

УДК 629.4-19::[510.254::004.421]

Ю.Я. Водяников, В.Р. Распопин, Л.Ю. Снитко

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Изложен алгоритм расчета показателей надежности единиц подвижного состава, приведен тестовый пример.

При проектировании единиц подвижного состава нового поколения важное значение приобретают вопросы надежности. Это обусловлено тем, что эксплуатация подвижного состава связана с сохранением груза и безопасности пассажиров, а аварии на железнодорожном транспорте могут привести к тяжелым последствиям. Поэтому вопросы надежности подвижного состава приобретают актуальное значение. Наиболее полная информация о надежности может быть получена в результате обследования технического состояния вагонов-аналогов в эксплуатации.

Исследования и оценка показателей надежности проводятся с целью:

- установления соответствия фактических показателей надежности требованиям нормативной документации;
- выбора вида и количества резервирования составных частей;
- расчета комплекта запасных частей (ЗП);
- оптимизации систем технического обслуживания и ремонта;
- обоснования гарантийных и назначенных сроков службы;
- установления критериев отказов и предельных состояний конструкции.

Предварительная величина объем испытаний (количество объектов) для оценки средней наработки до отказа, среднего ресурса (срока службы) определяется исходя из предельной относительной ошибки ε , доверительной вероятности q , вида закона распределения и коэффициента вариации v . В качестве закона распределения принимается двухпараметрическое распределение Вейбулла (табл. В.3 [1]), так как экспоненциальное распределение имеет существенные методические ошибки в процессе прогнозирования количественных показателей [1], кроме того экспоненциальное и нормальное распределения являются частными случаями распределения Вейбулла. Аналитические зависимости для определения распределения вероятности $F(t)$ и плотности $p(t)$ имеют вид:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) ; \quad (1)$$

$$p(t) = \frac{\beta}{\theta^\beta} \cdot t^{\beta-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (2)$$

где β и θ - параметры распределения.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Оценка соответствия экспериментального распределения теоретическому закону распределения вероятности безотказной работы исследуемого объекта осуществляется по коэффициенту детерминации R^2 [2]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{F}_i - F_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{F}_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \hat{F}_i)^2}{n}} ; \quad (3)$$

где \hat{F}_i и F_i - соответственно эмпирическая и теоретическая вероятности;
 n - число интервалов разбиения времени эксплуатации.

Критерием для принятия теоретического закона распределения является $R^2 > 0,6$.

Параметры распределения Вейбулла определяются методом максимального правдоподобия по формулам [1]:

$$\beta = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*})))^2 - (\sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*}))))^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\ln(\frac{1}{F_i^*})) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(t_i) - \sum_{i=1}^n t_i \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\ln(\frac{1}{F_i^*}))} ; \quad (4)$$

$$\theta = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*})))^2 - (\sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*}))))^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*})))^2 - (\sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{F_i^*}))))^2} \right) ; \quad (5)$$

где F_i^* - эмпирическая вероятность работы элемента в исправном состоянии, определяется по формуле (6).

$$F_i^* = \exp(-\sum_{k=1}^n \frac{r_k}{N_k}) ; \quad (6)$$

где N_k - количество элементов в k -ом интервале;

r_k - количество элементов, имеющих отказы в k -ом интервале.

Блок схема программы для расчета показателей надежности на ЭВМ, представлена на рис. 1. Программа написана на алгоритмическом языке "FOXPRO-IV".

Данными для расчета показателей надежности являются:

- НАИМЕНОВАНИЕ И ТИП ПОДВИЖНОЙ ЕДИНИЦЫ;
- ЧИСЛО ИНТЕРВАЛОВ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ; МАССИВ ВЕЛИЧИН ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ИНТЕРВАЛАМ РАЗБИЕНИЯ;
- МАССИВ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ В КАЖДОМ ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ;
- МАССИВ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ ОТКАЗЫ, В КАЖДОМ ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

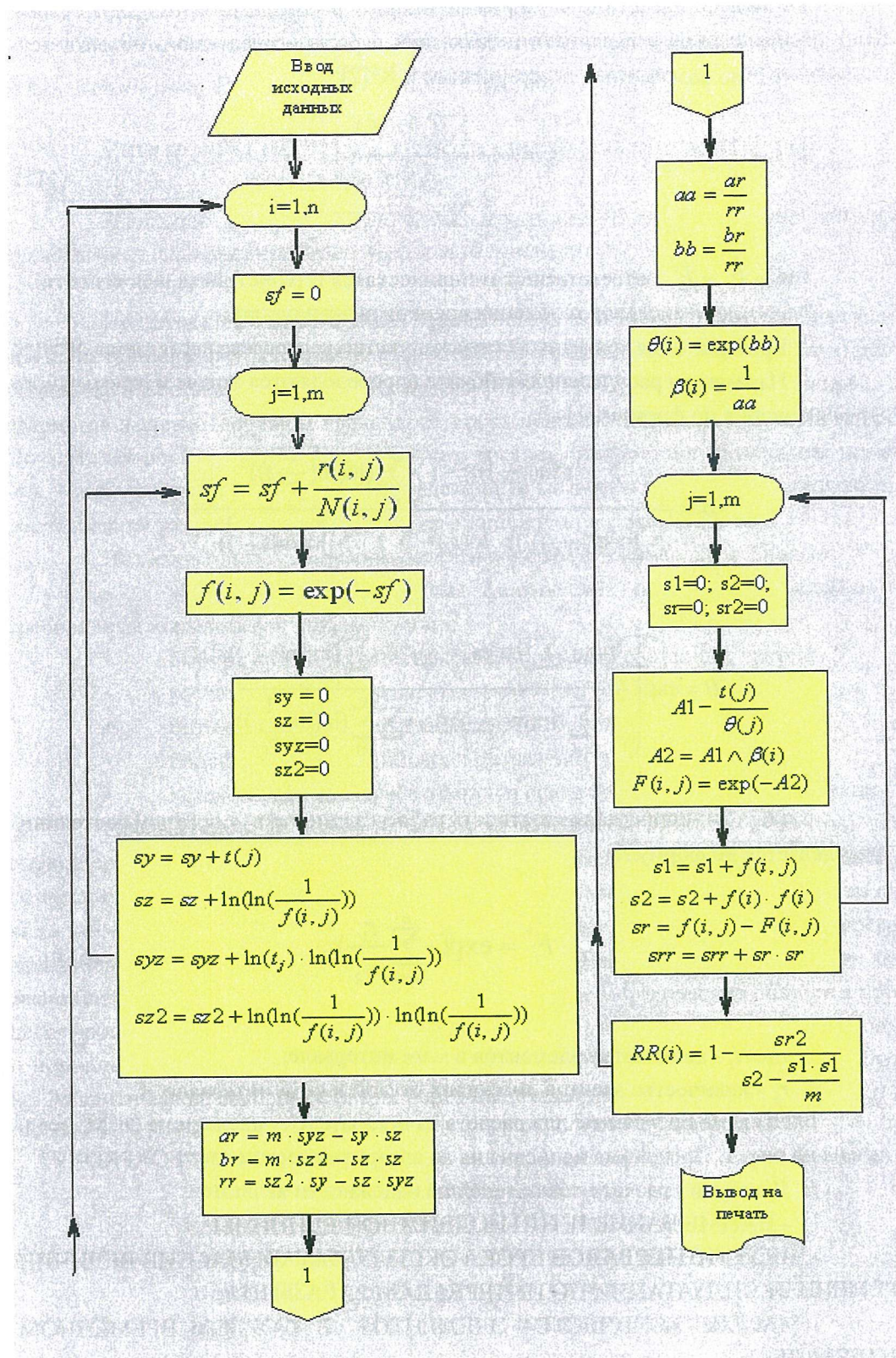


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета показателей надежности на ЭВМ

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Тестирование программы проводилось на базе тестового примера с заданными параметрами распределения Вейбулла – $\theta = 10, \beta = 2$. Вероятность работы элемента в исправном состоянии определялась по формуле (7) с использованием программы «EXEL» (рис.2)

$$F(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{10}\right)^2\right) \quad ; \quad (7)$$

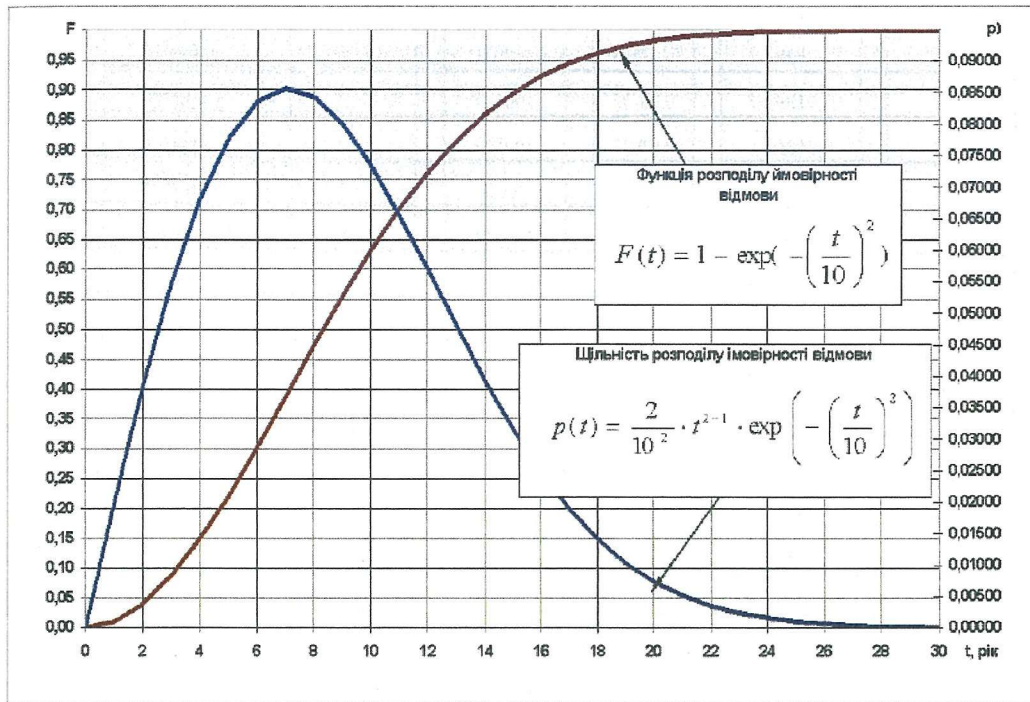


Рис. 2. Статистическое распределение, принятое в качестве тестового примера

Относительная частота появления отказа ω_i в заданных временных интервалах (один год) определялась по формуле:

$$\omega_i = -\ln\left(\exp\left(-\left(\frac{t_i}{10}\right)^2\right)\right) - \sum_{k=1}^{i-1} \omega_k \quad ; \quad (8)$$

где ω_k - относительная частота отказа в k -ом интервале;
 t_i - время эксплуатации.

Исходные данные для расчета по предлагаемой программе и результаты тестирования представлены в таблице 1. Как следует из таблицы 1 погрешность расчета не превышает 0,4 %.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1 – Результати тестування програми

Тестові значення, $\theta=10, \beta=2$			Исходные данные для тестирования		Результаты расчета, $\theta=10,018, \beta=2,007$	
Время наработка на отказ	Вероятность работы в исправном состоянии	Частота отказов	Число элементов в интервале наработки	Число отказавших элементов	Вероятность работы в исправном состоянии	Погрешность
1	0,9900	0,01	100	1	0,9903	0,02 %
2	0,9608	0,03	100	3	0,9614	0,06 %
3	0,9139	0,05	100	5	0,9150	0,12 %
4	0,8521	0,07	100	6	0,8536	0,17 %
5	0,7788	0,09	100	9	0,7805	0,22 %
6	0,6977	0,11	100	11	0,6996	0,27 %
7	0,6126	0,13	100	13	0,6146	0,31 %
8	0,5273	0,15	100	16	0,5291	0,35 %
9	0,4449	0,17	100	18	0,4465	0,36 %
10	0,3679	0,19	100	20	0,3692	0,37 %
11	0,2982	0,21	100	21	0,2993	0,36 %
12	0,2369	0,23	100	21	0,2377	0,33 %
13	0,1845	0,25	100	25	0,1850	0,29 %
14	0,1409	0,27	100	27	0,1412	0,22 %

Разработанная программа позволяет определять показатели надежности как отдельных элементов и систем единицы подвижного состава, так и конструкции в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Держстандарт України, Київ.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. Москва «Высшая школа», 1982, 224 с.