

Основы теории проактивного управления структурной динамикой сложных объектов и ее приложения

Б. В. Соколов

Санкт-Петербургский институт информатики и
автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН);
Университет ИТМО
sokol_boris@inbox.ru

В. В. Алферов¹, В. В. Салухов², И. Ю. Пиманов³

Санкт-Петербургский институт информатики и
автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)
¹komplekt@komplekt.gazprom.ru, ²vsaluhov@bk.ru,
³pimen@list.ru

Аннотация. Предлагаются методологические и методические основы теории проактивного управления структурной динамикой сложных объектов (СЛО) базирующиеся на фундаментальных результатах, полученных в междисциплинарной отрасли системных знаний. В докладе приводятся сведения о разработанных к настоящему времени новых полимодельных комплексах, комбинированных методах, алгоритмах и методиках, позволяющих решать различные классы задач оперативного структурно-функционального синтеза и управления развитием рассматриваемых классов СЛО. В докладе приводятся примеры решения практических задач для таких предметных областей как космонавтика, логистика, промышленное производство

Ключевые слова: проактивное управление; структурная динамика; сложные объекты; комбинированные методы; алгоритмы и методики

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных особенностей современных СЛО является то, что их параметры и структуры на различных этапах жизненного цикла изменяются под действием объективных и субъективных причин. Другими словами, на практике мы сталкиваемся постоянно со структурной динамикой СЛО. В этих условиях для повышения (сохранения) уровня работоспособности и возможностей СЛО, либо обеспечения наилучших условий деградации указанных систем необходимо осуществлять управление их структурами (в том числе управление реконfigurацией структур СЛО). В настоящее время существуют различные варианты управления структурной динамикой СЛО. Среди них можно выделить, в первую очередь: изменение способов, целей функционирования СЛО, их содержания,

последовательности выполнения в различных условиях; перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем СЛО; перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями СЛО; использование гибких(сокращенных) технологий управления СЛО; реконfigurация структур СЛО при их деградации.

Задачи управления структурной динамикой СЛО по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика СЛО и формирования соответствующих программ управления их развитием. Главная трудность и особенность решения задач рассматриваемого класса состоит в следующем. Определение оптимальных программ управления основными элементами и подсистемами СЛО может быть выполнено лишь после того, как станет известен перечень функций и алгоритмов обработки информации и управления, который должен быть реализован в указанных элементах и подсистемах. В свою очередь, распределение функций и алгоритмов по элементам и подсистемам СЛО зависит от структуры и параметров законов управления данными элементами и подсистемами. Трудность разрешения данной противоречивой ситуации усугубляется ещё и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура СЛО на различных этапах ее жизненного цикла.

II. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКОЙ СЛО.

К настоящему времени для описания и решения задач управления структурной динамикой СЛО используются различные методы и модели. При этом можно выделить традиционное описание, основанное на представлении рассматриваемых задач как задач сетевого планирования и управления, а также предложенные ранее варианты динамической интерпретации указанных задач. Однако при реализации данных подходов на практике возникает целый ряд алгоритмических и вычислительных проблем, связанных с большой размерностью, нелинейностью, нестационарностью и неопределённостью соответствующих моделей управления.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), грантов РФФИ (№№ 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073-2018-0003, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP.

В докладе представлен модифицированный вариант динамической интерпретации процессов проактивного управления комплексами операций, описывающих функционирование СЛО. В этом случае нелинейные технологические ограничения задаются не в правых частях дифференциальных уравнений, а при задании области допустимых управляющих воздействий. При этом, используя метод локальных сечений, удалось в явном виде получить множители Лагранжа, с помощью которых указанные ограничения учитываются в моделях проактивного управления структурной динамикой СЛО. Кроме того, в рамках предложенного варианта формализации процессов управления СЛО можно перейти от исходного класса допустимых управлений к расширенному классу, в котором условия релейности управляющих воздействий заменены на интервальные ограничения. Однако, несмотря на это, из-за линейности дифференциальных уравнений и выпуклости области допустимых управлений сами управляющие воздействия принимают булевы значения. Данная особенность позволяет на практике при решении разнообразных задач управления СЛО (в том числе и задач теории расписаний) широко использовать фундаментальные научные результаты современной теории управления. Рассматриваемые теоретические положения были реализованы при разработке прикладной теории проактивного управления структурной динамикой АСУ маломассоразмерными космическими аппаратами (МКА)

При разработке основ теории проактивного управления СЛО ее авторы базировались на двух основополагающих концепциях и технологиях проведения современных системно-кибернетических исследований. В качестве первой концепции и соответствующей технологии была выделена **концепция комплексного (системного) моделирования СЛО**, которая предполагает разработку и реализацию новых принципов, подходов к проведению полимодельного описания рассматриваемых космических средств, а также разработку и комбинированное использование методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных управленческих решений (в том числе и связанных с их реконфигурацией), связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов в различных условиях динамически изменяющейся внешней и внутренней обстановок.

Для реализации данной концепции при разработке модельно-алгоритмического обеспечения каждого экспериментального образца программного модуля были предложены оригинальные полимодельные описания, а также комбинированные методы и алгоритмы манипулирования с данными описаниями при решении конкретных прикладных задач расчета, оценивания и анализа показателей надежности и живучести СЛО в штатных и заданных условиях.

В качестве второй основополагающей концепции была выбрана **концепция и технология проактивного управления СЛО**, к числу которых относятся, в том числе, МКА и наземный комплекс управления (НКУ) (последний используется для расширения возможностей по

проактивному управлению БА МКА в условиях возникновения аварийных и нештатных ситуаций). Проактивное управление, в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления СЛО, ориентированного на оперативное реагирование и последующее недопущение инцидентов, предполагает, как уже указывалось ранее, предотвращение возникновения инцидентов за счет создания в соответствующей системе мониторинга и управления принципиально новых прогнозирующих и упреждающих возможностей при формировании и реализации управляющих воздействий, базирующихся на методологии и технологиях системного (комплексного) моделирования [1–3].

Базируясь на перечисленных концепциях участниками доклада была предложена следующая обобщенная процедура проактивного управления СЛО, которая включает **два основных этапа**.

В соответствии с разработанной обобщенной процедурой решения данной задачи **на первой фазе** должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний СЛО или, говоря другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез нового облика СЛО, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке. В указанной ситуации задачи, решаемые на первой фазе, сводятся к задачам структурно-функционального синтеза СЛО.

На второй фазе исследования задачи выбора оптимальных программ проактивного управления структурной динамикой (ПУСД) СЛО приходится решать целую совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации.

Одно из главных достоинств предлагаемого метода поиска оптимальных программ ПУСД СЛО состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений в финальный момент времени мы, наряду с оптимальным планом, одновременно получаем и то искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором СЛО сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости.

В результате проведенных исследований были разработаны комбинированные методы и алгоритмы решения задач выбора оптимальных программ ПУСД СЛО в централизованном и децентрализованном режимах её функционирования. В качестве базового комбинированного метода предложено использовать сочетание метода ветвей и границ и метода последовательных приближений. Теоретическое обоснование данного метода основано на доказанной теореме о свойствах релаксированной задачи выбора оптимальной программы ПУСД СЛО. Особенности реализации предлагаемого комбинированного метода проиллюстрированы при решении примера [4–5].

В ходе выполненных исследований была проведена классификация и анализ возмущающих факторов, оказывающих влияние на функционирование сложной

технической системы, предложены пути учёта возмущающих факторов в моделях ПУСД. Наиболее перспективным путём учёта факторов неопределённости (возмущающих факторов) в моделях ПСД СлО является путь, в котором комплексно используются все адекватные способы и формы представления данных факторов. При этом комплексное исследование возможностей по управлению СлО, при достаточно широком их толковании, включает в себя как оценивание функционирования СлО в нормальных режимах, так и оценивание возможного поведения системы в экстремальных ситуациях, в том числе и оценивание «возможностей» возникновения возмущающих воздействий, разрушающих систему. В этом случае исследование функционирования СлО должно включать в себя следующие этапы [4–5]:

- а) выявление всех возможных вариантов сценариев изменения внешней обстановки, в которых может применяться СлО, включая экстремальные ситуации и воздействия, могущие вызвать катастрофические последствия, связанные с этими ситуациями;
- б) анализ поведения СлО в обычных условиях функционирования на основе априорной вероятностной информации (если такая имеется), проведение имитационного моделирования, обработки экспертной информации с использованием теории субъективной информации и теории нечётких множеств;
- с) те же действия, что и в пункте «б» для всех основных экстремальных ситуаций, нахождение гарантированных оценок результатов функционирования СлО в этих ситуациях;
- д) нахождение обобщённых (интегральных) оценок эффективности управления структурной динамикой СлО.

При исследовании задачи 2 были предложены алгоритмы параметрической и структурной адаптации моделей ПУСД СлО, основанные на методах нечёткой

кластеризации и анализа иерархий, методах аналитико-имитационного моделирования.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время происходит становление рассматриваемой в докладе теории проактивного мониторинга и управления СлО. Научная новизна результатов, полученных авторами доклада, базируется на оригинальной динамической интерпретации процессов управления СлО, обеспечившей повышение гибкости и адаптивности указанных процессов. В докладе основные аспекты разработанной прикладной теории, иллюстрируются на примере решения задачи оперативного планирования работы космических средств и реконфигурации их структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ахметов Р.Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Концепция автономного управления живучестью автоматических космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в аномальных ситуациях // Известия самарского научного центра РАН, 2009, №3-1, т.11. С. 165-176.
- [2] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
- [3] Международный проект – СЧ НИР «Мониторинг – СГ-1.4.1-1» - Разработка методического обеспечения и экспериментального программного комплекса для анализа и прогнозирования надёжностных характеристик бортовой аппаратуры маломассогабаритных космических аппаратов на различных этапах жизненного цикла» Заказчик: «НИИ КС имени А.А. Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.
- [4] Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. №5. С. 1–15.
- [5] Павлов А.Н. Комплексное моделирование структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов / А.Н. Павлов // Труды СПИИРАН. 2013. Выпуск № 5. С. 143–168.