

МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

© 2018 А.Ю. Русин, Г.А. Дмитриев, М.А. Абдулхамед

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Аннотация: в настоящее время одной из основных задач при испытании оборудования является разработка ускоренных методов определения количественных значений показателей надежности. Показатели надежности механических систем могут быть определены только после накопления достаточного количества статистических данных. Средняя наработка до отказа современных машин и оборудования, их отдельных деталей и узлов может исчисляться годами, поэтому существующие методы испытаний опытных образцов неэффективны из-за своей продолжительности. Сократить продолжительность испытаний можно, используя законы математической статистики, общей теории планирования эксперимента и применяя ЭВМ. Повышения экономической эффективности системы испытания оборудования на надежность можно добиться сокращением времени испытаний или уменьшением количества испытуемых образцов. При сокращении времени испытаний возрастает степень цензурирования выборки, а при уменьшении количества образцов уменьшается объем выборки наработок оборудования. В работе построены регрессионные модели, устанавливающие зависимость между отклонением оценки максимального правдоподобия от истинного значения и параметрами, характеризующими структуру выборки. Они позволяют рассчитать и ввести поправки к оценкам максимального правдоподобия. Были проведены экспериментальные исследования результатов их использования. Точность оценок максимального правдоподобия после применения разработанных моделей и введения поправки к оценкам максимального правдоподобия значительно возрастает

Ключевые слова: моделирование на ЭВМ, обработка информации, метод ММП, испытание на надежность

Введение

Оптимизация системы испытаний оборудования на надежность направлена на уменьшение затрат на их проведение. Один из путей их снижения – это сокращение времени проведения испытаний. Если испытуемые образцы дорогостоящие, то снижения стоимости можно добиться уменьшением их количества. Но при сокращении времени проведения испытаний или уменьшении количества образцов мы получаем малые цензурированные справа выборки наработок на отказ.

При параметрическом оценивании показателей надежности по цензурированным справа выборкам основным математическим методом является метод максимального правдоподобия [1].

В условиях сокращения времени испытаний и количества испытуемых изделий, становится актуальным вопрос исследования достоверности оценок максимального правдоподобия (ММП).

Существует несколько разработанных планов испытаний. В данной статье рассмотрен план $[N, U, T]$. Согласно этому плану одновременно испытывают N объектов, отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают по окончании времени

наблюдений или достижения наработки T для каждого не отказавшего объекта [2]. При проведении испытаний по плану $[N, U, T]$ формируются однократно цензурированные справа выборки наработок на отказ. В работе выполнены экспериментальные исследования точности оценок МП экспоненциального закона распределения по малым, однократно цензурированным справа выборкам.

Исследование

Для проведения исследований разработаны алгоритм и подпрограмма моделирования однократно цензурированных выборок на ЭВМ, адекватных тем, что возникают при проведении испытаний по плану $[N, U, T]$.

На ЭВМ моделировались однократно цензурированные справа выборки случайных величин объемом $N=5, 10, 15, 20$.

Количество сформированных выборок V для каждого значения N равно 3000. По каждой выборке методом максимального правдоподобия рассчитывались оценки экспоненциального распределения и их относительные отклонения δ от истинных значений - значений, которые использовались при генерации выборок

$$\delta = \frac{\lambda - \lambda_{\text{ММП}}}{\lambda}, \quad (1)$$

где λ - истинное значение параметра экспоненциального распределения, $\lambda_{\text{ОМП}}$ - оценка максимального правдоподобия экспоненциального распределения.

По результатам моделирования построены гистограммы относительных отклонений

оценок максимального правдоподобия экспоненциального распределения. По оси ординат отложен процент оценок от общего количества, попавших в данный интервал. Полученные результаты приведены на рис. 1.

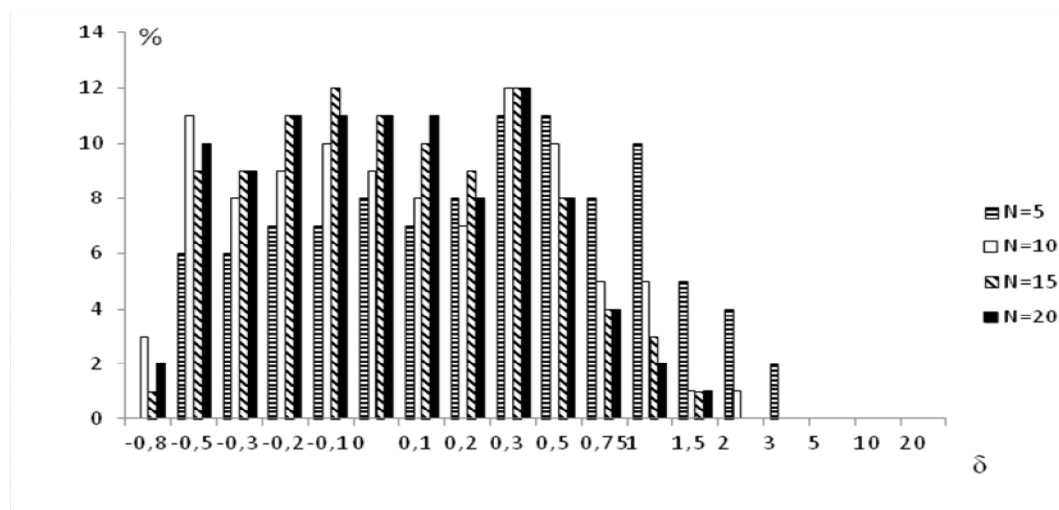


Рис. 1. Относительные отклонения оценки максимального правдоподобия

Эти экспериментальные данные показывают, что большинство оценок максимального правдоподобия, полученные по малым, однократно цензурированным справа выборкам, имеют значительные отклонения от истинных значений. Например, 2% оценок экспоненциального распределения при $N=5$ имеют относительные отклонения от 3 до 5; 4% - от 2 до 3; 5% - от 1,5 до 2. С увеличением объема выборки N точность оценок возрастает. При $N=20$ относительные отклонения оценок экспоненциального закона распределения не превышают 1,5. Несмотря на это, 4% оценок имеют относительные отклонения от 0,75 до 1; 8% - от 0,5 до 0,75; 12% - от 0,3 до 0,5.

В целом можно сделать вывод, что точность метода максимального правдоподобия при значениях $N \leq 20$ низка.

Постановка задачи

В работе [3] предложена методика повышения точности оценок максимального правдоподобия по малым, многократно цензурированным выборкам.

В настоящих исследованиях осуществлялась проверка возможности применения этой методики при проведении

испытаний оборудования на надежность по плану $[N, U, T]$.

Решение поставленной задачи осуществлялось в пять этапов:

1. Моделирование на ЭВМ однократно цензурированных справа выборок случайных величин, распределенных по экспоненциальному закону, характерных для плана испытаний $[N, U, T]$, и расчет параметров выборки, характеризующих ее структуру.

Для описания структуры сформированной выборки случайных величин в работе использовались пять стандартных параметров выборки [4]: - X_1 - степень цензурирования; X_2 - коэффициент вариации; X_3 - коэффициент вариации полных случайных величин; X_4 - эмпирический коэффициент асимметрии; X_5 - коэффициент эксцесса.

Еще пять параметров представляют собой математические выражения, составленные из стандартных характеристик выборки: X_6 - отношение математического ожидания полных случайных величин к математическому ожиданию всех членов выборки; X_7 - отношение математического ожидания цензурированных случайных величин к математическому ожиданию всех членов выборки; X_8 - относительное отклонение математического ожидания от середины вариационного

размаха; X_9 – отношение медианы к математическому ожиданию; X_{10} – отношение моды к математическому ожиданию.

Все параметры измеряются в относительных единицах и не зависят от абсолютных значений случайных величин. Это сделано для того, чтобы можно было применять полученные уравнения к оборудованию со средними наработками на отказ разной величины.

2. Расчет оценок максимального правдоподобия.

3. Расчет зависимого параметра регрессионной модели – отклонение оценки максимального правдоподобия от истинного значения по формуле

$$Y = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ОМП}}}.$$

4. Построение регрессионных зависимостей, устанавливающих связь между отклонением оценки МП от истинного значения и параметрами, характеризующими структуру выборки. Для каждого объема выборки N построено свое уравнение регрессии.

Математические модели построены в классе линейных уравнений регрессии вида [5]

$$\bar{y}(x) = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_{10} x_{10}. \quad (2)$$

Полученные уравнения регрессии позволяют повысить точность оценки максимального правдоподобия введением к оценке МП поправки $\bar{y}(x)$ по формуле

$$\lambda_{\text{КОН}} = \lambda_{\text{ОМП}} \cdot \bar{y}(x), \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{КОН}}$ – конечная оценка параметра распределения.

5. В исследованиях была проведена оценка эффективности построенных уравнений регрессии. Для каждой вновь сгенерированной выборки по уравнениям регрессии (2) были рассчитаны поправки к оценке МП и конечная оценка параметра распределения по выражению (3).

Результаты

Результаты исследований эффективности применения построенных уравнений регрессии для экспоненциального закона распределения показаны на рис. 2, 3.

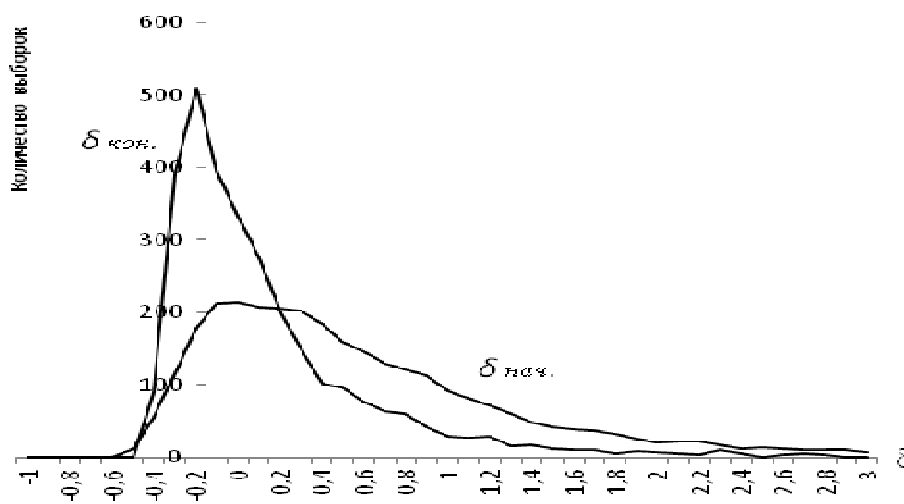
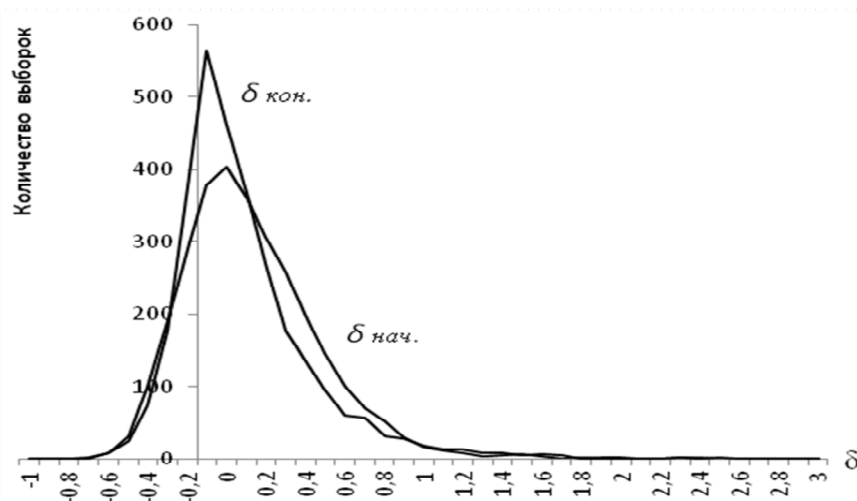


Рис. 2. Начальные и конечные отклонения оценок МП для $N=5$

Рис. 3. Начальные и конечные отклонения оценок МП для $N=20$

Графики, приведенные на рис. 2, рис. 3, показывают, что точность оценок МП после применения разработанных моделей и введения поправки значительно возрастает. После введения поправки относительные отклонения оценок от истинного значения параметров распределения в зависимости от объема выборки N , не превышают 0,3-0,5, в то время как начальные отклонения могут быть больше 3. Наибольший эффект от введения поправок оценкам максимального правдоподобия экспоненциального распределения достигается при числе членов выборки $N=5$. Окончательно можно сделать вывод о том, что введение поправок позволяет повысить точность оценок максимального правдоподобия, в зависимости от объема выборки в 1,5-2 раз.

Выводы

Точность оценок МП после применения разработанных моделей и введения поправки значительно возрастает. После введения поправки, относительные отклонения оценок МП от истинного значения параметров распределения в зависимости от объема выборки не превышают 0,3-0,5, в то время как

начальные отклонения могут быть больше 2. Применение разработанных математических моделей позволяет улучшить управление процессом эксплуатационных или стендовых испытаний промышленного оборудования на надежность и добиться уменьшения затрат на их проведение путем сокращения времени испытаний или числа испытываемых образцов.

Для расчета показателей надежности электрооборудования с применением предложенной методики разработано программное обеспечение для ЭВМ.

Литература

1. Джесси Рассел, Рональд Колин. Метод максимального правдоподобия. М.: VSD, 2013. 111 с.
2. Труханов В.М. Надежность технических систем. М.: Машиностроение-1, 2008. 584 с.
3. Русин А.Ю. Оценка экспоненциального распределения при ускоренных испытаниях на надежность // Вестник Тверского государственного технического университета. 2009. Вып. 15. С. 7–11.
4. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика: основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 528 с.
5. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. М.: Юрайт, 2011. 399 с.

Поступила 22.11.2017; принята к публикации 22.01.2018

Информация об авторах

Русин Александр Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, Тверской государственный технический университет (170026, Россия, г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22), e-mail: alrus@tvcom.ru
Дмитриев Геннадий Андреевич - д-р техн. наук, профессор, Тверской государственный технический университет (170026, Россия, г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22), e-mail: dmitrievtstu@mail.ru

Абдулхамед Мохаммед Абдулкарим Номан - аспирант, Тверской государственный технический университет (170026, Россия, г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22), e-mail: mohamed86@mail.ru

MODEL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS ON RELIABILITY TESTING EQUIPMENT

A.Yu. Rusin, G.A. Dmitriev, M.A. Abdulhameed

Tver State Technical University, Tver, Russia

Abstract: at present, one of the main tasks in testing of equipment is the development of accelerated methods for determining the quantitative values of reliability indicators. Indicators of reliability of mechanical systems can be determined only after the accumulation of a sufficient amount of statistical data. The average operating time to failure of modern machines and equipment, their individual parts and assemblies can be calculated for years, therefore, existing methods of testing prototypes are not effective because of their duration. To reduce the duration of testing the laws of mathematical statistics, the general theory of experiment planning and applying a computer can be used. Increasing the cost-effectiveness of the equipment reliability test system can be achieved by reducing the test time or reducing the number of test samples. When the test time is shortened, the degree of censoring of the sample increases, and when the number of samples decreases, the sample size of the equipment development decreases as well. The article presents regression models, thus establishing the relationship between the deviation of the maximum likelihood estimate from the true value and the parameters characterizing the sample structure. They allow us to calculate and introduce corrections to the maximum likelihood estimates. Experimental studies of the results of their use were carried out. The accuracy of the maximum likelihood estimates after application of the developed models and the introduction of an amendment to the maximum likelihood estimates is significantly increased

Key words: computer simulation, information handling, equipment test, reliability, censored samples, maximum likelihood method, software

References

1. Jesse Russell, Ronald Colin. "Maximum likelihood method" ("Metod maksimal'nogo pravdopodobiya"), Moscow, *VSD*, 2013, 111 p.
2. Truhanov, V.M. "Reliability of technical systems" ("Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem"), Moscow, *Engineering (Mashinostroyeniye)*, 2008, p. 584.
3. Rusin, A.Y. "Evaluation of the exponential distribution with accelerated reliability testing" (*Bulletin Tver State Technical University (Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta)*), 2009, vol. 15, pp. 7-11.
4. Ivanovsky, R.I. "Probability theory and mathematical statistics: the basics, applied aspects with examples and problems in Mathcad / RI environment" ("Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: osnovy, prikladnyye aspekty s primerami i zadachami v srede Mathcad"), SPb, *BHV-Petersburg*, 2008, 528 p.
5. Sidnyaev, N.I. "The theory of experimental design and analysis of statistical data" ("Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh"), Moscow, 2011, 399 p.

Submitted 22.11.2017; revised 22.01.2018

Information about authors

Alexander Yu. Rusin, Cand.Sc. (Technical), Tver State Technical University, (22, Afanasy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russia), e-mail: alrus@tvcom.ru

Gennady A. Dmitriev, Dr.Sc. (Technical), Professor, Tver State Technical University, (22, Afanasy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russia), e-mail: dmitrievtstu@mail.ru

Mohammed A.M. Abdulhameed, Postgraduate Student (Technical), Tver State Technical University (22, Afanasy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russia), e-mail: mohamed86@mail.ru