



УДК 681.5.015.63

© 2009 г. **О.В. Абрамов**, д-р техн. наук,
Г.Б. Диго,
Н.Б. Диго,
Я.В. Катueva, канд. техн. наук,
Д.А. Назаров

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ СРЕДАХ¹

Рассматривается задача оптимального синтеза сложных технических систем в неопределенных средах. Предложены некоторые пути ее решения на основе стохастических и минимаксных критериев.

Ключевые слова: параметрический синтез, априорная неопределенность, вероятность, неопределенная среда, работоспособность, оптимальность.

Введение

Проследив этапы развития теории управления, можно выделить периоды детерминизма, стохастичности и неопределенности.

В период детерминизма как уравнения, описывающие состояние исследуемых объектов, так и внешние воздействия предполагались известными. Это позволяло широко использовать классический аналитический аппарат для решения разнообразных проблем анализа и синтеза технических систем.

В период стохастичности в связи с необходимостью учета реальных условий функционирования технических систем было установлено, что внешние воздействия и собственные параметры систем изменяются во времени, но заранее не могут быть определены однозначно. Возникла необходимость привлечения новых подходов, учитывающих вероятностный характер воздействий и параметров. Они основаны на знании статистических характеристик случайных факторов, которые предполагаются заданными.

Сложные технические системы могут работать в самых разнообразных условиях. При этом модели (уравнения) управляемых объектов и возмущающие воздействия (либо их статистические характеристики) не только не заданы, но зачастую трудно определяемы и экспериментальным путем. Поэтому приходится сталкиваться с большей или меньшей начальной неопределенностью, Это, хотя и

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН (Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 2)

затрудняет управление такими объектами, но не делает его в принципе невозможным.

Современный уровень развития средств вычислительной техники и информационных технологий оказывает все большее влияние на формирование теории управления. В сферу фундаментальных исследований и практических приложений современной теории управления попадают все более сложные системы. Как правило, категория сложности ассоциируется с такими их свойствами как многомерность и многокомпонентность, нелинейность, нестационарность, стохастичность и неопределенность. Каждый из этих факторов существенно затрудняет не только исследование поведения систем, но и решение задачи синтеза систем управления, обеспечивающее желаемые свойства процессов в них.

Управление сложными системами предполагает наличие информации о конечной цели управления, начальных условиях функционирования объекта, его внутренней структуре и параметрах внешней среды.

При анализе большинства реальных системных задач практически ничего неизвестно достоверно. Независимо от принятого математического описания неопределенность будет присутствовать в описании динамики целей, ограничений и т.п. При удачном стечении обстоятельств будут известны с некоторой достоверностью характеристики распределения вероятностей для неопределенных переменных. Однако довольно часто неизвестными являются даже эти характеристики. Поэтому требуется тщательное исследование всех возникающих неопределенностей.

В статье рассматриваются некоторые проблемы управления сложными стохастическими объектами в неопределенных средах. Исследуются особенности и этапы их решения применительно к параметрическому синтезу технических систем.

Характеристика неопределенной среды и основные виды неопределенности в стохастических технических системах

Условия, в которых производятся и функционируют сложные технические объекты (системы), можно отнести к трем категориям: идеальная среда; определенная среда; неопределенная среда.

Наиболее простой случай для управления технической системой и получения проектных решений – создание и функционирование технического объекта в идеальной среде. Процессы временного дрейфа параметров системы в подобной среде отсутствуют. Также отсутствуют какие-либо возможные технологические отклонения параметров системы от расчетных, связанные с точностью изготовления этих компонентов. В идеальной среде практически исключено взаимное влияние различных объектов и систем на их функционирование. При функционировании объекта в идеальной среде он не подвергается внешним воздействиям, кроме того, его параметры не изменяются. В реальных условиях функционирования сложных технических объектов в идеальной среде встречается в исключительных случаях, так как для обеспечения и поддержания подобных физических условий необходимы большие материальные затраты: изготовление дорогостоя-

щих высокоточных элементов системы, ее изоляция от воздействия температуры, влажности и т.д.

Определенная среда предполагает, что информация о законах распределения параметров компонентов сложной системы известна. Для сложных технических систем такой информацией должны быть:

законы распределения технологических (производственных) изменений компонентов (параметров) системы;

законы изменения параметров во времени при нормальных (реальных) условиях эксплуатации;

законы изменения параметров системы при воздействии внешних условий, отличных от нормальных (температура, влажность, электромагнитные излучения и т.д.).

Неопределенность в системе (*systems uncertainty*) возникает, когда полностью или частично отсутствует информация о возможных состояниях системы и внешней среды. Это неизбежный спутник больших (сложных) систем, причем, чем сложнее система, тем большее значение приобретает фактор неопределенности в ее поведении (развитии) [1].

При описании внешней среды исследуемого объекта ограничиваются только теми аспектами, которые решающим образом на него влияют.

Основными характеристиками внешней среды будем считать взаимосвязанность факторов, сложность, динамичность, неопределенность.

При этом под взаимосвязанностью факторов понимается влияние воздействия изменения одного фактора на изменение других факторов.

Сложность – это число и разнообразие факторов, значимым образом влияющих на систему.

Динамичность – относительная скорость изменения среды. Чем она выше, тем сложнее в условиях неопределенности принимать правильные решения.

Неопределенность внешней среды является функцией количества имеющейся информации относительно конкретного фактора и функцией уверенности в этой информации (достоверность). Если информации недостаточно или есть сомнения в ее точности, среда становится более неопределенной, чем в ситуации, когда есть адекватная информация и есть основания считать ее высоконадежной [2]. Естественно, чем неопределеннее внешнее окружение, тем труднее принимать эффективные решения.

Факторы, влияющие на внешнюю среду, очевидно, взаимодействуют между собой, и изменение любого из них влечет за собой изменение остальных. При этом часть факторов оказывает на внешнюю среду и, соответственно, на объект прямое воздействие (среда прямого воздействия), а остальные лишь косвенное (среда косвенного воздействия). Такие факторы обычно не влияют на функционирование системы или объекта столь заметно, как факторы среды прямого воздействия, но их все равно приходится учитывать, основываясь на неполной информации.

В неопределенной среде может отсутствовать информация о некоторых объектах (неполнота информации или отсутствие знания о данных объектах во-

обще) или быть неправильной.

Для решения оптимизационных задач в условиях неопределенности общего вида было введено понятие неопределенной среды как набора случайных ограничений при разработке теории и практики неопределенного программирования [3]. Неполная информация может быть описана с помощью случайных, нечетких, неточных величин или же с помощью величин с многократной неопределенностью.

Следует также подчеркнуть, что функционирование технических систем в большинстве реальных случаев происходит в условиях неопределенности. Любое, даже самое точное описание процессов изменения параметров системы или прогноз их состояния, может оказаться недостоверным из-за динамических изменений среды.

Постановка задачи параметрического синтеза технических систем

В традиционном понимании задача параметрического синтеза состоит в нахождении значений параметров проектируемой системы заданной структуры, обеспечивающих ее работоспособность [4]. В реальных условиях наблюдаются расхождения между расчетными (номинальными) и фактическими значениями параметров, возникающие под воздействием целого ряда технологических и эксплуатационных факторов, которые приходится рассматривать как случайные функции времени. Возникает задача выбора таких номинальных значений параметров, при которых вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии в течение заданного времени будет максимальной.

Основные трудности решения задачи синтеза технических систем с учетом отклонений параметров от номинальных значений связаны прежде всего с дефицитом информации о закономерностях случайных процессов вариации параметров системы.

Задача оптимального параметрического синтеза (ОПС) технических систем [4, 5] состоит в выборе номинальных значений параметров элементов исследуемой системы

$$\mathbf{x}_{\text{НОМ}} = (x_{1\text{НОМ}}, x_{2\text{НОМ}}, \dots, x_{n\text{НОМ}}),$$

обеспечивающих максимум вероятности выполнения условий работоспособности в течение заданного времени:

$$\mathbf{x}_{\text{НОМ}} = \arg \max P\{X(\mathbf{x}_{\text{НОМ}}, t) \in D_x, \forall t \in [0, T]\}, \quad (1)$$

где $X(\mathbf{x}_{\text{НОМ}}, t)$ – случайный процесс изменения параметров; D_x – область работоспособности; T – заданное время эксплуатации системы.

Исходными данными в рассматриваемой задаче являются условия работоспособности, задаваемые обычно в виде допусков на выходные параметры

$$\mathbf{A} \leq \mathbf{y}(t) \leq \mathbf{B}, \quad (2)$$

и математическая модель системы $\mathbf{y}(\mathbf{x}(t))$, определяющая зависимость выходных параметров:

$$\mathbf{y}(t) = \{y_j(t)\}_{j=1}^m$$

от параметров схемных элементов

$$\mathbf{x}(t) = \{x_i(t)\}_{i=1}^N$$

в виде непрерывных зависимостей

$$y_j(t) = y_j(\mathbf{x}(t)), j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

В большинстве случаев зависимость (3) задается не в явной, а в алгоритмической форме, в частности через численные решения систем уравнений (дифференциальных или алгебраических), описывающие процесс функционирования исследуемой системы.

Область пространства параметров элементов $\mathbf{x} \in R^n$, во всех точках которой выполняются одновременно все условия (2), называется областью работоспособности D_x :

$$D_x = \{\mathbf{x} \in R^n : \mathbf{A} \leq \mathbf{y}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{B}\}. \quad (4)$$

Условия работоспособности формируют в пространстве выходных параметров область допустимых значений D_y в виде ортогонального m -мерного гиперпараллелепипеда:

$$D_y = \{\mathbf{y} \in R^m : \mathbf{A} \leq \mathbf{y} \leq \mathbf{B}\}. \quad (5)$$

Решение задачи (1) базируется на анализе взаимосвязей выходных характеристик системы и параметров составляющих ее элементов, с учетом технологического разброса, температурного и временного дрейфа этих параметров. Ее решение требует знания закономерностей отклонений параметров от номинальных значений, заданных в виде статистических характеристик случайных процессов изменения внутренних $X(\mathbf{x}_{\text{ном}}, t)$ или выходных $Y(t)$ параметров.

Дестабилизирующие факторы и случайные процессы изменения параметров

Общими свойствами практически всех процессов изменения параметров являются непрерывность и нестационарность.

Отклонения параметров от их номинальных значений обусловлены действием целого ряда факторов, из которых обычно выделяют производственные (технологические) и эксплуатационные, определяемые рабочими условиями (температура, влажность, нагрузки, вибрация и др.).

К технологическим факторам можно отнести дефекты оборудования, колебания режимов работы, неоднородность исходных материалов, погрешности измерительных инструментов, приборов и др. Действие этих факторов приводит к технологическому разбросу параметров, а также к некоторому отличию физико-химической структуры элементов, что в процессе эксплуатации может вызвать различие в поведении их параметров.

При хранении и эксплуатации в элементах протекают физико-химические процессы, вызывающие необратимые изменения параметров (происходит старение). Процессы старения могут протекать и при условии изоляции от воздействия внешней среды, однако скорость их протекания при этом существенно уменьшается. Воздействие рабочих условий (температура, влажность, перегрузки и др. внешние факторы) ускоряет старение. Наряду со старением, в процессе эксплуа-

тации систем имеет место износ, проявляющийся в истирании трущихся механических поверхностей и уменьшении эмиссии радиоэлектронных элементов. В результате старения и износа возникают необратимые изменения параметров.

Колебания температуры, влажности, нагрузок и других рабочих условий могут вызвать сравнительно кратковременные обратимые отклонения.

Модели процессов старения обычно выбираются среди случайных процессов, имеющих определенную функциональную зависимость от времени, а их случайный характер обуславливается случайными параметрами, не зависящими от времени. Такие процессы иногда называют квазидетерминированными, или полуслучайными [6]. Наиболее распространенной формой моделей случайного процесса необратимых изменений параметров является модель вида

$$X(t) = \sum_{k=0}^N x_k u_k(t), \quad (6)$$

где x_k – случайные коэффициенты; $u_k(t)$ – непрерывные детерминированные функции времени (базисные функции).

Нередко в качестве базисных функций $u_k(t)$ используются степенные функции, и модель процессов необратимых изменений имеет вид

$$X(t) = \sum_{k=0}^N x_k t^k. \quad (7)$$

Наиболее простой и часто используемой формой процессов вида (7) являются линейные случайные процессы

$$X(t) = X_0 + X_1 t, \quad (8)$$

где X_0 – начальное значение параметра, распределение которого определяется технологическими (производственными) факторами; X_1 – случайный коэффициент скорости изменения параметра.

Как правило, справочные данные о процессах необратимых изменений параметров элементов и схем задаются только в виде коэффициентов старения. В этом случае приходится считать дрейф параметра линейным, и это почти всегда лучше, чем совсем его не учитывать.

Изменения параметров под воздействием внешних факторов (обратимые изменения) обычно описываются в виде стационарного процесса $\Psi(t)$, накладывающегося на необратимую составляющую. Иногда используется просто случайная величина Ψ .

Случайная обратимая составляющая обусловлена флуктуациями температуры, давления, влажности окружающей среды, нагрузок, напряжения питания, электромагнитных помех, радиации и др. Среди этих факторов обычно выделяют температурные воздействия, полагая, что изменения параметров наиболее существенно проявляются под воздействием температурных флуктуаций. На практике обратимые изменения параметров, происходящие под воздействием температуры, обычно учитываются с помощью температурных коэффициентов.

Таким образом, с учетом всех дестабилизирующих факторов случайный процесс изменения параметра можно представить в виде

$$Z(t) = X(t) + \Psi(t), \quad (9)$$

где $X(t)$ – нестационарный (обычно монотонный) случайный процесс необратимых изменений; $\Psi(t)$ – стационарный случайный процесс обратимых изменений параметра.

Случайные процессы $X(t)$ и $\Psi(t)$ обычно рассматриваются как статистически независимые. Если процесс необратимых изменений можно представить в виде (6), то окончательно имеем

$$Z(t) = \sum_{k=0}^N x_k u_k(t) + \Psi(t). \quad (10)$$

Оптимальный параметрический синтез в условиях неопределенности исходных данных

В реальных условиях ситуация, когда имеющаяся априорная информация о закономерностях отклонений параметров от расчетных значений позволяет достаточно полно и точно задать случайный процесс (9), встречается крайне редко. Это связано с необходимостью проведения длительных и дорогостоящих испытаний большого числа однотипных элементов, а также быстрым старением информации. Поэтому возникает необходимость решения задачи ОПС в условиях неполноты и недостаточной достоверности исходной информации, т.е. в условиях неопределенности. К наиболее часто встречающимся ситуациям относятся:

1. Известен только начальный разброс параметров – закон распределения вектора X_0 , который определяется технологическими (производственными) факторами. В этом случае задача (1) имеет вид

$$\mathbf{x}_{\text{ном}} = \arg \max P\{X_0(\mathbf{x}_{\text{ном}}) \in D_x, t = 0\}. \quad (11)$$

Это частный случай общей задачи ОПС, носящий название задачи оптимизации выхода годных (серийнопригодности) [4].

2. Известны только числовые характеристики (моменты распределения) случайных величин, входящих в модели процессов изменения параметров (6)–(11). Обычно это математические ожидания и дисперсии параметров, коэффициентов старения, температурных коэффициентов и др.

3. Отклонения параметров и коэффициентов выбранной модели заданы интервально (в виде пределов возможных вариаций).

4. Информация о закономерностях изменений параметров элементов системы и, следовательно, об изменениях выходных параметров полностью отсутствует.

Кроме того, возможна ситуация, когда закономерности случайного процесса изменения некоторых параметров полностью известны, а о вариациях остальных параметров нет или почти нет информации.

Одной из стратегий поиска оптимальных значений номиналов параметров в условиях неопределенности может быть использование набора (веера) методов и алгоритмов решения отдельных задач ОПС, адекватных априорной информации о параметрических возмущениях. При этом в каждой отдельной ситуации оптимальным будет считаться результат, обеспечивающий максимальный гарантиро-

ванный уровень работоспособности при данном объеме исходной информации. Другими словами, в условиях неопределенности оптимальность будет пониматься в минимаксном смысле – с точки зрения получения наилучшего результата при наиболее неблагоприятных (из множества допустимых) параметрических возмущениях.

Приходится обращать внимание еще на одну особенность решения задачи ОПС. При получении какой-либо информации о возможных вариациях параметров проектируемой системы необходимо знать типонамины элементов этой системы (например, для электро-радиоэлементов – тип элемента, номинальные значения его параметров, класс точности, номинальную мощность или напряжение).

Выбор типонаминов осуществляется на основе интуиции и опыта разработчика, по прототипам или в результате каких-либо расчетов. При этом для выбранных номиналов параметров должны выполняться условия работоспособности (2). Они, как отмечалось выше, обычно задаются требованиями технического задания в виде ограничений на выходные параметры.

Любая комбинация параметров элементов (внутренних параметров) однозначно определяет некоторую совокупность значений выходных параметров и, следовательно, точку в пространстве выходных параметров. В свою очередь, совокупность параметров элементов представляет допустимое решение, если соответствующая точка пространства выходных параметров лежит в многомерном полиэдре, задаваемом ограничениями на выходные параметры.

При поиске допустимого решения необходимо учитывать параметры рабочих условий. Желательно установить номинальные значения параметров элементов так, чтобы допустимое решение получалось при любой комбинации параметров рабочих условий (например, температуры). Поэтому можно считать, что каждый параметр рабочих условий принимает либо свое номинальное значение, либо одно из крайних значений. Система же исследуется в своих рабочих состояниях, образованных всеми возможными комбинациями этих пар.

Определенной характеристикой возможности системы выполнять заданные функции в условиях параметрических возмущений является область работоспособности D_x , построенная в координатах параметров схемных элементов системы. Совокупность значений внутренних параметров может быть представлена изображающей точкой в n -мерном пространстве этих параметров. Для обеспечения работоспособности системы эта точка должна находиться внутри области D_x , а расстояние от нее до границ D_x может рассматриваться как некоторый запас работоспособности системы. Он может быть на уровне внутренних (параметров элементов) или выходных параметров системы.

Запас работоспособности на уровне внутренних параметров – запас работоспособности первого типа – позволяет оценить степень удаленности вектора внутренних параметров от границ области работоспособности и, следовательно, пределы возможных вариаций параметров элементов, при которых не нарушаются условия работоспособности. Задача ОПС в этом случае сводится к нахождению такой точки внутри области работоспособности D_x (выбору таких номина-

лов параметров), которая находится на максимальном расстоянии от ее границ.

Поскольку область работоспособности D_x обычно неизвестна, выполнение условий работоспособности при выбранных внутренних параметрах проверяется путем вычисления соответствующих значений выходных параметров и их сравнения с требованиями технического задания (принадлежность области допустимых значений выходных параметров D_y). В связи с этим можно говорить о запасе работоспособности второго типа, представляющем собой меру удаленности вектора выходных параметров

$$\mathbf{y} = (y_1(\mathbf{x}), y_2(\mathbf{x}), \dots, y_m(\mathbf{x}))$$

от заданных требованиями технического задания границ области D_y .

Выбор номинальных значений внутренних параметров в задаче параметрического синтеза по критерию запаса работоспособности первого типа будем называть прямой задачей, а выбор значений параметров по критерию запаса работоспособности второго типа – обратной.

Любая комбинация внутренних параметров

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

определяет однозначно некоторую совокупность

$$\mathbf{y} = (y_1(\mathbf{x}), y_2(\mathbf{x}), \dots, y_m(\mathbf{x}))$$

выходных величин и, таким образом, некоторую точку $\mathbf{y} \in R^m$ в m -мерном пространстве выходных параметров. При этом обратное отображение не всегда однозначно: одному и тому же набору значений выходных параметров могут соответствовать разные векторы внутренних параметров.

Таким образом, решение задачи ОПС начинается с нахождения любого допустимого решения. Задачу выбора допустимого решения будем называть *параметрическим синтезом нулевого уровня (ПС-0)*.

После нахождения вектора параметров $\mathbf{x}_{\text{ном}}^{(0)}$, обеспечивающих выполнение условий работоспособности, можно пытаться улучшить полученный результат путем его коррекции. Оптимизацию параметров можно проводить без привлечения дополнительной информации, если при выбранных значениях параметров в качестве целевой функции принимается запас работоспособности или некоторая мера отклонения поведения объекта от идеального. Такая задача будет состоять в выборе вектора внутренних параметров $\mathbf{x}_{\text{ном}}^{(1)}$, для которого запас работоспособности (отклонение вектора выходных параметров от границ области работоспособности) достигает своего максимального значения.

Выбор оптимальных значений внутренних параметров, проводимый без учета производственных и эксплуатационных изменений параметров, будем называть *параметрическим синтезом первого уровня (ПС-1)*.

Параметрический синтез первого уровня является шагом вперед по сравнению с ПС-0, так как в его результате получается решение, обеспечивающее некоторый запас работоспособности при возможных отклонениях действительных значений параметров от расчетных. Оно оптимально и вполне оправдано в условиях, когда информация о закономерностях отклонений параметров от расчетных

(номинальных) значений полностью отсутствует.

Выбор параметров, выполненный на этапах ПС-0 или ПС-1, позволяет определить режимы работы элементов объекта, выбрать их типонамины, классы точности и получить информацию о закономерностях возможных отклонений параметров от расчетных данных. После этого появляется возможность проверить выполнение требований к качеству функционирования с учетом этих отклонений. Степень полноты данной информации может быть различной, но почти всегда появляется возможность вероятностной постановки задачи ОПС, а следовательно, получения некоторой гарантированной оценки сохранения системой работоспособного состояния при полученных характеристиках параметрических возмущений.

Можно говорить об оптимальном *параметрическом синтезе второго уровня* (ПС-2). Он состоит в выборе номинальных значений внутренних параметров, обеспечивающих максимальную гарантию работоспособности, т.е. максимальную вероятность выполнения условий работоспособности в течение заданного времени, максимальное время сохранения работоспособного состояния или максимальную вероятность нахождения в работоспособном состоянии в заданный момент времени (при отсутствии сведений о закономерностях временного дрейфа) и др.

Таким образом, параметрический синтез этого уровня представляет собой решение задачи ОПС в вероятностной (стохастической) постановке.

При достаточном объеме априорной (исходной) информации о стохастических закономерностях вариаций параметров элементов исследуемой системы задача ОПС имеет вид (1). Вместе с тем, как отмечалось выше, часто приходится искать решение в условиях дефицита исходной информации, т.е. в ситуациях 1-3.

Если известны законы распределения параметров элементов в момент времени $t = 0$, а закономерности эксплуатационных изменений параметров не заданы (ситуация 1), постановка задачи имеет вид (11). Ее решение обеспечивает выбор такого вектора номиналов, при котором вероятность сохранения работоспособности системы в течение заданного времени не будет превышать значение

$$P\{X_0(\mathbf{x}_{\text{ном}}) \in D_x, t = 0\}.$$

Решение задачи (11) имеет самостоятельное прикладное значение [4]. С точки зрения общей задачи ОПС его полезность состоит в том, что оно позволяет оценить перспективность решения значительно более трудоемкой задачи (1). Действительно, если найденная вероятность окажется меньше требуемой, т.е.

$$\max P\{X_0(\mathbf{x}_{\text{ном}}) \in D_x, t = 0\} < P_{\text{тр}}(T),$$

то не имеет смысла искать решения задачи (1), потому что всегда

$$P\{X(\mathbf{x}_{\text{ном}}, t) \in D_x, \forall t \in [0, T]\} < P\{X_0(\mathbf{x}_{\text{ном}}) \in D_x, t = 0\}.$$

В ситуации, когда закон распределения параметра неизвестен, одним из путей решения задачи ОПС может быть поиск решения в предположении «наихудшего» из множества допустимых распределений вероятностей. Так, если для параметра x известно среднее значение $M[x]$ и дисперсия D в качестве распределения $f(x)$, можно выбрать функцию, максимизирующую шенноновскую энтропию H при этих значениях среднего и дисперсии. Нетрудно убедиться, что в таких условиях наиболее подходящей формой функции распределения является нормаль-

ное распределение вероятностей.

В ситуации, когда известна только область возможных значений параметра x , наименее противоречива функция равномерного распределения.

Принцип получения гарантированного результата при наиболее неблагоприятных (из множества допустимых) изменениях параметров также вполне уместен и при решении задач ОПС в других ситуациях, связанных с неопределенностью (дефицитом) исходной информации.

Заключение

Проведенный анализ проблем параметрического синтеза сложных технических систем и устройств в неопределенной среде позволяет утверждать, что одной из стратегий поиска оптимальных значений номиналов параметров является использование набора (веера) методов и алгоритмов решения отдельных задач ОПС, адекватных априорной информации о параметрических возмущениях. При этом оптимальность понимается в минимаксном смысле, т.е. как получение наилучшего результата в наиболее неблагоприятных допустимых условиях.

Все уровни решения задач ОПС связаны с высокой вычислительной сложностью, возникающей при использовании многовариантного анализа и оптимизации по стохастическим критериям. Радикальным способом ее уменьшения и сокращения временных затрат является ориентация на платформу параллельных и распределенных вычислений, успешно используемых в последнее время для решения подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь: словарь современной экономической науки. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2003.
2. Словарь практических терминов по менеджменту. Учебное пособие для студентов вузов / под ред. Ю.А. Цыпкина – М.: ЮНИТИ, 2001.
3. *Лю Б.* Теория и практика неопределенного программирования / пер. с англ. – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2005.
4. *Абрамов О.В.* Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. – М.: Наука, 1992.
5. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. – М.: Наука, 1984.
6. *Дружинин Г.В.* Методы оценки и прогнозирования качества. – М.: Радио и связь, 1982.

E-mail:

Абрамов О.В. – abramov@iacp.dvo.ru;

Дуго Г.Б. – bernatsk@iacp.dvo.ru;

Дуго Н.Б. – digo@iacp.dvo.ru;

Катыева Я.В. – gloria@iacp.dvo.ru;

Назаров Д.А. – nazardim@iacp.dvo.ru.