

## АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНОВИХ РЕМОНТІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СИСТЕМ

*Переважає більшість складних об'єктів та систем є відновлюваними об'єктами. Необхідний рівень готовності та живучості таких складних об'єктів забезпечується за рахунок технічної підтримки їх експлуатації. Для цих цілей зазвичай використовується комплекс засобів і методів, що складають систему технічного обслуговування і ремонту. Значна роль в цих системах відведена проведенню планових ремонтів.*

*У роботі розроблений алгоритм моделювання проведення планового ремонту, як складової частини імітаційної статистичної моделі складного технічного об'єкта. Проведення моделювання дозволяє визначити оптимальні конструктивні характеристики об'єкту та параметри проведення ремонту. За критерій обрано максимізація показників надійності та мінімізація вартості експлуатації об'єкта.*

*Ключові слова. Складний технічний об'єкт, плановий ремонт, параметри ремонту.*

**Вступ.** Невід'ємною умовою забезпечення справності та працездатності складних технічних систем (СТС) є проведення підприємством-виробником або відповідним технічним органом, технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Це завдання особливо актуальне, коли обладнання придбане замовником, не підлягає транспортуванню і демонтажу в ході обслуговування. У такому випадку відповідно до встановленого регламентом або за викликом замовника представники підприємства-виготовлювача повинні провести необхідні роботи за місцем установки обладнання. При цьому завод-виготовлювач несе додаткові витрати на гарантійне обслуговування або штрафи в разі несвоєчасного виконання робіт фахівцями, а споживач - збитки від простою обладнання в разі поломки до моменту появи фахівця. Таким чином, однією з умов ефективної організації роботи будь-якого підприємства або об'єкту, особливо складного, є наявність налагодженого механізму виконання ремонтних робіт. Чим нижче питома вага витрат на ремонт, обслуговування та утримання обладнання у собівартості продукції, тим вище ефективність виробництва і самого ремонтного органу. Роботи по догляду, нагляду, обслуговування та ремонту обладнання з метою запобігання наростаючого зносу, попередження аварійних ситуацій і, як наслідок, підтримки обладнання в постійній готовності до використання є сутністю системи планових ремонтів [1].

**Постановка завдання.** Таким чином, у статті вирішується актуальна наукова задача, щодо будови алгоритму моделювання процесу проведення планових ремонтів. Алгоритми являють собою складові частини загальної імітаційної статистичної моделі складного об'єкту РЕТ та параметрів системи ТОіР.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вирішенням задач щодо розрахунку та прогнозування надійності з урахування різних видів ремонту займалася велика кількість відомих вчених в тому числі: Креденцера Б.П., Барзилович С.Ю., Кокс Д., Сміт В. ., Каштанов В.О., Ушаков І.О., Барлоу Р., Прошан Ф. та ін.

Серед останніх публікацій за даною тематикою слід виділити: в [2] представлено рішення проблеми обслуговування і ремонту (MRO) на основі багатоагентної технології. Запропоновано підхід до впровадження симулятора агента, заснований на системно-динамічних моделях в запропонованому багатоагентному середовищі. Описана структура, основні підсистеми і механізми взаємодії агентів. В [3] описується комплексний підхід до забезпечення ефективності обслуговування і ремонту устаткування (MRO) при вирішенні завдань за допомогою підтримуючих інструментів і системного підходу. Пропонується

формалізація процесу MRO з функціональними і бізнес-моделями і включення їх у загальну модель підтримки MRO. В [4] представлена імітаційна модель Colored Petri Net (CPN) для системи підтримки ремонту обладнання та перевірені її динамічні характеристики. В [5] представлена процедура вибору обладнання та засобів внутрішнього транспорту при вирішенні задач ремонту. В [6] розроблена методика визначення оптимальних множин елементів, що відмовляють і відновлюються складного технічного об'єкта. Методика ґрунтується на ієрархічній конструктивній структурі об'єкта, враховує надмірність відмовляють елементів, а також показники ремонтпридатності елементів виробу і їх вартість, що відрізняє дану методику від відомих. В [7] пропонується підхід ієрархічної класифікації і регресії (HCR) для підвищення точності прогнозування витрат для TFT-LCD обладнання для перевірки та ремонту. Доведено, що три моделі прогнозування, засновані на підході HCR, зазвичай можна порівняти або краще, ніж три звичайні плоскі моделі (LR, ANN, і SVR) з точки зору точності передбачення.

**Основний зміст.** Формалізований опис процесу регламентується наступними параметрами:

$$P_{\text{пр}} = \left\{ N_{\text{пр}}, \left\{ \left\langle P_{\text{пр}j}, R_{\text{пр}j}, C_{\text{пр}j}, \tau_{\text{пр}j} \right\rangle; j = \overline{1, N_{\text{пр}}} \right\} \right\}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{пр}}$  – число видів ПР;  $P_{\text{пр}j}$  – обсяг ПР, який будемо вимірювати відсотком заміни елементів при ПР  $j$ -го виду;  $R_{\text{пр}j}$  – міжремонтний ресурс, після закінчення якого повинен проводитися ПР  $j$ -го виду;  $C_{\text{пр}j} = C_{\text{пр}j}(P_{\text{пр}j})$  – вартість ПР  $j$ -го виду;  $\tau_{\text{пр}j} = \tau_{\text{пр}j}(P_{\text{пр}j})$  – тривалість проведення ПР  $j$ -го виду.

Припускається, що відсоток заміни елементів  $P_{\text{пр}j}$  однозначно визначає множину елементів  $E_{\text{пр}j}$ , що ремонтуються (замінюються), при плановому ремонті. Множина  $E_{\text{пр}j}$  визначається як підмножина найменш надійних елементів, узятих з множини  $E_0$ . Число елементів підмножини  $E_{\text{пр}j}$  для заданого значення  $P_{\text{пр}j}$  визначається наступним виразом:

$$|E_{\text{пр}j}| = \left\lceil |E_0| \cdot \frac{P_{\text{пр}j}}{100} \right\rceil, \text{ де квадратні дужки означають операцію взяття цілої частини.}$$

У множину  $E_{\text{пр}j}$  включаються перші  $|E_{\text{пр}j}|$  елементів, взятих з множини  $E_0$ , впорядкованого за зростанням середнього наробітку до відмови елементів.

Параметри  $C_{\text{пр}j}$  і  $\tau_{\text{пр}j}$  визначаються через відсоток заміни  $P_{\text{пр}j}$  (опосередковано через підмножину  $E_{\text{пр}j}$ ) наступними виразами:

$$C_{\text{пр}j} = \sum_{i \in E_{\text{пр}j}} C_{0i} + C_{\text{нв пр}j}; \quad \tau_{\text{пр}j} = \sum_{i \in E_{\text{пр}j}} \tau_{\text{зам}i} + \tau_{\text{пра}j}. \quad (2)$$

де  $C_{\text{нв пр}j}$  – накладні витрати проведення планового ремонту  $j$ -го виду;  $\tau_{\text{пра}j}$  – адміністративний час проведення планового ремонту  $j$ -го виду.

Вирази (2) є грубим наближенням для визначення відповідних величин. Насправді потрібна окрема математична модель ПР, в якій в тому чи іншому вигляді враховувалася б технологія проведення планового ремонту. У даній статті така модель не розробляється, тому використовуються наближені формули (2).

Моделювання ПР в рамках імітаційної статистичної моделі полягає в імітації заміни на нові всіх елементів множини  $E_{\text{пр}j}$  в момент часу виконання  $j$ -го планового ремонту.

Алгоритм моделювання (процедура Modelir\_PR). Для моделювання ПР створюються структури даних, що містять інформацію про параметри окремих видів планового ремонту.

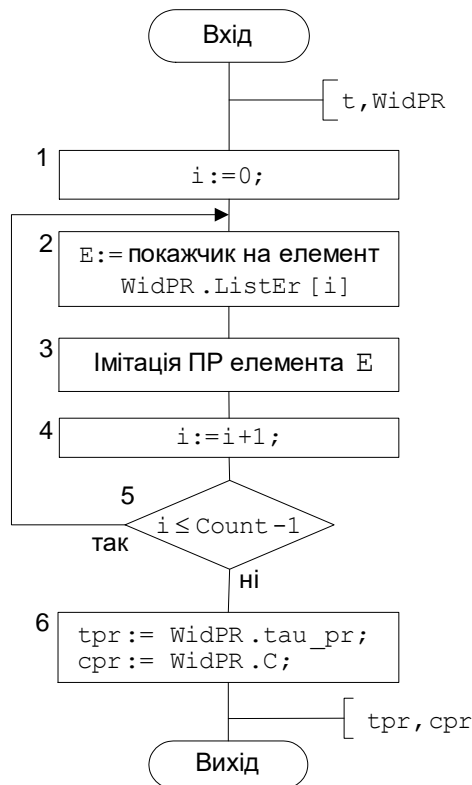


Рис. 1. Алгоритм процедури Modelir\_PR

Структурна схема алгоритму моделювання ПР (процедура Modelir\_PR) наведена на рис. 1. Вихідною інформацією для алгоритму є модельний час  $t$  – момент часу, в який повинен імітуватися ПР, і структура даних WidPR, що містить інформацію про параметри цього планового ремонту.

Алгоритм так само складається з єдиного циклу (оператори 1, 4 і 5), в якому здійснюється перебір всіх елементів списку WidPR.ListEr (списку елементів, які замінюються при виконанні ПР даного виду).

Оператор 2 формує показчик  $E$  на елемент, що замінюється.

Оператор 3 імітує оновлення елемента  $E$ : генерує нове значення випадкового наробітку до відмови елемента і запам'ятовує в календарі подій час його наступної відмови  $E.t$ . Після завершення циклу будуть оновлені всі елементи, включені до списку WidPR.ListEr.

Оператор 6 формує значення змінних  $tpr$  і  $cpr$  – тривалість і вартість виконаного ПР (за формулами (2)). Змінні  $tpr$  і  $cpr$  є вихідною інформацією процедури Modelir\_PR.

**Висновки.** У статті розроблений алгоритм моделювання процесу проведення планового ремонту складного технічного об'єкта. Запропонований алгоритм описує механізм процесу ремонту та необхідний для побудови на її основі імітаційної статистичної моделі об'єкта. За допомогою даної моделі можна вирішити актуальні наукові задачі щодо оптимізації конструктивного складу об'єкта, що розробляється або модернізується, з урахуванням параметрів ремонту та технічного обслуговування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В.Банзак, В.О.Браун, В.А.Осыпа, С.А.Пашков, В.Н. Цыцарев, Ю. В.Березовская. – Одесса: Изд-во «ВМВ», 2014. – 256 с.

2. Kizim A.V., Denisov M.V., Davydova S.V., Kamaev V.A. A Conceptual Agent-based Model to Supporting the Production Equipment Technical Service and RepairOrganization / Procedia Technology, Volume 16, 2014, Pages 1176-1182.

3. Kizim A.V. Establishing the Maintenance and Repair Body of Knowledge: Comprehensive Approach to Ensuring Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency / *Procedia Technology*, Volume 9, 2013, Pages 812-818.

4. Ning Hui, Shi Yanbin, Gao Xianjun Dynamic Simulation of the Equipment Repair Support System based on the OPN Model / *Procedia Engineering*, Volume 23, 2011, Pages 284-289.

5. Dariusz Pyza, Roland Jachimowski, Ilona Jacyna-Golda, Konrad Lewczuk. Performance of Equipment and Means of Internal Transport and Efficiency of Implementation of Warehouse Processes / *Procedia Engineering*, Volume 187, 2017, Pages 706-711.

6. Zhyrov G. Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure / S. Lenkov, G. Zhyrov, D. Zaitsev, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko, Y. Gunchenko, V. Zagrebnyuk, O. Antonenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – 4/4 (88). – Pages 34-42.

7. Jui-Sheng Chou, Chih-Fong Tsai. Preliminary cost estimates for thin-film transistor liquid-crystal display inspection and repair equipment: A hybrid hierarchical approach / *Computers & Industrial Engineering*, Volume 62, Issue 2, March 2012, Pages 661-669.

#### REFERENCES:

1. Lenkov S.V., Boriak, K.F., Banzak, G.V., Braun, V.O., Osypa, V.A., Pashkov, S.A., Tsytsarev, V.N., Berezovskaia, Iu.V. (2014). *Prognozirovanie nadezhnosti slozhnykh obektov radiojelektronnoj tehniki i optimizacija parametrov ih tehnicheckoj jekspluatacii s ispolzovaniem imitacionnykh statisticheskikh modelej*. Odessa, VMV, 256 p.

2. Kizim A.V., Denisov M.V., Davydova S.V., Kamaev V.A. (2014). A Conceptual Agent-based Model to Supporting the Production Equipment Technical Service and Repair Organization *Procedia Technology*, Volume 16, Pages 1176-1182.

3. Kizim A.V. (2013). Establishing the Maintenance and Repair Body of Knowledge: Comprehensive Approach to Ensuring Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency *Procedia Technology*, Volume 9, Pages 812-818.

4. Ning Hui, Shi Yanbin, Gao Xianjun. (2011). Dynamic Simulation of the Equipment Repair Support System based on the OPN Model *Procedia Engineering*. Volume 23. 284-289p.

5. Dariusz Pyza, Roland Jachimowski, Ilona Jacyna-Golda, Konrad Lewczuk. (2017). Performance of Equipment and Means of Internal Transport and Efficiency of Implementation of Warehouse Processes *Procedia Engineering*, Volume 187, Pages 706-711.

6. Lenkov S., Zhyrov G., Zaitsev D., Tolok I., Lenkov E., Bondarenko T., Gunchenko Y., Zagrebnyuk V., Antonenko O. (2017). Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4/4 (88), Pages 34-42.

7. Jui-Sheng Chou, Chih-Fong Tsai. (2012). Preliminary cost estimates for thin-film transistor liquid-crystal display inspection and repair equipment: A hybrid hierarchical approach / *Computers & Industrial Engineering*, Volume 62, Issue 2, March 2012, Pages 661-669.

**Рецензент:** д.т.н., доц., **Боряк К.Ф.**, завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення Одеської державної академії технічного регулювання та якості, директор науково-дослідного інституту проблем стандартизації, сертифікації та експериментальної метрології

**д.т.н., с.н.с. Хлапонин Ю.И., доктор философии Боровик Б., к.т.н. Кольцов Р.Ю.**  
**АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ СЛОЖНЫХ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ**

*Подавляющее большинство сложных объектов и систем являются восстанавливаемыми объектами. Необходимый уровень готовности и живучести таких сложных объектов обеспечивается за счет поддержки их эксплуатации. Для этих целей обычно используется комплекс средств и методов, составляющих систему технического обслуживания и ремонта. Значительная роль в этих системах отведена проведению плановых ремонтов.*

*В работе разработан алгоритм моделирования проведения планового ремонта, как составной части имитационной статистической модели сложного технического объекта. Проведение моделирования позволяет определить оптимальные конструктивные*

*характеристики объекта и параметры проведения ремонта. Критерия выбрана максимизация показателей надежности и минимизация стоимости эксплуатации объекта.*

*Ключевые слова: сложный технический объект, плановый ремонт, параметры ремонта.*

**doc. techn. sciences Khlaponin Yu.I., Ph.D. Borowik B., Ph.D. Koltsov R.Yu**  
**ALGORITHM FOR SIMULATION OF PLANNED REPAIRS OF COMPLEX TECHNICAL**  
**OBJECTS AND SYSTEMS**

*The vast majority of complex objects and systems are recoverable objects. The required level of readiness and survivability of such complex objects is provided by technical support of their exploitation. For these purposes, a complex of tools and methods is used, which constitute a system of maintenance and repair. Significant role in these systems is devoted to planned repairs.*

*In the work the algorithm of simulation of scheduled repair is developed as an integral part of the simulation statistical model of a complex technical object. Carrying out the simulation allows determining the optimal structural characteristics of the object and the parameters of repair. The criterion is chosen to maximize reliability and minimize the cost of operation of an object.*

*Keywords: Complex technical object, planned repairs, repair options.*