Рецензия Чепурко В.А. на учебное пособие Антонова В.А., Никулина М.С. «Статистические модели в теории надежности»

Вниманию читателя предлагается книга авторов Антонова А.В. и Никулина М.С. «Статистические модели в теории надежности». Учебное пособие, предназначенное студентам, обучающимся по направлению «Информатика и вычислительная техника», будет также весьма полезно аспирантам и инженерам, чья научная работа тесно связана с математической теорией надежности и применением статистических методов.

Никулин М.С. знаком российскому читателю по книге Воинов В.Г., Никулин М.С. «Несмещенные оценки и их применения». Множество работ автора связано с построением и развитием критерия типа χ^2 в случае проверки сложных статистических гипотез, когда параметры распределения оцениваются по выборке (критерий Никулина). По критерию χ^2 в США издана замечательная книга авторов P.E. Greenwood, M.S. Nikulin «A Guide to Chi-Squared Testing» [6], являющаяся, по сути, наиболее полным исследованием критериев типа χ^2 . Жаль, что эта книга пока еще не переведена на русский язык. Современные научные работы автора связаны со статистическими моделями, применяемыми при планировании и организации ускоренных испытаний, а также методами анализа информации по исследованию деградиационных процессов. Учебное пособие Антонова А.В. «Системный анализ» пережило уже несколько переизданий и по-прежнему пользуется большой популярностью. Научные интересы Антонова А.В. отражены во множестве публикаций. Здесь присутствуют параметрические и непараметрические методы обработки экспериментальной информации, бутстреп-метод, а также математические модели учета старения.

К несомненным преимуществам «Статистических моделей в теории надежности» необходимо отнести как доступность, так и математическую строгость изложения материала. В большинстве случаев для понимания необходимы лишь основные сведения из теории вероятностей и математической теории надежности. Этот факт является существенным, поскольку в настоящее время крайне мало добротных учебников по теории надежности. Имеющиеся учебные пособия по предмету в некоторых разделах зачастую просто устарели. В первую очередь это относится к применению различных статистических моделей и методов при проведении вероятностного анализа надежности и безопасности сложных технических систем.

Разберем затронутые основные научные вопросы учебного пособия по главам.

В первой главе даются основные понятия теории надежности, определяются показатели восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем и приводятся классические способы их оценивания. Рассматриваются различные виды исходных статистических данных, в частности приводится классификация способов цензурирования.

Вторая глава посвящена основным математическим свойствам показателей надежности восстанавливаемых и восстанавливаемых систем. Причем необходимо отметить, что во втором случае приведенный материал достаточно подробен, содержит сведения о прямом и обратном остаточных временах, известные оценки для функции восстановления и важные предельные теоремы. При этом формулируемые теоремы, в основном, приведены без доказательств, что существенно облегчает чтение материала.

В следующем разделе авторы пособия приводят методы структурного анализа надежности систем. К ним отнесены логико-вероятностный метод анализа надежности, методы построения структурных функций, путей и сечений и метод деревьев отказов. В главе рассмотрены вопросы зна-

чимости элементов, определяется значимость по Барлоу-Прошану и Веселы-Фасселу. Для различных стратегий обслуживания восстанавливаемых систем приведены подробные аналитические расчеты нестационарного и стационарного коэффициента готовности. Для каждой стратегии приведены подробные рисунки, что естественно улучшает качественное восприятие полученного результата.

Четвертая и пятая главы пособия посвящены обзору применяемых в теории надежности статистических методов оценивания и проверки гипотез. Вначале авторами обсуждается понятие вероятности как фундаментального, поскольку наиболее значимые результаты математической теории надежности связаны в первую очередь с вероятностным подходом. Определяются основные вероятностные распределения, первичные статистические характеристики выборки. Далее приводятся основные свойства и методы получения точечных оценок. К неоспоримым преимуществам учебного пособия в этой части необходимо отнести развитие метода максимального правдоподобия для различных моделей цензурирования. Собранный материал обладает очевидной научной новизной и публиковался в основном в статьях или зарубежной научной книге. К редко публикуемой можно отнести непараметрическую оценку функции надежности Каплана-Мейера. Пятую главу можно отнести к наиболее сложным в математическом смысле. И это вызвано, в первую очередь, необходимостью осветить все нюансы применения критерия Пирсона χ^2 . Хотелось бы отметить, что и здесь объем представленного материала полностью оправдан и не загроможден излишними для инженера доказательствами теорем. Замечательно, что здесь же приведен ряд редко публикуемых критериев проверки нормальности, экспоненциальности наработки; принадлежности ее распределению Вейбулла. Как некоторое замечание по содержанию хочу отметить, что непараметрическую оценку Каплана-Мейера следовало бы, на мой взгляд, поместить в шестую главу.

В следующей (шестой) главе уделяется внимание основным непараметрическим методам анализа статистической информации. Приводятся свойства эмпирической функции распределения, гистограммы, ядерной и проекционной оценки плотности распределения. Ядерная оценка выводится для различного вида цензурированных данных, а также для параметра потока отказов. Рассмотрены различные непараметрические тесты проверки гипотез: Колмогорова, Смирнова, Мизеса, критерий знаков.

Седьмой раздел является введением в теорию ускоренных испытаний. Необходимо отметить, что в русскоязычной литературе пособий по этой достаточно новой тематике практически не существует. Как известно, модель ускоренных испытаний применяется в тех случаях, когда необходимо оценить надежность системы, отказы которой за наблюдаемое время чрезвычайно редки (высоконадежная система). В этом случае проводят (ускоренные) испытания при нагрузках, превышающих обычные эксплуатационные. Чтобы уметь обрабатывать такую информацию, надо иметь соответствующие модели долговечности. В связи с этим излагаются две модели Лемана проведения ускоренных испытаний (в частности модель АФТ), модель Седакина и ряд других. Вначале определяются несколько важных понятий модели ускоренных испытаний такие, как вектор ковариант, стресс, функция связи, базовая функция надежности (интенсивности) и т.п. В рамках предложенных моделей строятся параметрические оценки максимального правдоподобия показателей надежности (в частности ВБР) при произвольной нагрузке для различных законов распределения.

Восьмая глава посвящена моделям учета старения в работе оборудования. В отличие от модели ускоренных испытаний, где показатели надежности объектов на этапе ускоренных испытаний меняются скачкообразно, в моделях учета старения изменение этих показателей происходит непрерывно во времени. В главе рассматриваются две основные модели неоднородных потоков отказов – модель с коэффициентом износа (геометрический поток отказов) и модель нормализующей функции потока. В рамках последней модели предложен способ расчета коэффициента готовности для альтернирующих неоднородных потоков отказ – восстановление. На мой взгляд, данный раздел следовало бы

расширить другими интересными моделями неоднородных процессов. К примеру неоднородный пуассоновский процесс (NHPP) [1], гамма-процесс [2], обобщенные модели с коэффициентом износа [3-4] и процесс восстановления с трендом (TRP) [5]. Вполне возможно, авторы были ограничены временем и объемом материала, что не позволило им рассказать об этих моделях.

Последняя глава пособия содержит обзор свойств различных моделей долговечности в частности модели Гумбеля и Моргенштерна. Интересен параграф, посвященный двумерной копуле, необычна, на первый взгляд, приведенная простая связь параметра ассоциативности с коэффициентом ранговой корреляции Кендалла. Для двумерных моделей долговечности решается вопрос оценивания функции надежности.

Необходимо отметить большой объем переработанного литературного материала. В конце пособия приведен обширный библиографический список, включающий в себя 155 источников, среди которых классические, и, что примечательно, в основном современные публикации в зарубежных изданиях. К сожалению, стоит признать, что современное состояние теории надежности и математической статистики слабо отражено в российских изданиях. Тем не менее, за пределами России статистические модели и методы развиваются достаточно интенсивно. Для желающих продолжить знакомство с работами авторов в библиографии приведен список статей и книг [7-26], выпущенных уже после выхода книги.

Хочется надеяться, что книга авторов Антонова А.В. и Никулина М.С. «Статистические модели в теории надежности» будет не только замечательным учебным пособием для будущих специалистов по автоматизированным системам обработки информации и управления (АСОИУ), но окажется полезным подспорьем для аспирантов и инженеров, чьи научные интересы связаны с математической теорией надежности.

Литература

1. **Daley D.J. and Vere-Jones D.** An introduction to the theory of point processes: Volume 1: Elementary theory and methods. – Verlag New York Berlin Heidelberg: Springer, 2003. –469 pp.
2. Berman Inhomogeneous and modulated gamma processes// *Biometrika*, –1981, vol 68(1), p 143–152.
3. **Finkelstein M.** Failure rate modelling for reliability and risk//Springer, 2008. p.290.
4. **Braun W.J. and Li, W. and Zhao Y.Q.** Properties of the geometric and related processes. *Naval research logistics*, 2005, v. 52, p.607–616.
5. **Lindqvist B.H. and Elvebakk G. and Heggland K.** The trend-renewal process for statistical analysis of repairable systems//*Technometrics*, 2003, v.45, p.31–44.
6. **P.E.Greenwood, M. Nikulin** A Guide to Chi-Squared Testing , 1996, New York : John Wiley & Sons, 280 p.
7. **V.Voinov, M.Nikulin, N.Balakrishna** Chi-squared Goodness-of-fit tests with Applications// Academic press, (December 2012).
8. **V.Bagdonavicius, J.Kruopis, M.Nikulin** Nonparametric Tests for Complete Data, WILEY-ISTE, 2011– 233 pp.
9. **V.Bagdonavicius, J.Kruopis, M.Nikulin** Nonparametric Tests for Censored Data, WILEY-ISTE, 2011– 308 pp.
10. **M.Nikulin, N.Limnios, N.Balakrishnan, C.Huber, W. Kahle (Eds.)** Advances in Degradation Modeling: Applications to Reliability, Survival Analysis and Finance. Birkhauser: Boston, 2009.
11. **V. Rykov, N.Balakrishnan, M.Nikulin (Eds.)** Mathematical and Statistical Models and Methods in Reliability. Birkhauser: Boston, 2010.
12. **B.Lemeshko, M.Nikulin, N.Balakrishnan (Eds.)**. Applied Methods of Statistical Analysis. Simulations and Statistical Inference. Proceedings AMSA'11, 20-22 September 2011, Publishing House of NSTU, Novosibirsk, Russia, 431p. (ISBN 978-5-7782-1731-7).

13. **Elsayed A.Elsayed, Fabrice Guérin, Mikhail Nikulin**, guest editors of the Special issue on Accelerated Life Testing of the Journal Quality Technology and Quantitative Management, v.8, #4, 359-493, December 2011.

14. **Antonov A.V., Chepurko V.A.** The account of ageing effect in operation of the equipment at the stage of nuclear power plant reliability and safety analysis. / Second International Conference on Accelerated life testing in reliability and Quality control «ALT 2008» (University V. Segalen. Bordeaux 2, France). p. 35-39.

15. Application of generalised linear model for time-dependent trend assessment – a case study for the ageing psa network / A. Antonov, A. Polyakov, A. Rodionov, V. Chepurko // Reliability Engineering and System Safety. – 2009. – June. – Vol. 94, no. 6. – Pp. 1021-1029.

16. The statistical analysis of operating reliability of electropump units cn 60-180 for reactors VVER-1000 by root estimation methods / A. Antonov, N. Zulyaeva, A. Belousov et al. // VI International Conference MMR 2009 – Mathematical methods in reliability. Theory. Methods. Applications.: extended abstracts. – Moscow: 2009. – 22-29 June. -Pp. 521-525.

17. **Antonov A., Belova K., Chepurko V.** On one method of reliability coefficients calculation for objects in non-homogeneous event flows // Mathematical and Statistical Models and Methods in Reliability. Applications to Medicine, Finance, and Quality Control / Ed. by V.V. Rykov, N. Balakrishnan, M.S. Nikulin. -Statistics for Industry and Technology. Springer, 2010. – Pp. 51-67.

18. Statistical analysis of operational reliability for electric pump units cn 60-180 of VVER-1000 reactors with root estimation methods / A. Antonov, N. Zulyaeva, A. Belousov et al. // Automation and Remote Control. -2010. -Vol. 71, no. 7.-Pp. 1425-1435.

19. Статистический анализ эксплуатационной надежности электронасосных агрегатов ЦН 60-180 реакторов ВВЭР-1000 методами корневого оценивания / А.В. Антонов, Н.Г. Зюляева, А.Я. Белоусов и др. // Автоматика и телемеханика. -2010. -Т. 71, №7. -С. 160-172.

20. **Antonov A.V., Sokolov S.V., Chepurko V.A.** Mathematical model of the residual lifetime of NPP equipment calculation based on operational information specific type// Applied methods of statistical analysis. Simulations and Statistical Inference – AMSA2011. Proceedings of the international workshop / Ed. by B. Lemeshko, M. Nikulin, N. Balakrishnan; Novosibirsk State Technical University. -Novosibirsk, Russia: Publishing house of NSTU, 2011.-20-22 September. Pp. 54-63.

21. **Antonov A.V., Chepurko V.A.** Researching some characteristics of geometric processes // Proceedings of the 4th International Conference on Risk Analysis- ICRA4 / Ed. by Alex Karagrigoriou; University of Cyprus, National Technical University of Athens, School of Applied Mathematical and Physical Sciences, Committee on Risk Analysis, Cyprus Tourism Organization. -Limassol, Cyprus: University of Cyprus, 2011. -May. – Pp. 9-17.

22. **Антонов А.В., Поляков А.А., Чепурко В.А.** Модель анализа надежности объектов с неполным восстановлением //Надежность. -2011. -№ 3(38). -С. 33-41.

23. **Антонов А.В., Соколов С.В., Чепурко В.А.** К вопросу оценки остаточной наработки восстанавливаемого оборудования ядерных энергетических установок // Надежность. – 2011. – №4(39). – С. 1.

24. **Антонов А.В., Соколов С.В., Чепурко В.А.** Вероятностные методы оценки остаточной наработки восстанавливаемых элементов ЯЭУ в условиях ограниченности исходных данных/ Ядерная физика и инжиниринг. 2011. Т. 2. № 5. С. 421-424.

25. **Антонов А.В., Соколов С.В., Чепурко В.А.** Бутстреп-метод оценки характеристик надежности восстанавливаемых объектов по специфическим данным об отказах // Информационные технологии. 2012 №4, с.51-54.

26. **Antonov A.V., Chepurko V.A.** On some characteristics of geometric processes // Journal of Reliability and Statistical Studies, April 2012, Vol. 5 (S), P.1-14.