

## О надежности по постепенным отказам: функционально-параметрический подход

О. В. Абрамов\*

*\* Лаборатория управления надежностью сложных систем,  
Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного  
отделения РАН,  
ул. Радио 5, Владивосток, Россия, 690041*

**Аннотация.** В работе обсуждаются основные положения функционально-параметрического подхода теории надежности, а также возможности и перспективы использования этого подхода в задачах обеспечения надежности аналоговых технических устройств и систем. Показано, что для решения задач анализа и обеспечения надежности целесообразно использовать вычислительную технологию параллельных и распределенных вычислений. Обсуждается идея построения эффективных параллельных алгоритмов многовариантного анализа, необходимого для вычисления статистических оценок вероятности безотказной работы при различных номинальных значениях внутренних параметров. Предложен и исследован параллельный аналог метода статистических испытаний и алгоритм дискретного поиска номинальных значений параметров, доставляющих максимум вероятности безотказной работы.

**Ключевые слова:** надежность, постепенный отказ, случайный процесс, параметрический синтез, вычислительные методы, параллельные методы, компьютерное моделирование.

### 1. Введение

В современной теории надежности можно выделить несколько методологических направлений, доминирующее положение среди которых занимает вероятностно-статистическое направление. Методология вероятностно-статистического подхода базируется на эмпирически установленном факте статистической устойчивости частоты отказов, позволяющем активно использовать методы теории вероятностей и теории массового обслуживания. Расчет надежности в рамках этого направления основан на построении структурной схемы надежности исследуемой системы (модели надежности), при этом для каждого элемента и системы в целом допускаются обычно лишь два возможных состояния – работоспособности или отказа. Таким образом, любая реальная система при расчетах ее надежности заменяется некоторой логической (булевой) моделью. Методы вероятностно-статистического подхода достаточно просты и удобны для инженерных расчетов, но их использование не дает положительных результатов при решении задачи обеспечения надежности уникальных объектов и систем ответственного назначения, для которых отказы не являются массовым и статистически устойчивым явлением.

Наиболее общим и перспективным представляется исследование вопросов надежности технических систем с позиций теории блуждания точки в фазовом пространстве. Модель надежности этого типа была предложена Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляевым и А.Д. Соловьевым в работе [1]. Она позволила обнаружить глубокую связь теории надежности с общей теорией случайных функций и сформулировать методологию подхода, который будем называть функционально-параметрическим подходом.

## **2. Основные положения и методы функционально-параметрического подхода**

Функционально-параметрический (ФП) подход естественным образом следует из общепринятого определения надежности как свойства объекта сохранять в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. В соответствии с этим определением модель для определения надежности должна отражать связь показателей надежности с выполняемыми объектом функциями, условиями эксплуатации и временем.

В основу ФП-подхода положены следующие основные принципы [2,3].

1. Процесс функционирования объекта и его техническое состояние в любой момент времени определяются конечным набором некоторых переменных – параметров объекта.

2. Любая техническая система, выполняя определенные функции, находится во взаимодействии с окружающей средой, человеком, подсистемой управления, компонентами технологического процесса (обрабатываемые материалы, сырье, энергия, реагенты и т.д.). При этом возникают разнообразные причинно-следственные связи как формы проявления универсальной связи явлений в природе.

3. Накопление различных воздействий на систему приводит к эволюции ее показателей (изменениям параметров) и вследствие этого к возможности перехода в иное качественное состояние.

4. Технический объект невозможно изолировать от влияния внешней среды, в которой он работает, нельзя остановить процессы, протекающие в нем при осуществлении рабочих функций, исключить последствия технологических процессов, применявшихся при его изготовлении. Все виды энергии – механическая, тепловая, химическая, электромагнитная – воздействуют на объект и вызывают в нем обратимые и необратимые процессы, изменяющие (ухудшающие) его начальные характеристики.

5. Отказы являются следствием отклонений параметров от их исходных (номинальных, расчетных) значений. Формой проявления отката является выход параметров за пределы области допустимых значений (области работоспособности).

6. Если процессы изменения параметров наблюдаемы, прогнозируемы и управляемы, то существует принципиальная возможность предотвращения отказов.

В рамках ФП-подхода задачи расчета и обеспечения надежности, возникающие на этапах проектирования, производства и эксплуатации, взаимосвязаны: все они могут быть представлены как разновидности задачи управления случайными процессами. Их решение должно основываться на результатах прогнозирования процессов изменения параметров (технического состояния) и надежности исследуемых объектов. При разработке методов прогнозирования и управления необходимо учитывать как специфику случайных процессов дрейфа параметров (они относятся к классу нестационарных и локально управляемых), так и особенности самого управления, которое имеет вид импульсной коррекции.

Таким образом, при решении задачи обеспечения надежности технических объектов на основе ФП-подхода необходимо учесть возможные отклонения параметров от расчетных значений, предсказать последствия этих отклонений и разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих требуемые характеристики объекта в условиях этих отклонений. Нетрудно заметить, что в рамках концептуальной модели ФП-подхода расчет (обеспечение) надежности является естественным продолжением обычных инженерных расчетов на этапе проектирования.

Обеспечение надежности в рамках ФП-подхода основано на создании и оптимальном использовании запасов (резервов) допустимых вариаций параметров системы, контроле определяющих параметров, прогнозировании изменений параметров с целью предотвращения их выхода за допустимые пределы и коррекции параметров, осуществляемой в виде настроек или замен элементов, выработавших свой ресурс. Задачи обеспечения надежности удастся при этом представить в несколько расширенной форме задач оптимального параметрического синтеза (ОПС). Суть ОПС состоит в поиске таких начальных (номинальных) значений параметров элементов системы (внутренних параметров), при которых обеспечивается максимальная вероятность выполнения условий работоспособности в течение заданного времени эксплуатации [4].

Математическая и вычислительная сложность методов расчета и обеспечения надежности технических систем с учетом закономерностей случайных процессов вариаций их параметров, трудность получения необходимой исходной информации о параметрических возмущениях породили определенный пессимизм в отношении практической полезности (конструктивности) методов ФП направления. Вместе с

тем в последние годы стал активно развиваться достаточно радикальный путь сокращения трудоемкости решения сложных вычислительных задач, в основе которого лежит идея распараллеливания процессов поиска конечного результата. В настоящее время накоплен определенный опыт создания алгоритмических и программных средств расчета и оптимизации параметрической надежности проектируемых технических устройств и систем, основанных на использовании технологии параллельных и распределенных вычислений. Для преодоления сложностей, связанных с дефицитом или отсутствием информации о закономерностях случайных процессов изменения параметров исследуемых систем, возможны решения, основанные на привлечении идей робастности и минимакса. Другими словами, необходимый уровень надежности обеспечивается либо созданием систем, нечувствительных к вариациям из параметров (робастных), либо в результате придания им необходимого запаса работоспособности, который учитывает наиболее неблагоприятные вариации параметров исследуемой системы.

Обсуждается идея построения эффективных параллельных алгоритмов многовариантного анализа, необходимого для вычисления статистических оценок вероятности безотказной работы при различных номинальных значениях внутренних параметров.

Предложен и исследован параллельный аналог метода статистических испытаний (Монте-Карло) и алгоритмы дискретного поиска номинальных значений параметров, доставляющих максимум вероятности безотказной работы [5].

При программной реализации параллельных алгоритмов представляется целесообразным использование возможностей как современных многопроцессорных вычислительных систем, так и распределенных многомашинных комплексов, связанных локальной сетью. Реализация подобных алгоритмов на многопроцессорных машинах, работающих под управлением операционных систем, поддерживающих многопоточность, не вызывает принципиальных затруднений. В то же время, в распределенных гетерогенных средах, необходимо самостоятельно реализовать механизмы загрузки данных, синхронизации процессов и балансировки вычислительной нагрузки между компонентами комплекса. Главным критерием качества распараллеливания вычислений является сокращение общего времени решения задачи. Возможности для распараллеливания вычислений ограничиваются не только числом имеющихся процессоров, но и особенностями вычислительного алгоритма, который может оказаться принципиально последовательным. В задачах анализа и оптимизации параметрической надежности используется модель передачи сообщений и, так называемая, master-slave парадигма параллельного программирования. Один из процессоров назначается главным (master), он производит динамическую балансировку загрузки, рассылает задания остальным подчиненным процессорам (slave), формирует результаты. Распараллеливание базируется

на декомпозиции последовательного алгоритма вычислений, в качестве единицы параллелизма выступает задача однократного расчета модели системы (моделирования системы).

Реализация предлагаемых параллельных алгоритмов анализа и оптимизации параметрической надежности осуществлена на вычислительном кластере IRUS17.

### 3. Заключение

В данной работе мы постарались сформулировать основы подхода, который бы объединил традиционные для теории и практики схемотехнического проектирования аналоговых технических систем функциональные модели с задачами обеспечения надежности по постепенным (параметрическим) отказам. Такой подход был назван функционально-параметрическим. Обеспечение надежности в рамках ФП-подхода основано на создании и оптимальном использовании запасов (резервов) допустимых вариаций параметров системы, контроле определяющих параметров, прогнозировании изменений параметров с целью предотвращения их выхода за допустимые пределы и коррекции параметров, осуществляемой в виде настроек или замен элементов, выработавших свой ресурс. Задачи обеспечения надежности удалось при этом представить в несколько расширенной форме задач параметрического синтеза.

### Литература

1. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука, 1965.
2. Абрамов О. В. Функционально-параметрический подход в задачах обеспечения надежности технических систем // Надежность и контроль качества. — 1999. — No. 5. — С. 34–45.
3. Абрамов О. В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. — 2014. — No. 4. — С. 53–66.
4. Абрамов О. В. Методы и алгоритмы параметрического синтеза стохастических систем // Проблемы управления. — 2006. — No. 4. — С. 3–8.
5. Абрамов О. В. Параллельные алгоритмы расчета и оптимизации надежности по постепенным отказам // Автоматика и телемеханика. — 2010. — No. 7. — С. 126–135.

## The reliability for gradual failure: functional-parametrical approach

O.V. Abramov\*

*\* Laboratory of management of reliability of complex systems,  
Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch RAS,  
Radio St. 5, Vladivostok, 690041, Russia*

The paper discusses the main provisions of the functional-parametrical approach of reliability theory, as well as possibilities and perspectives of using this approach in the task of ensuring the reliability of analog technical devices and systems. It is shown that for solving problems of analysis and ensuring of reliability appropriate to use computing technology parallel and distributed computing. Discusses the idea of constructing efficient parallel algorithms multivariate analysis necessary to calculate statistical estimates of the probability of failure-free operation at different nominal values of internal parameters. Proposed and investigated a parallel analogue of the method of statistical tests and discrete search algorithm, the nominal values of the parameters, delivering the maximum reliability.

**Keywords:** reliability, gradual failure, random process, parametric synthesis, computational methods, parallel methods, computer simulation.