УДК 621.315.2

А. С. Грачев, С. Я. Алибеков, К. С. Казанкин,
А. В. Маряшев, Р. С. Сальманов

МОДЕЛЬ ЛАВИНООБРАЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ СТАРЕНИИ

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, надежность, специальная теория относительности, методы статистики экстремальных значений.

В данной статье используется математический аппарат исследований для непрерывных функций, модулирующий выживаемость организмов, применяемый для проблем повышения надежности технических объектов.

Keywords: artificial neuron network, reliability, special theory to relativity, methods of the statistics of extreme importances.

In this article, we use the mathematical apparatus of research for continuous functions, modulation survival of organisms used for improving the reliability of technical facilities.

В данной работе рассматривается повышение надежности технических устройств как аналог биологического продолжения жизни живых существ, повышение надежности искусственных нейронных сетей на примере моделирования работы мозга, которая основана на многопараметрических задачах нелинейной оптимизации.

В качестве обучающего множества можно использовать данные по пространственному распределению показателей надежности электроэнергетической системы.

На применение нейронных сетей натолкнула теорема академика Колмогорова, завершившая его серию исследований для непрерывных функций: *«Каждая непрерывная функция N переменных, заданная на единичном кубе N-мерного пространства, представима с помощью операций сложения, умножения и суперпозиции из непрерывных функций одного переменного»* [1]. На этом фоне совершенно неожиданно выглядит тот факт, что любой многочлен от многих переменных может быть получен из одного произвольного нелинейного многочлена от одного переменного с помощью линейных операций и суперпозиции.

Таким образом, работу сложной технической системы можно анализировать также как и работу биологического существа. В этом случае необходимо интенсивно разрабатывать модели, основанные на принципах теории надежности.

Можно предположить, что отказ всей сложной технической электроэнергетической системы базируется на "каскаде зависимых отказов", возникающих в результате случайного отказа одной из подсистем. Это предположение о цепном механизме лавинообразного разрушения организма при естественном старении заслуживает дальнейшего изучения. Действительно, хорошо известно, что дефекты в устройствах имеют тенденцию лавинообразно развиваться по цепному механизму, например, как при развитии аварии в Московской энергетической системе.

Положительная обратная связь между степенью и скоростью разрушения энергетической системы обусловлена также тем, что при выходе из строя части структур нагрузка на оставшиеся структуры увеличивается, что ускоряет их износ или выход из строя.

Ярким примером такого каскадного лавинообразного разрушения энергетической системы является развитие аварии на Саяно-Шушенской ГЭС.

Анализ развития аварий показывает, как развивается "каскад зависимых отказов". Список подобных примеров цепного лавинообразного разрушения систем можно было бы продолжить. Это «сценарий» всех мировых техногенных катастроф. Можно предположить что, старение обусловлено именно такими каскадами зависимых отказов, развивающимися долгое время в скрытой форме. Поэтому математические модели цепного лавинообразного разрушения организма представляют особый интерес.

Рассмотрим простейший вариант модели цепного разрушения системы. Обозначим через $S_o, S_1, S_2, ..., S_n$ состояния системы с $0,1,2,...,n$ дефектами. Пусть λ_0 - это фоновая скорость поступления дефектов (фоновая интенсивность деструкции), не зависящая от стадии разрушения технической системы. Соответственно μ_0 - фоновая интенсивность отказов. В простейшем случае обе величины могут быть обусловлены случайными повреждающими воздействиями внешней среды. Наряду с этим существует индуцированная интенсивность деструкции и индуцированная интенсивность развития аварии, которая растет с увеличением числа уже имеющихся дефектов. В первом приближении можно считать, что эти интенсивности прямо пропорциональны числу дефектов, так что для системы с *n* дефектами индуцированная интенсивность деструкции (слома, разрушения) равна $n\lambda$, а индуцированная интенсивность отказов – $n\mu$.

С учетом сделанных предположений и обозначений схема цепного лавинообразного разрушения организма имеет следующий вид, изображенный на рис. 1

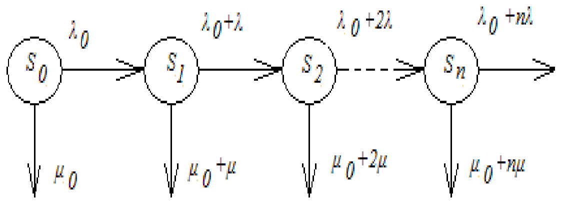

Рис. 1 - Схема лавинообразного развития аварии при естественном старении элементов системы

В исходном состоянии (S_0) система не имеет дефектов, однако в результате случайных повреждений она переходит в состояния $S_1, S_2, ..., S_n$, где n – число дефектов. Скорость появления новых дефектов лавинообразно растет с ростом числа уже накопившихся дефектов (горизонтальные стрелки). Интенсивность отказов (вертикальные стрелки) также лавинообразно растет с ростом числа дефектов

Этой схеме соответствует система дифференциальных уравнений:

$$\frac{dS_0}{dx} = -(\lambda_0 + \mu_0)S_0;$$

$$\frac{dS_1}{dx} = \lambda_0 S_0 - (\lambda_0 + \mu_0 + \lambda + \mu)S_1;$$

$$\frac{dS_2}{dx} = [\lambda_0 + \lambda]S_1 - [\lambda_0 + \mu_0 + 2\lambda + 2\mu]S_2;$$

…………………………………………

$$\frac{dS_n}{dx} = [\lambda_0 + (n-1)\lambda]S_{n-1} - [\lambda_0 + \mu_0 + n(\lambda + \mu)]S_n.$$

Решение данной системы уравнений. Можно провести аналогию. Аналогичная система уравнений (без учета фоновой интенсивности смертности) была получена и решена в математической модели, связывающей выживаемость организмов с повреждением хромосом [LeBras, 1976].

Если в начальный момент времени число дефектов в системе еще равно нулю, то доля подсистем с *0, 1, 2, ..., n* дефектами меняется со временем в соответствии с формулами:

$$S_0 = e^{-(\lambda_0 + \mu_0)x};$$

$$S_1 = S_0 \left[\frac{\lambda - \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}}{\lambda + \mu} \right] \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda};$$

$$S_2 = \frac{S_0}{2} \left[\frac{\lambda - \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}}{\lambda + \mu} \right]^2 \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} + 1 \right);$$

…………………………………………..

$$S_n = \frac{S_0}{n!} \left[\frac{\lambda - \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}}{\lambda + \mu} \right]^n \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} + 1 \right) *$$

$$* \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} + 2 \right) ... \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} + (n-1) \right).$$

В случае, когда число дефектов может расти неограниченно, зависимость числа отказавших подсистем от длительности времени эксплуатации определяется следующим образом:

$$l(x) = \sum_{n=0}^{\infty} S_n = S_0 *$$

$$* \left(1 + kz + \frac{k(k+1)}{2!} z^2 + \frac{k(k+1)(k+2)}{3!} z^3 + ... \right) =$$

$$= S_0 (1-z)^{-k}$$

где $k = \dfrac{\lambda_0}{\lambda}$, а $z = \dfrac{\lambda - \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}}{\lambda + \mu}$.

Возвращаясь к исходным переменным, получаем:

$$l(x) = S_0 (1-z)^{-k} = e^{-(\lambda_0 + \mu_0)x} \left[\frac{\lambda + \mu}{\mu + \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}} \right]^{\frac{\lambda_0}{\lambda}}.$$

Интенсивность отказов равна соответственно:

$$\mu(x) = -\frac{dl(x)}{l(x)dx} = \mu_0 + \frac{\mu \lambda_0 \left(1 - e^{-(\lambda+\mu)x}\right)}{\mu + \lambda e^{-(\lambda+\mu)x}}.$$

Таким образом повышение надежности технических устройств можно рассматривать как аналог биологического продолжения жизни живых существ, а модель цепного лавинообразного разрушения в дальнейшем анализировать, наполняя ее конкретным содержанием, внося в нее коррективы и уточнения, необходимые для безопасной эксплуатации энергетических устройств.

Литературы

1. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных. Докл. АН СССР, 1956. Т. 108, №. 2 С.179-182.
2. Рено Н.Н., Сафиуллина А.К. О неразрывности деформаций в проблеме минимизации энергозатрат моделирующего процесса // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.15. №6. С. 137 – 139.
3. Кучукбаев К.В., Гарайшина Э.Г. Энерго – и ресурсосберегающие аппараты и технологии // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.15. №7. С. 110 – 112.

© **А. С. Грачев -** доц. каф. ЭТД ПГТУ г. Йошкар-Ола, asgrachev.51@yandex.ru; **С. Я. Алибеков -** д.т.н., проф., зав. каф. МиМ ПГТУ г. Йошкар-Ола; **К. С. Казанкин –** асп. той же кафедры, kostan-kot@mail.ru; **А. В. Маряшев –** к.т.н., доц. каф. энергообеспечения предприятий ПГТУ г.Йошкар-Ола; **Р. С. Сальманов -** к.т.н. доцент кафедры физики КНИТУ.