

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В УПРАВЛЕНИИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Н.Л. СОКОЛОВ, *ст. науч. сотрудник, зам. нач. ЦУП ЦНИИмаш, канд. техн. наук,*
И.А. СЕЛЕЗНЕВА, *вед. инженер ЦУП ФГУП ЦНИИмаш,*
Ю.А. КОРНИЕНКО, *вед. инженер ЦУП ФГУП ЦНИИмаш*

sokolov@mcc.rsa.ru, acad10@mail.ru

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш)
141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Эффективность управления космическими аппаратами во многом зависит от принятия правильных и оперативных решений по выдаче командных воздействий на бортовую аппаратуру КА. Практика показывает, что в ряде случаев только выдача команд немедленного исполнения позволяет предотвратить развитие негативных ситуаций. Качество решения таких задач существенно повышается при использовании интеллектуальных систем управления. В статье приводится структура интеллектуальной системы, где наряду с традиционными блоками, базой знаний и машиной логических заключений введены новые элементы: блок моделирования и прогнозирования состояния бортовой аппаратуры, блок идентификации полетных ситуаций. Основным блоком системы следует определить базу знаний, включающую базу данных и совокупность решающих правил. Блок моделирования и прогнозирования предназначен для определения эталонных характеристик состояния бортовых систем при «идеальном» исполнении выдаваемых на борт КА командных воздействий. Блок идентификации полетных ситуаций позволяет оценить количественные характеристики реального состояния КА и окружающей среды по сравнению с расчетными. Машина логических заключений предназначена для проведения автоматизированного поиска последовательности выдаваемых командных воздействий, обеспечивающих выход из нештатных ситуаций. Заложенные в интеллектуальную систему возможности идентификации и прогнозирования полетных ситуаций обеспечивают принятие оперативных управленческих решений, в том числе в условиях быстроменяющихся полетных ситуаций. Разработаны общие принципы взаимодействия структурных элементов системы в процессе выработки рекомендаций по принятию управленческих решений. Приводятся примеры формирования интеллектуальных технологических циклов при парировании возникающих нештатных ситуаций. Внедрение интеллектуальных систем в практику обеспечит значительный резерв в повышении оперативности, надежности и эффективности управления и эксплуатации КА.

Ключевые слова: интеллектуальная система, управление, космический аппарат, база знаний, машина логических заключений, блок идентификации нештатных ситуаций, блок моделирования и прогнозирования состояния бортовой аппаратуры, принятие решений.

В настоящее время во многих странах мира все более широкое применение в различных областях научно-технической деятельности находят интеллектуальные системы управления (ИСУ). С использованием ИСУ также связаны большие перспективы в повышении качества и надежности осуществления космических миссий.

Так, при осуществлении полетов дальнего космоса безальтернативным вариантом управления КА в масштабе времени, близком к реальному, является применение интеллектуальных систем. В условиях отсутствия оперативного взаимодействия с наземными станциями только автономно принятые решения и срочное их исполнение позволит успешно выполнить программы полета КА.

Интеллектуальные системы приобретают важное значение при управлении КА ближнего космоса, особенно в процессе парирования нештатных ситуаций. Практика управления КА показывает, что в ряде слу-

чаев только своевременная выдача в сеансах связи с КА команд немедленного исполнения позволяет предотвратить развитие нештатных ситуаций. При этом возникает необходимость в условиях жестких временных ограничений (продолжительность сеансов связи с КА, движущимися на высотах менее 1000 км, составляет не более 15 минут) провести оперативный анализ и диагностику состояния бортовых систем КА, идентифицировать содержание нештатной ситуации, определить парирующую программу управления, выдать ее на борт КА и оценить факт исполнения командных воздействий.

Анализ отечественных и зарубежных материалов показал отсутствие общего методологического подхода к созданию высокоэффективных интеллектуальных систем управления. Известен ряд работ, где приводятся примеры решения лишь частных задач с использованием интеллектуальных систем в процессе управления КА

[1–5, 8, 9]. В этих работах описывается система парирования нештатных ситуаций и оптимального управления КА Deep Space One [8], рассмотрена система Optimum-AIV [9], исследуются вопросы диагностики работоспособности бортовой аппаратуры КА и выработки рекомендаций по устранению нештатных ситуаций [1, 2], приводится обоснование архитектуры и управляемости дискретных динамических систем [3, 4], представлены варианты базы знаний и основные алгоритмы функционирования интеллектуальных систем [5].

Следует отметить, что общей тенденцией развития ИСУ является создание средств и методов, направленных на достижение задаваемых целей управления в условиях динамически меняющихся полетных ситуаций. При этом одним из важнейших условий достижения заданных целей является эффективная идентификация текущего состояния КА и внешней среды. Кроме того, ИСУ должна обеспечивать возможность оперативного формирования и реализации (при необходимости) корректирующих программ управления, направленных на парирование негативных факторов.

Анализ создания динамических ИСУ показал, что, несмотря на определенные различия в структурном построении этих систем, их общим элементом является база знаний, а основным условием принятия эффективных управленческих решений – создание и развитие базовых решающих правил. Это позволяет обеспечить координацию всех элементов системы в процессе управления объектом и

планирования операций в условиях динамически изменяющихся полетных ситуаций.

Структура интеллектуальной системы

Основным блоком интеллектуальной системы, представленной на рисунке, является база знаний, включающая базу данных и совокупность решающих правил.

База данных представляет собой программную структуру, содержащую множество событий S в виде объектов O , атрибутов A и их значений $Z: S = \langle O, A, Z \rangle$. Например, событие «угол атаки космического аппарата в системе управления движением равен 20° » включает атрибут «угол атаки», объект – «система управления движением» и значение – 20° . Решающие правила $S(U)$ устанавливают соотношения между событиями и действиями в виде: «если S , то U ». В общем случае одно правило может соответствовать наступлению нескольких событий. Выполнение правил направлено на достижение целей функционирования интеллектуальной системы, обозначенных в исходных данных.

Блок идентификации полетных ситуаций предназначен для определения характеристик текущего положения КА и состояния бортовой аппаратуры, их сравнения с прогнозируемыми параметрами, выявления признаков возникновения нештатных ситуаций и необходимости корректировки программ управления.

Блок моделирования и прогнозирования функционирования КА предназначен для определения эталонных характеристик состояния бортовых систем при «идеальном» ис-

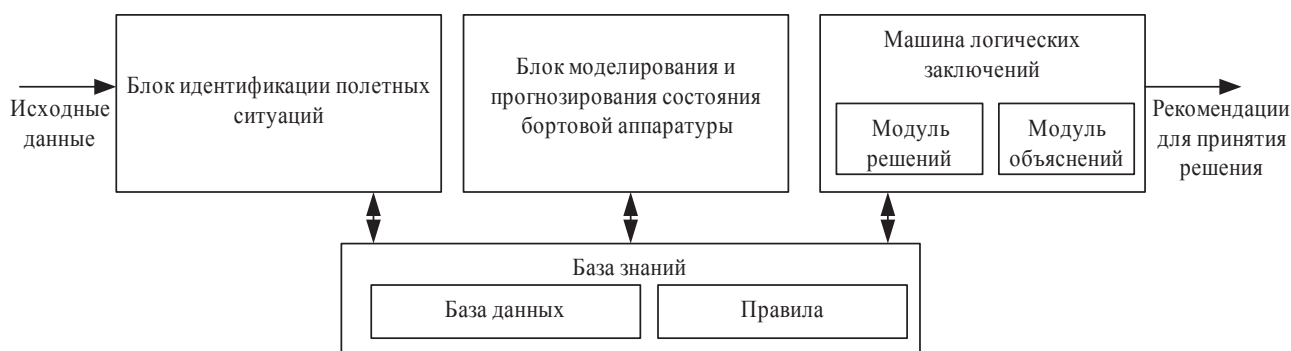


Рисунок. Интеллектуальная система
Figure. Intellectual system

полнении выдаваемых на борт КА командных воздействий. Эти эталонные характеристики сравниваются с реальными параметрами бортовой аппаратуры на основе анализируемой телеметрической информации. По результатам сравнения делаются выводы об исполнении программ управления КА и о состоянии работоспособности бортовой аппаратуры.

Машина логических заключений включает в себя модуль поиска решений и модуль объяснения хода решений. Модуль решений осуществляет автоматизированный поиск последовательности принимаемых решений по выходу из возникающих нештатных ситуаций. Модуль объяснений последовательно информирует оператора системы о логике всех шагов решения задач.

Исходными данными, поступающими на систему, являются предполагаемые к выдате на борт КА программы управления, данные о параметрах бортовых систем, телеметрическая информация о состоянии бортовой аппаратуры КА. Выходными данными являются рекомендации для принятия решений по устранению нештатных ситуаций.

Общие принципы формирования базовых решающих правил

Основой формируемой базы знаний и важнейшим фактором построения эффективных ИСУ является создание совокупности базовых решающих правил, определяющих логические соотношения между идентифицированными полетными состояниями КА и программами управления, обеспечивающими нахождение бортовых систем в работоспособном состоянии.

Прежде всего, такие соотношения формируются на основе эксплуатационной документации на КА при возникновении идентифицированных нештатных ситуаций. Кроме того, осуществляется расширение поля соотношения $S(U)$ за счет:

- создания новых комбинаций командных воздействий, не предусмотренных эксплуатационными документами. Например, для компенсации возможных несанкционированных включений элементов бортовой аппаратуры, а также для повышения надеж-

ности их планируемых отключений при управлении КА «Метеор-3М» был разработан ряд циклограмм типа «Сторож»;

- идентификации вновь возникающих нештатных ситуаций в процессе эксплуатации КА и поиск новых программ управления для парирования этих ситуаций;

- имитации процессов функционирования бортовых систем при воздействии на КА различных программ управления. В результате осуществляется выборка соотношений $S(U)$, представляющих интерес с точки зрения восстановления работоспособности КА;

- поиска нетрадиционных способов управления. Например, использование поворотов панелей солнечных батарей для управления системой ориентации КА «Океан-О».

Во всех рассмотренных случаях, кроме последнего, происходит расширение поля соотношений $S(U)$ в условиях детерминированной модели состояния работоспособности бортовых систем. В последнем случае параметры решающих правил корректируются в зависимости от сложившихся ситуаций.

Вместе с тем могут возникать такие полетные ситуации, при которых практически невозможно заранее сформулировать решающие правила. Например, при входе в атмосферу планеты условия полета КА могут отличаться от номинальных в достаточно широких пределах по значительному числу параметров: крутизне траектории, скорости полета, нарастанию перегрузки, плотности атмосферы и т. д. Число сочетаний всех возможных отличительных вариантов практически не ограничено, и заранее определить все соответствующие корректирующие программы управления не представляется возможным. Для этих случаев решающие правила составляются в виде конечных аналитических зависимостей, определяющих квазиоптимальные управляющие воздействия как функцию от текущих траекторных параметров КА.

Блок идентификации полетных ситуаций

Блок предназначен для определения характеристик текущего положения КА, состояния работоспособности бортовых сис-

тем и оценки параметров внешней среды. Для этого могут быть применены различные бортовые измерительные средства: датчики угловых скоростей, звездные датчики, инфракрасные вертикали, гироскопические системы и т. д. При исследовании планет Солнечной системы представляется эффективным использование бортовых средств определения скоростных перегрузок, действующих на космический аппарат, и алгоритмов расчета кажущейся скорости движения КА в атмосфере V_s . По интенсивности нарастания величины V_s можно сделать выводы об изменении плотности атмосферы, крутизне траекторий спуска, высоте полета КА.

Кроме того, с помощью блока осуществляется сравнение реальных текущих параметров движения КА с прогнозируемыми, выявление признаков возникновения и развития нештатных ситуаций. В результате выявляется необходимость в выработке управляющих воздействий для корректировки траектории полета КА.

Полученные с помощью блока идентификации полетной ситуации результаты являются исходными для формирования решающих правил и прогнозирования состояния бортовой аппаратуры.

Блок моделирования и прогнозирования состояния бортовой аппаратуры

Блок моделирования и прогнозирования формируется последовательно в два этапа. На первом этапе составляется общая структура блока с учетом особенностей построения бортовой аппаратуры КА. Приводится описание всех бортовых систем КА. Для каждой системы описываются:

- состав, структура, комплектность;
- перечень и параметры предусматриваемых функциональных режимов;
- телеметрические параметры, их номинальные и допустимые значения;
- управляющие воздействия, подаваемые на систему в виде разовых и программных команд;
- ограничения на последовательность выдаваемых команд и временные интервалы между командами;

– запреты на выдачу командных воздействий.

С учетом того, что номинальные состояния бортовых систем определяются режимами командных воздействий на эти системы, прежде всего прогнозируются «эталонные» состояния бортовой аппаратуры, характеризующие совокупностями телеметрических параметров в зависимости от режимов выдаваемых командных воздействий.

В результате создаваемый блок моделирования и прогнозирования обеспечивает возможность для любого набора допустимых, распределенных по времени командных воздействий $U(t)$, дать описание изменения состояния бортовых систем, т. е. смоделировать «идеальный» вариант функционирования систем при отсутствии ошибок в управлении, неисправностей в работе аппаратуры и случайных возмущающих факторов.

Структура блока предусматривает возможность автоматизированных проверок на принадлежность команд допустимому множеству и на логику выдаваемых последовательностей управляющих воздействий. Существует возможность корректировки исходных данных, в том числе добавления новых режимов управления, внесения дополнительных ограничений на логику выдаваемых команд; хранения, архивации, документирования и графического отображения информации о состоянии бортовых систем.

Таким образом, использование блока моделирования и прогнозирования позволяет получить последовательность эталонных значений телеметрических параметров в процессе имитации подаваемых на борт КА командных воздействий $U(t)$.

На следующем этапе с целью интерпретации и диагностики работоспособности бортовой аппаратуры проводится посистемный сравнительный анализ эталонных вариантов телеметрических параметров с реальными, получаемыми в сеансах связи с КА.

Интерпретация состояния работоспособности бортовых систем выражается в выявлении или отсутствии признаков возникновения нештатных ситуаций для системы в целом. Предусматривается возможность

детального анализа работоспособности отдельных элементов, входящих в состав бортовой системы, что дает возможность определять те элементы, которые являются причиной нарушения нормального функционирования системы.

Диагностика работоспособности бортовой аппаратуры включает:

- Выявление негативных тенденций в работе как отдельных элементов, так и бортовой системы в целом, в том числе для элементов, находящихся в работоспособном состоянии. Например, выявление устойчивого роста (или снижения) характеристик температурных режимов, увеличение времени заряда химической батареи, уменьшение мощности выходных сигналов при передаче с борта КА телеметрической и целевой информации и др.

- Прогнозирование интервалов времени нормальной работоспособности бортовой аппаратуры без использования корректирующих управляющих воздействий.

- Предварительное выявление возможных причин негативных тенденций. Например, превышение объема наработок бортовой аппаратуры сверх гарантированных эксплуатационных параметров, повышении интенсивности эксплуатации систем и др.

- Выявление взаимно коррелированных процессов (в том числе негативных) при функционировании различных бортовых систем.

В результате выполнения вышеперечисленных функций дается объективная оценка работоспособности бортовой аппаратуры с предполагаемой динамикой развития процессов на борту КА и прогнозируется время нормальной работы элементов аппаратуры, выявляются «проблемные» звенья в бортовых системах КА.

Формирование логических зависимостей

Целью формирования логических зависимостей является поиск и описание причин возникновения и способов устранения возникающих нештатных ситуаций при управлении КА. Процесс составления логических зависимостей включает нахождение

неисправно работающих элементов бортовой аппаратуры, выявление возможных причин нарушения нормального функционирования КА, формирования и обоснования программ управления, парирующих возникающие неисправности.

Входными данными, поступающими на машину логических заключений (рисунок), является информация из базы знаний о перечне идентифицированных решающих правил и из блока моделирования состояния бортовой аппаратуры о прогнозируемых реакциях КА на подаваемые командные воздействия. Машина логических заключений включает модуль поиска решений и модуль объяснения хода решений.

Суть построения логических зависимостей состоит в автоматизированном пошаговом поиске комбинаций решающих правил с последовательным прогнозированием состояния работоспособности бортовой аппаратуры с учетом исполнения предлагаемых комбинаций командных воздействий. Процесс разработки логических зависимостей завершается при определении такой программы управления, при которой прогнозируемые телеметрические параметры КА либо приходят в нормальные состояния, либо наиболее близки к нормальному состоянию.

Приведем пример разработки логических зависимостей при управлении системой ориентации КА «Океан-О». В процессе управления КА оказалась неэффективной штатная схема разгрузки двигателя-маховика в канале тангажа при возникновении сильных магнитных бурь [6, 7].

Для обеспечения поддержания ориентации КА «Океан-О» была предложена новая схема разгрузки двигателя-маховика, основанная на проведении периодических коррекций положения солнечных батарей (СБ). Был организован автоматизированный технологический цикл по принятию решений в многомерной задаче, целевая функция которой включает:

1. Поддержание ориентации КА.
2. Обеспечение требуемого энергобаланса.

3. Выполнение заданной программы полета.

Решение этих задач носит компромиссный характер. Так, выполнение третьей задачи реализуется только при необходимом режиме энергопотребления, что достигается лишь в определенных диапазонах значений углов поворота солнечной батареи. Однако при некоторых значениях этих углов невозможно поддержание необходимой ориентации КА. В таких случаях приоритет в принятии управленческих решений отдается решению первой задачи с необходимой коррекцией программы получения целевой информации.

Для организации цикла интеллектуального поиска в базу знаний был введен комплекс новых базовых решающих правил, позволяющих установить логические условия между состояниями вращения двигателей-маховиков и выдаваемыми командами [10].

Правило 1, определяющее условия, при которых поворот солнечной батареи не осуществляется

S_1 – телеметрический параметр

$$V_z \geq -6 \text{ Нмс};$$

$$S_2 - V_z \leq 6 \text{ Нмс};$$

$$S_3 - \Delta V_z \geq 0,8 \text{ Нмс/вит.}$$

Если $(S_1 \wedge S_3) \vee (S_2 \wedge S_3)$, то $\Delta УНП = 0$ изменение положения СБ равно нулю.

Рекомендация: поворот СБ не осуществляется.

Здесь V_z – значение кинетического момента, создаваемого двигателями-маховиками в канале тангажа (предельное значение $V_z = \pm 20 \text{ Нмс}$),

$$\Delta V_z = (V_{zn} - V_{zm}) / (n - m),$$

ΔV_z – изменение значения V_z в период от витка n до текущего витка m .

Правило 2, определяющее условия, при которых положение солнечной батареи необходимо изменить.

$$S_1 - V_z < -6 \text{ Нмс}; S_2 - V_z > 6 \text{ Нмс};$$

$$S_3 - \Delta V_z > 0,8 \text{ Нмс}.$$

Если $S_1 \vee S_2 \vee S_3$
то $\Delta УНП \neq 0$.

Правило 3, определяющее параметры поворота СБ.

Если $\Delta УНП \neq 0$,

$$\text{то } \Delta УНП = 20 V_z, \Delta t = \Delta УНП / V.$$

Рекомендации: выдача разовой команды (РК) на поворот СБ вправо (влево), через расчетное время Δt , выдача РК на остановку движения СБ.

Здесь V – скорость поворота СБ.

Правило 4, определяющее достаточность энергетического режима КА для выполнения программы полета.

Если $W_{TP}(P) > W_{real}(УНП, T_z)$,

то необходимо сократить объем задействованной бортовой аппаратуры КА и (или) снизить расчетное время ее работы с целью уменьшения энергопотребления КА.

Здесь $W_{TP}(P)$ – требуемое энергопотребление КА для выполнения программы полета P , включающей работу бортовой аппаратуры P_i в течение времени t_i .

$W_{real}(УНП, T_z)$ – реальное энергопотребление на КА при угле поворота СБ, равном $УНП$ в течение времени T_z работы бортовой аппаратуры.

Значения W_{TP} и W_{real} вычисляются с применением разработанного специального программно-математического обеспечения базы данных.

Правило 5, определяющее корректировку программы полета КА.

Если необходима корректировка программы полета, то

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} P_{ia} t_i,$$

применить правило 4.

Применение правила 5 носит итерационный характер: последовательно исключаются фрагменты бортовой аппаратуры, новая программа полета с измененным составом аппаратуры проверяется на достаточность энергобаланса с использованием правила 4.

Рекомендация: выдача разовых команд, отключающих работу отдельных блоков аппаратуры.

В результате, для имевших место неидентифицированных нештатных ситуаций с КА «Океан-О» дается описание процесса формирования управленческих решений

КА по их устранению. Несмотря на то, что описанный случай является уникальным в практике управления автоматическими КА, рассматриваемый подход к разработке интеллектуальных технологических циклов и логических заключений может быть распространен для принятия решений при управлении другими КА.

Заключение

Приведены примеры эффективного применения интеллектуальных систем для поддержки принятия решений при управлении КА, в том числе при возникновении нештатных ситуаций. Дается обоснование перспективных направлений развития ИСУ. Описывается новое структурное построение системы. Система состоит из четырех основных блоков: блока идентификации полетных ситуаций, предназначенного для сравнения текущих состояний КА и внешней среды от прогнозируемых; блока моделирования и прогнозирования состояния бортовой аппаратуры КА, позволяющего оценить динамику развития тенденций (в том числе и негативных) функционирования элементов КА; базы знаний, содержащей непрерывно накапливающееся поле соотношений между состояниями бортовых систем КА и базовыми решающими правилами; машины логических заключений, разрабатывающей и обосновывающей суть рекомендаций по устранению нештатных ситуаций.

Заложенные в систему возможности прогнозирования различных динамических режимов движения КА дают возможность принятия оперативных решений, в том числе в условиях быстро меняющихся ситуаций с КА и в условиях неопределенности.

К элементам интеллектуальной новизны системы следует отнести нацеленность многоэтапного процесса формирования логических заключений на достижения задаваемых целей управления, составление решающих правил в виде аналитических зависимостей от текущего положения КА, а также возможность автоматизированной идентификации вновь возникающих нештатных ситуаций и последовательного

накопления базы знаний. Это существенно расширяет возможности по принятию управленческих решений.

Внедрение интеллектуальных систем в практику управления автоматическими КА обеспечит значительный резерв в повышении надежности и эффективности управления и эксплуатации КА.

Библиографический список

1. Соколов, Н.Л. Основные принципы диагностики работоспособности бортовой аппаратуры автоматических КА и выработки рекомендаций по устранению нештатных ситуаций / Н.Л. Соколов // Успехи современного естествознания. Журнал Российской академии естествознания. – №6. – 2007. – С. 16–20.
2. Соколов, Н.Л. Динамическая интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении автоматических космических аппаратов / Н.Л. Соколов // Отраслевая науч.-техн. конф. приборостроительных организаций Роскосмоса. Информационно-управляющие и измерительные системы, 2011. – С. 56–61.
3. Лебедева, Т.Г. Архитектура и управляемость дискретных автоматических систем, основанных на знаниях / Т.Г. Лебедева, Г.С. Осипов // Известия российской академии наук: Теория и системы управления, 2000. – № 5. – С. 703–709.
4. Власюк, В.А. Синтез иерархической структуры управления в больших системах / В.А. Власюк, И.С. Моросанов // Автоматика и телемеханика, 1973. – № 3. – С. 110–120.
5. Осипов, Г.С. Динамические интеллектуальные системы. Представление знаний и основные алгоритмы. Моделирование целенаправленного поведения / Г.С. Осипов, Л.Ю. Жиликова, А.Н. Виноградов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, 2002. – № 6. – С. 119–127.
6. Иванов, Н.М. «Океан-О»: два года полета / Н.М. Иванов, Н.Л. Соколов // Земля и Вселенная, 2002. – № 1. – С. 3–13.
7. Удалой, В.А. Особенности управления КА «Океан-О» в условиях сильных магнитных бурь / В.А. Удалой, Н.М. Иванов, Н.Л. Соколов // Международный симпозиум. Аэрокосмические технологии. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 27–30.
8. Бочаров, Л.А. Организация поисковых исследований в обеспечении интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению КА / Л.А. Бочаров, Н.Л. Соколов, В.А. Удалой // II международная конференция по программным вычислениям и обработке данных в задачах системного анализа, принятия решений в управлении, 2003. – С. 172–175.
9. Williams B., Noyak P.A. Reactive Planner for a Model-Based Execution. Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-15). Menlo Park, California, 1997, pp. 1178–1185.
10. Aarup M., Arentoft M., Parrod Y. Optimum-AIV: A Knowledge-Based Planning and Scheduling System for Spacecraft AIV. Intelligent Scheduling. Zweben M., Fox M.: Morgan Kaufmann. 1994, pp. 451–496.

THE USE OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR SPACE VEHICLES CONTROL

Sokolov N.L., senior researcher, deputy head of MCC TsNIIMash, Ph.D (Tech.); **Selezneva I.A.**, chief engineer of the MCC TsNIIMash; **Kornienko Y.A.**, chief engineer of the MCC TsNIIMash

sokolov@mcc.rsa.ru, acad10@mail.ru

Central Research Institute of Machine Building (TsNIIMash), 4, st. Pioneer, Korolev, Moscow region, 141070, Russia

The efficiency of spacecraft control to a large extent depends on the coordinated and operational decisions for issuing commands to the spacecraft onboard equipment. According to the practice, in a number of cases only the immediate command issuing prevents the negative situations. The quality of the solution of such tasks considerably increases with the use of intelligent control systems. In the article the structure of the intelligent system is presented which, alongside with the traditional units, the knowledge base and the inference machine, has new elements: the unit of simulation and prediction of space vehicle equipment's state and the unit of identification of flight situations. The knowledge base must be defined as the main unit of the system including the data base and the set of decision rules. The unit of simulation and prediction is designed for determination of the standard characteristics of onboard systems state under «ideal» execution of commands issued onboard of the space vehicle. The unit of identification of flight situations is designed for determination of quantity characteristics of spacecraft current state and the environment in comparison with the predicted ones. The inference machine is designed for an automated search of command issuing sequence to provide the solution of contingency cases. The possibilities of identification and prediction of flight situations included in the intelligent system provide operational control decision-making also in the conditions of rapidly developing flight situations. The general interaction principles of structural elements of the system during control decision-making have been elaborated. There are examples of technological cycles formation in the process of contingencies counteracting. The practical application of intelligent systems will provide considerable backup for operability and reliability growth and efficiency of control and operation of space vehicles.

Keywords: Intelligent system, control, space vehicle, knowledge base, the inference machine, the unit of contingencies identification, the unit of simulation and state prediction of space vehicle onboard equipment's state, decision-making.

References

1. Sokolov N.L. *Osnovnye printsipy diagnostiki rabotosposobnosti bortovoy apparatury avtomaticheskikh KA i vyrabotki rekomendatsiy po ustraneniyu neshtatnykh situatsiy* [The main principles of diagnostics of automated SC onboard equipment's efficiency and recommendations to eliminate the contingency cases]. The success of modern natural science. The Journal of the Russian Academy of Natural Sciences, 2007, no. 6, pp. 16-20.
2. Sokolov N.L. *Dinamicheskaya intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov* [The dynamic intellectual system of decision-making support during the control of automated spacecraft]. Industry scientific and technical conference of instrument engineering organizations of Roscosmos, 2011, pp. 56-61.
3. Lebedeva T.G., Osipov G.S. *Arkhitktura i upravlyaemost' diskretnykh avtomaticheskikh sistem, osnovannykh na znaniyakh* [Architecture and controllability of discrete automated systems based on the knowledge]. Izvestiya rossiyskoy akademii nauk: Teoriya i sistemy upravleniya [Izvestia of the Russian Academy of Science: control theory and systems], 2000, no.5, pp.703-709.
4. Vlasjuk B.A., Morosonov I.S. *Sintez ierarhicheskoy struktury upravleniya v bol'shikh sistemakh* [Design of hierarchical structure of control in large systems]. Avtomatika i telemekhanika [Automatics and telematics], 1973, no. 3, pp. 110-120.
5. Osipov G.S., Zhilyakova L.Yu., Vinogradov A.N. *Dinamicheskie intellektual'nye sistemy. Predstavlenie znaniy i osnovnye algoritmy. Modelirovanie tselenapravlennoy povedeniya* [Dynamic intellectual systems. Knowledge representation and main algorithms. Simulation of purposeful behaviour]. Izvestiya rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya [Izvestia of the Russian Academy of Science: control theory and systems], 2002, no. 6, pp.119-127.
6. Ivanov N.M., Sokolov N.L. *«Okean-O»: dva goda poleta* [«Okean-O»: two years of flight]. Zemlya i vseennaya [The Earth and Universe], 2002, no. 1, pp. 3-13.
7. Udalay V.A., Ivanov N.M., Sokolov N.L. *Osobennosti upravleniya KA «Okean-O» v usloviyakh sil'nykh magnitnykh bur'* [The specific features of «Okean-O» spacecraft control in the conditions of strong magnetic storms]. International symposium. Aerospace technologies. Saint-Petersburg, 2002, pp. 27-30.
8. Williams B., Noyak P.A. Reactive Planner for a Model-Based Execution. Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-15). Menlo Park, California, 1997, pp. 1178-1185.
9. Aarup M., Arentoft M., Parrod Y. Optimum-AIV: A Knowledge-Based Planning and Scheduling System for Spacecraft AIV. Intelligent Scheduling. Zweben M., Fox M.: Morgan Kaufmann, 1994, pp. 451-496.
10. Bocharov L.A., Sokolov N.L., Udalay V.A. *Organizatsiya poiskovykh issledovaniy v obespechenii intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu KA* [Organization of an intellectual searching to support vehicles control]. Second International Conference on Soft Computing and Computing with Words in System Analysis, Decision and Control, 2003. pp. 172-175.