АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОТКАЗОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕКИХ СИСТЕМ

Михеев О.В., Шевченко М.В., Габусу П.А.

ЗАО НВК "ВИСТ"

olgm@nvkvist.ru

На основе данных о динамике отказов сложных систем исследованы диапазоны их устойчивого функционирования, проведена оценка пределов реализации целостных характеристик сложных систем, соответствующих их стабильной работе. Показано что, комплексная оценка динамики отказов сложной системы может быть проведена путем сопоставления результатов иерархии моделей роста накопленного числа отказов и распределения Пуассона, как определяющего диапазон формирования целостных характеристик системы в функции от числа отказов.

Прогнозирование пределов эффективного функционирования сложных систем является ключевой проблемой теории надежности. Её решение фактически связано с оценкой общего количества отказов на разных стадиях развития сложной системы.

Известно [4], что процессы развития начинаются экспоненциальной фазой, что соответствует экспоненциальному распределению в вероятности отказов [2]. На длительных интервалах стационарного функционирования системы темпы роста падают, что приводит к степенной функции, как огибающей последовательности экспоненциальных режимов с убывающими темпами. Такие режимы известны как закон параболического роста [3]. Эта модель позволяет оценивать динамику систем на более длительных интервалах времени по сравнению с экспоненциальной моделью.

Самостоятельный интерес представляет оценка пределов реализации целостных характеристик систем. Детальные данные о динамике отказов сложных систем позволяют проводить комплексное исследование диапазонов их устойчивого функционирования и на этой основе прогнозировать диапазон надежного функционирования.

Для стадий цикла функционирования системы, соответствующих стабильной работе системы, динамику отказов можно характеризовать иерархией моделей процессов с падающими относительными приростами (темпами). В этом случае строится последовательность зависимостей накопленного числа отказов с момента начала эксплуатации системы в координатах: $\ln S - t$, $\ln S - \ln t$, $\ln S - \ln \ln t$, где S – накопленное количество отказов, t – время с начала эксплуатации системы [1].

Первый из указанных масштабов соответствует экспоненциальному росту и линейные участки здесь определяются постоянством относительных приростов числа отказов за единицу времени. Второй – соответствует параболическому росту, который является огибающей для последовательности экспоненциальных стадий развития с падающими обратно пропорционально возрасту системы темпами. Третий – соответствует росту, который является огибающей для последовательности параболических стадий развития с убывающими значениями показателей степени стадий.

В результате точки изломов для линейных участков в иерархии масштабов определяют иерархию критических состояний, ранг значимости которых тем выше, чем больший временной интервал реализован между соседними критическими точками.

На рис. 1 представлена динамика количества отказов в месяц для сложной технической системы.

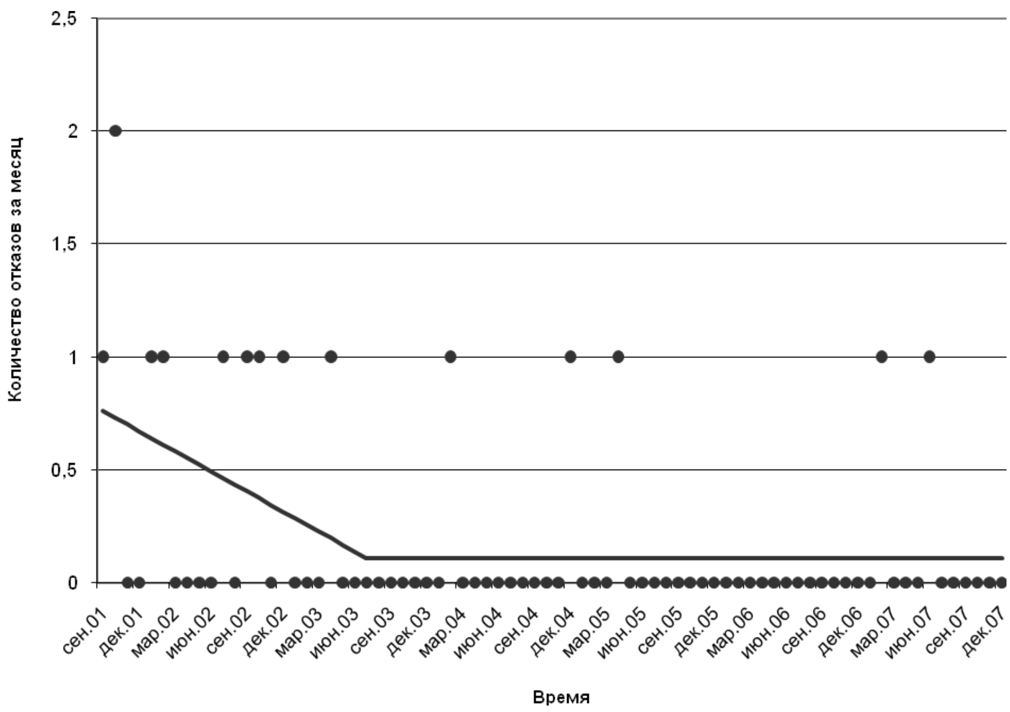

Рис. 1. Динамика количества отказов в месяц для сложной технической системы.

По данным рис. 1 на рис.2 представлено накопленное количество отказов в полулогарифмическом масштабе.

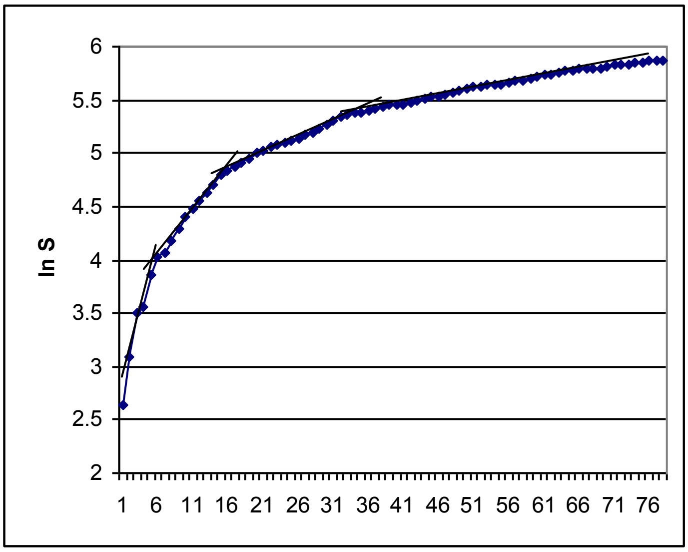

Рис. 2. Накопленное количество отказов в полулогарифмическом масштабе, по оси абсцисс – количество месяцев с начала эксплуатации системы

На рис. 2 значимо представлены последовательные стадии экспоненциального роста, соответствующие линейным участкам, границы которых определяют положение критических точек.

Те же данные в двойном логарифмическом масштабе показывают одну линейную зависимость, рис. 3.

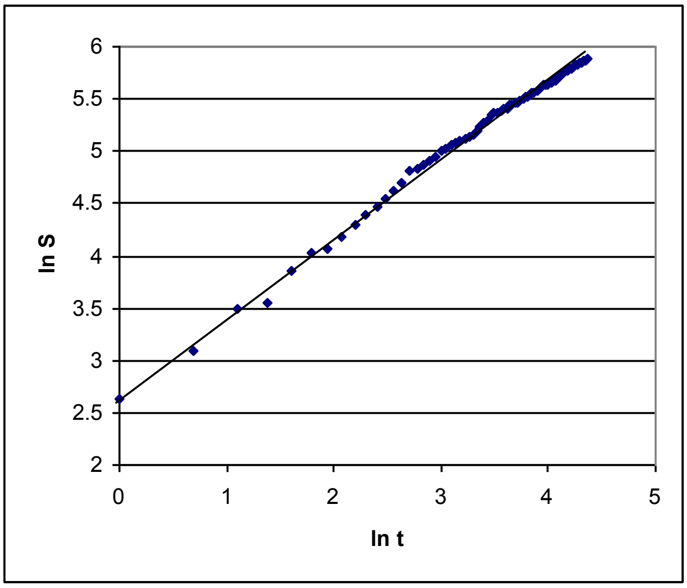

Рис. 3. Данные рис. 2. в двойном логарифмическом масштабе

В результате накопленное количество отказов определяется степенной функцией S=2.6*k^0.75. Эта зависимость является агрегирующей и в целом характеризует динамику отказов за весь период эксплуатации.

Одним из наиболее известных, и часто используемых, является распределении е Пуассона [6]

$$N_k = \frac{z^k}{k!} e^{-z},$$

где N_k – число случаев, в которых было зафиксировано ровно k событий.

Это распределение получается из разложения экспоненциальной функции в ряд

$$e^z = 1 + z + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \ldots + \frac{z^k}{k!} + \ldots$$

Разделив обе части на e^z, получим

$$1 = e^{-z}(1 + z + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \ldots + \frac{z^k}{k!} + \ldots).$$

Здесь k-ый член соответствует распределению Пуассона и, в результате, показывает, какой вклад в формирование единицы, как целого, дает каждый член разложения.

Запишем распределение Пуассона для $(k+1)$ – го члена

$$N_{k+1} = \frac{z \cdot z^k}{(k+1) \cdot k!} e^{-z},$$

и определим отношение

$$\frac{N_{k+1}}{N_k} = \frac{z}{k+1}.$$

Прологарифмируем обе части полученного уравнения

$$\ln \frac{N_{k+1}}{N_k} = \ln z - \ln(k+1).$$

Это дает линейную зависимость в координатах

$$\ln \frac{N_{k+1}}{N_k} - \ln(k+1).$$

Темп изменения числа случаев на единичном интервале определяется соотношением

$$z = \ln \frac{N_{k+1}}{N_k}.$$

Построим данные рис. 1 в указанных координатах, рис. 4.

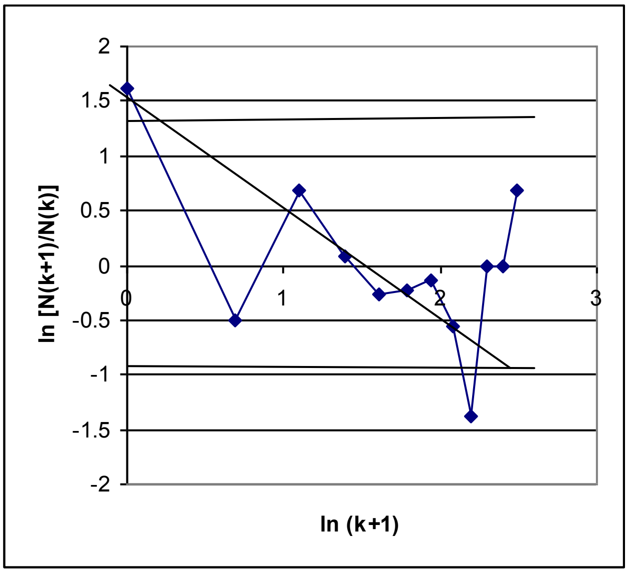

Рис. 4. Проверка данных рис. 1 на соответствие распределению Пуассона

Те же данные на рис. 5 построены в функции от линейного числа случаев k для определения его значения, где заканчивается убывающий тренд, соответствующий распределению Пуассона.

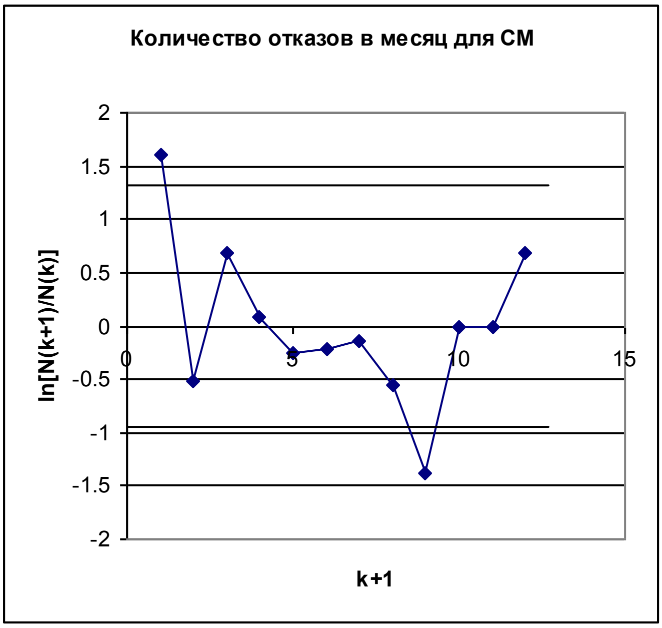

Рис. Данные рис. 4 при линейном аргументе

В результате найдем (k+1)=9, соответствующее убывающему тренду, характерному для распределения Пуассона. .

Согласно рис. 1, с 2003 г. отказы находятся в пуассоновском диапазоне, в связи с чем прогноз можно строить на среднем геометрическом пуассоновского диапазона, т.е.

среднее число отказов в месяц будет равно $\sqrt{k} = \sqrt{8} = 2.82$. Это даст прогноз на следующий год 34 отказа.

Таким образом, комплексная оценка динамики отказов сложной системы может быть проведена путем сопоставления результатов иерархии моделей роста накопленного числа отказов и распределения Пуассона, как определяющего диапазон формирования целостных характеристик системы в функции от числа отказов.

Литература

1. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и ее приложения. - М.: Мир, 1990
2. *Шмальгаузен И.И.* Рост и дифференцировка. . Избр. тр. Киев: Наукова Думка, 1984
3. *Меламедов И.М.* Физические основы надежности. Л.: Энергия, 1970