

УДК 531/534(075.8)

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ  
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ**

*Нікітчук А. В., магістрант; Уваров Б. М., д.т.н., професор  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

**AUTOMATION CALCULATING THE RELIABILITY OF THE RADIO  
ELECTRONIC FACILITIES**

*Nikitchuk A. V., Undergraduate Student;  
Uvarov B. M., Doctor of Engineering, Professor  
National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

**Вступ**

Прогнозування надійності включає в себе розробку відповідних розрахункових моделей для кожного показника надійності системи і оцінювання вхідних параметрів цієї моделі у вигляді параметрів надійності компонентів системи для вирішення кінцевого завдання - оцінки вихідних параметрів її надійності. Розробка розрахункових моделей є частиною загального процесу ідентифікації об'єкта, який включає в себе отримання та аналіз інформації про критерії якості функціонування, відмови та граничні стани, структуру об'єкту, склад і взаємодію елементів. Параметри моделі надійності компонентів враховують їх рівні навантаженості, можливі режими експлуатації та інше.

Проблемою «ручних» розрахунків показників надійності радіоелектронних засобів (РЕЗ) є значна затрата часу на виконання пошуку параметрів надійності для кожного із елементів конструкції РЕЗ, а також велика кількість однотипних розрахунків та можливість виникнення помилок внаслідок неуважності оператора.

Для РЕЗ показники надійності є важливими (іноді і визначальними) функціональними характеристиками, тому необхідним є аналіз впливу на них зовнішніх дестабілізуючих факторів - механічних, температури, вологості, іонізуючого випромінювання.

Статистичний аналіз показує, що для РЕЗ відносне число відмов у процесі експлуатації, викликаних дією механічних і теплових факторів, досягає 70 – 80%.

Температури всіх елементів, у свою чергу, визначають показники їх надійності - інтенсивність відмов, ймовірність і час безвідмовної роботи, технічний ресурс і т.п. [1].

### Показники надійності РЕЗ

Відмови технічних пристроїв є складними фізичними явищами і їх можна класифікувати за такими ознаками:

- за ступенем впливу на працездатність пристрою: повні, часткові;
- по фізичному процесу прояви: катастрофічні, параметричні;
- за характером процесу прояви; раптові, поступові;
- за характером зв'язку з іншими відмовами: незалежні, залежні;
- по тривалості існування: стійкі, тимчасові;
- по причині виникнення: конструкторські, виробничо-технологічні, експлуатаційні.

Ці ознаки характеризують відмови як комплексне явище, що вимагає аналізу саме як комплексу показників надійності. Така постановка проблеми можлива також і тому, що кожна відмова характеризується одразу всіма шістьма ознаками, наведеними вище.

Відмова технічного пристрою є імовірнісним явищем і тому знаходження комплексних показників надійності — завдання вищої складності у зв'язку з необхідністю врахування тотального впливу всієї безлічі зовнішніх факторів на кожний з елементів конструкції.

У процесі проектування показники надійності (імовірність безвідмовної роботи, технічний ресурс та ін.) РЕЗ та їх електрорадіоелементів (ЕРЕ) слід визначати у відповідності зі стандартами [2,3] по моделі  $DN$ -розподілу (дифузійного немонотонного):

$$P(x) = \Phi\left(\frac{1-x}{\nu\sqrt{x}}\right) + e^{\frac{2}{\nu^2}} \left(-\frac{1+x}{\nu\sqrt{x}}\right),$$

де  $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$  — функція нормального розподілу,  $u$  — параметр інтегрування.

Відрізок часу, повністю відповідний функціональній придатності об'єкта, приймають в якості базового і позначають  $\mu$ ; якщо реальний час  $\tau$  роботи технічного об'єкта відрізняється від  $\mu$ , вводять відносний час роботи  $x = \tau/\mu$ ,  $\nu$  — коефіцієнт варіації розподілу відмов.

### Математичні моделі показників надійності РЕЗ

Значення експлуатаційної інтенсивності відмов більшості груп РЕЗ розраховуються за математичними моделями, які мають вигляд:

$$\lambda_e = \lambda'_\sigma \cdot K_p \cdot \prod_{i=1}^n K_i \quad \text{або} \quad \lambda_e = \lambda'_{\sigma.c.2} \cdot K_p \cdot \prod_{i=1}^n K_i,$$
$$\lambda_e = \lambda_\sigma \cdot \prod_{i=1}^n K_i \quad \text{або} \quad \lambda_e = \lambda_{\sigma.c.2} \cdot \prod_{i=1}^n K_i,$$

де  $\lambda'_\sigma(\lambda'_{\sigma.c.z.})$  — базова інтенсивність відмов групи радіоелементів, при умовах: номінальне навантаження при температурі навколишнього середовища  $t = 25^\circ \text{C}$ ;

$\lambda_\sigma(\lambda_{\sigma.c.z.})$  — базова інтенсивність відмов групи радіоелементів для усереднених режимів застосування в апаратурі групи 1.1 (електричне навантаження, рівне 0,4 від номінального; температура навколишнього середовища  $t = 30^\circ \text{C}$ );

$K_p$  — коефіцієнт режиму, який враховує зміну  $\lambda'_\sigma(\lambda'_{\sigma.c.z.})$  в залежності від електричного навантаження і температури навколишнього середовища;

$K_i$  — коефіцієнти, що враховують зміни експлуатаційної інтенсивності відмов в залежності від різноманітних факторів (вимог до розробки і виготовлення апаратури, жорсткості умов експлуатації, складності апаратури тощо);

$n$  — число факторів що враховуються.

Вирази коефіцієнтів режиму  $K_p$  в математичних моделях для інтегральних мікросхем мають такий вигляд:

$$K_p = A \cdot \exp[B(T + 273)],$$

де  $A$  і  $B$  — константи, визначені для відповідних груп ІС;  $T, ^\circ\text{C}$  — температура ІС.

Інші властивості конкретних ІС (напряга живлення, тип корпусу, ступінь жорсткості умов експлуатації і т.д.) визначаються коефіцієнтами  $K_i$ .

Більш складні і деталізовані вирази  $K_p$  в моделях для дискретних напівпровідникових приладів (НПП) — транзисторів, діодів.

Для кремнієвих НПП:

$$K_p = A \exp \left[ \frac{N_T}{\varphi} + \left( \frac{\varphi}{T_M} \right)^L \right];;$$

$$\varphi = 273 + T + (175 - T_{\text{ПМ}}) + T \cdot K_{\text{ел}} \left( \frac{T_{\text{ПМ}} - T_{\text{ЗН}}}{150} \right),$$

де  $A, N_T, T_M, L, \Delta T$  — постійні моделі;  $K_{\text{ел}}$  — відношення робочого електричного навантаження до максимально допустимого;  $T_{\text{ЗН}}$  — максимальна температура, для якої температура переходу не перевищує максимальної  $T_{\text{ПМ}}$ .

Для резисторів:

$$K_p = A \cdot \exp B \left( \frac{T + 273}{N_t} \right)^G \cdot \exp \left[ \frac{\beta}{N_s} \left( \frac{T + 273}{273} \right)^J \right]^H,$$

де  $A, B, N_b, G, N_s, J, H$  — постійні моделі;  $\beta$  — відношення робочої потужності розсіювання резистора до його номінальної.

Для конденсаторів:

$$K_p = A \cdot \left[ \left( \frac{\beta}{N_s} \right)^H + 1 \right] \cdot \exp \left[ B \left( \frac{T + 273}{N_t} \right)^G \right],$$

де  $A, B, N_b, G, N_s, H$  — постійні моделі;  $\beta$  — відношення робочої напруги на конденсаторі до номінальної.

Для трансформаторів:

$$K_p = A \cdot \exp \left( \frac{T_M + 273}{B_M} \right)^G,$$

де  $A, G, B_M$  — постійні моделі;  $T_M$  — температура найбільш нагрітої точки трансформатора:  $T_M = T_p + T_{II}$ ;  $T_{II}$  — темп. перегріву:  $T_{II} = 0,5 \cdot T_{TY} \cdot (\beta^2 + 1)$ , — максимально допустима по технічним умовам температура.

У науковій літературі для визначення  $K_p$  приводять також відповідні таблиці або графіки, що охоплюють необхідний діапазон робочих температур  $T_p$  і значень коефіцієнтів навантаження  $\beta$ . Але для програмних модулів САПР використання таблиць вимагає великих масивів пам'яті, а також розробки інтерполяційних підпрограм; графіки для визначення  $K_p$  в САПР взагалі непридатні. Тому в САПР найбільш раціонально використовувати вище наведені аналітичні моделі [4].

#### Розрахунок показників надійності РЕЗ програмними засобами

Основною задачею даної роботи є спрощення та прискорення процесу розрахунку надійності РЕЗ, для вирішення якої створено спеціальний програмний продукт «Надійність РЕЗ» за допомогою мови програмування C#.

Програмне забезпечення вимагає:

1. Операційної системи не нижче *Windows XP Service Pack 2*.
2. Програмних модулів не нижче *Microsoft .NET Framework 3.5*.

Послідовність застосування програми:

1. Користувач задає складові елементи РЕЗ та їх параметри.
2. Користувачеві надається можливість переглянути результати розрахунку, створити вхідний файл, створити вихідний файл, редагувати файли.
3. Результати роботи програми видаються у формі електронної сторінки формату *html*.

За допомогою створеного програмного продукту можливо виконувати розрахунок надійності радіоелектронних засобів, що в свою чергу передбачає визначення показників надійності РЕЗ за відомими показниками надійності їх елементів та вузлів.

Після запуску програми, за допомогою файлу «Надійність РЕЗ» з розширенням *.exe*, на екрані з'явиться головне вікно (рис.2). Для виконання розрахунків необхідно ввести вхідні дані, або завантажити вхідний файл. Ввід вхідних даних виконується наступним чином. Насамперед проводиться вибір елементів з бази даних (БД) програми. Якщо потрібних елементів

у базі даних немає, то їх можна додати за допомогою редактора. Далі необхідно ввести кількість елементів заданого типу, значення коефіцієнту електричного навантаження та температуру, при необхідності ввести  $K_i$ .

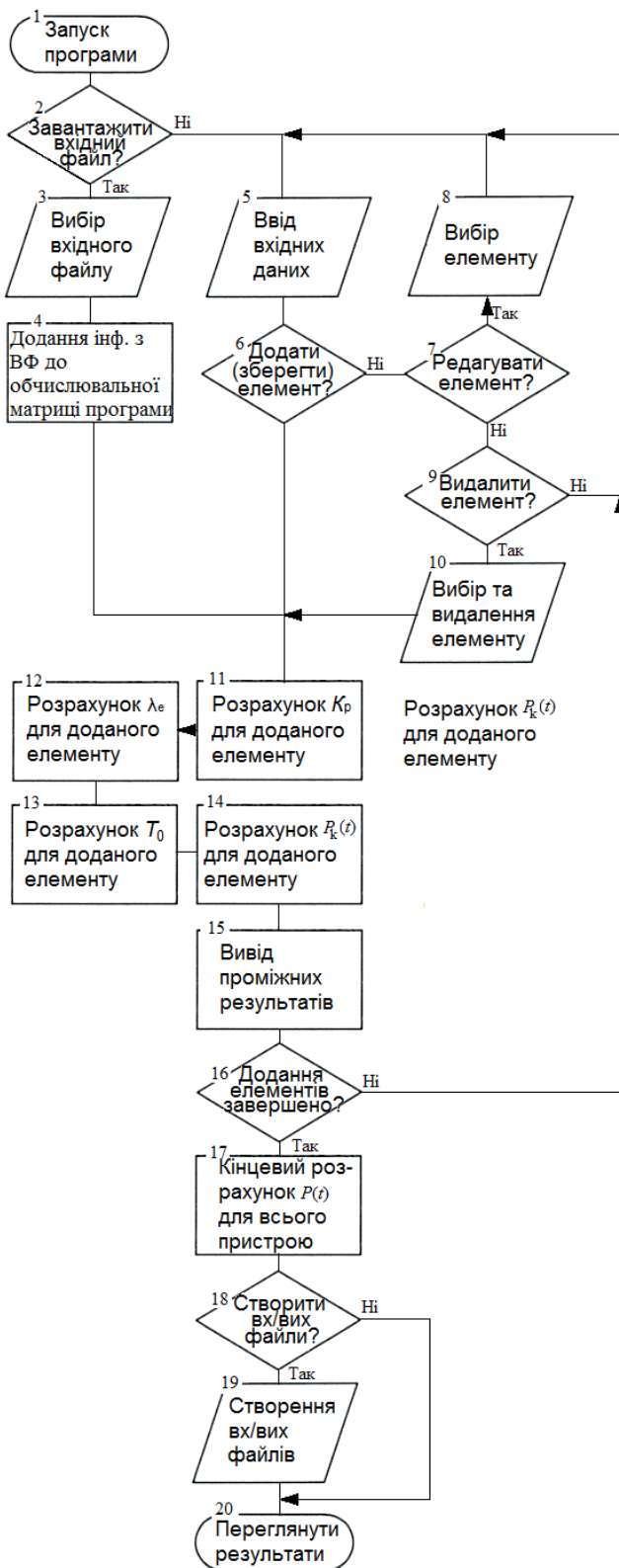


Рис.1. Алгоритм програми «Надійність РЕЗ»

Після виконання розрахунків програма зберігає результати у окремий вихідний файл.

Алгоритм на рис.1 описує основні функції які виконує програма під час роботи:

1. Запуск програми виконується за допомогою файлу «Надійність РЕЗ».

2. Вхідні данні задаються за допомогою візуально зручного редактора програми (рис.2), або за допомогою завантаження вхідного файлу.

3. У комірках «Елементи», «Група», «Тип елементу» (рис.2) потрібно обрати зі списку потрібний елемент. Наприклад оберемо «Резистори», група «Металізовані» та тип «С6-2». Значення інтенсивності відмов для обраного елементу знаходиться у базі даних та додається до розрахункової матриці програми. У комірці «Кількість» встановлюється значення кількості елементів вибраних у попередньому пункті, але тільки у випадку, якщо значення  $K_n$ ,  $T$  та  $K_i$  всіх елементів суттєво не відрізняються.

4. Значення коефіцієнту електричного навантаження та температури задається у відповідних комірках (рис.2). Згідно з цими даними, а також постійними мат. моделей (які знаходяться в БД), розраховується коефіцієнт режиму  $K_p$ . Коефіціє-

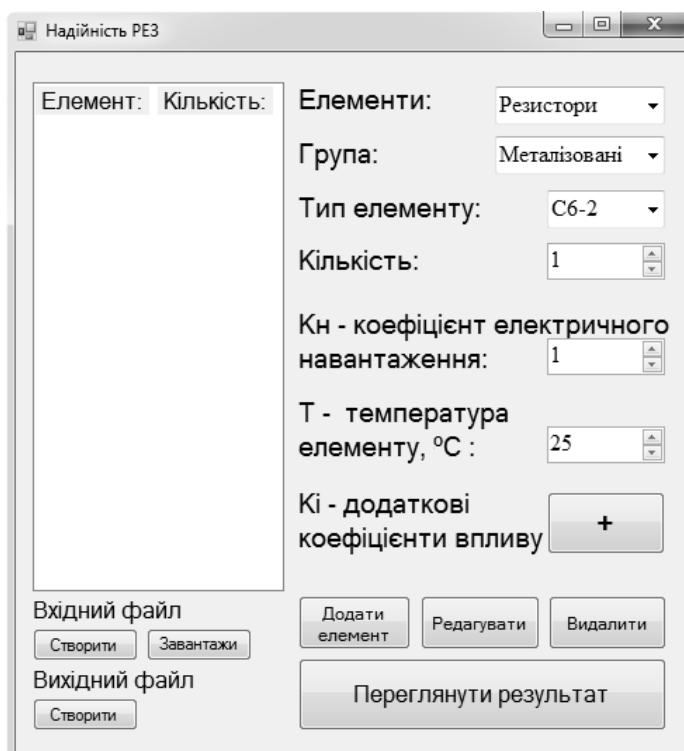


Рис.2. Головне вікно програми

елементу необхідно виділити його у таблиці та натиснути кнопку «Видалити». Аналогічно проводиться додання решти елементів які входять до складу пристрою.

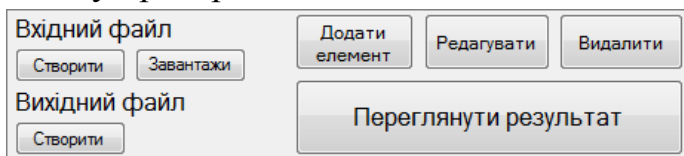


Рис.3. Панель керування

Збереження результатів у окремий файл, або створення вхідного файлу, необхідно натиснути на відповідні кнопки панелі керування. Для виконання повторних розрахунків вхідний файл можливо завантажити натиснувши кнопку «Завантажити» та обравши потрібний файл.

### Висновки

За допомогою автоматизації розрахунку надійності РЕЗ можливо не тільки значно зменшити затрати часу на пошук необхідних елементів та їх параметрів, але і ефективно, з високою точністю, проводити самі розрахунки.

Створений програмний продукт дозволяє перейти від «ручних» розрахунків надійності РЕЗ, до повністю автоматизованого моделювання елементної бази. Програма може застосуватися як для розрахунку показників надійності, так і для пошуку більш «витривалих» елементів задля збільшення імовірності безвідмовної роботи.

енти впливу  $K_i$  додаються за допомогою натискання кнопки із знаком «+».

5. Після вибору всіх параметрів і заповнення всіх комірок, для додавання елемента до складу пристрою необхідно натиснути кнопку «Додати елемент» на панелі керування (рис.3). Після чого елемент заноситься у розрахункову таблицю і враховується при виконанні кінцевого розрахунку імовірності безвідмовної роботи.

6. Змінити параметри доданих елементів можливо за допомогою кнопки «Редагувати» (рис.3). Для видалення

7. Додавши всі необхідні елементи можна переглянути результат, за допомогою кнопки «Переглянути результат» (рис.3). Для збереження

**Література**

1. Уваров Б. М. Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками / Б. Уваров, Ю. Зінковський — К. : «Корнійчук», 2011. — 248 с.
2. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. — [Чинний від 1996—01—01]. — К. : Держстандарт України, 1995. — 91 с. — (Національні стандарти України).
3. Вироби електронної техніки. Методи розрахунку надійності : ДСТУ 2992-95. — [Чинний від 1996—01—01]. — К. : Держстандарт України. — 77 с. — (Національні стандарти України).
4. Надежность электрорадиоизделий / [Прытков С. Ф., Горбачева В. М., Мартынова М. Н., Петров Г. А.]. — МО РФ и НИИ «Электрон-стандарт», 2004.— 620 с.

**References**

1. Uvarov B.M. Optymizatsiia teplovykh rezhymiv ta nadiinosti konstruktssii radioelektronnykh zasobiv z imovirnisnymy kharakterystykamy / B. Uvarov, Yu. Zinkovskiy — K. : «Korniichuk», 2011. — 248 s.
2. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia : DSTU 2860-94. — [Chynnyi vid 1996—01—01]. — K.: Derzhstandart Ukrainy, 1995. — 91 s. — (Natsionalni standarty Ukrainy).
3. Vyroby elektronnoi tekhniky. Metody rozrakhunku nadiinosti : DSTU 2992-95. — [Chynnyi vid 1996—01—01]. — K.: Derzhstandart Ukrainy. — (Natsionalni standarty Ukrainy).
4. Nadezhnost elektroradyoyzdelyi / [Pritkov S.F., Horbacheva V.M., Martinova M.N., Petrov H.A.]. — MO RF y NYU «Elektron-standart», 2004. — 620 s.

*Нікітчук А. В., Уваров Б. М. Автоматизація розрахунку надійності РЕЗ. У роботі розглянуто основні характеристики показників надійності радіоелектронних засобів (РЕЗ), методи їх розрахунку та математичні моделі. Описані основні проблеми розрахунку надійності та способи їх вирішення за допомогою використання спеціально створеного програмного забезпечення "Надійність РЕЗ". Наведені вимоги для роботи даного програмного забезпечення, а також його можливості та напрямки використання.*

**Ключові слова:** надійність, РЕЗ, відмова, інтенсивність відмов, показники надійності, автоматизація, розрахунок надійності.

*Никитчук А. В., Уваров Б. М. Автоматизация расчета надежности РЭС. В работе рассмотрены основные характеристики показателей надежности радиоэлектронных средств (РЕС), методы их расчета и математические модели. Описаны основные проблемы расчета надежности и способы их решения посредством использования специально созданного программного обеспечения "Надежность РЭС". Приведены требования для работы данного программного обеспечения, а также его возможности и направления использования.*

**Ключевые слова:** надежность, РЭС, отказ, интенсивность отказов, показатели надежности, автоматизация, расчет надежности.

*Nikitchuk A. V., Uvarov B. M. Automation the reliability calculating of the radio electronic facilities.*

*Introduction. Reliability analysis involves the development of appropriate computational models for each indicator reliability assessment and input parameters of the*

*model in the form of reliability parameters of the system components to solve the final problem - estimates of output parameters of system reliability.*

*Indicators of reliability of REF. The functional characteristics are important (and sometimes crucial) for REF reliability, so it is necessary to analyze the impact on them of destabilizing external factors - mechanical, temperature, humidity, ionizing radiation.*

*Mathematical models of the REF reliability. The operational failure rate value of most groups REF is calculated by mathematical models. These indicators include: basic failure rate, the rate regime, the coefficients that take into account changes in operational failure rate depending on various factors.*

*Calculation of reliability REF programmatically. With the automation of reliability RES may not only significantly reduce the cost of time searching for the required elements and parameters, but effectively, with high accuracy, to conduct themselves calculations.*

*Conclusions. The software product allows you to switch from "manual" calculation reliability RECs, to a fully automated modeling components. The program is applicable for calculating the reliability and to find a more "sustainable" elements to increase the probability of failure-free operation.*

***Keywords:** reliability, REF, failure, failure rate, reliability particular, automation, reliability calculation.*