

© Поповкин В.А.
Popovkin V. A.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

THE METHODOICAL APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF CHOOSING THE PARAMETERS OF DEVELOPING THE SPACE INFORMATION SUPPORT SYSTEM

Аннотация. Рассмотрен методический подход к решению задачи выбора параметров устойчивого сбалансированного развития системы космического информационного обеспечения в условиях изменяющихся факторов дисбалансов и ограничений на ресурсы.

Annotation. The methodical approach to solving the problem of choosing the parameters of the stable balanced development of the Space information support system under the conditions of varying unbalance factors and restrictions on resources is considered.

Ключевые слова. Система космического информационного обеспечения, параметры развития, программа развития.

Key words. Space information support system, development parameters, development program.

Под космическим информационным обеспечением (КИО) понимается комплекс мероприятий по обеспечению потребителей информацией от орбитальных и наземных космических средств [1]. В систему КИО входят: орбитальная группировка космических аппаратов (КА), средства выведения КА и наземные компоненты - комплекс управления КА, инфраструктура космодромов, информационные системы и др.

В настоящее время большую актуальность имеют вопросы обоснования параметров устойчивого сбалансированного развития системы КИО в условиях неопределённости и ограничений на ресурсы. Условия неопределённости связаны, прежде всего, с наличием дестабилизирующих процессы функционирования и развития системы КИО факторов (факторов дисбалансов) [1]. Причём факторы дисбалансов могут изменяться во времени (например, изменение целей и задач развития). От успешного решения данных вопросов напрямую зависит эффективность процессов создания и эксплуатации космических систем (КС) и комплексов (КК) и их вклад в готовность и эффективность основных потребителей системы. Решение данных вопросов состоит в разработке методов, позволяющих оценивать эффективность про-

цессов функционирования и развития системы КИО и определять параметры устойчивого сбалансированного развития системы (управляемые параметры), обеспечивающие в рассматриваемом диапазоне условий наилучшее значение выбранного показателя эффективности функционирования и развития системы КИО.

К управляемым параметрам развития системы КИО относятся:

- структурные параметры $\bar{y}_1(t)$ общей программы развития системы КИО, включающей частные программы создания и эксплуатации КС (КК) и их элементов;
- временные параметры $\bar{y}_2(t)$, соответствующие продолжительности этапов (стадий) реализации различных частных программ развития системы КИО, включая программы научно-исследовательских (НИР), опытно-конструкторских работ (ОКР), серийного производства, заказов (поставок) изделий, развертывания, эксплуатации, снятия с эксплуатации и утилизации КС (КК) и их элементов;
- параметры $\bar{y}_3(t)$ частных программ создания и эксплуатации КС (КК), их элементов (число КА в составе орбитальных систем, рабочих мест подготовки КА, комплектов наземной аппаратуры и др.).

. Поповкин Владимир Александрович - кандидат технических наук, заместитель министра обороны РФ по вооружению, контактный телефон – 519-91-89.

Popovkin Vladimir Alexandrovich - candidate of technical sciences, Deputy Minister of the Russian Federation for Armament, telephone number for contacts-519-91-89.

В ходе реализации программ развития системы КИО получают полезные эффекты, в том числе:

- решение КС (КК) целевых задач космического информационного обеспечения (достижение целевых эффектов функционирования КС и КК);
- создание нового и сохранение имеющегося научно-технического задела (технологий, методов, средств) и базовых элементов для создания перспективных КС (КК);
- развитие испытательной, производственной базы, объектов системы эксплуатации КС (КК), создание новых и сохранение существующих рабочих мест, научно-производственных мощностей, кадрового потенциала;
- совершенствование тактико-технических и эксплуатационно-технических характеристик КС (КК) в процессе их отработки и эксплуатации.

Для осуществления программ развития и получения указанных полезных эффектов необходимы материальные (финансовые), кадровые, информационные, научно-производственные (технологии, базовые элементы, производственные мощности), информационные, юридически-правовые и другие ресурсы.

Выбор значений управляемых параметров определяет значения показателей эффективности процессов функционирования и развития системы КИО, к которым относятся [1]:

- относительные выходные эффекты, дисбалансы и риски дисбалансов (несоответствия характеристик требуемым уровням) системы КИО при решении целевых ее задач на заданных интервалах времени;
- вероятности своевременного выполнения задач на заданных интервалах времени функционирования и развития системы;
- затраты ресурсов на заданных интервалах времени функционирования и развития системы.

Задача выбора параметров развития системы КИО формулируется следующим образом: требуется определить значения параметров $\vec{y}_{opt}(t)$ развития системы КИО, обеспечивающие минимальное значение суммарного риска дисбалансов на интервалах времени развития системы КИО при заданных ресурсных и временных ограничениях.

Сформулированную задачу выбора параметров развития системы КИО можно представить как задачу синтеза программы развития системы КИО в целом, которая в качестве отдельных компонентов включает различные частные программы, включая программы выполнения НИР, ОКР, производства, заказов, поставок, ис-

пытаний, эксплуатации и утилизации КС (КК) и их элементов.

Следует отметить, что программа развития системы КИО содержит не только компоненты, связанные с реализацией новых программ (открытием новых НИР, ОКР, производством и поставками новой космической техники, развертыванием новых космических систем и комплексов), но и компоненты, соответствующие незавершенным (реализуемым) программам.

Представим вариант реализации общей программы развития системы КИО в виде совокупности реализуемых (старых), перспективных (новых) частных программ и определенных фазовых переходов между ними. Анализ возможных переходов от реализуемых программ к новым программам в процессе развития системы КИО позволил выделить различные виды фазовых переходов, приведенные в таблице.

Очевидно, что устойчивость и сбалансированность развития системы КИО может быть обеспечена только при согласованности сроков завершения старых (реализуемых) и начала новых программ развития. В противном случае могут возникнуть перерывы в выполнении отдельных целевых задач системы КИО или возрасти затраты на выполнение избыточного состава программ, реализоваться морально устаревшие проекты или, наоборот, неотработанные технологии, обладающие повышенным риском срыва решаемых в будущем задач.

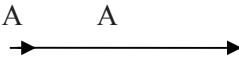



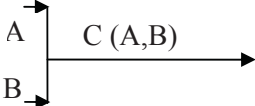
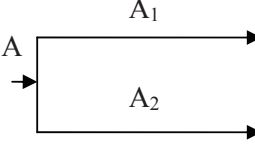
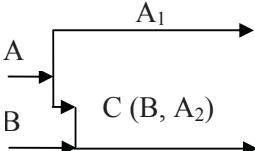
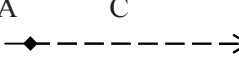
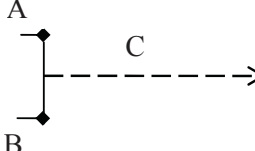
Будем полагать, что любой возможный вариант реализации программы развития системы КИО, представляющий собой совокупность реализуемых (старых), перспективных (новых) частных программ и определенных фазовых переходов между ними, может быть описан некоторым ориентированным графом (стохастической сетевой моделью) $G_s = (\vec{y}_1(t))_s$ выполнения работ, где s - индекс реализуемого варианта.

Исходя из сказанного, общую задачу структурно-параметрической оптимизации программы развития системы КИО можно декомпозировать на две подзадачи:

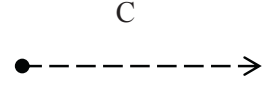
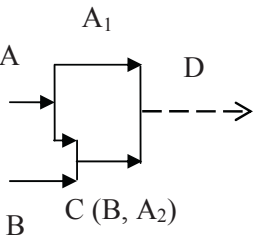
- формирования множества $\{G_s\}, s = \overline{1, S}$ реализуемых вариантов структуры графов;
- определение рациональных значений управляемых параметров $\vec{y}_{1s}(t), \vec{y}_{2s}(t), \vec{y}_{3s}(t)$, соответствующих минимальному значению суммарного риска дисбалансов на интервалах времени развития системы КИО при заданных ресурсных и временных ограничениях.

При формировании вариантов графа $\{G_s\}$ (программы развития системы КИО) необходимо исключить

Виды фазовых переходов в процессе развития системы КИО

№ п/п	Характеристика вида фазового перехода	Условное обозначение фазового перехода	Пример фазового перехода
1	Продолжение (продление) программы в течение заданного времени без изменения состава КС (КК) и решаемых задач, тактико-технических (ТТХ), эксплуатационно-технических (ЭТХ) характеристик, выходных эффектов (фиктивный фазовый переход)		Продолжение эксплуатации КС (КК), продление сроков эксплуатации технических средств НКУ, НСК, ракет-носителей, средств эксплуатации без изменения состава КС (КК) и решаемых задач (ТТХ, ЭТХ, выходных эффектов)
2	Продолжение (продление) программы в течение заданного времени с изменением штатного состава КС (КК) и (или) решаемых задач (ТТХ, ЭТХ, выходных эффектов)		Продолжение эксплуатации КС (КК) с наращиванием или сокращением ее состава и (или) изменением решаемых задач (ТТХ, ЭТХ, выходных эффектов)
3.	Приостановка программы (замораживание) на заданный или неопределенный срок		Приостановка неприоритетной программы ввиду изменения целей, задач, наличия ресурсных ограничений, повышенного риска реализации базовых решений
4	Полное завершение программы в заданный срок		Снятие с вооружение и утилизация элементов КС (КК) и средств эксплуатации, полное закрытие программы по причине бесперспективности или невозможности продолжения
5	Слияние (комплексирование) программы с другой (другими) программой с продолжением в течение заданного времени		Совмещение подобных НИОКР, имеющих схожие цели и задачи, слияние частных программ развития системы КИО в общую программу
6	Разделение программы на две или более программ с продолжением в течение заданного времени		Разделение программы на две и более составляющих, имеющие различные цели, задачи (функции), области применения. Продолжение работ по двум альтернативным вариантам программы развития
7	Выделение из программы отдельных компонентов и их слияние с другими программами или их компонентами с продолжением в течение заданного времени		Создание унифицированных базовых решений, элементов, платформ, технологий, реализация федеральных и межотраслевых целевых программ развития
8	Замещение прежней программы новой программой (программами), решающей более широкий перечень задач, имеющей более высокие выходные эффекты (ТТХ, ЭТХ)		Выполнение ОКР, создание и развертывание новой КС, решающей более широкий перечень задач, имеющей более высокие выходные эффекты (ТТХ, ЭТХ) по сравнению с используемой ранее системой
9.	Замещение двух или более программ новой программой (программами)		Создание новой КС, комплексизирующей задачи эксплуатируемых ранее КС, которая имеет более высокие выходные эффекты (ТТХ, ЭТХ) по сравнению с замещаемыми системами

Продолжение таблицы

№ п/п	Характеристика вида фазового перехода	Условное обозначение фазового перехода	Пример фазового перехода
10	Появление (развертывание) новой программы, не имеющей аналогов по решаемым задачам		Создание КС (КК) принципиально нового типа, решающей новые целевые задачи, создание аппаратуры и элементов нового поколения, основанных на новых физических принципах и технологиях
11	Реализация более сложных разновидностей многоступенчатых переходов от реализуемых программ к новым программам развития системы КИО, являющихся различными сочетаниями одноступенчатых переходов, перечисленных в пп. 1-10		Создание унифицированных базовых решений, элементов, платформ, технологий. Реализация федеральных и межотраслевых целевых программ развития с последующим созданием новой КС (КК), комплексирующей задачи эксплуатируемых ранее КС (КК), имеющей более высокие выходные эффекты (ТТХ, ЭТХ) по сравнению с замещаемыми системами

дублирование задач, решаемых различными частными программами развития, обеспечить непрерывное задействование сил, участвующих в создании и эксплуатации системы КИО, и загрузку соответствующих рабочих мест, так как при длительном простое неиспользуемые ресурсы теряют часть своих полезных свойств. Кроме того, предлагаемый вариант должен полностью покрывать все множество существующих и перспективных целевых задач функционирования и развития системы КИО.

Учитывая то, что количество возможных структур графа и значений параметров может быть весьма большим, прямой перебор и сравнение всех возможных вариантов по выбранному критерию оптимальности вряд ли реализуемы.

Анализ решаемой задачи показал, что она принадлежит к классу задач дискретной оптимизации.

В настоящее время выделяют целый ряд основных направлений развития методов и соответствующих им алгоритмов дискретной оптимизации, к числу которых относятся [2 – 7]:

- а) методы последовательного сужения множества альтернатив, в том числе полного перебора;
- б) методы линейного и нелинейного программирования;
- в) методы, ориентированные на построении динамической модели и применения принципа максимума;
- г) метод динамического программирования;
- д) методы последовательного улучшения решений.

Методы а, б, в, и г являются специфическими в теории дискретной оптимизации. Они применимы для решения ограниченного класса задач, более простых, чем рассматриваемые в данной работе. Использование этих

методов затруднено в связи с большой размерностью решаемой оптимизационной задачи, невозможно-стью получения априорных данных о характере (виде) оптимизируемой функции (функционале), в том числе выпуклости (вогнутости), количестве локальных экстремумов и т.д.

Известные методы последовательного улучшения решений в своей основе имеют идею такой организации поиска, при которой постепенно выделялись бы все более предпочтительные допустимые решения.

Среди указанного класса методов выделяются следующие:

- методы локального случайного поиска;
- методы ненаправленного глобального случайного поиска (Монте-Карло);
- методы направленного глобального случайного поиска;
- методы, сочетающие алгоритмы глобального случайного поиска и алгоритмы локальной оптимизации.

Наиболее простым в реализации является метод ненаправленного глобального случайного поиска (Монте-Карло). Однако, учитывая большую размерность решаемой задачи и трудоемкость вычислений показателей эффективности процесса развития системы КИО, для ее решения следует искать более экономичные методы, пригодные для ее решения.

В работе [8] при решении задачи обоснования контрольных уровней для поэтапного подтверждения требований к ЭТХ космической системы предложен новый метод направленного глобального случайного поиска с обучением, основанный на байесовской процедуре.

Следует отметить, что указанный выше метод может применяться только при однородности условий про-

ведения статистических испытаний и неизменной структуре исследуемого процесса (сетевой модели). Однако при выборе параметров устойчивого сбалансированного развития системы КИО мы имеем дело с множеством возможных вариантов реализации программы развития, существенно различающихся между собой по структуре. Поэтому для решения данной задачи рассматриваемый метод в чистом виде не применим. Он может использоваться только на отдельных этапах решения задачи структурно-параметрической оптимизации, а именно при оптимизации параметров программы развития системы КИО заданной (фиксированной) структуры.

К числу методов, сочетающих алгоритмы глобального случайного поиска и алгоритмы локальной оптимизации относятся интенсивно разрабатываемые в последнее время эволюционные методы [7], в том числе основанные на использовании:

- генетических алгоритмов;
- алгоритма конкурирующих точек.

Методы, построенные на использовании генетических алгоритмов, являются самыми известными в настоящее время представителями эволюционных методов. Генетические алгоритмы представляют собой алгоритмы поиска оптимальных решений, работающие по схеме естественного отбора в процессе эволюции живых организмов.

Ключевыми операторами данных алгоритмов являются:

- селекция (отбор наиболее пригодных решений по заданному критерию) и уничтожение остальных («нежизнеспособных»);
- репродукция новых экземпляров решений (потомков) со случайными отклонениями характеристик от «родительских» по схеме мутации, инверсии генов, причем более «успешные» экземпляры имеют преимущество и дают больше потомков;
- гибель экземпляров после определенного количества репродукций.

Литература

1. Поповкин В.А. Методический подход к формированию и оценке показателей эффективности процессов функционирования и развития системы космического информационного обеспечения. Журнал «Авиакосмическое приборостроение», 2009 г. (в печати).
2. Растргин Л.А. Статистические методы поиска, «Наука», 1968.
3. Михалевич В.С., Кукса А.И. Методы последовательной оптимизации. –М.: Наука, 1983, 206 с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. –М.: Наука, 1981, 487 с.
5. Таха Х. Введение в исследование операций. Т. 1. – М.: Мир, 1985, 479 с.
6. Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. Теория систем и оптимального управления, ч. 2., МО СССР, 1988.
7. Гладков Л.А., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. Курейчика В.М. – 2 изд., - М ФИЗ-МАТЛИТ, 2006, 320 с.
8. Богданов Ю.В. Проблема повышения эффективности обработки эксплуатационно-технических характеристик РКК и метод её решения. –М.: НИИЦПТ МИА "Двойные технологии", № 2, 2001, с.20–23.

Материал поступил в редакцию 30. 04. 2009 г.

Одним из недостатков генетических алгоритмов является возможность утери в процессе их работы наиболее перспективных вариантов решений («предков»).

Такого недостатка лишен эволюционный метод, основанный на алгоритме конкурирующих точек. Данный алгоритм является одним из наиболее простых и эффективных по сравнению с другими распространенными алгоритмами поиска глобального экстремума. Так, например, трудоемкость поиска (затраты машинного времени) по этому алгоритму на два порядка меньше по сравнению с методом Монте-Карло.

В соответствии с данным алгоритмом поиск глобального экстремума осуществляется несколькими конкурирующими решениями (точками), в нашем случае – различными возможными вариантами реализации программы развития системы КИО. В определенные моменты времени некоторые «худшие» решения бракуются (уничтожаются).

Последовательный локальный спуск (оптимизация) каждого варианта решений (точки) происходит независимо от других решений (точек). И здесь (для каждой конкурирующей точки) возможно использование алгоритмов локальной оптимизации. Но даже при фиксированной структуре программы развития системы КИО (структуре графа $\{G_s\}, s = \overline{1, S}$) мы сталкиваемся с задачей параметрической оптимизации, обладающей высокой размерностью. Поэтому для ее решения, вместо указанных выше алгоритмов локальной оптимизации, предлагается использовать более эффективный метод направленного глобального случайного поиска с обучением, основанный на байесовской процедуре, предложенный в работе [8].

Таким образом, для решения задачи выбора параметров устойчивого сбалансированного развития системы КИО целесообразно применять предложенный модифицированный алгоритм конкурирующих точек, использующий метод направленного глобального случайного поиска с обучением, основанный на байесовской процедуре.