

УДК 631.520

В.И. Головиц ассистент

Севастопольский национальный технический университет,
Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: vig220@mail.ru

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗМЕЧЕННОГО ГРАФА СОСТОЯНИЙ

Рассматриваются методы оценки надежности электроинструмента. При этом используется размеченный граф состояний, построенный для электромашин сверлильного и ударного действия, производимых заводом «Фиолент». Для построенного графа составлена система уравнений финальных вероятностей. Проведен анализ статистических данных, представленных заводом-изготовителем. Представлены расчеты параметров потоков отказов и восстановлений на основе разработанного алгоритма.

Целью статьи является исследование надежности функционирования систем электроинструмента. Эксплуатационная надежность обусловлена высокой безотказностью узлов электроинструмента и возможностью их восстановления в случае отказа. На стадиях проектирования анализ безотказности позволяет выбрать из числа возможных вариантов системы наиболее надежный (при обеспечении других показателей в заданных пределах). Такой анализ может быть выполнен описанием функционирования системы моделями случайных процессов. Наиболее приемлемым и простым математическим аппаратом в данном случае можно считать однородные цепи Маркова.

Для анализа случайных процессов отказов функционирования систем электроинструмента составим граф состояний сверлильных машин различных модификаций, выпускаемых заводом «Фиолент» (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.

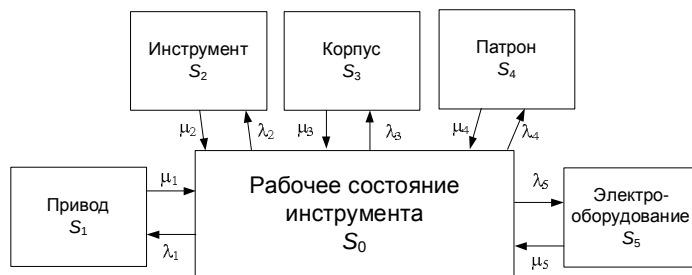


Рисунок 1 – Граф состояний электроинструмента с учетом отказов функционирования его подсистем

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

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

Система (1) решается с помощью условия нормировки: сумма всех вероятностей равна единице. В уравнениях интенсивности λ характеризуют входящий поток – поток отказов; интенсивности μ – выходящий поток – поток восстановлений.

Из (1) определяем предельные вероятности

$$\begin{cases} P_0 = \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} + \frac{\lambda_4}{\mu_4} + \frac{\lambda_5}{\mu_5} \right)^{-1}; \\ P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \\ \dots \\ P_5 = P_0 \cdot \frac{\lambda_5}{\mu_5}. \end{cases} \quad (2)$$

Решение полученной системы уравнений позволяет выявить наименее надежную подсистему электроинструмента. Каждую из выделенных подсистем можно рассматривать поэлементно. Так, например, подсистема привода электроинструмента состоит из трех элементов: установочная плита, подшипник, вал (рисунок 2).

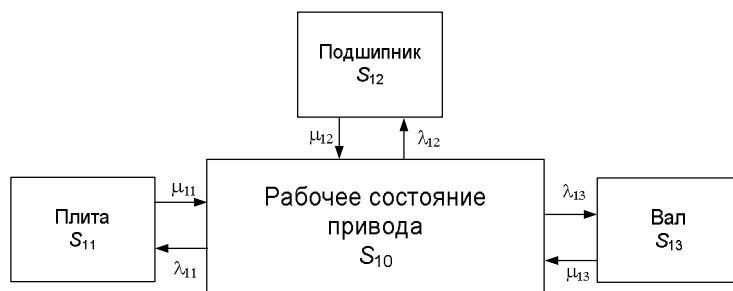


Рисунок 2 – Граф состояний подсистемы привода

Исследование параметров потоков отказов функционирования узлов конкретных моделей электроинструмента в установившихся режимах работы проводилось по результатам реальных статистических данных, собранных в испытательных и сервисных центрах завода «Фиолент».

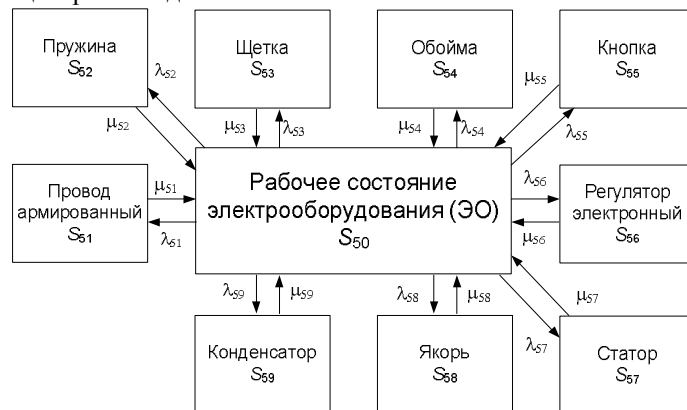


Рисунок 3 – Граф состояний подсистемы электрооборудования

В результате было определено время между двумя отказами $\bar{T}_i$ соответствующих систем электроинструмента а также среднее время восстановлений (замены, ремонта и т.д.) $\bar{T}_{\bar{\theta}_i}$ узлов вышедшей из строя подсистемы

Получены интенсивности потоков отказов $\lambda_i = 1/\bar{T}_i$ и восстановлений $\mu_i = 1/\bar{T}_{\bar{\theta}_i}$.

Указанные значения подставляем в уравнения вероятностей (2) и подсчитываем вероятность безотказной работы электроинструмента P_0 , а также вероятности соответствующих отказов $P_1...P_5$.



Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма расчета финальных вероятностей состояний электроинструмента с учетом отказов элементов системы

Для проведения вычислений составлен и реализован алгоритм, изображенный на рисунке 4.

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

Под-система	Наработка на отказ $\bar{T}_i, ч$	Интенсивность отказа, $\lambda_i, ч^{-1}$	Среднее время восп., $\bar{T}_{\bar{\theta}_i}, ч$	Интенсивность восп., $\mu_i, ч^{-1}$
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

Из результатов моделирования можно отметить, что наименее надежной из подсистем является электрооборудование (ЭО). Определим поэлементно надежность данной подсистемы, используя размеченный граф состояний ЭО (рисунок 3). Для этого используем разработанный ранее алгоритм. Исходные данные для расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета надежности подсистемы электрооборудования

Подсистема	Наработка на отказ, $\bar{T}_i, ч$	Интенсивность отказа, $\lambda_i, ч^{-1}$	Среднее время восп., $\bar{T}_{\theta_i}, ч$	Интенсивность восп., $\mu_i, ч^{-1}$
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, Р
Безотказная работа (S_{50})		0,76
Отказ	Провод (S_{51})	0,002
	Пружина (S_{52})	0,005
	Обойма (S_{53})	0,002
	Щетка (S_{54})	0,041
	Кнопка (S_{55})	0,013
	Регулятор (S_{56})	0,096
	Статор (S_{57})	0,019
	Якорь (S_{58})	0,046
	Конденсатор (S_{59})	0,007

В результате расчетов наименее надежным элементом является регулятор электронный (S_{60}). 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.

Таблица 5 – Показатель надежности узла, замененного на более качественный

Подсистема	$\bar{T}_i, ч$	$\lambda_i, ч^{-1}$	$\bar{T}_{\theta_i}, ч$	$\mu_i, ч^{-1}$	P_{56}
Регулятор (S_{56})	21,3 (12,1)	0,047 (0,083)	1,52	0,66	0,067 (0,096)

Возможно также уменьшить среднее время восстановления за счет применения соединительных клемм вместо пайки контактов, что несколько увеличит скорость монтажа и демонтажа, но этот метод может привести к уменьшению безотказности регулятора (таблица 6).

Таблица 6 – Показатель надежности узла при использовании соединительных клемм

Подсистема	$\bar{T}_i, ч$	$\lambda_i, ч^{-1}$	$\bar{T}_{\theta_i}, ч$	$\mu_i, ч^{-1}$	P_{56}
Регулятор (S_{56})	10,4 (12,1)	0,096 (0,083)	0,92 (1,52)	1,1 (0,66)	0,081 (0,096)

Разработанный метод анализа надежности функционирования систем электроинструмента позволяет выявить наименее надежные подсистемы и элементы этих подсистем, которые влияют на общую эксплуатационную надежность системы. Разработанный алгоритм анализа надежности системы работает на основе данных,

полученных в ходе испытательных работ, а также статистических данных сервисных центров завода-производителя.

В перспективе предполагается разработка унифицированных размеченный графов состояний, которые бы охватывали всю номенклатуру выпускаемой продукции завода «Фиолент».

Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель — М.: Высш. шк., 2001 — 208 с.
2. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон — М.: Мир, 1980. — 536 с.
3. Решетов Д.Н. Надежность машин: Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. — М.: Высш. шк., 1988. — 238 с.

Поступила в редакцию 14.09.2006 г.