



УДК 621.3.019:658.562

В.П. СТРЕЛЬНИКОВ\*, П.В. СТРЕЛЬНИКОВ\*

## РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ДОСТАТНОСТІ КОМПЛЕКТІВ ЗІП

\*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. Визначено, якими способами поповнення користуються залежно від призначення апаратури, системи її технічного обслуговування і ремонту, вимог до апаратури по надійності: періодичним, безперервним, періодичним поповненням з екстреними доставками і поповненням за рівнем. 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 та ін. Розглядається проектування ЗІП з урахуванням забезпечення критеріїв надійності функціонування систем. Визначено завдання вимог до показників достатності ЗІП-О для виробів із невідновлювальними запасними елементами. Визначено завдання вимог до показників достатності ЗІП для виробів із відновлювальними запасними частинами. Наведено підхід до розрахунку та принципи обчислення показників достатності комплектів КЗІП.

**Ключові слова:** відмова, надійність, розрахунок показників достатності ЗІП.

**Abstract.** To ensure high operational reliability of electronic equipment, maintenance and repair, and prolong the service life of the equipment, there is proposed a system which comprises diagnostics and repair tools, sets of spare parts (so-called "ZIP"), including spare parts design to ensure reliability criteria of the system, i.e., sufficiency, composition and the number of spare parts that are expected to ensure the operation of the system with the required reliability. The paper proposes to use the method 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 elements and, as a result, to more efficient completeness of the equipment with spare parts. There have been determined the methods of replenishing which are used depending on the purpose of the equipment, the system of its maintenance and repair, the requirements for equipment reliability: whether it is periodic, or continuous, periodic replenishment with emergency deliveries or replenishment by level. To ensure high operational reliability of electronic equipment, maintenance and repair, and prolong the service life of the equipment, a support system is proposed, which includes diagnostic and repair tools, sets of spare parts, etc. The design of spare parts with compliance with the criteria of system operation reliability is considered. The task of requirements to the indicators of sufficiency of spare parts for products with non-renewable spare elements has been determined. The task of requirements to spare parts adequacy indicators for products with renewable spare parts has been distinguished as well. The article also considers an approach to the calculation and some principles of calculation of indicators of spare parts sets sufficiency.

**Keywords:** failure, reliability, calculation of spare parts sufficiency indicators.

## 1. Вступ

Можлива нестача запасних елементів збільшує середній час заміни елемента, який відмовив, справним запасним, причому обмеженість обсягу системи ЗІП може істотно позначитися на значенні показника надійності апаратури. Сукупність всіх запасів конструктивних елементів, що входять в систему забезпечення працездатності апаратури, прийнято називати системою ЗІП. Практика показує, що витрати на систему ЗІП порівняні з витратами на власне апаратуру, тому виникає задача проєктування системи ЗІП, що 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 [1].

Метою статті є проаналізувати використання 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) [2].

У цій статті розглядається завдання щодо вимог до показників достатності ЗІП-О для виробів із невідновлювальними запасними елементами, вимог до показників достатності ЗІП для виробів із відновлювальними запасними частинами. Також визначено підхід до обчислення значення коефіцієнта перерахунку  $\theta_{di}$ , що забезпечує заданий рівень достатності  $\pi_{di}^{mp}$  невідновлювальних елементів  $i$ -го типу та обчислення значення коефіцієнта перерахунку  $\theta_{Tj}$ , що забезпечує заданий рівень достатності  $\pi_{Tj}^{mp}$  відновлювальних частин  $j$ -го типу.

Маючи встановлені дані, що відповідають вимогам і основним положенням, які наведені в цій статті, ми зможемо провести розрахунок показників достатності ЗІП, визначити номенклатуру комплекту ЗІП, розрахувати кількість запасних частин комплекту ЗІП-О, кількість запасних частин комплекту ЗІП-Г, а також кількість елементів у ЗІП розсипом [3].

## 2. Вихідні дані для розрахунку

Для оцінки достатності комплектів ЗІП-О виробів з невідновлювальними запасними елементами застосовується  $\pi_0$  ймовірність того, що за час  $T_{ПЗ}$  роботи виробу не трапиться жодної відмови ЗІП. Ймовірність застосовується для оцінки достатності комплектів ЗІП за умови, що всі запаси у цьому комплекті поповнюються періодично з однаковими періодами, і показником надійності виробу служить ймовірність безвідмовної роботи. При цьому ремонт виробу (заміна елемента, що відмовив) при наявності запасних елементів проводиться миттєво.

Вихідними даними для розрахунку показників достатності  $\pi_0$  ЗІП-О є очікувана ймовірність безвідмовної роботи виробу на момент закінчення періоду поповнення ЗІП  $R_0(T_{ПЗ})$  і вимоги до показників надійності виробу  $R_{izo}^{mp}$ .

Якщо невідомо  $R_0(T_{ПЗ})$ , то обчислюють

$$R_0(T_{ПЗ}) = 1 - DN(T_{ПЗ}; T_0, V_0) = \Phi\left(\frac{1-x}{V_0\sqrt{x}}\right) - e^{2V_0^{-2}} \Phi\left(-\frac{1+x}{V_0\sqrt{x}}\right), \quad (1)$$

де  $x = T_{ПЗ}/T_0$ ,  $\Phi(\cdot)$  – функція нормованого нормального розподілу.

*Примітка.* В останній формулі прийнято значення напрацювання  $t = T_{ПЗ}$ , що відповідає початку експлуатації виробу. У загальному випадку, коли розраховують  $R_0(T_{ПЗ})$ , враховують напрацювання  $t_{\Sigma}$  до початку чергового періоду поповнення ЗІП, тобто  $t = t_{\Sigma} + T_{ПЗ}$ .

Приймають значення  $R_{уз0}^{mp}$ , яке задовольняє співвідношенню  $R_{уз0}^{mp} \leq R_0(T_{ПЗ})$  і відповідно до значень ряду.

Визначають показник достатності комплекту ЗІП-О із співвідношення  $\pi_{\delta} \geq R_{уз0}^{mp} / R_0(T_{ПЗ})$ . Якщо  $R_0(T_{ПЗ})$  менше самого меншого значення числа з ряду ймовірностей, то приймають значення  $\pi_{\delta} = R_{уз0}^{mp}$  з цього ряду з міркувань важливості виконуваних функцій і економічної доцільності.

*Примітка.* Показник достатності ЗІП, який визначається на основі  $R_0(T_{ПЗ})$ , зустрічається на практиці дуже рідко. Найбільш поширеним є показник достатності ЗІП, як показник надійності використовують коефіцієнт готовності.

Обчислюють необхідний рівень імовірності безвідмовної роботи  $R_i^{mp}$  для сукупності елементів  $i$ -го типоміналу  $\left( R_i^{mp} = (R_{уз0}^{mp})^{\frac{1}{m}} \right)$ , округляючи до найближчого значення ряду.

У табл. 1 наведені значення  $R_i^{mp}$  для ряду значень  $R_{уз0}^{mp}$  і  $m$  [4].

Таблиця 1 – Значення  $R_i^{mp}$  для  $R_{уз0}^{mp}$  і  $m$

| $m$  | Значення $R_i^{mp}$ при $R_{уз0}^{mp}$ |        |        |        |
|------|--|--------|--------|--------|
|      | 0,9                                    | 0,95   | 0,99   | 0,995  |
| 2    | 0,95                                   | 0,99   | 0,995  | 0,999  |
| 3    | 0,99                                   | 0,99   | 0,999  | 0,999  |
| 4    | 0,99                                   | 0,99   | 0,999  | 0,999  |
| 5    | 0,99                                   | 0,99   | 0,999  | 0,999  |
| 6    | 0,99                                   | 0,995  | 0,999  | 0,9995 |
| 7    | 0,99                                   | 0,995  | 0,999  | 0,9995 |
| 8    | 0,99                                   | 0,995  | 0,999  | 0,9995 |
| 9    | 0,99                                   | 0,995  | 0,999  | 0,9995 |
| 10   | 0,99                                   | 0,995  | 0,999  | 0,9995 |
| 20   | 0,995                                  | 0,999  | 0,9995 | 0,9999 |
| 40   | 0,999                                  | 0,999  | 0,9999 | 0,9999 |
| 60   | 0,999                                  | 0,9995 | 0,9999 | 0,9999 |
| 100  | 0,999                                  | 0,9995 | 0,9999 | 0,9999 |
| 1000 | 0,999                                  | 0,9995 | 0,9999 | 0,9999 |

Проводять розрахунок  $R_i$  (імовірностей безвідмовної роботи сукупності  $n_i$  елементів  $i$ -го типу за інтервал  $(0, t_{\Sigma} + T_{ПЗ})$ .

За значеннями  $F = \frac{1}{n_i + 0,5}$  і  $v = V_{oi}$  вирішують рівняння

$$F = \Phi\left(\frac{x-1}{v\sqrt{x}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{x+1}{v\sqrt{x}}\right) \quad (2)$$

або з табл. 2 визначають  $x_i = x\left(\frac{1}{n_i + 0,5}, V_{0i}\right) = \frac{t_{li}}{T_{0i}}$ . Наприклад, для елементів першого типу

$$n_1 = 100 \text{ і } V_{01} = 1: x_1 = x\left(\frac{1}{100 + 0,5}, 1\right) = x(0,01; 1) = 0,1198.$$

Таблиця 2 – Значення  $x(F, \nu)$

| $F$    | Значення $x(F, \nu)$ для $\nu$ |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 0,1                            | 0,2    | 0,3    | 0,4    | 0,5    | 0,6    | 0,7    | 0,8    | 0,9    | 1,0    |
| 0,0001 | 0,7054                         | 0,5035 | 0,3510 | 0,2551 | 0,1803 | 0,1380 | 0,1082 | 0,0868 | 0,0709 | 0,0589 |
| 0,0005 | 0,7207                         | 0,5237 | 0,3753 | 0,2784 | 0,2112 | 0,1638 | 0,1298 | 0,1048 | 0,0861 | 0,0718 |
| 0,0010 | 0,7351                         | 0,5441 | 0,3958 | 0,2973 | 0,2277 | 0,1779 | 0,1417 | 0,1149 | 0,0947 | 0,0792 |
| 0,0050 | 0,7735                         | 0,6007 | 0,4551 | 0,3537 | 0,2784 | 0,2223 | 0,1801 | 0,1480 | 0,1233 | 0,1039 |
| 0,0100 | 0,7929                         | 0,6305 | 0,4876 | 0,3859 | 0,3083 | 0,2491 | 0,2038 | 0,1688 | 0,1414 | 0,1198 |
| 0,0500 | 0,8485                         | 0,7207 | 0,5913 | 0,4934 | 0,4127 | 0,3466 | 0,2928 | 0,2491 | 0,2134 | 0,1841 |
| 0,1000 | 0,8798                         | 0,7744 | 0,6566 | 0,5650 | 0,4857 | 0,4180 | 0,3607 | 0,3124 | 0,2718 | 0,2376 |
| 0,2000 | 0,9193                         | 0,8452 | 0,7465 | 0,6680 | 0,5954 | 0,5294 | 0,4704 | 0,4182 | 0,3722 | 0,3320 |
| 0,3000 | 0,9489                         | 0,9005 | 0,8196 | 0,7551 | 0,6918 | 0,6312 | 0,5743 | 0,5216 | 0,4734 | 0,4297 |
| 0,4000 | 0,9750                         | 0,9506 | 0,8880 | 0,8392 | 0,7879 | 0,7356 | 0,6839 | 0,6338 | 0,5861 | 0,5411 |
| 0,5000 | 1,0000                         | 1,0000 | 0,9572 | 0,9267 | 0,8905 | 0,8502 | 0,8074 | 0,7634 | 0,7193 | 0,6758 |
| 0,6000 | 1,0257                         | 1,0520 | 1,0320 | 1,0236 | 1,0070 | 0,9837 | 0,9548 | 0,9219 | 0,8860 | 0,8483 |
| 0,7000 | 1,0538                         | 1,1105 | 1,1184 | 1,1384 | 1,1488 | 1,1501 | 1,1433 | 1,1294 | 1,1097 | 1,0851 |
| 0,8000 | 1,0878                         | 1,1831 | 1,2284 | 1,2888 | 1,3395 | 1,3800 | 1,4106 | 1,4316 | 1,4438 | 1,4479 |
| 0,9000 | 1,1366                         | 1,2913 | 1,3983 | 1,5287 | 1,6533 | 1,7705 | 1,8787 | 1,9771 | 2,0653 | 2,1430 |
| 0,9500 | 1,1786                         | 1,3875 | 1,5546 | 1,7565 | 1,9606 | 2,1638 | 2,3634 | 2,5574 | 2,7440 | 2,9221 |
| 0,9900 | 1,2613                         | 1,5859 | 1,8905 | 2,2641 | 2,6682 | 3,0978 | 3,5482 | 4,0152 | 4,4950 | 4,9841 |
| 0,9950 | 1,2929                         | 1,6647 | 2,0282 | 2,4779 | 2,9735 | 3,5093 | 4,0802 | 4,6812 | 5,3079 | 5,9563 |
| 0,9990 | 1,3604                         | 1,8379 | 2,3386 | 2,9695 | 3,6866 | 4,4839 | 5,3551 | 6,2943 | 7,2959 | 8,3549 |
| 0,9995 | 1,3876                         | 1,9094 | 2,4694 | 3,1800 | 3,9959 | 4,9108 | 5,9184 | 7,0124 | 8,1867 | 9,4362 |
| 0,9999 | 1,5150                         | 2,1063 | 2,7245 | 3,5824 | 4,6442 | 5,8690 | 7,2193 | 8,6970 | 10,297 | 12,016 |

Таблиця 3 – Значення  $x(F, \nu)$  для  $\nu = 1$  і малих імовірностей відмов  $F$

|           |          |         |         |         |         |         |        |
|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| $F$       | 0,000001 | 0,00001 | 0,00002 | 0,00004 | 0,00006 | 0,00008 | 0,0001 |
| $x(F, 1)$ | 0,0386   | 0,0467  | 0,0498  | 0,0533  | 0,0556  | 0,0574  | 0,0589 |

Обчислюють напрацювання до першої відмови елементів  $i$ -го типу за формулою  $t_{li} = x_i T_{0i}$ .

$$\text{Обчислюють } x_i^* = (t_{\Sigma} + T_{iC}) / t_{li}.$$

За значеннями  $x_i^*$  знову з табл. 3 вже зворотним входом визначають  $F_i$  (імовірність появи відмови за інтервал  $(t_{\Sigma} + T_{iB})$   $i$ -го типу елементів) або вирішують вищенаведене рівняння (2) для  $x = x_i^*$  відносно  $F$ .

$$\text{Обчислюють шукане значення } R_i = 1 - F_i.$$

За значеннями  $R_i$  та  $R_i^{mp}$  визначають показник достатності  $\pi_{\delta i}^{mp}$  забезпечення невідновлювальних запасних складових частин (елементів)  $i$ -го типу (округляючи до найближчого більшого значення із прийнятого ряду) за формулою (при умові  $R_i < R_i^{mp}$ )

$$\pi_{\delta i}^{mp} = \begin{cases} 1 - \frac{(1 - R_i^{mp})}{(1 - R_i)}, & \text{при } R_i < (\pi_{\delta})^{\frac{1}{m}}, \\ (\pi_{\delta})^{\frac{1}{m}}, & \text{при } R_i \geq (\pi_{\delta})^{\frac{1}{m}}. \end{cases}$$

У табл. 4 наведені значення  $\pi_{\delta i}^{mp}$  для ряду значень  $R_i$  і  $R_i^{mp}$ .

Таблиця 4 – Значення  $\pi_{\delta i}^{mp}$  для ряду значень  $R_i$  і  $R_i^{mp}$

| $R_i$  | Значення $\pi_{\delta i}^{mp}$ при $R_i^{\delta \delta}$ |       |       |       |       |        |        |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|        | 0,9  | 0,95  | 0,99  | 0,995 | 0,999 | 0,9995 | 0,9999 |
| 0,5    | 0,800  | 0,900 | 0,980 | 0,990 | 0,998 | 0,999  | 0,9998 |
| 0,7    | 0,667  | 0,833 | 0,967 | 0,983 | 0,997 | 0,998  | 0,9997 |
| 0,9    | -  | 0,500 | 0,900 | 0,950 | 0,090 | 0,995  | 0,9990 |
| 0,95   | -  | -     | 0,800 | 0,900 | 0,980 | 0,990  | 0,9980 |
| 0,99   | -  | -     | -     | 0,500 | 0,900 | 0,950  | 0,9900 |
| 0,995  | -  | -     | -     | -     | 0,800 | 0,900  | 0,9800 |
| 0,999  | -  | -     | -     | -     | -     | 0,500  | 0,9000 |
| 0,9995 | -  | -     | -     | -     | -     | -      | 0,8000 |

*Примітка.* Якщо  $R_i \geq R_i^{mp}$ , то елементи даного типу не входять у номенклатуру ЗІП (приймають  $z_i = 0$  для  $i = 1, 2, \dots, q$ ).

### 3. Розрахунок показників достатності ЗІП для виробів із відновлювальними запасними частинами

Для оцінки достатності комплектів ЗІП виробів із відновлювальними запасними частинами застосовується коефіцієнт готовності ЗІП  $K_{зип}$  – це ймовірність того, що в довільний момент часу при заданому способі поповнення комплект ЗІП не відмовить за запасом даного типу [3].

Вихідними даними для розрахунку показників достатності є очікуваний коефіцієнт готовності виробу  $K_z$  за умови, що запасні частини завжди в наявності, і необхідне значення коефіцієнта готовності виробу  $K_z^{mp}$ .

Якщо невідомо  $K_a$ , то обчислюють очікуване значення за формулою  $K_z = T_0 / (T_0 + T_e)$ .

Приймають значення  $K_z^{mp}$ , яке задовольняє співвідношенню  $K_z^{mp} \leq K_z$ .

Визначають показник достатності комплекту ЗІП із співвідношення  $\pi_{\delta} \geq K_z^{mp} / K_z$ . Якщо  $K_a$  менше самого меншого значення числа з ряду ймовірностей, то приймають значення  $\pi_{\delta} = K_z^{mp}$  з ряду міркувань важливості виконуваних функцій і економічної доцільності.

Обчислюють необхідний рівень коефіцієнта готовності  $K_z^{mp}$  для сукупності блоків (ТЕЗів)  $j$ -го типу  $\left( K_{zj}^{mp} = (K_z^{mp})^{\frac{1}{M}} \right)$ , округляючи до найближчого значення ряду.

Показник достатності для відновлювальних запасних частин встановлюють за формулою (за умови  $K_{zj} < K_{zj}^{mp}$ )

$$\pi_{Tj}^{mp} = \begin{cases} 1 - \frac{(1 - K_{zj}^{mp})}{(1 - K_{zj})}, & \text{при } K_{zj} < (K_z)^{\frac{1}{M}}, \\ (K_z)^{\frac{1}{M}}, & \text{при } K_{zj} \geq (K_z)^{\frac{1}{M}}. \end{cases}$$

*Примітка.* Якщо  $K_{zj} \geq K_{zj}^{mp}$ , то елементи даного типу не входять у номенклатуру ЗП (приймають  $z_{TЭЗj} = 0$ ).

Значення коефіцієнта перерахунку  $\theta_{oi}$  забезпечує заданий рівень достатності  $\pi_{oi}^{mp}$  невідновлювальних елементів  $i$ -го типу. Його обчислюють за формулою

$$\pi_{oi}^{\delta\delta} = \Phi\left(\frac{\theta_{oi} - 1}{V_{oi}^* \sqrt{\theta_{oi}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{(V_{oi}^*)^2}\right) \Phi\left(-\frac{\theta_{oi} + 1}{V_{oi}^* \sqrt{\theta_{oi}}}\right), \quad (3)$$

де  $V_{oi}^* = \frac{V_{oi}}{\sqrt{\alpha_i}}$ ,  $\alpha_i = INT[a_i + 1]$ .

При використанні відповідних таблиць (наприклад, табл. 3) значення визначають за значеннями  $F = \pi_{oi}^{mp}$  і  $v = V_{oi}^*$ , тобто табличне значення  $x$  дорівнює коефіцієнту перерахунку  $\theta_{oi} = x(\pi_{oi}^{mp}, V_{oi}^*)$ . Наприклад, для  $\pi_{oi}^{mp} = 0,95$  і  $V_{oi}^* = 0,7$  визначаємо з табл. 2:  $\theta_{oi} = x(\pi_{oi}^{mp}, V_{oi}^*) = x(0,95; 0,7) = 2,3634$ .

Для деяких значень  $\pi_{oi}$  коефіцієнти перерахунку наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Коефіцієнти перерахунку для  $\pi_{oi}$

| $\pi_{oi}$ | Значення $\theta_{oi}$ при $V_{oi}^*$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 0,1                                   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,9        | 1,14                                  | 1,29 | 1,40 | 1,53 | 1,65 | 1,77 | 1,88 | 1,98 | 2,06 | 2,14 |
| 0,95       | 1,18                                  | 1,39 | 1,56 | 1,76 | 1,96 | 2,16 | 2,36 | 2,56 | 2,74 | 2,92 |
| 0,99       | 1,26                                  | 1,59 | 1,89 | 2,26 | 2,67 | 3,10 | 3,55 | 4,02 | 4,50 | 4,98 |
| 0,995      | 1,29                                  | 1,67 | 2,03 | 2,48 | 2,97 | 3,51 | 4,08 | 4,68 | 5,31 | 5,96 |
| 0,999      | 1,36                                  | 1,84 | 2,34 | 2,97 | 3,69 | 4,48 | 5,36 | 6,29 | 7,30 | 8,36 |
| 0,9995     | 1,39                                  | 1,91 | 2,47 | 3,18 | 3,40 | 4,91 | 5,92 | 7,01 | 8,19 | 9,44 |

Значення коефіцієнта перерахунку  $\theta_{TЭЗj}$  забезпечує заданий рівень достатності  $\pi_{Tj}^{mp}$  відновлювальних частин  $j$ -го типу. Його обчислюють аналогічно попередньому пункту, вирішуючи рівняння

$$\pi_{Tj}^{mp} = \Phi\left(\frac{\theta_{TЭзj} - 1}{V_{TЭзj}^* \sqrt{\theta_{TЭзj}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{(V_{TЭзj}^*)^2}\right) \Phi\left(-\frac{\theta_{TЭзj} + 1}{V_{TЭзj}^* \sqrt{\theta_{TЭзj}}}\right), \quad (4)$$

де  $V_{TЭзj}^* = \frac{V_{TЭзj}}{\sqrt{\alpha_j^*}}$ ,  $\alpha_j^* = INT[a_{TЭзj} + 1]$ .

#### 4. Висновки

Використання більш адекватних моделей відмов для розрахунку обсягу запасних частин 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) [2].

Користуючись встановленими даними (3), які відповідають вимогам і основним положенням стандартів (державних та міждержавних), у цій статті наведено підхід до розрахунку та принципи обчислення показників достатності ЗІП [4].

Проведено розрахунок показників достатності ЗІП, визначено номенклатуру комплекту ЗІП, розраховано кількість запасних частин комплекту ЗІП-0, кількість запасних частин комплекту ЗІП-Г, а також кількість елементів у ЗІП розсіпом.

#### СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 168 с.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. К.: Логос, 2002. 486 с.
3. Стрельников В.П., Стрельников П.В. Основні положення, вимоги та вихідні дані для розрахунку комплектів ЗІП. Математичні машини і системи. 2021. № 3. С. 133–137.
4. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. Введ. 01.01.99. 43 с.

*Стаття надійшла до редакції 25.10.2021*