

ВІЙСЬКОВІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-12-88-45>

УДК 621.397

Бондаренко Т.В., Ткаченко А.Л.,

Совік О.В., Побережець Т.В.

Науковий центр зв'язку та інформатизації
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації

АНАЛІЗ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ БЕЗВІДМОВНО СКЛАДНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Анотація. У статті наведено опис математичної моделі процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВІР) угруповання складних технічних об'єктів. На додаток до розглянутого авторами раніше опису моделі введено формалізований опис угруповання, який включає до себе безліч технічних об'єктів угруповання; нормативні параметри витрачання та поповнення ресурсу об'єктів і поточний стан угруповання. Стан угруповання значною мірою визначається станом ресурсу об'єктів, що входять до нього. Ресурс окремого об'єкта визначається трьома параметрами: власним ресурсом (залишкове напрацювання), залишковим терміном служби і залишковою кількістю планових ремонтів, які повинні бути виконані на даному об'єкті до його списання. Введена класифікація станів ресурсу угруповання, що визначає три класи станів: «новий», «врівноважений» і «старий». Наведені приклади результатів моделювання ПВІР, що наочно ілюструють можливості застосування розробленої моделі. На прикладах продемонстровано доцільність прагнення при організації експлуатації об'єктів угруповання до урівноваженого стану її ресурсу.

Ключові слова: ресурс і термін служби технічного об'єкта, склад і ресурс угруповання технічних об'єктів, плани ремонту, списання та поставок нових об'єктів, залишкова кількість планових ремонтів.

Bondarenko Tetiana, Tkachenko Andrey,

Sovik Alexander, Poberezhets Tetiana

Scientific Center of Communication and Information
Military Institute of Telecommunications and Informatization

ANALYSIS OF CONSTRUCTION OF A MODEL FAILURELY COMPLEX TECHNICAL OBJECT

Summary. The article describes the mathematical model of the process of resource consumption and replenishment (PRVR) of the grouping of complex technical objects. In addition to the authors' description previously described, a formalized description of the grouping was introduced, including: the set of grouping objects; normative parameters for the expenditure and replenishment of the resource of the objects and the current state of the grouping. The grouping status is determined by the state of the resource of the technology included in the grouping. The resource of an individual object is determined by three parameters: the actual resource (residual operating time), the remaining service life and the remaining number of planned repairs that must be performed at this facility before it is written off. Maintenance is a necessary component of the operation process of a complex technical communication facility designed for long-term operation. The scope, content and timing of maintenance should be fully determined by the reliable properties of the object, conditions and modes of its application. Effective execution of any maintenance operation is possible only if the design of the object provides specially designed for this purpose (for measuring the defining parameters) and ensures the availability and convenience of the operation. Determining and optimizing the parameters of the maintenance system is possible only on the basis of the application of mathematical models of maintenance processes. Such models should be used in the design process at all stages as the composition, structure and construction of the object are specified. Known analytical models of maintenance, unfortunately, are not very suitable for application to real complex technical objects. A classification of states of a grouping resource has been introduced, which defines three classes of states: "new", "balanced" and "old". Examples of the results of RVR simulation are presented, which clearly illustrate the possibilities of using the developed model. The examples demonstrate the expediency of striving to organize the operation of the grouping objects to the balanced state of its resource.

Keywords: resource and service life of a technical object, composition and resource of technical objects grouping, plans for repair, write-off and supply of new objects, residual number of scheduled repairs.

Постановка проблеми. Складні технічні об'єкти зв'язку – це об'єкти, що складаються з великої кількості різномісних елементів (десятки, сотні тисяч), кожен з яких може являти собою досить складний технічний пристрій. Причому елементи можуть бути радіоелектронними, механічними, електромеханічними, тощо. Їх різномісність обумовлює те, що для різних типів і груп елементів характерні принципово різні фізичні процеси та швидкості деградації, які при-

зводять до їх відмов. Самі по собі об'єкти можуть мати довільну надійну структуру (як правило – послідовно-паралельну). Конструктивна структура таких об'єктів зазвичай ієрархічна, тобто, об'єкт складається з підсистем, підсистеми складаються з агрегатів, агрегати – з пристроїв і т.і.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імітаційна статистична модель (ІСМ), призначена для отримання оцінок показників надійності і вартості експлуатації об'єкта з урахуванням

його складу, структури та надійнісних характеристик і з урахуванням проведення ТО. У моделі повинен імітуватися процес технічної експлуатації, який формально описується графом станів і переходів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Технічне обслуговування (ТО) є необхідною складовою процесу експлуатації складного технічного об'єкта зв'язку, призначеного для тривалої експлуатації. Обсяг, зміст і терміни проведення ТО повинні повністю визначатися надійнісними властивостями об'єкта, умовами і режимами його застосування. Ефективне виконання будь-якої операції ТО можливо тільки в тому випадку, якщо в конструкції об'єкта передбачені спеціально призначені для цього кошти (для вимірювання визначальних параметрів) і забезпечені доступність і зручність виконання операції.

Наведені твердження цілком обґрунтовують висновок про необхідність визначення основних характеристик системи ТО на ранніх стадіях його проектування, коли ще є можливість внесення змін в конструкцію об'єкта.

Визначення та оптимізація параметрів системи ТО можливі тільки на основі застосування математичних моделей процесів ТО. Такі моделі повинні застосовуватися в процесі проектування на всіх етапах у міру уточнення складу, структури і конструкції об'єкта. Відомі аналітичні моделі ТО, на жаль, мало придатні для застосування до реальних складних технічних об'єктів. Тому виходом з положення в ситуації, що склалася є розробка моделі ТО на основі методу імітаційного статистичного моделювання.

Мета статті. З наведених визначень різних принципів організації ТО видно, що ТО завжди тісно пов'язане з контролем технічного стану (ТС) об'єкта. У разі стратегії ТО "по ресурсу" контроль

поточного ресурсу також можна розглядати як опосередкований контроль ТС, вважаючи, що ТС завжди тісно пов'язане (корелюється) із залишковим ресурсом.

Виклад основного матеріалу. При розробці математичних моделей процесів ТОС ми будемо використовувати імовірно-фізичні моделі (ІФ-моделі) відмов, в яких найбільш природно зв'язуються параметри фізичних процесів деградації елементів з ймовірними характеристиками відмов. Згідно [6] до ІФ-моделей належать альфа-розподіл, дифузно монотонний (DM) і дифузно немонотонний (DN) розподіли. Найбільш універсальною з цих моделей є DN-розподіл [6; 8]. Саме ця модель взята нами за основу при розробці моделей ТОС.

Конструктивна структура складного технічного об'єкта практично завжди є ієрархічною. Причому її елементи відносяться до різного ієрархічного рівня.

Позначимо E_{ijk}^u k-й елемент i-го конструктивного рівня, який входить до складу j-го елемента (i-1)-го рівня. Індекс ijk в даному випадку вказує на ланцюжок номерів елементів старших рівнів (включаючи даний) в послідовності їх входження в елементи попередніх (більш високих) рівнів. Нумерація рівнів починається зверху, починаючи з рівня об'єкта (i=0). Нумерація елементів i-го рівня, що входять до складу елемента (i-1)-го рівня, є незалежною всередині цього елемента. Таким чином, кількість кімнат в нижньому індексі завжди дорівнює значенню верхнього індексу i – номеру конструктивного рівня. Об'єкт в цілому розглядається як елемент нульового рівня E^0 . Він завжди єдиний і не входить ні в які інші елементи. На рис. 1 зображений фрагмент ієрархічної конструктивної структури об'єкта.

Кожен конструктивний елемент деякого i-го рівня E_{ijk}^u може включати в себе конструктивні елементи наступного (i+1)-го рівня E_{ijkr}^{u+1} . На рис. 1 елементи нижнього рівня позначені кружками, всі інші елементи – прямокутниками.

Термін «конструктивний елемент» будемо застосовувати в тому випадку, коли потрібно звернути увагу на місце, займане в конструктивній структурі об'єкта. Конструктивні елементи нижнього рівня, слідує термінології, прийнятої в [7], домовимося називати виробами нульового рангу (ВНР). ВНР може являти собою як дуже складний пристрій, так і складатися з єдиного простого елемента (це, наприклад, резистор, мікросхема, трансформатор, тощо). ВНР є нерозбірним елементом і завжди розглядається як єдине ціле.

Надійна структура об'єкта може бути довільною послідовно-паралельною структурою. Це означає, що кожен конструктивний елемент $E_{ij...k}^u$ може бути або елементом-ВНР, або являти собою послідовне з'єднання елементів, що входять до нього, або бути резервованою групою елементів – групою елементів, з'єднаних в сенсі надійності паралельно. Елементами резервованої групи можуть бути тільки однотипні елементи. Резервування в групах може бути навантаженим (постійним) або ненавантаженим (заміщає).

Висновки і пропозиції. Модель безвідмовності (МБ) дозволяє отримувати оцінки показників безвідмовності (ПБ) окремих конструктивних елементів і об'єкта в цілому за інформацією про

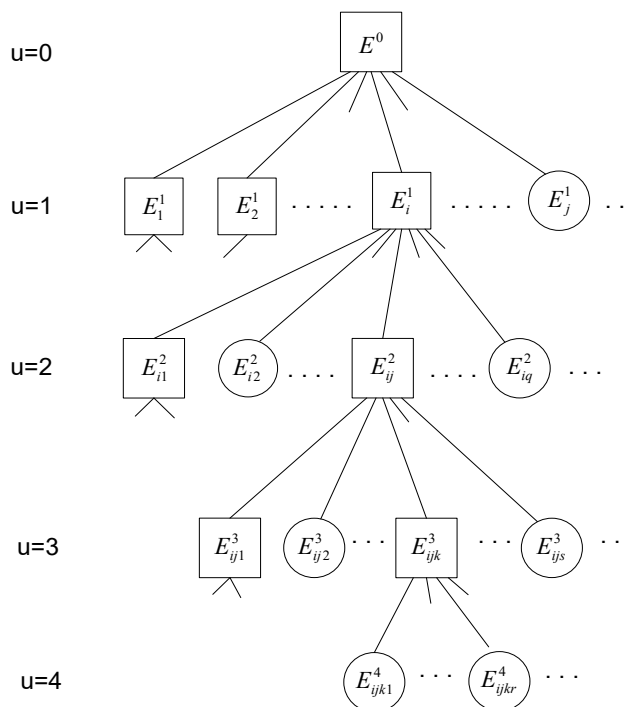


Рис. 1. Фрагмент ієрархічної конструктивної структури об'єкта

ПБ елементів нижнього конструктивного рівня. У МБ представляється ієрархічна конструктивна структура об'єкта. Конструктивні елементи деякого i -го конструктивного рівня є послідовним (в сенсі надійності) з'єднанням назв елементів $(i+1)$ -го рівня. Окремі конструктивні елементи можуть являти собою резервувати групу (пара-

лельне з'єднання) однотипних елементів. Таким чином, за допомогою МБ поєднується уявлення ієрархічної конструктивної структури з довільною послідовно-паралельною надійнісною структурою об'єкта, що є прийнятним поданням для більшості технічних об'єктів, що зустрічаються на практиці.

Список літератури:

1. Лянґ Х.Ф., Ванг Х.Д., Йі Х., Лі Д. Оцінка надійності військових кораблів на основі динамічних байесівських мереж та чисельного моделювання. *Океанічна інженерія*. 2017. Вип. 136. С. 129–140.
2. Ву Дж., Ян С., Лі Дж., Гу Ю. Механізм надійності бістабільних сумісних механізмів з урахуванням деградації та невизначеності: Метод моделювання та оцінки. *Прикладне математичне моделювання*. 2016. Вип. 40. Випуски 23–24. С. 10377–10388.
3. Окаро І., Тао Л. Аналіз надійності та оптимізація системи стиснення підводного моря, що стикається з експлуатаційними коваріатними напруженнями. *Інженерія надійності та безпека системи*. 2016. Вип. 156. С. 159–174.
4. Куй Л., Лі Ю., Шен Дж., Лін К. Надійність для дискретних державних систем з періодами циклічних місій. *Прикладне математичне моделювання*. 2016. Том 40. Випуски 23–24. С. 10783–10799.
5. Тянь І., Дер Кіурегян А. Алгоритми моделювання мереж Байеса та оцінки надійності інфраструктурних систем. *Інженерія надійності та безпека системи*. 2016. Вип. 156. С. 134–147.

References:

1. Lianh Kh.F., Vanh Kh.D., Yi Kh., Li D. (2017) Otsinka nadiinosti viiskovykh korabliv na osnovi dynamichnykh baiesivskykh merezh ta chyselnoho modeliuвання [Evaluation of the reliability of warships based on dynamic Bayesian networks and numerical simulations]. *Okeanichna inzheneriia*, vol. 136, pp. 129–140.
2. Vu Dzh., Yan S., Li Dzh., Hu Yu. (2016) Mekhanizm nadiinosti bistabiznykh sumisnykh mekhanizmiv z urakhuvanniam dehradatsii ta nevyznachenosti: Metod modeliuвання ta otsinky [The mechanism of reliability of bistable compatible mechanisms taking into account degradation and uncertainty: Method of modeling and evaluation]. *Prykladne matematychnе modeliuвання*, vol. 40, vol. 23–24, pp. 10377–10388.
3. Okaro I., Tao L. (2016) Analiz nadiinosti ta optymizatsiia systemy stysnennia pidvodnoho moria, shcho stykaietsia z ekspluatatsiinymy kovariatnymy napruzhenniamy [Reliability analysis and optimization of the underwater sea compression system in contact with operational covariate stresses]. *Inzheneriia nadiinosti ta bezpeka systemy*, vol. 156, pp. 159–174.
4. Kui L., Li Yu., Shen Dzh., Lin K. (2016) Nadiinist dlia dyskretnykh derzhavnykh system z periodamy tsyklichnykh misii [Reliability for discrete state systems with periods of cyclic missions]. *Prykladne matematychnе modeliuвання*, tom 40, vol. 23–24, pp. 10783–10799.
5. Tian I., Der Kiurehian A. (2016) Alhorytmy modeliuвання merezh Baiiesa ta otsinky nadiinosti infrastrukturnykh system [Algorithms for modeling Bayesian networks and assessing the reliability of infrastructure systems]. *Inzheneriia nadiinosti ta bezpeka systemy*, vol. 156, pp. 134–147.