

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

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

## ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

**Мета статті** – обґрунтування можливості використання теорії множин для моделювання об'єктів зі змінною структурою для уточнення кількісної оцінки значень показників надійності з врахуванням часу роботи окремих частин. **Результати.** У статті запропонований підхід до аналізу структур радіоелектронних засобів, що відрізняються багатофункціональністю та багаторежимністю, тобто змінюють структуру під час використання за призначенням, із застосування математичного апарату теорії множин. Це дозволяє в подальшому кількісно оцінити значення показників надійності (наробітку на відмову та середнього часу відновлення) залежно від порядку взаємодії підмножин елементів та їх потужності. **Висновки.** Врахування властивості багаторежимності засобів спеціального зв'язку з впровадженням теоретико-множинної моделі їх структури дозволяє точніше кількісно оцінити значення показників надійності. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки математичної моделі і методів оцінки надійності багаторежимних засобів та систем спеціального зв'язку зі змінною структурою. Подальші дослідження слід направляти на формалізацію процесу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

**Ключові слова:** об'єкт зі змінною структурою, теоретико-множинна модель, багаторежимність.

### Вступ

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В сучасних публікаціях з теорії надійності складних технічних об'єктів відмічається, що є необхідність наукового аналізу технічних структур, конфігурація яких змінюється під час використання цих об'єктів за призначенням. Показано, що в даний час відсутні не тільки практичні, але і теоретичні методи розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватись випадковим чином або в заданій послідовності через визначений інтервал часу. Причому, зміна структури завжди відбувається в залежності від зміни виконуваних системою функцій [1-5].

В [1] розглянуто особливості розрахунку надійності об'єктів з врахуванням часу зберігання та використання за призначенням, причому інтенсивність відмов елементів під час зберігання в порівнянні з роботою зменшується в 10...100 разів. В інших роботах [3, 4] основна увага приділяється дослідженню надійності об'єктів з резервуванням.

Окремо в [6, 7] розглянуто вплив зміни структури об'єктів на ефективність їх діагностування.

**Мета статті** – обґрунтування можливості використання теорії множин для моделювання об'єктів зі змінною структурою для уточнення кількісної оцінки значень показників надійності з врахуванням часу роботи окремих частин.

### Виклад основного матеріалу

Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і

транспортування. Розширення умов експлуатації, підвищення відповідальності виконуваних радіоелектронними засобами (РЕЗ) функцій, їх ускладнення приводить до підвищення вимог до надійності виробів [8].

Надійність є складною властивістю і формується такими складовими, як безвідмовність, довговічність, відновлюваність та здатність виробу безупинно зберігати працездатний стан протягом заданого часу. Тому найбільш важливим у забезпеченні надійності РЕЗ є підвищення їх безвідмовності [1, 3, 4].

Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами «життєвого циклу» РЕЗ від зародження ідеї створення до списання: під час розрахунку та проектуванні виробу його надійність закладається в проект, при виготовленні надійність забезпечується, а при експлуатації – реалізується [3]. Тому проблема надійності – комплексна проблема і вирішувати її необхідно на всіх етапах і різними засобами. На етапі проектування виробу визначається його структура, проводиться вибір або розробка елементної бази, тому тут є найбільші можливості забезпечення необхідного рівня надійності РЕЗ. Основним методом вирішення цього завдання є розрахунки значень показників надійності (в першу чергу – безвідмовності), залежно від структури об'єкту і характеристик його складних частин, з подальшою корекцією проекту при необхідності.

При аналізі надійності складних систем їх розбивають на елементи (компоненти) з тим, щоб спочатку розглянути параметри і характеристики елементів, потім оцінити працездатність всієї системи. Під елементом, точніше кажучи, елементом розрахунку надійності розуміють складову частину складної системи, яка може характеризуватися само-

стійними вхідними і вихідними параметрами. При дослідженні надійності системи її елементи не розчленовуються на складові частини, а показники безвідмовності і довговічності відносяться до елемента в цілому. При цьому можливе відновлення працездатності елемента незалежно від інших частин і елементів системи [1-4].

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

Структурною надійністю системи (пристрою) називається результуюча надійність системи (пристрою) при заданій її структурі і відомих значеннях надійності всіх вхідних в неї частин (блоків, вузлів, компонентів і т.д., тобто конструктивів)[9].

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

Дослідження структури дозволяє 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 з відомою надійністю, або навпаки, виходячи з вимоги до надійності системи, пред'явити вимоги до надійності елементів [1,3,4].

Засоби спеціального зв'язку (ЗСЗ) є окремим видом РЕЗ, до яких ставлять підвищені вимоги щодо надійності. Вони відрізняються властивостями багатofункціональності, багаторежимності і наявністю кількох інформаційних виходів, тобто відносяться до об'єктів зі змінною структурою (рис. 1), надійність яких залежить від їх надлишковості і часу роботи в окремих режимах [3].



Рис. 1. Класифікація об'єктів зі змінною структурою

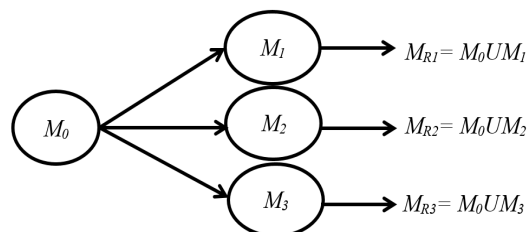
Багатofункціональність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності задовольнити різні потреби користувача [6].

Багаторежимність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності виконання покладених на нього функцій за рахунок використання різних сукупностей функціональних елементів, або зміни їх властивостей[6].

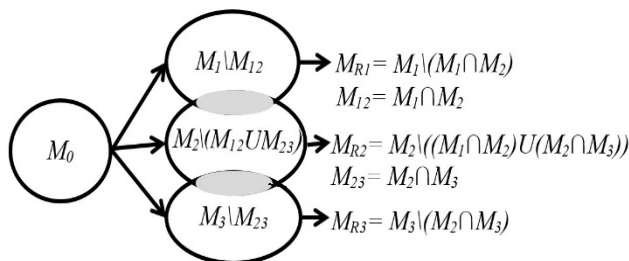
Надлишковість – додаткові засоби й можливості більш ніж необхідні для виконання об'єктом заданих функцій. Розрізняють конструктивну, часову, інформаційну, структурну і функціональну види надлишковості, що присутні в РЕЗ різного призначення і в ЗСЗ також [1].

В [6, 7] розглянуто різноманітні структури об'єктів з точки зору їх відновлення, а не оцінки надійності, з використанням математичного апарату теорії множин [10]. Аналіз теоретико-множинних моделей об'єктів показує, що їх надійність максимальна при мінімальній потужності елементів, що використовують під час роботи, і навпаки.

Якщо багаторежимний об'єкт має ядро, елементи якого працюють в усіх режимах роботи, (наприклад, підсистема електроживлення), то можливі варіанти без перетину або з перетином підмножин елементів в  $R_i$  режиму роботи (рис.2), що відповідає, наприклад, радіопередавачу, радіоприймачу, радіостанції при різноманітних режимах роботи.



Багаторежимний об'єкт без перетину підмножин елементів



Багаторежимний об'єкт з перетином підмножин елементів

Рис. 2. Теоретико-множинні моделі багаторежимних об'єктів з ядром і довільною зміною режимів роботи

При послідовній зміні режимів потужність підмножин елементів, які використовують, поступово збільшується, при цьому надійність виробу зменшується (рис.3). Це має місце, наприклад, в підсистемах управління функціонуванням радіопередавачів великої потужності.

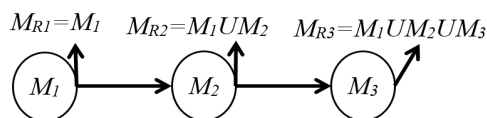
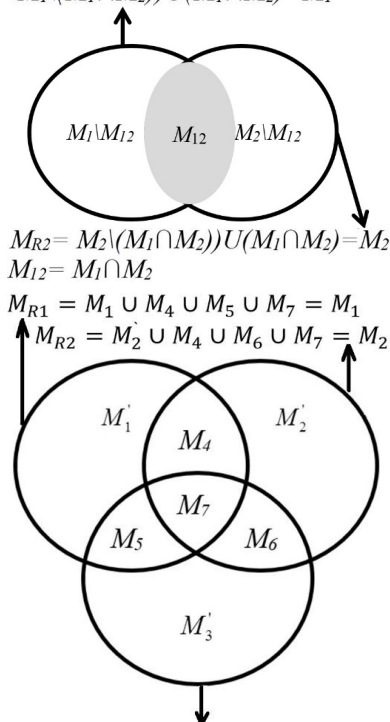


Рис. 3. Теоретико-множинна модель об'єкту з послідовною зміною режимів

При цьому послідовно включається ввід, охолодження, зміщення і висока напруга. В кожному режимі використовують всі елементи, підключені раніше. Таким чином, їх загальна кількість поступово збільшується. При знаходженні радіопередавача в гарячому резерві на випадок передачі найважливіх повідомлень висока напруга включається дистанційно. Тобто, елементи підсистеми працюють різний час, що при традиційній оцінці надійності не враховують.

Приклади без'ядерних теоретико-множинних моделей об'єктів приведено на рис. 4, де можлива довільна або фіксована зміна режимів роботи:

$$\begin{aligned} M_1^{\wedge} &= M_1 \setminus ((M_1 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_2^{\wedge} &= M_2 \setminus ((M_1 \cap M_2) \cup (M_3 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_3^{\wedge} &= M_3 \setminus ((M_2 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_3) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_{R1} &= M_1 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_1 \cap M_2) = M_1 \end{aligned}$$



$$M_{R3} = M_3 \setminus (M_5 \cup M_6 \cup M_7) = M_3$$

Рис. 4. Приклади теоретико-множинних моделей об'єктів без ядер з довільною зміною режимів роботи

Якщо в цих випадках також використовують послідовні зміни режимів роботи об'єкту, то отримаємо теоретико-множинну модель виду рис. 5.

Приведені приклади теоретико-множинних моделей об'єктів дозволяють кількісно оцінити потужності підмножин елементів, що використовують в різних режимах роботи, для подальшої кількісної оцінки показників надійності залежно від структури об'єкта і порядку зміни режимів роботи.

Розглянемо можливість використання отриманих результатів на прикладі оцінки показників надійності радіостанції, яка працює в режимах прийому або передачі, причому в якості ядра використовують блок електроживлення, генератор сигналів і антену, які працюють у всіх режимах роботи ( $T_{p1}$ ).

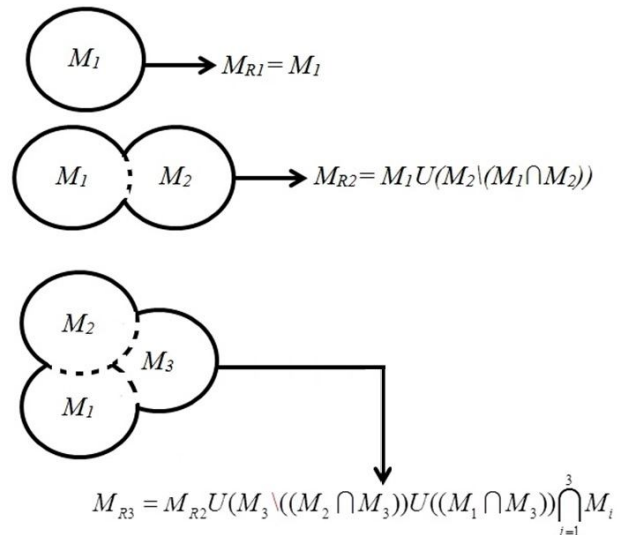


Рис. 5. Теоретико-множинна модель об'єкту без ядра з послідовною зміною режимів роботи

Порядок зміни режимів довільний, але відомо, що час роботи в режимі «прийом» ( $T_{p2}$ ) набагато більше, ніж в режимі «передача» ( $T_{p3}$ ) (рис. 6).

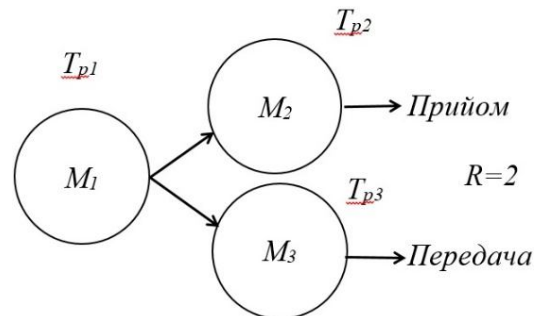


Рис. 6. Теоретико-множинна модель радіостанції

За відомими методиками [1-4] виходячи із потужності підмножин елементів отримано їх параметр потоку відмов  $Z_i$  ( $i \in \{1, 2, 3\}$ ), а із призначення радіостанції відомо час роботи у кожному режимі, причому  $T_{p1} = T_{p2} + T_{p3}$ .

Тоді коефіцієнт використання кожної підмножини елементів дорівнює:

$$U_1 = \frac{T_{p1}}{T_{p2} + T_{p3}}; U_2 = \frac{T_{p2}}{T_{p2} + T_{p3}}; U_3 = \frac{T_{p3}}{T_{p2} + T_{p3}}$$

Наробіток на відмову елементів кожної підмножини визначається параметром потоку відмов [8], що дозволяє оцінити загальну кількість відмов виробу і його наробіток на відмову в цілому залежно від значення коефіцієнту використання кожних підмножин елементів  $U_i$ .

Діагностування радіостанцій доцільно виконувати в порядку зменшення потужностей підмножин елементів з використанням умовних алгоритмів пошуку дефектів [6, 7].

Після визначення наробітку на відмову  $T$  і середнього часу відновлення  $T_v$  можливо кількісно оцінити значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності [8]:  $A = T / (T + T_v)$ .

Тобто, використання теоретико-множинної моделі надійності засобів спеціального зв'язку

дозволяє аналізувати їх структуру в можливих режимах роботи і в подальшому точніше кількісно оцінювати значення показників надійності з врахуванням коефіцієнтів використання окремих підмножин елементів виробу.

### Висновки

1. Врахування властивості багаторежимності ЗСЗ з впровадженням теоретико-множинної моделі

їх структури дозволяє точніше кількісно оцінити значення показників надійності.

2. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки математичної моделі і методів оцінки надійності багаторежимних засобів та систем спеціального зв'язку зі змінною структурою.

3. Подальші дослідження слід направляти на формалізацію процесу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі зміною структурою.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высш.шк. / 2003. – 463 с.
2. Хабаров Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 376 с.
3. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704 с.
4. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочий, С.Ю. Лозинський та інші – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2013. – 300 с.
5. Сакович Л.М. Оцінка надійності технічних об'єктів зі змінною структурою / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна // XX всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доповідей. – Житомир, ЖВІ ім. С.П. Корольова, 2018, С. 201-203.
6. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / С.П. Ксенз, А.А. Вольнский, Л.Н. Сакович и другие. – Л.: ВАС, 1990. – 336 с.
7. Ксенз С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления, связи и навигации / С.П. Ксенз, Н.И. Полтаржицкий, С.П. Алексеев, В.В. Минеев. – СПб.: ВАС, 2010. – 240 с.
8. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 89 с.
9. Гнатюк С.Є. Показники надійності систем спеціального зв'язку // С.Є. Гнатюк, Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації // Зб. наук. праць. Вип. 1(25). – К.: Держспецзв'язок, 2014. – С. 73-79.
10. Берд Дж. Инженерная математика. / Дж. Берд. 2008.– 546 с.

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

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

Received (Надійшла) 22.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

### Теоретико-множественные модели объектов с переменной структурой

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

**Цель статьи** - обоснование возможности использования теории множеств для моделирования объектов с переменной структурой для уточнения количественной оценки значений показателей надежности с учетом времени работы отдельных частей. **Результаты.** В статье предложено для анализа структур многорежимных объектов использовать их теоретико-множественные модели, что позволяет упорядочить процесс количественной оценки значений показателей надежности объектов в целом. В известных работах такой подход не использован. Приведены конкретные примеры моделирования многорежимных технических объектов и показаны направления использования полученных результатов. **Выводы.** Учет свойства многорежимности средств специальной связи с использованием теоретико-множественной модели их структуры позволяет точнее количественно оценить значения показателей надежности. Полученные результаты целесообразно использовать при разработке математической модели и методов оценки надежности многорежимных средств и систем специальной связи с переменной структурой. Дальнейшие исследования следует направлять на формализацию процесса количественной оценки показателей надежности объектов с изменением структурой.

**Ключевые слова:** теоретико-множественная модель, многорежимность, объект со сменной структурой.

### Set-theoretic models of objects with variable structure

L. Sakovich, G. Krykhovetskyi, Y. Nebesna

The purpose of the paper is to substantiate the possibility of using the theory of sets for modeling objects with a variable structure to specify the quantitative assessment of the values of reliability indicators, taking into account the working time of individual parts. Results. In the article it is proposed to use the set-theoretic models to analyze the structures of multi-mode objects, which makes it possible to streamline the process of quantitative estimation of the values of reliability indicators of objects as a whole. In known works this approach has not been used. Specific examples of simulation of multi-mode technical objects are given and directions of using the obtained results are shown. Conclusions Taking into account the properties of multi-mode means of a special connection with the introduction of the theoretical-plural model of their structure allows to more accurately quantify the values of reliability indicators. The obtained results should be used when developing a mathematical model and methods for assessing the reliability of multimode and special communication systems with variable structure. Further research should be directed to the formalization of the process of quantitative assessment of reliability of objects with a change in structure.

**Keywords:** set-theoretic model, multi-mode, object with replaceable structure.