

УДК 519.212

В.П. Долгин, доцент, канд. техн. наук,

Е.В. Яковенко,

Д.И. Долгин

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЧИН ДТП

Рассмотрена методика синтеза дискретной модели распределения отказов оборудования транспортного средства, приводящих к ДТП по причине потери управляемости.

Ключевые слова: дискретное распределение, нормальное распределение, вероятность отказов, функция распределения, плотность распределения.

Интенсивность отказов систем транспортного средства меняется в процессе его эксплуатации. Различают три характерных этапа процесса эксплуатации транспортного средства [1–3]. На первом этапе в начальный период эксплуатации отказы являются следствием нарушения технологии изготовления, сборки, регулировки и других факторов, определяющих надежность систем транспортного средства, которые проявляются в период обкатки. Такие отказы моделируются законом Вейбулла. Интенсивность отказов, вызванных указанными причинами, снижается в процессе приработки.

Второй этап характерен постоянным уровнем интенсивности отказов, которые вызываются неблагоприятным стечением ряда обстоятельств. Для этого этапа характерен экспоненциальный закон распределения отказов.

На третьем этапе сказывается износ, усталостные явления, старение и другие подобные факторы проявления роста интенсивности отказов, приводящие к постепенным отказам. Распределение отказов в работе транспортных средств в этом случае обычно моделируется с помощью закона нормального распределения наступления отказов.

На рисунке 1 изображены этапы процесса эксплуатации транспортного средства, где обозначены: $\lambda(t)$ – интенсивность отказов; t – наработка транспортного средства; W – зона действия закона Вейбулла, E – экспоненциального и N – нормального законов распределения наступления отказов.

Наиболее опасные по своим последствиям происходят отказы узлов и систем транспортных средств на третьем этапе эксплуатации, обусловленные увеличением зазоров из-за выработки, перекосом центров осей сопрягаемых деталей, явлениями питтинга, изменением формы, нарушением балансировки и другими проявлениями при интенсивной эксплуатации транспортных средств. Очевидно, что нормальный закон распределения для моделирования случайных интервалов наработки (межремонтных пробегов или времени исправной работы транспортных средств), область существования которых ограничена положительной полупрямой $(0...t)$, должен применяться в усеченном представлении.

Функция плотности вероятности в обобщенной форме имеет вид [2]:

$$f(t) = \frac{c}{\sqrt{2D_n\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{t-t_n}{\sigma_n} \right)^2}{2D_n} \right\} \text{ при } t > 0,$$

где $c = \frac{1}{F_0 \left(\frac{t_n}{\sigma_n} \right)}$; $\sigma_n = \sqrt{D_n}$; $F_0 \left(\frac{t_n}{\sigma_n} \right) = \int_{-\infty}^{\frac{t_n}{\sigma_n}} f(t) dx$.

Если $t_n > 2\sigma_n$, то можно принять $c = 1$, что не всегда строго выполняется и приводит к появлению недостоверных реализаций.

Целью статьи является повышение достоверности результатов моделирования нормального распределения случайных величин.

При моделировании нормальным законом распределения наработок до первого отказа, межремонтных пробегов автотранспортных средств и других характеристик надежности технических

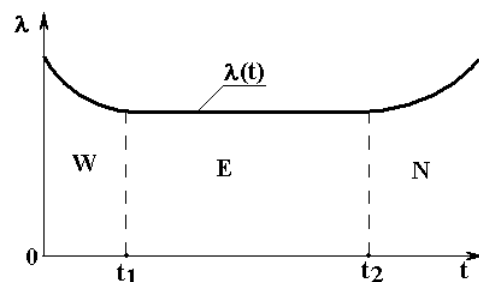


Рисунок 1 – Зоны действия законов распределения

систем возникают ситуации, при которых случайное значение моделируемой величины принимает отрицательный знак, что противоречит физическому смыслу. Рассмотрим подход, позволяющий избежать таких случаев.

В соответствии с центральной предельной теоремой Ляпунова сумма m ($5 \leq m \leq 15$) равномерно распределенных в интервале (a, b) независимых случайных величин стремится к нормальному распределению с математическим ожиданием [3]

$$t_n = \frac{m(a+b)}{2} \quad (1)$$

и дисперсией

$$D_n = \frac{m(b-a)^2}{12}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2) относительно значений границ, найдем нижнюю границу интервала

$$a = \frac{t_n}{m} - \sqrt{\frac{3D_n}{m}} \quad (3)$$

и верхнюю границу равномерного распределения

$$b = \frac{t_n}{m} + \sqrt{\frac{3D_n}{m}}, \quad (4)$$

откуда определим критическую величину дисперсии

$$D_m \leq \frac{t_n^2}{3m}, \quad (5)$$

либо оценку значения требуемого числа слагаемых

$$m \leq t_n^2 / 3D_n. \quad (6)$$

Текущее значение нормально распределенной случайной величины χ_i в соответствии с теоремой Ляпунова может быть вычислено как

$$\chi_i = \sum_{j=0}^m \left(\frac{b-a}{m} + d\xi_j \right), \quad (7)$$

где ξ_j – равномерно распределенная на интервале (a, b) случайная величина, $d = b - a$ – диапазон распределения равномерно распределенной случайной величины.

Методика построения модели может быть следующей.

Вычислить по формуле (6) величину m и округлить до целого значения с учетом требования неравенства (6). При значении $m < 5$ модель не отвечает требованиям формирования нормального распределения, так как не выполняется условие его реализации ($5 \leq m \leq 15$). При $m < 2$ моделирование невозможно ввиду того, что не выполняется условие (5). Если $m > 15$, то необходимо принять $m = 15$. Формула (5) представляет значение дисперсии D_m , на которое настроена модель. Округление m приводит к смещению ожидаемого значения дисперсии настройки модели D_m и в общем случае заданное и полученное значения будут отличаться, т.е. строго говоря $D_n \neq D_m$.

Вычислить по формулам (3) и (4) значения границ интервала a и b . Если оказалось значение $a < 0$, то принять $a = 0$.

Вычислить по формуле (7) требуемое количество N случайных величин.

Для примера приведена версия программной Maple – реализации массива N нормально распределенных случайных величин, в которой использован стандартный генератор равномерного распределения в диапазоне $[0, 1]$.

```
> for i to N do
  x:=stats[random,uniform](m);
  S[i]:=sum('a+d*x[j]', 'j'=1..m) od;
```

где S – массив нормально распределенных случайных величин; x – множество реализаций m равномерно распределенной случайной величины.

На рисунке 2 изображена кривая функции плотности распределения с заданными значениями математического ожидания наработки $t_n = 66$ тыс. км и дисперсии $D_n = \sigma_n^2$,

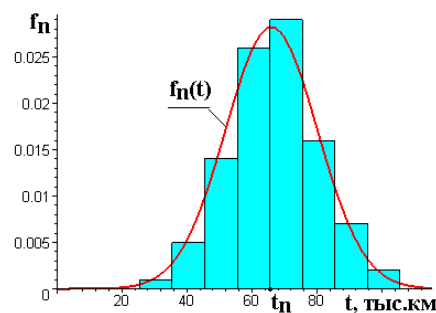


Рисунок 2 – Гистограмма и функция плотности распределения

$\sigma_n = 14,1$ тыс. км для объема выборки $N = 100$. Там же изображена гистограмма полученного по результатам моделирования методом Ляпунова (7) случайного множества N нормально распределенных случайных величин.

На рисунке 3 изображены графики функций вероятностей наступления отказа $F_n(t)$ и безаварийной работы $P_n(t)$

$$F_n(t) = \int_{-\infty}^z f_n(t) dt ; \quad P_n(t) = \int_z^{\infty} f_n(t) dt ,$$

построенные по заданным t_n и D_n , дискретное распределение вероятностей наступления отказов $F(t)$ и безаварийной работы $P(t)$, полученные по результатам моделирования (7) при $m = 8$ и представленных гистограммой (рисунок 2).

Анализ полученных результатов моделирования показал приемлемую точность и достоверность рассмотренного метода. Представленная модель исключает получение нерелевантных массивов, содержащих неприемлемые значения элементов. Дисперсия погрешности моделирования составила величину порядка $2 \cdot 10^{-4}$ для приведенных параметров функций вероятностей. Полученные параметры распределения составили для среднего значения наработки $t_n = 65,91$ при заданном значении $t_n = 66$ и $D_n = 183,1$ при заданном $D_n = 200$ и дисперсии настройки модели $D_m = 181,5$.

Перспективы дальнейших исследований состоят в расширении подходов к анализу аварийности подвижного состава с помощью других моделей оценки параметров распределения вероятностей технического состояния систем и технических средств.

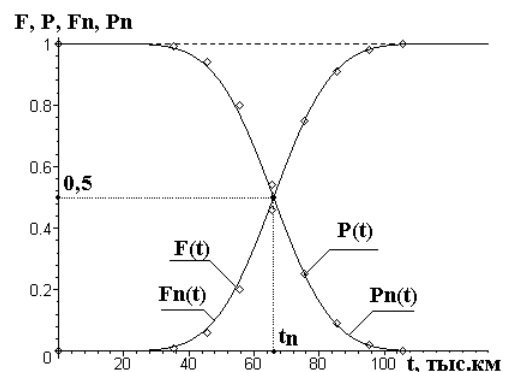


Рисунок 3 – Графики функций вероятностей

Библиографический список использованной литературы

1. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы «Водитель – автомобиль – дорога – среда» / Р.В. Ротенберг. — М.: Машиностроение, 1986. — 216 с.
2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности / Я.Б. Шор. — М.: Сов. радио, 1962. — 217 с.
3. Креденцер Б.П. Решение задач надежности и эксплуатации на универсальных ЭЦВМ / Б.П. Креденцер, М.М. Ластовченко, С.А. Сенецкий, Н.А. Шишонко // под ред. Н.А. Шишонка. — М.: Сов. радио, 1967. — 400 с.

Поступила в редакцию 07.07.2010 г.

Долгін В.П., Яковенко Є.В., Долгін Д.І. Моделювання причин ДТП

Розглянута методика синтезу дискретної моделі розподілу відмов устаткування транспортного засобу, що приводять до ДТП внаслідок втрати керованості.

Ключові слова: дискретний розподіл, нормальний розподіл, імовірність відмов, функція розподілу, щільність розподілу.

Dolgin V.P., Yakovenko E.V., Dolgin D.I. Modeling causes of a car accident

A methodology of synthesis for a discrete model of the equipment failure distribution for a transportation vehicle that cause a car accident due to the loss of control is considered.

Keywords: discrete distributing, normal distribution, probability of refusals, function of distributing, closeness of distributing.