ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НАДЁЖНОСТИ МАШИН

APPLICATION OF THEORETICAL LAWS OF ALLOCATION IN THE RELIABILITY OF MACHINES

УДК 519.213.7

Королев Александр Егорович, кандидат технических наук, доцент кафедры технические системы в АПК, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень

Korolev A. E., candidate of technical sciences, associate professor the department technical systems in agrarian and industrial complex, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, alexkorolev72@mail.ru

Аннотация

В статье анализируются математические закономерности изменения показателей надёжности технических систем. Отказы машин являются случайными и в большинстве случаев независимыми событиями, которые имеют значительный разброс во времени. Обоснованная методика обработки информации позволяет получить достоверные сведения о характере проявления неисправностей изделий. Теоретический закон распределения выражает закономерность изменения показателя надёжности совокупности машин. В исследовании использовалась выборка по 50 объектам с коэффициентом вариации их отказов 0,2…1,2. Установлено изменение плотности распределения случайных величин от степени их рассеивания. Показано влияние коэффициента вариации на величину среднего показателя надёжности. На основе оценки погрешности расчёта обоснован диапазон применения теоретических законов распределения отказов технических устройств.

Annotation

The article analyzes the mathematical patterns of changes in the reliability indicators of technical systems. Machine failures are random and in most the independent events that have significant scatter by time. A substantiation method of processing information allows you to obtain reliable data about the character manifestations of faults the products. The theoretical law of distribution expresses the regularity of the change in the reliability indicator of the set of machines. The study used a sample along 50 objects with a coefficient of variation of their failures 0.2... 1.2. A change in the distribution density of random values from the degree of their scatter was established. The effect of the coefficient of variation on the size of the average reliability indicator is shown. Based on the estimation of the calculation error, the range of application of theoretical laws for the distribution of failures of technical devices is justified.

Ключевые слова: техническая система, надёжность, законы распределения, коэффициент вариации, точность расчёта.

Keywords: technical system, reliability, distribution laws, coefficient of variation, calculation accuracy.

Определение показателей надёжности машин выполняется с целью планирования производственной деятельности, а также для оценки соответствия установленных значений нормативным требованиям [1]. Обоснованная методика сбора и обработки информации позволяет получить достоверные сведения о режимах и условиях работы изделий, причинах отказов и их физической сущности [2]. Испытания на надёжность в условиях эксплуатации связаны с организационными трудностями и требуют продолжительных наблюдений, в тоже время при ограниченном объёме выборки сложно обеспечить статистическую однородность партии изделий [3]. При определении показателей надежности применяют параметрические методы оценки, при которых сначала оценивают параметры закона распределения, а затем определяют показатель надежности как функцию от оцененных параметров. Случайность возникновения неисправно-

стей приводит к тому, что оценка достоверности этого события имеет также вероятностный характер [4]. Точность результатов характеризуется их близостью к действительным значениям в конкретных условиях испытания [5]. Теория вероятностей позволяет определить устойчивые математические закономерности проявления отказов машин. Основными числовыми характеристиками, выражающими существенные особенности статистических данных, являются математическое ожидание, дисперсия и коэффициент вариации случайной величины. Теоретический закон распределения выражает общий характер изменения показателя надёжности применительно к любой совокупности машин определённой марки. Каждый закон определяется дифференциальной и интегральной функциями, соответственно имеют свою область применения, расчётные уравнения и параметры, Применительно к показателям надёжности машин, в подавляющем большинстве случаев следующие законы распределения:

нормальный (ЗНР) - $f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\left[-\frac{(t_i - \bar{t})}{2 \cdot \sigma^2}\right]^2}$,

где f(t) - дифференциальная функция;

t_i - текущее значение наработки;

$\bar{t}$ - средняя наработка до отказа;

σ - среднее квадратическое отклонение наработки.

Вейбулла (ЗРВ) - $f(t) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$,

где a и b - параметры распределения.

гамма (ЗГР) - $f(t) = \frac{a^b \cdot t^{b-1} \cdot e^{-a \cdot t}}{\Gamma(b)}$,

где a и b - параметры распределения;

Г(b) - гамма-функция.

Одним из критериев предварительного выбора закона распределения является коэффициент вариации случайных величин. Для анализа была взята информация по 50 эксплуатационным отказам машин с коэффициентом вариации V = 0,2…1,2. В качестве примера на рис. 1 показана плотность отказов из переходной зоны применения законов распределения (V = 0,5).

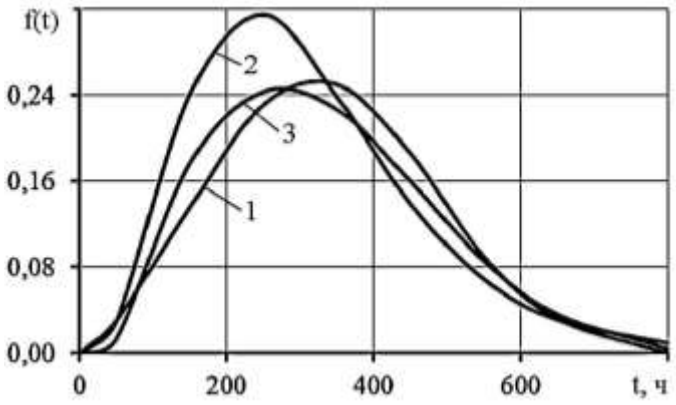

Рисунок 1 - Дифференциальная функция ЗНР (1), ЗГР (2) и ЗРВ (3)

Зависимости отличаются максимальной ординатой и имеют асимметрию относительно друг друга. Коэффициент вариации значительно влияет на величину среднего показателя надёжности (рис. 2).

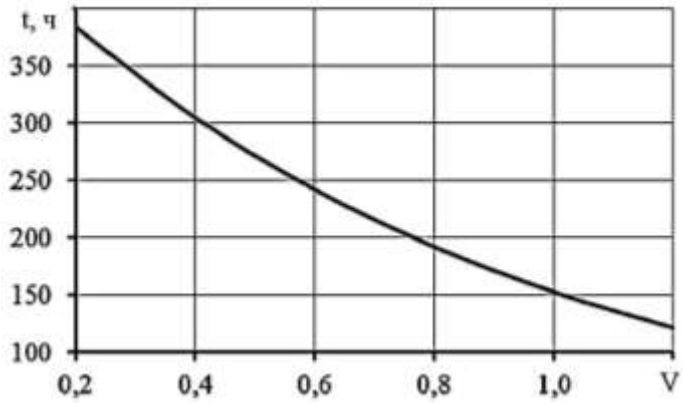

Рисунок 2 - Зависимость средней наработки до отказа
от коэффициента вариации

При увеличении параметра V на 0,1 средний показатель уменьшается на 11%. Следовательно, чем выше коэффициент вариации, тем больше допущено конструкторских, технологических или эксплуатационных погрешностей. Наиболее точной оценкой возможности применения законов распределения является критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(m_{oi} - m_{\tau i})^2}{m_{\tau i}},$$

где n - число интервалов статистического ряда;

m_{oi} - опытная частота отказов;

m_{ri} - теоретическая частота отказов.

Пользуясь χ^2 , была определена вероятность ошибки применения законов распределения (рис.3).

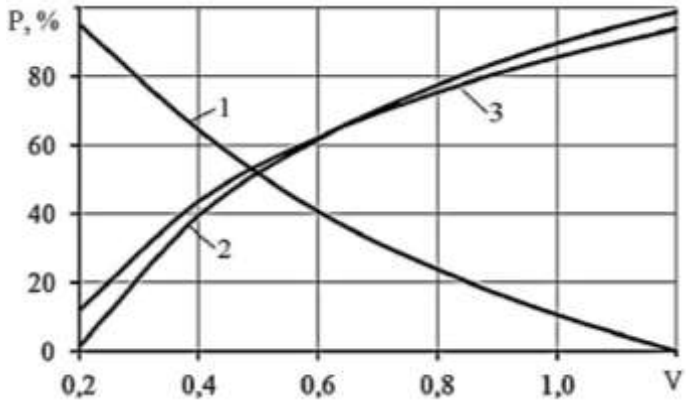

Рисунок 3 - Вероятность совпадения опытных и теоретических данных при ЗНР (1), ЗГР (2) и ЗРВ (3)

Изменение достоверности нормального закона распределения имеет противоположное направление относительно двух других законов. Зависимости пересекаются при V = 0,5 и вероятность совпадения составляет 55%. Исходя из полученных результатов целесообразно следующее применение законов: ЗНР - $V \leq 0{,}4$, ЗРВ - $0{,}4 < V \leq 0{,}6$, ЗГР - $V > 0{,}6$. Частными случаями ЗРВ являются:

распределение Релея (ЗРР) - $f(t) = \frac{t}{a} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2}$,

экспоненциальное распределение (ЗЭР) - $f(t) = \frac{1}{a} \cdot e^{-\frac{t}{a}}$.

Эти законы используются при большом рассеивании опытных данных, поэтому проведён анализ изменения их погрешности при коэффициенте вариации от 0,6 до 1,1 (рис. 4).

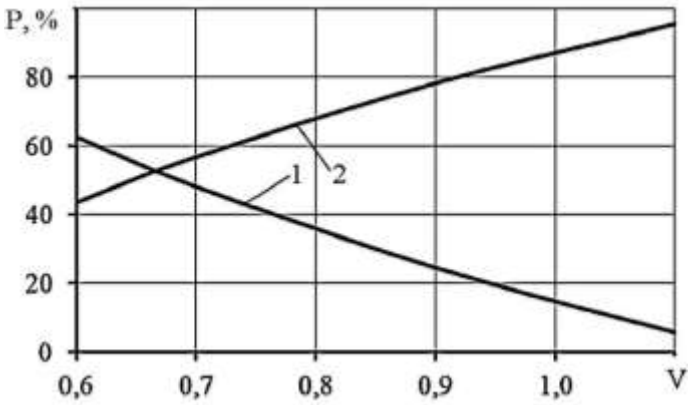

Рисунок 4 - Дифференциальная функция ЗРР (1) и ЗЭР (2)

Сопоставляя установленные закономерности с ЗГР и ЗРВ можно отметить, что экспоненциальное распределение имеет более высокую точность при $V > 1{,}0$, а распределение Релея - при $0{,}5 < V < 0{,}7$,

Литература

1. Городецкий В. И. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / В.И. Городецкий, А.К. Дмитриев, В.М. Марков. - Л.: Энергия, 1978. - 192 с.
2. Дорохов А. Н. Обеспечение надежности сложных технических систем / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 352 с.
3. Северцев Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке / Н.А. Северцев. М.: Высшая школа, 1989. - 432 с.
4. Савин С. К. Достоверность контроля сложных радиоэлектронных систем летательных аппаратов / С.К. Савин, А.А. Никитин, В.И. Кравченко. - М.: Машиностроение, 1984. - 168 с.
5. Королев А.Е. Оценка достоверности усечённых испытаний технических систем / А.Е. Королев // Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2020. - №6. - С. 52-55.

Literature

1. Gorodetsky V.I. Elements of the theory of testing and control of technical systems / V.I. Gorodetsky, A.K. Dmitriev, V.M. Markov. - L.: Energy, 1978. - 192 p.
2. Dorokhov A.N. Ensuring the reliability of complex technical systems / A.N. Dorokhov, V.A. Kernozhitsky, A.N. Mironov, O.L. Shestopalova. - St. Petersburg: Fallow-deer, 2017. - 352 p.
3. Severtsev N. A. Reliability of complex systems in operation and development / N.A. Severtsev. M.: Higher School, 1989. - 432 p.

4. Savin S.K. Reliability of control of complex electronic systems of aircraft / S.K. Savin, A.A. Nikitin, V.I. Kravchenko. - M.: Engineering, 1984. - 168 p.
5. Korolev A.E. Evaluation the veracity of truncated tests of technical systems / A.E. Korolev // Mechatronics, automatic and robotics. - 2020. - № 6. - P. 52-55.