



УДК 621.3.019:658.562

В.П. СТРЕЛЬНИКОВ*, П.В. СТРЕЛЬНИКОВ*

ВИЗНАЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ЗІП ТА РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН КОМПЛЕКТІВ ЗІП-0

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Для забезпечення високої експлуатаційної надійності електронної апаратури, проведення технічного обслуговування і ремонту, що продовжують терміни служби апаратури, пропонується система забезпечення, яка включає діагностичні та ремонтні засоби, комплекти запасних елементів. Розглядається проектування ЗІП з урахуванням забезпечення критеріїв надійності функціонування систем, тобто рівень достатності, склад і обсяг ЗІП, які повинні забезпечити функціонування систем із необхідними показниками надійності. Пропонується використання методик розрахунку запасних елементів на основі більш адекватних моделей надійності, яке приводить до більш точного прогнозування необхідного обсягу запасних елементів і, отже, до більш ефективного комплектування апаратури запасними елементами. Надається підхід щодо визначення номенклатури комплектів ЗІП на основі більш адекватних моделей відмов для розрахунку обсягу запасних частин. Це приводить до більш точного прогнозу числа відмов елементів і необхідної кількості запасних частин і тим самим до більш ефективного забезпечення комплектів ЗІП (оптимального числа запасних елементів). Розглядаються безпосередньо метод визначення номенклатури комплектів ЗІП та підхід до розрахунку кількості запасних частин комплектів ЗІП-0. Одиночний комплект ЗІП (ЗІП-0) призначений для поточного ремонту апаратури шляхом заміни несправних елементів, а також для проведення профілактичних робіт і налаштування апаратури в експлуатаційних умовах. Одиночний ЗІП надається одному певному виробу. До складу ЗІП-0 входять вироби електронної техніки (інтегральні схеми, напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори та ін.), вироби електротехніки, захисту і комутації, світлотехніки тощо, типові елементи заміни (ТЕЗ), окремі вузли та блоки, в тому числі покупні пристрої, прилади (контрольні прилади, пристосування) і матеріали, необхідні для технічного обслуговування і ремонту апаратури.

Ключові слова: відмова, надійність, визначення номенклатури комплекту ЗІП, розрахунок кількості ЗІП-0.

Abstract. To ensure a high degree of operational reliability of electronic equipment, as well as maintenance, repair, and extending the service life of the equipment, there is proposed a support system that includes diagnostic and repair tools, sets of spare parts, and considered spare parts design taking into account the criteria of system reliability, i.e. composition and the number of spare parts which must ensure the functioning of systems with the necessary reliability indicators. The paper offers to use methods of calculating spare parts on the basis of more adequate models of reliability, which leads to more accurate forecasting of the required amount of spare parts and, consequently, to more efficient equipment of spare parts. It also provides an approach to determine the nomenclature of spare parts sets based on more adequate failure models for calculating the number of spare parts. This leads to a more accurate forecast of the number of failures of the elements and the required number of spare parts and thus to a more efficient provision of spare parts sets (optimal number of spare parts). There are directly considered the method of determining the nomenclature of spare parts sets and the approach to calculating the number of spare parts for the sets. A single set of spare parts is intended for routine servicing of the equipment by means of replacing defective parts, for preventive maintenance and adjustment of the equipment under operational

conditions. A single set of spare parts is provided for one specific product. Such a set includes electronic products (integrated circuits, semiconductor devices, resistors, capacitors, etc.), electrical products, protection and switching tools, lighting products, etc., standard replacement elements, individual assemblies and blocks, including purchased devices, accessories (control devices) and materials necessary for the maintenance and repair of equipment.

Keywords: failure, reliability, defining the nomenclature of the spare parts sets, calculating the number of single sets of spare parts.

DOI: 10.34121/1028-9763-2022-2-83-90

1. Вступ

Можлива нестача запасних елементів може істотно позначитися на значенні показника надійності апаратури. Сукупність усіх запасів конструктивних елементів, що входять у систему забезпечення працездатності апаратури, прийнято називати системою ЗІП. Як було наведено у статті «Основні положення, вимоги та вихідні дані для розрахунку комплектів ЗІП» [1], практика показує, що витрати на систему ЗІП порівняні з витратами на власне апаратуру, тому виникає задача проектування системи ЗІП, яка забезпечує заданий рівень надійності апаратури при мінімальних витратах. У зв'язку з цим використання методик розрахунку запасних елементів на основі більш адекватних моделей надійності приводить до більш точного прогнозування необхідного обсягу запасних елементів і, отже, до більш ефективного комплектування апаратури запасними елементами [2].

Мета статті – запропонувати підхід для визначення номенклатури комплектів ЗІП на основі більш адекватних моделей відмов для розрахунку обсягу запасних частин. Це приводить до більш точного прогнозу числа відмов елементів і необхідної кількості запасних частин і тим самим до більш ефективного забезпечення комплектів ЗІП (оптимального числа запасних елементів) [3].

У статті розглядаються безпосередньо метод визначення номенклатури комплектів ЗІП та підхід до розрахунку кількості запасних частин комплектів ЗІП-0.

Маючи встановлені дані, що відповідають вимогам і основним положенням, які наведені у статті, ми зможемо визначити номенклатуру комплекту ЗІП, розрахувати кількість запасних частин комплекту ЗІП-0 [1].

2. Визначення номенклатури комплекту ЗІП

2.1. Зіставляють значення $R_i = 1 - F_i$ і R_i^{mp} для елементів виробу і визначають типи елементів, для яких розрахунок запасних елементів у ЗІП-0 не виробляють. Якщо $R_i \geq R_i^{mp}$, то $z_i = 0$ ($i = \overline{1, q}$).

2.2. Після операції по п. 1.1 встановлюють номенклатуру $S = m - q$ для розрахунку запасних частин у ЗІП-0.

2.3. Аналогічно розглядається розрахунок у груповому ЗІП-Г з урахуванням кількості виробів L у групі і типоміналів елементів i ($i = \overline{1, q}$), для яких, згідно з п. 1.1, прийнято $z_i = 0$.

2.4. Номенклатуру комплекту ЗІП-Г встановлюють аналогічно після розрахунків R_i (ймовірностей безвідмовної роботи сукупності n_i елементів i -го типу за інтервал $(0, t_{\Sigma} + T_{ПЗ})$) та п. 1.3 з урахуванням кількості виробів L і одиночних ЗІП-0, що входять у групу.

3. Розрахунок кількості запасних частин комплекту ЗІП-0

3.1. Вихідні дані для розрахунку:

- структура і склад виробу (системи);

- період поповнення $T_{ПЗ}$, на який розраховується ЗПП-О, і сумарне напрацювання виробу t_{Σ} (у годинах) на момент початку періоду $T_{ПЗ}$;
- коефіцієнт інтенсивності експлуатації виробу K_H ;
- номенклатура елементів S , для яких буде проводитися розрахунок запасних частин;
- структурна схема надійності виробу і число резервних елементів, що знаходяться в ненавантаженому резерві;
- відновлювані чи невідновлювані запасні частини;
- показники надійності елементів (складових частин) T_{oi}, V_{oi} ;
- час відновлення ТЕЗ (блоків), виробу.

3.2. Розрахунок кількості запасних невідновлювальних елементів, що оформляються у вигляді табл. 1, проводять за таким порядком.

3.2.1. Визначають середні напрацювання до відмови (MTTF) складових елементів у такому порядку T_{0i} :

- якщо представлені середні напрацювання до відмови елементів, то приймають $T_{0i} = T_{0i}$;

- якщо дані λ_{0i} , то обчислюють T_{0i} таким чином:

$$\text{якщо } \lambda_{0i} > 10^{-5}, \text{ то } T_{0i} = \frac{1}{\lambda_{0i}};$$

$$\text{якщо } 10^{-5} \geq \lambda_{0i} > 10^{-9}, \text{ то } T_{0i} = \exp[2,20568 + 1,0971(\ln \lambda_{0i}^{-1}) - 0,02443(\ln \lambda_{0i}^{-1})^2];$$

$$\text{якщо } 10^{-9} \geq \lambda_{0i}, \text{ то } T_{0i} = \frac{0,002}{\lambda_{0i}}.$$

Використовуючи відому інформацію, встановлюють значення коефіцієнтів варіації напрацювання елементів V_{oi} . Для виробів електронної техніки (напівпровідникових приладів, інтегральних мікросхем, резисторів, конденсаторів та ін.) приймають $V_{oi}=1$, якщо немає інформації, що уточнюють це значення.

Вихідні дані (тип елемента i , число елементів i -го типу n_i , середнє напрацювання до відмови i -го типу елементів T_{oi} , коефіцієнт варіації напрацювання елементів V_{oi}) записують у перші чотири колонки.

3.2.2. Обчислюють значення R_i і записують у колонку 5 табл. 1.

3.2.3. Обчислюють значення R_i^{mp} і записують у колонку 6 табл. 1.

3.2.4. За значеннями R_i і R_i^{mp} визначають показник достатності для відповідних елементів π_{oi}^{mp} (4) і записують результати в колонку 7, округляючи (при необхідності) результат до табличних значень згідно з прийнятим рядом.

3.3. Обчислення очікуваного числа відмов невідновлюваних елементів a_i .

3.3.1. Якщо очікуване число відмов мале, тобто при $x_{i2} \leq 0,5$, обчислюють середнє очікуване число відмов a_i таким чином.

3.3.1.1. Обчислюють імовірність відмови елементів i -го типу на момент початку періоду поповнення F_{i1} :

$$F_{i1} = \Phi\left(\frac{x_{i1} - 1}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i1} + 1}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right). \quad (1)$$

Якщо $t_{\Sigma} = 0$, то $F_{i1} = 0$.

3.3.1.2. Обчислюють імовірність відмови елементів i -го типу на момент закінчення періоду поповнення F_{i2} :

$$F_{i2} = \Phi\left(\frac{x_{i2} - 1}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i2} + 1}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right). \quad (2)$$

3.3.1.3. Обчислюють середнє очікуване значення відмов за формулою $a_i = n_i(F_{i2} - F_{i1})$.

Попередньо обчислені значення очікуваного середнього числа відмов a_i заносять у колонку 8 табл. 1.

3.3.2. Якщо відносні напрацювання $x_{i2} > 0,5$, тобто вірогідні повторні відмови, то математичне очікування числа відмов (функція відновлення) об'єкта (елемента, виробу) на фіксований момент відносного напрацювання обчислюється за такою формулою:

$$\Omega(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{x - k}{\nu\sqrt{x}}\right) + \exp\left(\frac{2k}{\nu^2}\right)\Phi\left(-\frac{x + k}{\nu\sqrt{x}}\right), \quad (3)$$

де $x = \frac{t_{\Sigma} + T_{ПЗ}}{T_{0i}}$, $\nu = V_{0i}$.

У практичних розрахунках досить приймати значення $k = 1, 2, \dots, 5$.

3.3.2.1. Обчислюють математичне очікування числа відмов елементів i -го типу на момент початку періоду поповнення $\Omega_{i1}(x_{i1})$:

$$\Omega_{i1}(x_{i1}) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi\left(\frac{x_{i1} - k}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) + \exp\left(\frac{2k}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i1} + k}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) \right]. \quad (4)$$

Якщо $t_{\Sigma} = 0$, то $\Omega_{i1}(x_{i1}) = 0$.

3.3.2.2. Обчислюють математичне очікування числа відмов елементів i -го типу на момент закінчення періоду поповнення $\Omega_{i2}(x_{i2})$:

$$\Omega_{i2}(x_{i2}) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi\left(\frac{x_{i2} - k}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) + \exp\left(\frac{2k}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i2} + k}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) \right]. \quad (5)$$

3.3.2.3. Обчислюють середнє очікуване значення відмов за формулою

$$a_i = n_i[\Omega_{i2}(x_{i2}) - \Omega_{i1}(x_{i1})].$$

Попередньо обчислені значення очікуваного середнього числа відмов записують у колонку 8 табл. 1.

3.4. На підставі отриманих значень π_{oi}^{mp} , a_i і α_i визначають, згідно з п. 6.3, коефіцієнт θ_{oi} і результат записують у колонку 9 табл. 1.

3.5. Визначають число запасних частин за формулою $z_i = \theta_{oi} a_i$ (у разі наявності незавантаженого резерву і $a_i > r_i$ обчислюють число запасних частин за формулою $z_i = \theta_{oi} (a_i - r_i)$). Округлення розрахункового значення z_i проводять до цілого числа в більшу сторону, при $z_i < 0,05$ приймають $z_i = 0$.

Отримані значення z_i заносять у колонку 10 табл. 1.

Таблиця 1 – Кількість запасних невідновлювальних елементів

Тип елемента, i	n_i шт.	T_{oi} , г.	V_{oi}	R_i	R_i^{mp}	π_{oi}^{mp}	a_i	θ_{oi}	z_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3.6. Розрахунок кількості відновлюваних запасних частин, що оформлені у вигляді табл. 2, проводять за таким порядком:

3.6.1. Вихідні дані, необхідні для розрахунку: тип ТЕЗ (блоку), число ТЕЗ j -го типу K_j , середній наробіток до відмови ТЕЗ (блоку) j -го типу $T_{TЭЗj}$, коефіцієнт варіації напрацювання $V_{TЭЗj}$. Зазвичай як вихідні дані про ТЕЗ представляють номенклатуру m_j і число складових елементів та їх показники надійності (T_{oi}, V_{oi}).

3.6.2. Якщо відомі значення $K_j, T_{TЭЗj}$ і $V_{TЭЗj}$, то їх заносять у колонки 2–4 табл. 2.

3.6.3. Якщо не відомі значення $T_{TЭЗj}$ і $V_{TЭЗj}$, то обчислюють їх на підставі поданих даних про складові елементи цих ТЕЗ (блоків) за такими формулами:

$$T_{TЭЗj} = \left[\sum_{i=1}^{m_j} \frac{n_{ij}}{T_{oi}^2} \right]^{-\frac{1}{2}},$$

$$V_{TЭЗj} = \left[\sum_{i=1}^{m_j} \frac{n_{ij} V_{oi}^2}{T_{oi}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{i=1}^{m_j} \frac{n_{ij}}{T_{oi}^2} \right]^{-\frac{1}{2}}.$$

Попередньо обчислені значення $T_{TЭЗj}$ і $V_{TЭЗj}$, а також задане значення часу відновлення $T_{BTЭЗj}$ заносять у колонки 3–5 табл. 2.

3.6.4. Обчислюють середній наробіток до відмови T_0 і коефіцієнт варіації напрацювання V_0 виробу (системи), якщо ці показники не задані:

$$T_0 = \left(\sum_{j=1}^M \frac{K_j}{T_{TЭЗj}^2} + \sum_{i=1}^m \frac{q_{ni}}{T_{oi}^2} \right)^{-\frac{1}{2}},$$

$$V_0 = \left(\sum_{j=1}^M \frac{K_j V_{TЭЗj}^2}{T_{TЭЗj}^2} + \sum_{i=1}^m \frac{q_{ni} V_{oi}^2}{T_{oi}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{j=1}^M \frac{K_j}{T_{TЭЗj}^2} + \sum_{i=1}^m \frac{q_{ni}}{T_{oi}^2} \right)^{-\frac{1}{2}}.$$

3.6.5. Обчислюють коефіцієнти готовності виробу (системи) і ТЕЗ (блоків) j -го типу:

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + T_B},$$

$$K_{zj} = \frac{T_{TЭЗj}}{T_{TЭЗj} + T_{BTЭЗj}}.$$

3.6.6. Обчислюють значення K_{zj}^{mp} та заносять значення K_{zj} і K_{zj}^{mp} у колонки 6–7 табл. 2.

3.6.7. За значеннями K_{zj} та K_{zj}^{mp} визначають показник достатності для відповідних ТЕЗ (блоків) j -го типу π_{Tj}^{mp} і записують результати в колонку 8 табл. 2, округляючи результат до табличних значень згідно з прийнятим рядом.

3.7. Обчислення очікуваного числа відмов відновлюваних запасних частин (ТЕЗ) за період поповнення ЗП $T_{ПЗ}$ без урахування відновлення $a_{TЭЗj}$.

3.7.1. Якщо достовірно відомі показники надійності $T_{TЭЗj}$ (середнє напрацювання до відмови і $V_{TЭЗj}$ – коефіцієнт варіації напрацювання ТЭЗ (блоку) j -го типу i), то середнє очікуване значення числа відмов ТЕЗ (блоків) j -го типу визначають таким чином.

3.7.1.1. Обчислюють математичне очікування числа відмов ТЕЗ (блоків) j -го типу на момент початку періоду поповнення:

$$\Omega_{Tj1}(x_{Tj1}^*) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi \left(\frac{x_{Tj1}^* - k}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj1}^*}} \right) + \exp \left(\frac{2k}{V_{TЭЗj}^2} \right) \Phi \left(- \frac{x_{Tj1}^* + k}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj1}^*}} \right) \right], \quad (6)$$

$$\text{де } x_{Tj1}^* = \frac{t_\Sigma}{T_{TЭЗj}}.$$

Якщо $t_\Sigma = 0$, то $\Omega_{Tj1}(x_{Tj1}^*) = 0$.

3.7.1.2. Обчислюють математичне очікування числа відмов ТЕЗ (блоків) j -го типу на момент закінчення періоду поповнення:

$$\Omega_{Tj2}(x_{Tj2}^*) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi \left(\frac{x_{Tj2}^* - k}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj2}^*}} \right) + \exp \left(\frac{2k}{V_{TЭЗj}^2} \right) \Phi \left(- \frac{x_{Tj2}^* + k}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj2}^*}} \right) \right], \quad (7)$$

$$\text{де } x_{Tj2}^* = \frac{t_\Sigma + T_{ПЗ}}{T_{TЭЗj}}.$$

3.7.1.3. Обчислюють математичне очікування числа відмов ТЕЗ (блоків) j -го типу за формулою

$$a_{TЭЗj} = K_j [\Omega_{Tj2}(x_{Tj2}^*) - \Omega_{Tj1}(x_{Tj1}^*)].$$

3.7.2. Якщо показники надійності ТЕЗ (блоків) j -го типу не відомі, то очікуване середнє значення числа відмов визначають таким чином.

3.7.2.1. Аналогічно п. 3.3.1.1 обчислюють імовірність відмови елементів i -го типу в ТЕЗ (блоках) j -го типу на момент початку періоду поповнення F_{i1} :

$$F_{i1} = \Phi\left(\frac{x_{i1} - 1}{V_{0i} \sqrt{x_{i1}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right) \Phi\left(-\frac{x_{i1} + 1}{V_{0i} \sqrt{x_{i1}}}\right).$$

Якщо $t_{\Sigma} = 0$, то $F_{i1} = 0$.

3.7.2.2. Аналогічно п.3.3.1.2 обчислюють імовірність відмови елементів i -го типу в ТЕЗ (блоках) j -го типу на момент закінчення періоду поповнення F_{i2} :

$$F_{i2} = \Phi\left(\frac{x_{i2} - 1}{V_{0i} \sqrt{x_{i2}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right) \Phi\left(-\frac{x_{i2} + 1}{V_{0i} \sqrt{x_{i2}}}\right).$$

3.7.2.3. Обчислюють середнє очікуване значення відмов елементів i -го типу в ТЕЗ (блоках) j -го типу a_{ij} за формулою

$$a_{ij} = n_{ij}(F_{i2} - F_{i1}),$$

де n_{ij} – число елементів i -го типу в ТЕЗ (блоках) j -го типу.

3.7.2.4. Обчислюють очікуване число відмов в ТЕЗ (блоках) j -го типу $a_{TЭЗj}$ за формулою

$$a_{TЭЗj} = \sum_{i=1}^m a_{ij}.$$

3.7.2.5. Як наведено у [2], обчислюють $\theta_{TЭЗj}$ значення $a_{TЭЗj}$ і $\theta_{TЭЗj}$ заносять у колонки 9–10 табл. 9.

3.8. Обчислюють необхідну кількість запасних ТЕЗ (блоків) j -го типу без урахування відновлення за формулою

$$z'_{TЭЗj} = a_{TЭЗj} \theta_{TЭЗj}.$$

3.9. Обчислення необхідного числа запасних ТЕЗ (блоків) j -го типу з урахуванням відновлення.

3.9.1. Обчислюють середній наробіток між відмовами ТЕЗ (блоків) j -го типу за формулою

$$T_{2TЭЗj} = \frac{T_{ПЗ}}{a_j^*},$$

де $a_j^* = INT[a_{TЭЗj} + 1]$.

3.9.2. Обчислення необхідного числа запасних частин $Z_{TЭЗj}$, які задовольняють вимогам достатності ЗПП.

3.9.2.1. Обчислення ймовірностей відсутності відмов при одному запасному ТЕЗ ($Z_{TЭЗj} = 1$):

- обчислюють $x_{Tj}^{**} = \frac{T_{BTЭЗj}}{Z_{TЭЗj} \cdot T_{2TЭЗj}}$;
- обчислюють $R_{Tj}^{**} = \Phi\left(\frac{1 - x_{Tj}^{**}}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj}^{**}}}\right) - \exp\left(\frac{2}{V_{TЭЗj}^2}\right) \Phi\left(-\frac{1 + x_{Tj}^{**}}{V_{TЭЗj} \sqrt{x_{Tj}^{**}}}\right)$.

Якщо $R_{Tj}^{**} \geq \pi_{\delta j}^{mp}$, то приймають $z_{T\Delta z j} = 1$.

3.9.2.2. Якщо в результаті обчислень за п. 2.9.2.1 отримують $R_{Tj}^{**} < \pi_{\delta j}^{mp}$, то обчислюють

R_{Tj}^{**} при $Z_{T\Delta z j} = 2$ для $x_{Tj}^{**} = \frac{T_{VT\Delta z j}}{2 \cdot T_{2T\Delta z j}}$, і далі збільшують $Z_{T\Delta z j}$ до тих пір, поки не вико-

нається співвідношення $R_{Tj}^{**} \geq \pi_{\delta j}^{mp}$.

Результати обчислень кількості відновлюваних запасних частин заносять у колонку 11 табл. 2.

Таблиця 2 – Кількість відновлюваних запасних частин

Тип ТЕЗ, j	K_j , шт.	$T_{T\Delta z j}$	$V_{T\Delta z j}$	$T_{VT\Delta z j}$	$K_{\delta j}$	$K_{\delta j}^{mp}$	$\pi_{\delta j}^{mp}$	$a_{T\Delta z j}$	$\theta_{T\Delta z j}$	$z_{T\Delta z j}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

4. Висновки

Використання більш адекватних моделей відмов для розрахунку обсягу запасних частин приводить до більш точного прогнозу числа відмов елементів та необхідної кількості запасних частин і тим самим до більш ефективного забезпечення комплектів ЗІП (оптимального числа запасних елементів) [3].

Користуючись встановленими даними, які відповідають вимогам і основним положенням стандартів (державних та міждержавних), у цій статті наведено підхід до визначення номенклатури та метод розрахунку кількості для комплектів, призначених для поточного ремонту апаратури шляхом заміни несправних елементів, а також для проведення профілактичних робіт і налаштування апаратури в експлуатаційних умовах (ЗІП-0) [1, 5].

Визначено номенклатуру комплекту ЗІП, розраховано кількість запасних частин комплекту ЗІП-0.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Стрельников В.П., Стрельников П.В. Основные положения, требования и выходные данные для расчета комплектов ЗИП. *Математические машины и системы*. 2021. № 3. С. 133–137.
2. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 168 с.
3. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. К.: Логос, 2002. 486 с.
4. Стрельников В.П., Стрельников П.В. Расчет показателей достаточности комплектов ЗИП. *Математические машины и системы*. 2021. № 4. С. 112–118.
5. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. Введ. 01.01.99. 43 с.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2022