

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕГРАДИРУЮЩЕГО
И САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА НА ОСНОВЕ
КОМПЬЮТЕРНОГО УЗЛА ПРИ ДРЕЙФЕ
ХАРАКТЕРИСТИК ВХОДНОГО ПОТОКА**

К.С. Ткаченко

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
KSTkachenko@sevsu.ru*

Современные измерительные приборы весьма сложны и включают в себя средства компьютерного оборудования. Компоненты таких приборов могут под воздействием изменения характеристик входного потока событий деградировать. После деградации до определённого уровня измерительный прибор восстановиться и самовосстановиться не может. Поэтому предлагается аналитическая модель такого прибора. На основе этой модели можно производить целесообразные ремонтно-восстановительные работы.

Ключевые слова: измерительный прибор, компьютерные узлы, системы массового обслуживания, аналитическое моделирование.

**ANALYTICAL MODEL OF THE DEGRADING
AND SELF-HEALING MEASURING DEVICE
ON THE BASIS OF A COMPUTER NODE IN THE DRIFT
CHARACTERISTICS OF THE INPUT STREAM**

K.S. Tkachenko

*FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol
KSTkachenko@sevsu.ru*

Modern measuring instruments are very complex and include computer equipment. Components of such devices can degrade under the influence of changes in the characteristics of the input stream of events. After degradation to a certain level, the measuring device can not recover and self-recover. Therefore, an analytical model of such a device is proposed. On the basis of this model it is possible to make expedient repair and recovery work.

Key words: measuring device, computer units, queuing systems, analytical modeling.

Современные приборы на основе полупроводников обладают деградацией [1]. В зависимости от интенсивности входного потока возбуждающих за-
явок скорость деградации изменяется. Поэтому для прогнозирования сроков
службы приборов требуются новые подходы, которые должны учитывать
характер деградационных процессов. Помимо прочего, скорость деградации

развивается неоднородно. Также известно, что на раннем начале деградации дефекты являются точечными, а в дальнейшем из них формируются устойчивые структуры.

При функционировании в непрерывном режиме в течение длительного времени устройства на основе полупроводников могут выходить из строя раньше требуемого прогнозируемого срока службы [2]. Испытания таких устройств в реальном масштабе времени сопряжено с ограничениями за счёт большой расходимости выходных характеристик. Поэтому для количественного анализа при исследовании процессов деградации требуются модели, подтверждающие равенство измеренных и расчётных величин.

Исследование и анализ механизмов деградации требуют накопления большого количества регистрируемых измерений [3]. Во многих случаях характеристики кинетики деградационных процессов зависят не столько от свойств материалов, сколько от параметров изменения интенсивности повреждающих событий.

Интеллектуальные инструменты прогнозирования в некоторых случаях снижают деградацию от влияния окружающей среды [4]. Повышение качества решения задачи прогнозирования возможно за счёт автоматического генерирования нейросетевых алгоритмов и выбора их настроек. Обеспечение разнообразия позволяет уменьшать усреднённые ошибки. Самоконтролируемые алгоритмы улучшают результат по сравнению с простыми подходами.

Постепенные отказы требуется учитывать на этапе проектирования [5]. Предсказание последствий этих отказов лежит в основе обеспечения надёжности. Неполнота априорной информации вызывает потребность в усложнении конструкции. Статистические показатели позволяют определять границы изменений параметров технических объектов. Тестовые модели приборов позволяют сократить поиск оптимальных параметров.

В силу того, что информационные технологии эффективно реализуются на основе компьютерных узлов, необходимо деградацию измерительных приборов рассмотреть в ключе применимости к их компьютерным компонентам. Наиболее часто компьютерные узлы моделируются с применением систем массового обслуживания [6–9]. Их аналитические модели позволяют производить точечную оценку откликов в зависимости от изменения параметров входного потока.

Целью настоящей работы является разработка аналитической модели основанного на компьютерном узле деградирующего самовосстанавливающегося измерительного прибора, который подвергается входному потоку воздействий с дрейфом характеристик интенсивности.

Для компьютерных узлов наиболее полной и общей является система массового обслуживания типа G/G1/K/N. Но нахождение характеристик си-

системы массового обслуживания типа G/G1/K/N сопряжено со сложностями вычислительного характера, поскольку требует решения систем интегро-дифференциальных уравнений. Доказано, что для высоких загрузок системы массового обслуживания G/G1/... могут быть заменены на M/M/... [10].

Ранее рассматривалось моделирование первичного измерителя как одно-канальной системы массового обслуживания [11]. Этот подход позволял ориентироваться как на самопроизвольное восстановление, так и на восстановление единственным оператором одного прибора в директивном порядке.

Поэтому для компьютерных узлов в дальнейшем явной моделью будет считаться система массового обслуживания типа M/M/K/N. Такая система массового обслуживания описывается числом каналов K , ёмкостью буфера N , интенсивностью входного потока заявок λ , производительностью обработки заявок μ . Для расчёта характеристик системы массового обслуживания типа M/M/K/N применимы соотношения:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda}{\mu}, \\ \rho_s &= \frac{\rho}{K}, \\ p_0 &= \left[1 + \sum_{j=1}^{K-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^K (1 - \rho_s^{N+1})}{K!(1 - \rho_s)} \right]^{-1}, \\ p_{отк} &= \frac{p_0 \rho^{K+N}}{K! K^N}.\end{aligned}\tag{1}$$

В формуле (1): ρ — нагрузка узла; ρ_s — нагрузка канала узла; p_0 — вероятность простоя; $p_{отк}$ — вероятность отказа.

Вероятность отказа численно равна вероятности пребывания в системе массового обслуживания заявок на всех каналах и на всех ячейках очереди, то есть $p_{отк} = p_{K+N}$, когда невозможно принять на обработку ни одной новой заявки.

Для решаемой задачи это означает, что

- присутствует входной поток заявок (в том числе деградиционных) с известной интенсивностью λ ;
- эти заявки обрабатываются, а деградиционные в их числе — нейтрализуются с заданной производительностью μ ;
- система их больше обрабатывать, а деградиционные — нейтрализовать, не в состоянии.

Поэтому при динамической реструктуризации компьютерного узла измерительного прибора в реальном масштабе времени необходимо обеспечивать минимум вероятности отказа:

$$\arg \min_{\mu} p_{otk}(\mu). \quad (2)$$

В задаче (2) нет возможности изменять значение входной интенсивности $\lambda = \text{const}$ (по (1)).

Задача (2) допускает решение численными методами. Но эти решения не всегда применимы в случае требований функционирования в реальном масштабе времени при условиях наличия ограничений ресурсов, что характерно для некоторых компьютерных узлов измерительных приборов.

Поэтому можно выполнить некоторые преобразования для приведения задачи (2) в удобный для решения вид. Во-первых, (2) представляется в явном виде:

$$\arg \min_{\mu} \frac{\rho^{K+N}}{K!K^N \left[1 + \sum_{j=1}^{K-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^K \left(1 - \left(\frac{\rho}{K} \right)^{N+1} \right)}{K! \left(1 - \frac{\rho}{K} \right)} \right]}. \quad (3)$$

Оптимизируемое выражение в (3) требует для своего расчёта большого количества арифметических вычислений и ветвлений. Поэтому в силу того, что характеристики $\langle K, N \rangle$ меняются достаточно редко, в дальнейшем их можно ограничить. Поскольку в директивном порядке можно ограничить корректировку не более трёх приборов, а для оперативного анализа информации о деградационных событиях достаточно пяти событий, то $\langle K = 3, N = 5 \rangle$.

С учётом чего (3) становится:

$$\arg \min_{\mu} \frac{\lambda^8}{1458\mu^8 + 1458\lambda\mu^7 + 729\lambda^2\mu^6 + 243\lambda^3\mu^5 + 81\lambda^4\mu^4 + 27\lambda^5\mu^3 + 9\lambda^6\mu^2 + 3\lambda^7\mu + \lambda^8}. \quad (4)$$

Оптимальное значение μ из (4) получается методом поразрядного (подекадного) приближения, который эффективно реализуется с малыми затратами вычислительных ресурсов управляющей системы гарвардской архитектуры.

Для апробации разработанной модели проводится вычислительный эксперимент. В основу эксперимента положено табулирование функции (4) с коэффициентом 10^5 при $\lambda = 100, 105, \dots, 200$, $\mu = 100, 105, \dots, 200$. Результаты табулирования приводятся на рисунке.

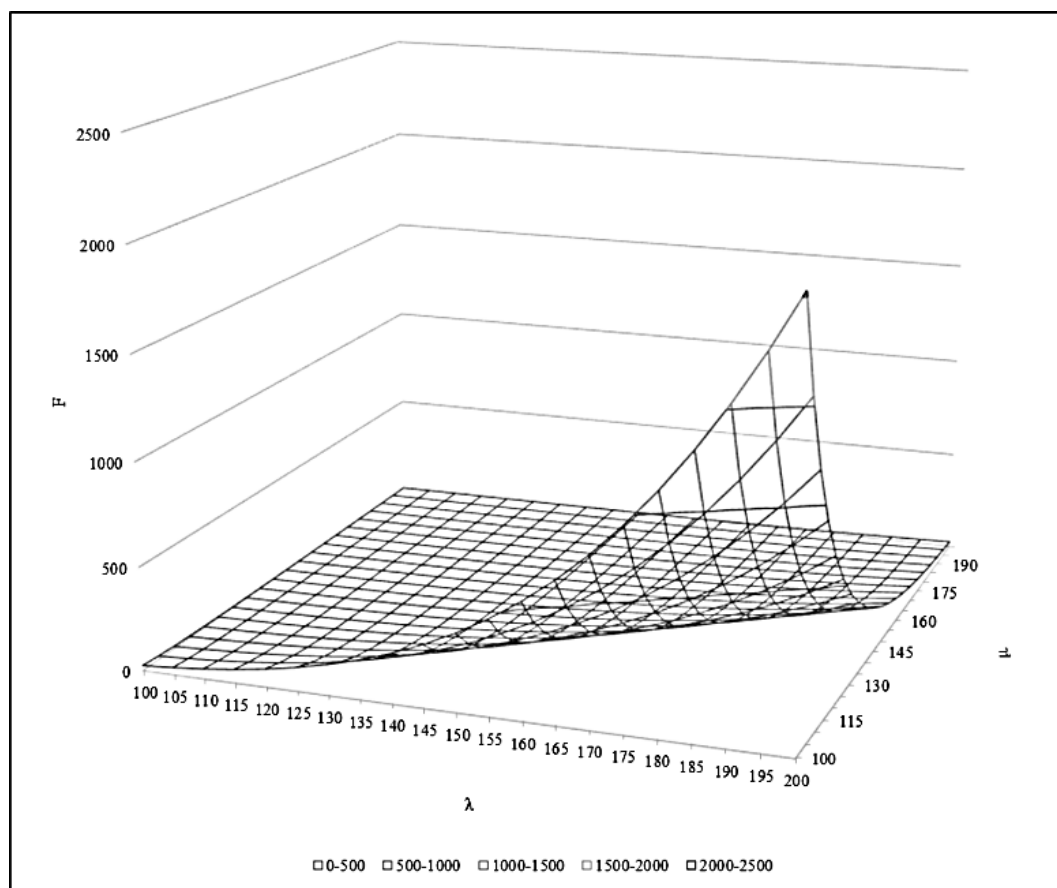


Рис. Результаты табулирования

Полученный результат может быть применён в средствах компьютерного оборудования современных сложных измерительных приборов. На основе полученных аналитических соотношений становится возможным проведение целесообразных действий по ремонту и восстановлению измерительных приборов для случаев отсутствия в них самовосстановления.

Литература

1. Сидоров В.Г., Шмидт Н.М. Деградационные явления и проблема надёжности полупроводниковых источников излучения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2013. № 2 (170). С. 71–80.
2. Близнюк В.В., Тарасов А.Е. О возможности исследования процесса деградации лазерных диодов путём измерений показателя преломления волновода // Cloud of science. 2017. Т. 4. № 2. С. 274–281.

3. Бусько В.Н., Винтов Д.А. Лабораторная система для исследования усталостной деградации ферромагнитных материалов и примеры её реализации // Приборы и методы измерений. 2012. № 2 (5). С. 33–39.
4. Семенкина М.Е., Семенкин Е.С., Рыжиков И.С. Прогнозирование динамики электрических характеристик солнечных батарей космических аппаратов методами вычислительного интеллекта // Сибирский журнал науки и технологий. 2014. № 3 (55). С. 139–145.
5. Аноп М.Ф., Катуева Я.В., Михаличук В.И. Алгоритмы роевого интеллекта в задаче обеспечения надёжности по постепенным отказам // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. № 1. С. 144–157.
6. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. 600 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. 368 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
9. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966. 432 с.
10. Скатков А.В., Балакирева И.А. Параметрическое мажорирование в задачах аппроксимации систем массового обслуживания типа G/G/1 // Мат. МНПК «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ–2015». Севастополь: СевГУ, 2015. С. 15–17.
11. Ткаченко К.С. Определение вероятностей гипотез о состоянии первичного измерителя с деградацией // Мат. IV-й НПК «Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами». Севастополь: Колорит, 2017. С. 252–256.