

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 629.78.086

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕАНСОВ СВЯЗИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

*Д.А. Калашиников¹, В.А. Соловьев¹, П.О. Скобелев^{3,5}, Е.В. Симонова²,
Д.И. Тихонов^{4,5}, В.Н. Ворожейкин⁵*

¹ ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»
Россия, 141070, Московская обл., Мытищинский р-н, г. Королёв, ул. Ленина, 4а

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

³ Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
Россия, 443020, г. Самара, ул. Садовая, 61

⁴ Научно-производственная компания «Разумные решения»
Россия, 443013, г. Самара, Московское шоссе, 17 (ТОЦ «Вертикаль»), оф. 1201

⁵ Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: esib@samgtu.ru

Рассматривается пример применения метода адаптивного планирования сеансов связи для выполнения коррекции орбиты международной космической станции (МКС). Предлагается описание сценария коррекции орбиты МКС и критериев его планирования. Строится концептуальная модель планирования полетных операций, описания критериев и ограничений выполнения задач в групповой полетной операции. Описываются входные и выходные данные. Моделируется сценарий коррекции орбиты МКС.

Дмитрий Алексеевич Калашиников, начальник отдела анализа работы и обеспечения эксплуатации бортовых радиотехнических систем и технических средств наземного комплекса управления космических аппаратов и средств выведения.

Владимир Алексеевич Соловьев (д.т.н., проф.), член-корр. РАН, первый заместитель генерального конструктора.

Петр Олегович Скобелев (д.т.н.), заведующий кафедрой «Электронные системы и информационная безопасность» Самарского государственного технического университета, старший научный сотрудник Института управления сложными системами РАН.

Елена Витальевна Симонова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационные системы и технологии».

Денис Игоревич Тихонов, аспирант.

Владимир Николаевич Ворожейкин (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность».

Ключевые слова: космический аппарат (КА), отдельный командно-измерительный комплекс (ОКИК), оптимизация, надежность моделирования, экономичность, сеансы связи, группировка КА, ЦУП, МКС, мультиагентные технологии, онтология.

В настоящей статье рассматривается применение метода адаптивного планирования сеансов связи центра управления полетом (ЦУП) с космическим аппаратом (КА) [1], в постановке задачи, изложенной в работе [2], для выполнения модельного сценария коррекции орбиты международной космической станции (МКС).

Как отмечается в статьях [3-5], применение мультиагентного подхода позволяет строить оперативные расписания распределения задач и ресурсов, которые могут гибко в режиме реального времени перестраиваться при изменении критериев планирования или появлении непредвиденных событий. Под событиями в данном контексте понимается возникновение новой задачи, выход из строя ресурса, например отдельного командно-измерительного комплекса (ОКИК), сбой и невыполнение запланированного сеанса связи и т. п., т. е. такие события, которые приводят к изменению текущей ситуации, коррекции программ полета КА и необходимости перепланирования задействования технических средств ОКИК для построения расписаний сеансов связи и передачи данных при обеспечении контролируемой надежности и экономичности сеансов связи.

Под гибкостью и оперативностью реакции на событие понимается свойство мультиагентной системы, позволяющее на основе присущей ей самоорганизации инкрементально улучшать распределение задач по ресурсам, даже после таких разрушающих воздействий на построенное расписание, как выход из строя ресурса [6]. На рис. 1 приведен пример восстановления системы после выхода из строя ресурса.



Рис. 1. График состояний прототипа системы планирования при вводе события выхода из строя ресурса, участвующего в планировании (техническое средство ОКИК): 1 – ввод события о выходе из строя тех. средства; 2 – скачкообразное достижение локального минимума удовлетворенности агентов; 3 – восстановление расписания при новых условиях

Последнее свойство позволяет обоснованно применять мультиагентные самоорганизующиеся системы для решения задач, в которых требуется обеспечение заданного уровня надежности и экономичности при построении расписания сеансов связи.

Решение задачи планирования сеансов связи ЦУП с КА через наземные станции сети ОКИК относится к подобному классу задач. Далее рассмотрим

пример применения метода адаптивного планирования сеансов связи для выполнения коррекции орбиты международной космической станции (МКС) при выходе из строя технического средства ОКИК.

1. Сценарий коррекции орбиты МКС и критерии планирования

Поскольку выполнение маневра по коррекции орбиты МКС является сложной задачей, состоящей из нескольких последовательных полетных операций, существует разработанная практика, описывающая условия, критерии и ограничения по выполнению групповой полетной операции (ГПО) по коррекции орбиты МКС.

ГПО «Коррекция орбиты МКС» состоит из пяти последовательных основных полетных операций, каждая из которых выполняется по своему технологическому процессу и влияет на выполнение последующих полетных операций.

Важно отметить, что в любой ГПО существует определенная полетная операция, которая имеет первостепенную важность, от нее идет планирование; размещение остальных ПО начинается только после того, как наиболее важная операция заняла свое место в расписании. В сценарии коррекции орбиты МКС такой полетной операцией является «Импульс коррекции орбиты».

Первая полетная операция – «Уточнение параметров орбиты». Выполняется за 3 витка до импульса коррекции орбиты. Ограничение в 3 витка до импульса требуется по следующим причинам: для того чтобы узнать точные параметры орбиты МКС, необходимо получить шесть интервалов измерений радиоконтроля орбиты (РКО). Для этого применяются следующие два типовых варианта резервирования этих интервалов:

- 1) получение РКО с трех ОКИК в течение двух витков;
- 2) получение РКО с двух ОКИК в течение трех витков.

Вторая полетная операция – «Закладка командно-программной информации» (КПИ). Выполняется за 1 виток до импульса коррекции орбиты. Ограничение в 1 виток до импульса служит для создания возможности реализации резервирования по ОКИК и повышения надежности закладки КПИ на борт МКС.

За 1 виток до импульса коррекции орбиты возможны следующие варианты закладки КПИ на борт МКС (каждый последующий вариант резервирует предыдущий, при его невыполнении каждый вариант обеспечивает резервирование при выполнении операции закладки КПИ):

- 1) дублирование закладки КПИ на одном ОКИК в одном сеансе связи двумя последовательными одинаковыми массивами цифровой информации;
- 2) дублирование закладки КПИ на двух ОКИК на одном витке;
- 3) дублирование закладки КПИ на одном ОКИК в течение двух витков.

Третья полетная операция – «Выполнение импульса коррекции орбиты». Выдача импульса коррекции орбиты (включение двигателей) происходит в автоматическом режиме по полученной программе КПИ. Требования к данной полетной операции следующие:

- 1) выполнение на витке с максимальной зоной радиовидимости над территорией России;
- 2) выполнение в области витка, где выполнение импульса потребует наименьших затрат топлива (в данном примере в процессе моделирования не учитывается).

Четвертая полетная операция – «Получение телеметрии (ТМИ) о ходе

выполнения импульса» или о результатах выполнения, если импульс проходил вне зоны радиовидимости.

Получение ТМИ с результатами выполнения импульса должно происходить как можно раньше после выполнения импульса коррекции орбиты, как только МКС попадает в зону радиовидимости ближайшего ОКИК.

Пятая полетная операция – «Измерение параметров орбиты после импульса». Проводится начиная с первого витка, следующего за импульсом. Применяются следующие два типовых варианта получения этих интервалов:

- 1) получение РКО с трех ОКИК в течение двух витков;
- 2) получение РКО с двух ОКИК в течение трех витков.

Особенностью технологического процесса выполнения ГПО является тот факт, что различные полетные операции не только предъявляют различные требования по резервированию (надежности выполнения) по числу ОКИК, но и обладают своим собственным технологическим процессом выполнения, отличающимся для каждой из полетных операций. Хорошим примером служит сравнение полетных операций получения ТМИ и закладки КПИ, когда первая полетная операция может быть выполнена вообще без резервирования, а вторая требует применения различных алгоритмов резервирования при выполнении. Данные характеристики полетных операций также задают дополнительные критерии, влияющие на планирование и перепланирование при построении расписания.

Планирование описанных полетных операций по коррекции орбиты МКС происходит следующим образом:

1) планируется время выполнения полетной операции импульса коррекции орбиты МКС (рассчитывается время начала работы двигателей и необходимое приращение скорости движения МКС для получения расчетной орбиты, а также длительность работы двигателей, учитывающая их тягу и массу МКС);

2) планируется первая полетная операция РКО по уточнению параметров орбиты за три витка до импульса коррекции. В зависимости от условий видимости применяется один из двух типовых вариантов выполнения;

3) планируется полетная операция закладки КПИ на борт МКС за один виток до импульса коррекции. При выполнении данной полетной операции существуют особые требования по резервированию ОКИК, передающих информацию, а также определенные временные критерии, влияющие на возможность резервирования ОКИК, о которых будет сказано далее;

4) планируется полетная операция получения ТМИ как можно раньше после импульса коррекции орбиты в зоне радиовидимости ближайшего ОКИК;

5) планируется полетная операция по измерению параметров орбиты после импульса. В зависимости от условий видимости применяется один из двух типовых вариантов резервирования.

2. Концептуальная модель планирования полетных операций

Для проведения моделирования была разработана концептуальная модель планирования полетных операций, описания различных критериев и ограничений, присущих техническому процессу выполнения различных ГПО, на основе онтологического подхода, изложенного в работах [7, 8].

Декомпозиция на части примера по коррекции орбиты МКС позволила сделать следующие важные выводы, выражающие общие концепции по описанию таких процессов с точки зрения надежности:

- для надежного выполнения одной полетной операции требуется выполнить

некоторое число операций резервирования ресурсов;

- резервирование ресурсов выполняется различными методами, варьирующимися в зависимости от конкретной полетной операции;
- для надежного выполнения ГПО существуют свои алгоритмы размещения отдельных полетных операций во времени;
- зависимости и ограничения размещения полетной операции во времени задаются для каждой полетной операции индивидуально;
- ограничения по времени начала и окончания полетной операции могут задаваться конкретным временным интервалом или не задаваться вообще.

3. Формальное описание модели

В общем случае модель задачи по выполнению некоторой групповой полетной операции представлена оргграфом G с некоторым числом вершин N и ребер E , их соединяющих (рис. 2).

Каждая из вершин N орграфа G представляет собой определенную сущность в сцене мультиагентного мира, для которой описаны требования, критерии и ограничения, влияющие на ее расположение в конечном расписании планировщика, а также зависимости от других сущностей, выраженные набором ребер $E(N)$.

Каждое из ребер E орграфа G представляет собой определенный тип зависимости между двумя вершинами $N1$ и $N2$, которые оно соединяет.

Данная модель может быть расширена для описания ГПО любой длительности с учетом требований по резервированию и соблюдения зависимости между полетными операциями.

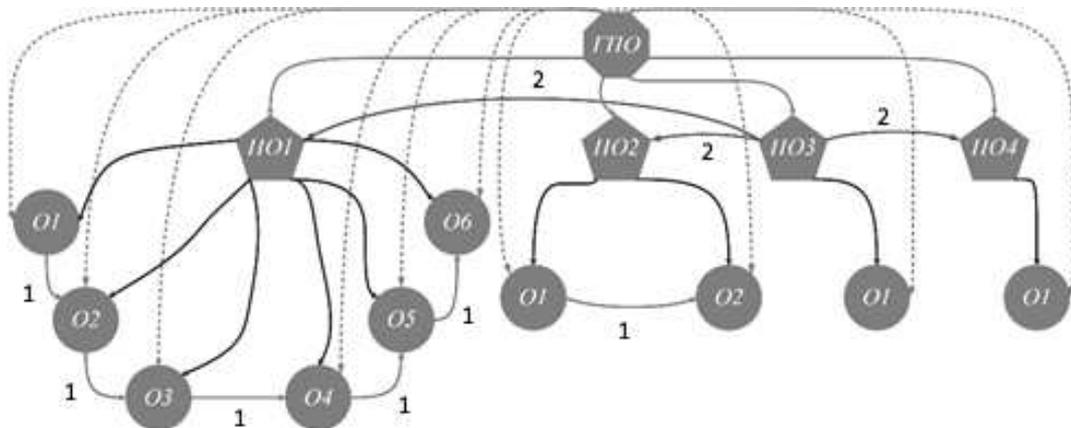


Рис. 2. Граф, отображающий основные связи между ГПО, полетными операциями и резервирующими операциями для примера «Коррекция орбиты МКС»

Рассмотрим математическое описание модели примера. В процессе моделирования примем, что мы имеем одну групповую полетную операцию P , которая представляется некоторым множеством полетных операций $\{J_i\}$:

$$P \mapsto \{J_i\}, i = 1, \dots, n; n \in N,$$

для каждой из которых существует два связанных с ней атрибута:

r_i – минимальное время начала полетной операции;

d_i – максимальное время окончания полетной операции.

Кроме этого, каждая полетная операция J_i представляется некоторым множе-

ством элементарных операций $\{o_{ij}\}$:

$$J_i \mapsto \{o_{ij}\}, j = 1, \dots, x; x \in N,$$

каждая из которых также обладает двумя атрибутами:

s_{ij} – фактическое время начала операции;

e_{ij} – фактическое время окончания операции.

Отметим, что с модельной точки зрения одной из наших задач является обеспечение достаточной гибкости расписания и восстановление его после сбоев ресурсов системы с сохранением заданных свойств технического процесса выполнения ГПО.

В данном контексте примем, что технологический процесс выполнения ГПО в ЦУП является эталонным для нашей модели.

С учетом этого мы можем выделить три критерия, с помощью которых в дальнейшем может быть получена оценка ключевого показателя эффективности (KPI) системы:

- максимизация числа резервируемых операций в ПО;
- максимизация удовлетворенности взаимозависимостью операций в ПО;
- максимизация суммы расстояний всех ПО от центральной ПО.

Поясним прикладное назначение введенных выше критериев.

Максимизация числа резервируемых операций в ПО означает стремление агентов ПО максимально соответствовать требованиям технического процесса по резервированию ОКИК для выполнения ПО.

Компонент целевой функции агентов в этом случае будет линейно-возрастающим.

Такой компонент целевой функции будет мотивировать агентов в первую очередь восстанавливать число зарезервированных операций при возможных сбоях на ресурсах.

Математически это можно выразить как

$$U_1 = \frac{J_n}{N_i},$$

где J_n – число фактически запланированных операций в J_i ПО;

N_i – общее число операций в J_i ПО.

Общий вклад в KPI системы от данного компонента описывается весовым коэффициентом α_1 .

Поскольку одной из важных задач является создание структуры расписания, которая способна гибко реагировать на изменения в окружающей среде, но при этом сохранять свои качественные свойства, – следующие два критерия позволяют сконструировать подобное поведение агентов с учетом требований технологического процесса.

Так как временные характеристики связей между операциями в ПО (показаны стрелочками с подписью «1» на рис. 2) могут быть продиктованы требованиями по гибкости конкретного технологического процесса выполнения ГПО и не могут быть жестко заданы, было принято решение описывать эти временные характеристики в виде временных интервалов, в рамках которых агенты могли бы получить некоторую «степень свободы» и принимать решения по оптимизации и перестройке расписания.

Поскольку данный компонент ЦФ отвечает за возможность растяжения или сокращения соответствующих временных связей между операциями, плоская область на графике означает временной интервал, в рамках которого агенты мо-

гут свободно изменять временные связи, не влияя на качество технологического процесса, а наклонные области означают интервалы времени, в рамках которых качество технологического процесса по сравнению с эталонным будет снижаться.

Такая форма графика позволяет обеспечить требуемую подвижность агентов операций в рамках определенной полетной операции. Под максимизацией в данном случае понимается увеличение суммарного показателя удовлетворенности агентов всех операций в ПО, что практически означало бы выполнение требований ПО и оптимальное расположение агентов операций в текущих условиях.

Данный критерий можно выразить математически следующим образом:

$$U_2 = \sum_{o_{ij}}^x (s_j - e_{j-1}).$$

Вклад в общий КРІ от этого компонента входит с весом α_2 .

Еще одним важным критерием планирования является наличие в каждой ГПО такой полетной операции, которая должна планироваться в первую очередь. Все остальные полетные операции планируются с учетом выполнения временных ограничений относительно нее (показано стрелочками с подписью «2» на рис. 2). В ГПО «Коррекция орбиты» такой операцией является выдача импульса коррекции.

Для описания данного критерия также выбраны временные интервалы, которые агенты ПО должны будут стремиться соблюдать во время планирования.

Однако, в отличие от критерия взаимозависимости операций в ПО, сами ПО зависят по времени как друг от друга (поскольку следующий технологический шаг не может начаться раньше предшествующего), так и от центральной ПО. Поэтому было принято решение сконструировать такое поведение агентов, при котором они бы стремились выполнять указанные требования по соблюдению временных ограничений относительно центральной ПО.

Такая форма графика ЦФ агента в данном случае означает, что есть некоторый временной отрезок, который агент может изменять (увеличивать или уменьшать), но лучше всего – когда требования выполняются точно в срок. Чрезмерное увеличение (т. е. отставание от центральной ПО) будет постепенно снижать качество получаемого результата (тем не менее создавая пространство для некоторой гибкости). Отметим, что существует некоторый ненулевой отрезок времени, когда качество планирования резко уменьшится до нуля из-за нарушения правил выполнения технологического процесса, заданного описанием ГПО (т. е. когда заданная ПО окажется к центральной *ближе*, чем это описано в технологическом процессе).

Под максимизацией в данном контексте понимается такое расположение агентов ПО, при котором сумма всех отрезков времени от каждой из ПО до центральной ПО стремится к наибольшему значению в текущих условиях (т. е. агенты стараются приблизиться к пику ЦФ), что соответствует наиболее точным выполнениям требований технологического процесса всеми агентами в ГПО.

Математически такая формулировка выражается следующим образом:

$$U_3 = \sum_{J_i} (r_i^* - d_i),$$

где r_i^* – временное ограничение по расстоянию J_i ПО от центральной ПО.

Вклад данного компонента определяется весом α_3 .

Общий КРІ системы по заданным выше критериям будет

$$KPI = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \alpha_3 U_3;$$

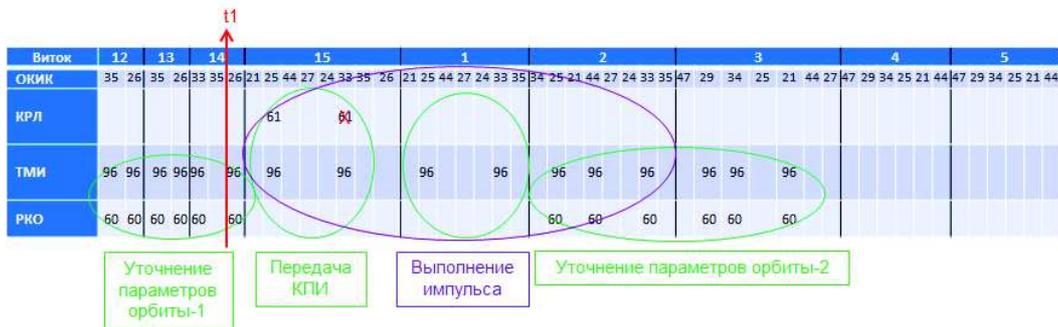


Рис. 4. Ввод в момент времени t_1 события о выходе из строя технического средства на 33-м ОКИК

Шаг 3. Агент полетной операции «Передача КПИ» сначала попытает резервировать ресурс 25 ОКИК на первом витке, но поскольку на первом витке уже размещен агент полетной операции «Выполнение импульса», он обратится к последнему с просьбой сдвинуться на более позднее время, на второй виток.

Шаг 4. Агент полетной операции «Выполнение импульса» проанализирует возможность сдвинуться на более позднее время по критериям видимости и ограничениям выполнения импульса. Найдя условия на следующем витке не менее благоприятными для себя, он запросит у соответствующих агентов ресурсов на втором витке время на размещение.

Однако обнаружив, что на втором витке уже располагается агент полетной операции «Проверка параметров орбиты», агент полетной операции «Выполнение импульса» также обратится к нему с запросом сдвинуться на более позднее время, чтобы освободить второй виток.

Шаг 5. Агент полетной операции «Проверка параметров орбиты» проверит возможность передвинуться на более поздние витки и проанализирует видимость соответствующих ресурсов на них для соответствия критериям выполнения технологического процесса.

Найдя условия на более поздних витках благоприятными, он запросит у агентов соответствующих ресурсов временные интервалы для размещения своих полетных операций.

Шаг 6. Получив утвердительные ответы от ресурсов, агент полетной операции «Проверка параметров орбиты» ответит положительно агенту полетной операции «Выполнение импульса» и перейдет на новую позицию.

Шаг 7. Получив положительный ответ, агент полетной операции «Выполнение импульса» также ответит положительно агенту полетной операции «Передача КПИ» и агентам ресурсов, у которых он запрашивал размещение, а затем перейдет на новую позицию в расписании.

Шаг 8. Получив положительный ответ, агент полетной операции «Передача КПИ» запросит разрешение у ресурсов для размещения своих полетных операций и, получив утвердительный ответ от агентов ресурсов, перейдет на новую позицию в расписании.

Расписание, перестроенное после нештатной ситуации и сбоя ресурса, показано на рис. 5.

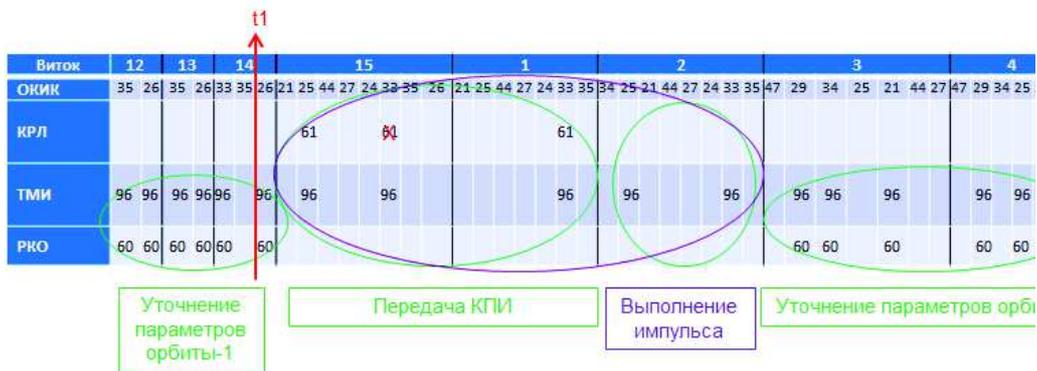


Рис. 5. Новый вариант расписания, полученный после ввода в систему события о выходе из строя ресурса на 33-м ОКИК. Агенты готовы сотрудничать для улучшения состояния системы только в случае ненарушения своих собственных критериев и ограничений

Заключение

Изложенный в работе процесс моделирования сценария коррекции орбиты МКС, при выполнении которого в систему вводится событие о выходе из строя ресурса, отражает основную концепцию применения мультиагентных самоорганизующихся систем для обеспечения заданной надежности выходного расписания.

Под заданным уровнем надежности понимается формализованный и описанный в терминах критериев и ограничений агентов технологический процесс выполнения некоторой групповой полетной операции.

Агенты сотрудничают друг с другом в том случае, когда это необходимо для разрешения возникающих конфликтов. В то же время каждый из агентов старается удовлетворить своим критериям в рамках имеющихся ограничений. Постановка агентов в такие условия помогает решать проблему устойчивости определенной структуры во времени и восстановления ее после возникающих в системе «катастроф».

Важно отметить, что при этом заданная структура (в нашем случае – групповая полетная операция) не является жесткой и монолитной, а обладает свойствами «тягучести» и самоорганизации с сохранением своих качественных свойств.

Этот интересный аспект и является главным обоснованием применения свойств самоорганизации агентных систем для решения задач обеспечения надежности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашиников Д.А., Соловьев В.А., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Майоров И.В., Лахин О.И., Тихонов Д.И., Ворожейкин В.Н. Метод адаптивного планирования сеансов связи ЦУП с группировкой КА по критериям надежности и экономичности связи // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 58–70.
2. Калашиников Д.А., Соловьев В.А., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Майоров И.В., Грачев С.П., Тихонов Д.И., Ворожейкин В.Н. Особенности постановки задачи оптимизации показателей надежности и экономичности сеансов для передачи разнородных данных группировки КА и ЦУП через сеть наземных станций // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 4 (44). – С. 52-61.
3. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. – 2002. – № 6. – С. 45-61.

4. Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 12. – С. 33–46.
5. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». – 2013. – № 1. – С. 1–32.
6. Матюшин М.М., Потоцкий С.И., Скобелев П.О., Потапов В.И., Лахин О.И. Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях // Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 62–69.
7. Матюшин М.М., Вакурина Т.Г., Котеля В.В., Скобелев П.О., Лахин О.И., Кожевников С.С., Симонова Е.В., Носкова А.И. Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2(69). – С. 9–17.
8. Коршиков Д.Н., Лахин О.И., Носкова А.И., Юрыгина Ю.С. Методы представления знаний для решения задач моделирования // Мат-лы V Междунар. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» – Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015), 19–21 февраля 2015 г. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 425–428.

Статья поступила в редакцию 5 октября 2015 г.

METHOD OF ADAPTIVE PLANNING OF COMMUNICATION SESSIONS FOR THE ISS ORBIT CORRECTION

***D. A. Kalashnikov¹, V.A. Solovyov¹, P.O. Skobelev^{3,5}, E.V. Simonova²,
D.I. Tikhonov^{4,5}, V.N. Vorozheikin⁵***

¹ OJSC “Rocket and Space Corporation “Energia”
4a Lenina St., Korolev, 141070, Moscow region, Russia

² Samara State Aerospace University
34 Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia

³ Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Sciences
61 Sadovaya, Samara, 443020, Russia

⁴ Software Engineering Company “Smart Solutions”
17 Moskovskoe shosse, office 1201 (Business Center “Vertical”), Samara, 443013, Russia

⁵ Samara State Technical University
244 Molodogvardeiskaya St., Samara, 443100, Russia

The paper presents a detailed example of adaptive planning of communication sessions for the International Space Station (ISS) orbit correction. The description of both the ISS orbit correction scenario and the criteria of its planning are provided. A conceptual model of flight operations planning is designed, as well as the description of the criteria and constraints of task execution in a group flight operation. The input and output data are described. The ISS orbit correction scenario is modelled.

Keywords: *spacecraft, Independent Command and Measurement Complex, optimization, modelling reliability, feasibility, communication sessions, spacecraft group, Mission Control Centre, the ISS, multi-agent technology, ontology.*

*Dmitry A. Kalashnikov, Head of Department.
Vladimir A. Solovyov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, First Deputy General Designer.
Petr O. Skobelev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Elena V. Simonova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Denis I. Tikhonov, Postgraduate Student.
Vladimir N. Vorozheikin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*