DOI: 10.17117/na.2016.09.01.427

Поступила (Received): 24.09.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.09.01.427.pdf>

Литвиненко Р.С., Багаев А.В., Ямщиков А.С.
Практическое применение показательного закона
распределения при оценивание надежности
технических объектов

Litvinenko R.S., Bagaev A.V., Yamshchikov A.S.
The practical application of exponential distribution law with
the assessment of the reliability of technical objects

Для описания отказов системы могут быть предложены модели, предназначенные для решения различных задач надежности и по-разному учитывающие комплекс факторов, присущих характеру отказов. Случайный характер возникновения отказов в процессе эксплуатации технических систем и их элементов позволяет применять в их описании вероятностно-статистические методы. Наиболее распространенными являются модели отказов, основанные на распределении соответствующих случайных величин – наработок до отказа невосстанавливаемых объектов и наработок между отказами восстанавливаемых объектов. В статье рассмотрено практическое использование модели надежности на основе экспоненциального распределения

Ключевые слова: надежность, распределение, отказ, показатель

Литвиненко Руслан Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, ул. Красносельская, 51

Багаев Алексей Владимирович
Магистрант
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, ул. Красносельская, 51

To describe system failures can be the proposed model is intended to solve various problems of reliability and different taking into account a complex of factors inherent in the nature of the failures. The random nature of occurrence of failures in the process operation of technical systems and their elements allows you to apply it in their description of probabilistic and statistical methods. The most common are the model of failure based on the distribution of the relevant random variables of operating time to failure unrecoverable objects and practices between failures recoverable objects. The article considers the practical use of reliability models based on exponential distribution

Key words: reliability, distribution, failure, parameter

Litvinenko Ruslan Sergeevich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Kazan state power engineering university
Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Bagaev Aleksey Vladimirovich
Master
Kazan state power engineering university
Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Ямщиков Александр Сергеевич

Магистрант

Казанский государственный энергетический
университете

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Yamshchikov Aleksandr Sergeevich

Master

Kazan state power engineering university
Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Экспоненциальное распределение хотя и является частным случаем распределения Вейбулла-Гнеденко (при $\alpha = 1$), но представляет большой самостоятельный интерес, так как оно адекватно описывает распределение длительности работы элемента в период нормальной эксплуатации. Прикладная популярность экспоненциального закона объясняется не только разнообразными возможностями его естественной физической интерпретации, но и исключительной простотой и удобством его модельных свойств. Ниже представлены формулы для определения плотности и вероятности безотказной работы в течение времени t , соответствующей этому закону:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t};$$

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

$P(t) = \exp(-\lambda t)$ где λ – интенсивность отказов.

Математическое ожидание m и среднее квадратическое отклонение σ для показательного распределения выражаются через его параметр:

$$m = 1/\lambda,$$

$$\sigma = 1/\lambda.$$

$$m = \frac{1}{\lambda} \sigma = \frac{1}{\lambda}$$

Средняя наработка до первого отказа равна

$$T_{cp} = m = 1/\lambda.$$

Экспоненциальное (показательное) распределение часто используют на стадии разработки, когда информация о надежности элементов создаваемой системы ограничена либо полностью отсутствует, поэтому его часто называют основным законом надежности [16]. Ограничением для применения этого закона является необходимость, чтобы потоки отказов и восстановлений были простейшими (обладали свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последствия) [1].

Согласно [2-6] экспоненциальное распределение хорошо описывает надежность техники, эксплуатируемой после окончания приработки и до существенного проявления постепенных отказов, т.е. в период нормальной эксплуатации, когда преобладают внезапные отказы. В [5,7] сказано, что, время безотказной работы технических систем с большим числом последовательно соединенных элементов может быть описано этим распределением, если каждый из элементов в отдельности не оказывает большого влияния на отказ системы. В этом случае, если отказы последовательно соединенных элементов будут иметь экспоненциальное распределение, то и отказы самой системы будут подчинены этому же закону, а ее интенсивность отказов будет равна сумме интенсивностей отказов элементов. Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что системы, содержащие непоследовательно соединенные в смысле надежности

элементы, уже не будут обладать экспоненциальным распределением, несмотря на экспоненциальность вероятностей безотказной работы входящих в ее состав элементов [8].

Поскольку каждый элемент системы в свою очередь сам является подсистемой, состоящей из нескольких, а часто и большого числа элементов, суммарная интенсивность отказов элементов системы зависит только от числа неисправных элементов, а время ремонта каждого отказавшего элемента имеет показательное распределение. Отказ такой подсистемы есть отказ одного из ее элементов, который при восстановлении заменяется новым. Чистое время работы подсистемы определяет, что её поток отказов будет суммой большого числа потоков, и согласно предельной теореме Ханчина он асимптотически будет пуассоновским потоком. Отсюда можно сделать вывод, что интервал времени между соседними отказами будет иметь показательное распределение [9, 10].

Экспоненциальный закон следует применять для тех сложных технических систем, в которых может одновременно происходить много различных разрушающих процессов, протекающих с различными скоростями. Однако по мере уменьшения разнородности скоростей процессов распределение приближается к нормальному, а при преобладании однотипных процессов разрушения – в точности соответствует нормальному [11].

Авторы работ [7-12] считают, что при решении проблем, связанных с обслуживанием сложных систем, если поток восстановления является простейшим, экспоненциальный закон применяется при описании интенсивности восстановления, трудоемкости текущего ремонта и устранения отказов. В задачах массового обслуживания интервалы между моментами поступления техники в ремонт также хорошо описываются экспоненциальным законом [13].

Поскольку в период нормальной эксплуатации внезапный отказ возникает лишь как следствие внешних воздействий, то замена старого элемента на новый не может повлиять на причину отказа. По этой причине при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы нет смысла прибегать к профилактическим мерам, например, предварительной замене элементов или их периодическому ремонту [14].

Есть мнение [5-9], что если рассматривать физическую сущность внезапных отказов, то показательным законом можно аппроксимировать вероятности безотказной работы большого числа технических объектов, в первую очередь элементов радиоэлектронной аппаратуры, электрических и электронных аппаратов, аппаратно-программных комплексов и др.

Однако, несмотря на всю простоту и универсальность, экспоненциальный закон обладает рядом ограничений. Данному распределению характерно свойство «отсутствия памяти», обладающее большим недостатком, а именно противоречием естественным физическим представлениям. Это свойство означает отсутствие старения, то есть технический объект не стареет или, проработав какое-то время, будет иметь одинаковое с новым объектом распределение отказов, что неправомочно при эксплуатации многих технических объектов, особенно на больших временных интервалах [4]. По-видимому, экспоненциальное

распределение будет несправедливым и для времени восстановления, так как продолжительность ремонта ограничена и выражается дробным или целым числом, поэтому время, которое осталось затратить на окончание восстановления будет зависеть от уже затраченного времени восстановления [8].

В [4] не без оснований утверждается, что экспоненциальный закон распределения к сложным техническим системам не применим, так как неодновременность работы элементов и наличие последствий отказов обуславливают, что интенсивность отказов сложной системы не может быть постоянной, даже при условии постоянства интенсивностей отказов ее элементов. Следовательно, использование этого закона для анализа надежности реальных технических систем длительного функционирования – неправомерно, а исходные предпосылки в моделях не адекватны физическим процессам, протекающим в системах.

Все это говорит о том, что надо иметь достаточные основания для применения экспоненциального распределения, как и для любого другого. Тем не менее это распределение является одним из распространенных, что объясняется следующими причинами:

- простотой и зависимостью только от одного параметра λ . Это обстоятельство вместе со свойством отсутствия последствий позволяет решать многие задачи теории надежности и представлять решение в явном аналитическом виде;

- доказано, что время безотказной работы сложных высоконадежных восстанавливаемых систем при определенных условиях (например, возможность пренебречь влиянием «старения» материалов) хорошо описывается показательным распределением;

- применение экспоненциального закона в тех случаях, когда оно несправедливо, позволяет при определенных условиях получать заниженные результаты показателей надежности, то есть оценки снизу, что зачастую является приемлемым.

Список используемых источников:

1. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Анализ использования показательного распределения в теории надежности технических систем // Надежность и качество. 2016. №1. С. 128-129.
2. Литвиненко Р.С. Имитационная модель процесса функционирования электротехнического комплекса с учетом надежности его элементов // Надежность. 2016. №1(56). С. 37-42.
3. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г., Киснеева Л.Н. Оценка надежности гибридного транспортного средства на этапе разработки // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. №2. С. 34-40.
4. Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э., Колесников С.В., Водолазов В.Н. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров энергосбережения тяговых электродвигателей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2005. №3-4. С. 14-20.
5. Литвиненко Р.С., Волкова А.А., Ямщиков А.С. Построение математических моделей прогнозирования надежности сложных технических систем // Наука и образование в жизни современного общества. 2015. С. 119-120.
6. Литвиненко Р.С., Багаев А.В., Салихова А.М. Принципы формирования показателей надежности технических систем // Перспективы развития науки и образования. 2015. С. 86-87.
7. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Моделирование отказов электротехнического комплекса и его элементов на этапе разработки // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. Т. 11. №4. С. 17-24.

8. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э. Анализ использования показательного распределения в теории надежности технических систем // Надежность и качество сложных систем. 2016. №2(14). С. 17-22.
9. Литвиненко Р.С., Волкова А.А., Багаев А.В. Методы моделирования процесса функционирования сложных технических систем // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. №53. С. 310-311.
10. Литвиненко Р.С., Афросин А.С., Гадиев А.А. Анализ надежности электротехнического комплекса с использованием имитационной модели // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. №11-1. С. 71-78.
11. Литвиненко Р.С. Особенности применения экспоненциального закона распределения в теории надежности технических систем // Техника и технология: новые перспективы развития. 2016. №XX. С. 9-11.
12. Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э. Разработка метода расчета рациональных режимов движения подвижного состава городского электрического транспорта // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. №7-3. С. 79-81.
13. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С. 84-91.
14. Литвиненко Р.С., Хаертдинова А.Р., Нурмухаметов Р.Р. Ускоренное моделирование отказов высоконадежных технических систем // Научный альманах. 2014. №1(1). С. 215-220.

© 2016, Литвиненко Р.С., Багаев А.В., Ямщиков А.С.
Практическое применение показательного закона
распределения при оценивание надежности
технических объектов

© 2016, Litvinenko R.S., Bagaev A.V.,
Yamshchikov A.S.
The practical application of exponential
distribution law with the assessment of the
reliability of technical objects