниках і моделях процесів, що проявляють ці властивості системи.

3. В порівнянні з надійністю, живучість визначається як зовнішньою, так і внутрішньою властивостями системи. Для стаціонарних наземних систем військового призначення живучість доцільно розглядати як внутрішню властивість, так як зовнішні елементи та заходи забезпечення живучості щодо протидії НВ противника є неефективними. При дослідженні нестаціонарних малорозмірних систем військового призначення живучість доцільно розглядати як зовнішню їх властивість завдяки можливості суттєвого зниження зовнішніх НВ на систему шляхом здійснення ряду організаційних та технічних заходів.

## Список літератури

1. Рябинин И.А. Надежность и эффективность структуры сложных технических систем / И.А. Рябинин, Ю.М. Парфенов // В кн. Основные вопросы теории и практики надежности. – Минск : Наука и техника, 1982. – С. 25-40.
2. Эффективность и надежность сложных систем / И.Л. Плетнев, А.И. Рембеза, Ю.А. Соколов, В.А. Чалый-Прилуцкий. – М. : Машиностроение, 1977. – 216 с.
3. Надёжность и живучесть систем связи / [Дудник Б. Я., Овчаренко В. Ф., Орлов В. К. и др.]. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.

4. Глушков В.М. Кибернетика. Вопросы теории и практики / В.М. Глушков. – М.: Наука, 1986. – 488 с.
5. Волик Б.Г. Эффективность, надежность и живучесть управляющих систем / Б.Г. Волик, И.А. Рябинин // Автоматика и телемеханика. – 1984. – № 12. – С. 151-160.
6. Рябинин И.А. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.
7. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем / Г.Н. Черкесов. – М.: Знание, 1987. – 285 с.
8. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. – К. : Держстандарт України, 1994.
9. Соловійов В.І. Організація експлуатації авіаційної техніки / Соловійов В.І. – К.: НАОУ, 2005. – 222 с.
10. Додонов А.Г. Введение в теорию живучести вычислительных систем / А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецова, Е.С. Горобчик. – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с.
11. Флейшман Б.С. Применение теоретико-игровых методов к оценке живучести сложных систем / Б.С. Флейшман, В.Ф. Крапивин // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1967. – № 6. – С. 14-25.
12. Крапивин В.Ф. Теоретико-игровые методы синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях / В.Ф. Крапивин. – М.: Сов. радио, 1972. – 192 с.
13. Эффективность сложных систем. Динамические модели / [В.А. Виноградов, В.А. Грущанский, С.И. Довгодуш и др.]. – М.: Наука, 1989. – 285 с.
14. Пермяков О.Ю. Особенности творения та застосування наземних функціональних доповнень глобальної навігаційної супутникової системи на території / О.Ю. Пермяков, О.В. Лаврінчук, Р.М. Залужний // Збірник наукових праць ХУ ПС. – 2009. – Вип. 2(20). – С. 53-58.
15. Організація балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами / [М.С. Сівова, О.Б. Захаров, В.О. Гуменюк та ін.]; під заг. ред. М.С. Сівова. – К.: НАОУ, 2007. – 508 с.
16. Кравченко Ю.В. Концепція синтезу локальної багатопозиційної радіонавігаційної системи / Ю.В. Кравченко, О.В. Лаврінчук, Р.М. Залужний // Системи озброєння і військова техніка – 2009. – № 2(18). – С. 95-98.

Надійшла до редколегії 7.11.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.А. Калкаманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Р.Н. Залужный, А.В. Лавринчук, И.В. Сeryakov

Рассмотрены отличия и основные проблемы исследования понятий надежности и живучести сложных систем, показана целесообразность использования методов анализа живучести для оценки топологических структур сложных систем военного назначения. Приведены особенности оценки живучести перспективных систем навигационного обеспечения Вооруженных Сил Украины в условиях влияния на них противника.

**Ключевые слова:** надежность и живучесть сложных систем, работоспособность системы, навигационное обеспечение, наземное функциональное дополнение глобальных навигационных спутниковых систем, локальная многопозиционная радионавигационная система.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PROPERTIES RELIABILITY AND VITALITY RESEARCH OF THE MILITARY COMPLEX SYSTEMS

R.M. Zaluzhny, O.V. Lavrinchuk, I.V. Seryakov

Differences and basic problems of reliability and vitality concepts research of the complex systems are considered. Expedience of the vitality analysis methods using is shown for the topology structures estimation of the military complex systems. The features of estimation of vitality of the perspective systems of the navigation providing of Military Powers of Ukraine are resulted in the conditions of influence on them of opponent.

**Keywords:** reliability and vitality of the difficult systems, capacity of the system, navigation providing, surface functional addition of the global navigation satellite systems, in-plant multitaxis direction-finding system.