

УДК 631.520

**В.И. Головин, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: vig220@mail.ru***КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА**

*Рассматриваются критерии оптимальности структуры электроинструмента, исходя из параметров надежности его подсистем. При этом используется размеченный граф состояний, построенный для сверлильных электромашин. Для построенного графа составлена система уравнений финальных вероятностей. Определен критерий, который в явном виде связывает эксплуатационную производительность и суммарные затраты на покупку, эксплуатацию, смену рабочего инструмента и ремонт вышедших из строя элементов электроинструмента.*

**Ключевые слова:** электроинструмент, надежность, структура.

Эксплуатационная надежность электроинструмента обусловлена высокой безотказностью его узлов и возможностью их восстановления в случае отказа. На стадиях проектирования анализ безотказности позволяет выбрать из числа возможных вариантов системы наиболее надежный. Однако выбор подобных структур приводит к увеличению себестоимости конечного продукта, что соответственно ведет к снижению конкурентоспособности. С целью поиска критерия оптимальности структуры электроинструмента, необходимо провести исследование надежности каждой его подсистемы и проанализировать экономические показатели его производства.

Для анализа случайных процессов отказов функционирования систем электроинструмента, составим граф состояний сверлильных машин различных модификаций (рисунок 1). Электроинструмент может находиться в исправном состоянии  $S_0$ , а также в состояниях, вызванных отказами его систем:  $S_1$  – отказ (ремонт) привода;  $S_2$  – отказ (замена) инструмента;  $S_3$  – отказ (замена) корпуса;  $S_4$  – отказ (ремонт, замена) патрона;  $S_5$  – отказ (ремонт) электрооборудования.

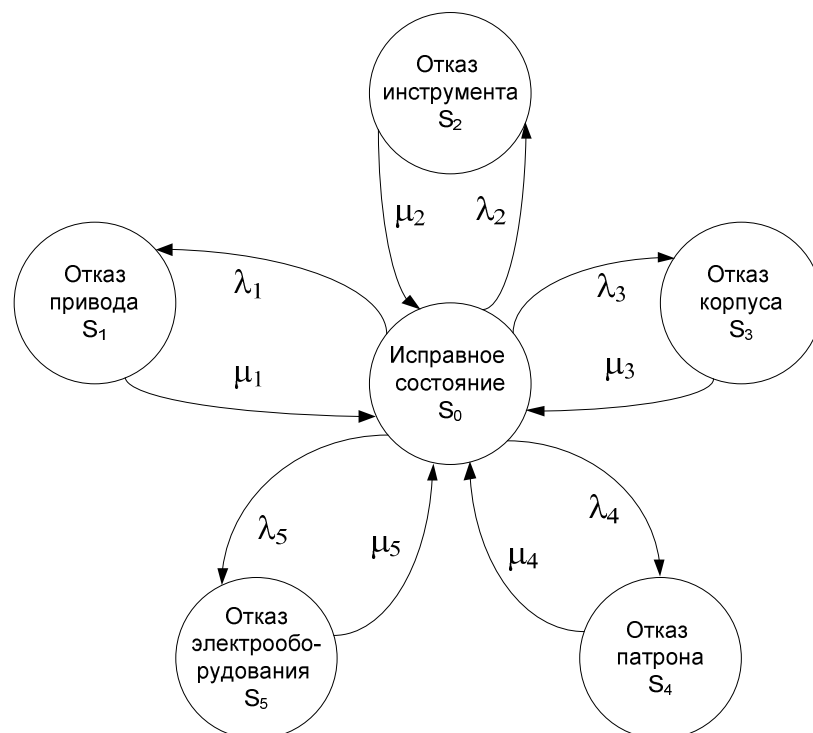


Рисунок 1 – Граф состояний электроинструмента с учетом отказов функционирования его подсистем  
( $\lambda$  – интенсивность отказов подсистемы,  $\mu$  – интенсивность восстановления)

Вероятность нахождения инструмента в каждом из вышеуказанных состояний обозначим соответственно  $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ . Состояние инструмента определяется совокупностью уравнений финальных вероятностей:

$$\begin{cases} P_0 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5) = P_1 \cdot \mu_1 + P_2 \cdot \mu_2 + \dots + P_5 \cdot \mu_5; \\ P_1 \cdot \mu_1 = P_0 \cdot \lambda_1; \\ \dots \\ P_5 \cdot \mu_5 = P_0 \cdot \lambda_5. \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы уравнений позволяет выявить наименее надежную подсистему электроинструмента.

В результате эксперимента [1] было определено время между двумя отказами  $\bar{T}_i$  соответствующих систем электроинструмента, а также среднее время восстановлений (замены, ремонта и т.д.)  $\bar{T}_{\theta_i}$  узлов вышедшей из строя подсистемы. Получены интенсивности потоков отказов  $\lambda_i = 1/\bar{T}_i$  и восстановлений  $\mu_i = 1/\bar{T}_{\theta_i}$ .

Указанные значения подставляем в уравнения вероятностей (1) и подсчитываем вероятность безотказной работы электроинструмента  $P_0$ , а также вероятности соответствующих отказов  $P_1 \dots P_5$ .

Для проведения вычислений составлен и реализован алгоритм [2]. Он является универсальным средством для выявления уязвимых подсистем электроинструмента и для последующего поэлементного рассмотрения найденной подсистемы. Составляется система финальных вероятностей и повторяется процесс нахождения наименее надежного узла данной подсистемы.

Результатом выполнения этой операции является выявление уязвимого узла подсистемы. Предлагаются методы изменения надежности этого элемента путем увеличения его безотказности либо уменьшения времени восстановления. Следовательно, изменяются параметры элемента подсистемы и системы в целом. Проводится пересчет системы для выяснения новых критических мест. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут необходимый уровень надежности всего изделия.

Таблица 1 — Исходные данные для расчета надежности систем электроинструмента

| Подсистема | Наработка на отказ $\bar{T}_i, ч$ | Интенсивность отказа $\lambda_i, ч^{-1}$ | Среднее время восстановления, $\bar{T}_{\theta_i}, ч$ | Интенсивность восстановления, $\mu_i, ч^{-1}$ |
|------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Привод     | 102,4                             | 0,0098                                   | 1,03                                                  | 0,97                                          |
| Инструмент | 8,1                               | 0,12                                     | 0,05                                                  | 20                                            |
| Корпус     | 352,7                             | 0,0028                                   | 0,82                                                  | 1,2                                           |
| Патрон     | 211,8                             | 0,0047                                   | 1,24                                                  | 0,81                                          |
| ЭО         | 18,9                              | 0,053                                    | 0,95                                                  | 1,1                                           |

Таблица 2 — Результаты расчетов надежности подсистем

| Подсистема                   |                      | Показатель надежности |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Безотказная работа ( $S_0$ ) |                      | 0,93                  |
| Отказ                        | Привод ( $S_1$ )     | 0,0094                |
|                              | Инструмент ( $S_2$ ) | 0,0057                |
|                              | Корпус ( $S_3$ )     | 0,0022                |
|                              | Патрон ( $S_4$ )     | 0,0054                |
|                              | ЭО ( $S_5$ )         | 0,047                 |

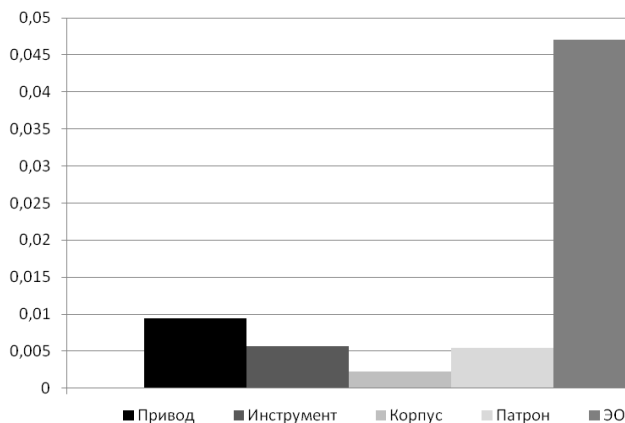


Рисунок 2 – Результаты расчетов надежности системы ЭИ

Из результатов моделирования можно отметить, что наименее надежной из подсистем является электрооборудование (ЭО). Определим поэлементно надежность данной подсистемы, используя размеченный граф состояний ЭО (рисунок 2).

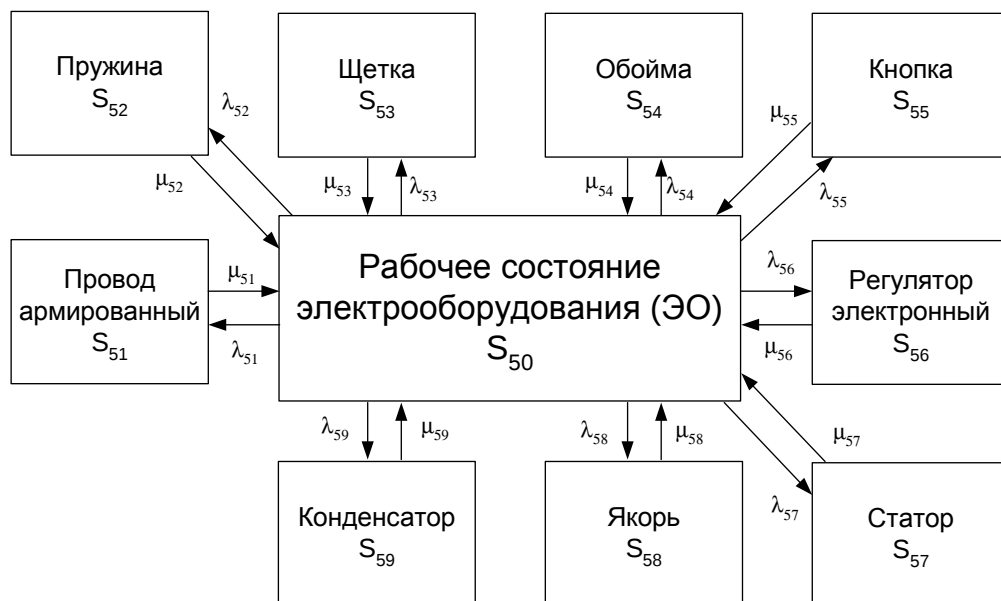


Рисунок 2 – Граф состояний подсистемы электрооборудования

Таблица 3 — Исходные данные для расчета надежности подсистемы электрооборудования

| Подсистема  | Наработка на отказ, $\overline{T}_i, ч$ | Интенсивность отказа, $\lambda_i, ч^{-1}$ | Среднее время восст., $\overline{T}_{\theta_i}, ч$ | Интенсивность восст., $\mu_i, ч^{-1}$ |
|-------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Провод      | 112,3                                   | 0,009                                     | 0,36                                               | 2,8                                   |
| Пружина     | 74,9                                    | 0,013                                     | 0,54                                               | 1,9                                   |
| Обойма      | 147,4                                   | 0,007                                     | 0,58                                               | 1,7                                   |
| Щетка       | 16,2                                    | 0,062                                     | 0,89                                               | 1,1                                   |
| Кнопка      | 48,2                                    | 0,021                                     | 0,75                                               | 1,3                                   |
| Регулятор   | 12,1                                    | 0,083                                     | 1,52                                               | 0,66                                  |
| Статор      | 95,8                                    | 0,010                                     | 2,41                                               | 0,41                                  |
| Якорь       | 33,7                                    | 0,030                                     | 2,14                                               | 0,47                                  |
| Конденсатор | 146,6                                   | 0,007                                     | 1,33                                               | 0,75                                  |

Полученные результаты исследования надежности подсистемы электрооборудования представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Результаты расчетов надежности элементов

| Подсистема               |                   | Вероятность, $P$ |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| Безотказная работа (S50) |                   | 0,76             |
| Отказ                    | Провод (S51)      | 0,002            |
|                          | Пружина (S52)     | 0,005            |
|                          | Обойма (S53)      | 0,002            |
|                          | Щетка (S54)       | 0,041            |
|                          | Кнопка (S55)      | 0,013            |
|                          | Регулятор (S56)   | 0,096            |
|                          | Статор (S57)      | 0,019            |
|                          | Якорь (S58)       | 0,046            |
|                          | Конденсатор (S59) | 0,007            |

В результате расчетов наименее надежным элементом является регулятор электронный (S60). Для повышения надежности данного узла можно предложить несколько вариантов. Повысить безотказность узла, произвести замену данного устройства более надежным (от другого производителя), либо провести усовершенствование параметров, имеющегося устройства (таблица 5). В некоторых случаях это может повысить себестоимость продукта.

Для оценки оптимальности решений при выборе комплектующих электроинструмента из сопоставимых вариантов необходим критерий, который в явном виде связывал бы эксплуатационную производительность и суммарные затраты на покупку, эксплуатацию, смену рабочего инструмента и ремонт вышедших из строя элементов электроинструмента.

В качестве такого критерия целесообразно использовать функцию

$$J = \frac{Q_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\Sigma} = Z_0 + \varphi(t) \cdot Z_c$  – годовые приведенные затраты на создание и эксплуатацию ГПМ, грн/год;  $Z_0$  – суммарные годовые эксплуатационные затраты, грн;  $Z_c$  – суммарные капитальные (единовременные) затраты на покупку электроинструмента, грн;  $\varphi(t)$  – коэффициент дисконтирования, год<sup>-1</sup>.

Этот коэффициент, определяемый по формуле

$$\varphi(t) = \frac{E_n(1 + E_n)^{t-1}}{(1 + E_n)^t - 1}$$

зависит от срока службы  $t$  электроинструмента.

При  $E_n = 0,15$  и  $t = 1; 3; 5$  лет  $\varphi(t) = 1; 0,615; 0,262$  год<sup>-1</sup>.

Для электроинструмента введем обозначение  $Q_{\Sigma} = Q_{cp}$ , где средняя годовая производительность при выполнении технологических операций  $Q_{cp} = PT/\tau_{cp}$ ,  $P$  – вероятность безотказной работы электроинструмента, выведенная выше.  $T$  – эффективный годовой фонд времени, ч/год;  $\tau_{cp}$  – средний такт выполнения технологической операции, ч.

Подставляя в формулу (2) удельное время выполнение технологической операции  $\theta = 1/Q_{cp}$ , получаем

$$J = \frac{1}{\theta \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (3)$$

В данном выражении знаменатель представляет собой удельные приведенные затраты  $Z_{y0}$  на единицу продукции, и максимум функция  $J$  соответствует минимальному значению знаменателя.

Таким образом, интегральная оценочная функция оптимальности при выборе конструкции электроинструмента принимает вид:

$$Z_{y0} = \theta \cdot Z_{\Sigma} = \frac{\tau_{cp} Z_{\Sigma}}{PT}. \quad (4)$$

Отбор вариантов конструкций основан на последовательном попарном сравнении в выборе лучшего из них.

Предложенная модель позволяет достаточно полно оценить варианты конструкций электроинструмента и является основой для постановки машинных экспериментов, выявления наименее надежных подсистем и элементов этих подсистем.

В перспективе дальнейших исследований будут уточнены принятые алгоритмы, законы распределения случайных величин с помощью экспериментальных исследований надежности работы систем электроинструмента.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Головин В.И. Оценка надежности электроинструмента с использованием размеченного графа состояний / В.И. Головин // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2006. — Вып. 9. — С. 133–139.
2. Головин В.И. Исследование надежности системы электроинструмента на ЭВМ с учетом параметров потоков отказов и восстановлений / В.И. Головин // Прогрессивные направления развития

машиноприборостроительных отраслей и транспорта: материалы междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых, Севастополь, 14-17 мая 2007 г. — Севастополь, 2007. — С. 116–118.

3. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. — М.: Высш. школа, 2001. — 208 с.

4. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. — М.: Мир, 1980. — 536 с.

*Поступила в редакцию 04.02.2011 г.*

### **Головін В.І. Критерії оптимальності структури електроінструмента**

Розглядається критерії оптимальності структури електроінструмента, виходячи з параметрів надійності його підсистем. При цьому використовується розмічений граф станів, побудований для свердловальних електромашин. Для побудованого графа складено систему рівнянь фінальної вірогідності. Визначений критерій, який в явному вигляді пов'язує експлуатаційну продуктивність і сумарні витрати на купівлю, експлуатацію, заміну робочого інструмента і ремонт елементів електроінструмента, що втратили експлуатаційні якості.

**Ключові слова:** електроінструмент, надійність, структура.

### **Golovin V.I. Criteria for optimal structure of an electro-instrument**

We consider the optimality criterion of the electro-instrument based on the parameters of the reliability of its subsystems. It uses a labeled graph of states built for electro-instrument. For this graph the final probabilities system of equations is composed. Defined is the criterion, which explicitly links the operational performance and total cost of the purchase, exploitation, change the working tool and repair of defective items electro-instrument.

**Keywords:** electro-instrument, reliability, structure.