

АНАЛИЗ СОБЫТИЙ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

О. И. Лахин^{а, 1}, руководитель направления

^аООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

Постановка проблемы: одной из главных задач обеспечения работы Международной космической станции является управление грузопотоком. Для планирования грузопотока требуется учитывать множество различных по своей природе факторов, критериев, правил, предпочтений и ограничений. Любое важное событие ведет к цепочке перепланирования многих других связанных действий. Целью работы является проведение исследования и анализа для классификации основных событий, возникновение которых приводит к согласованному изменению поблочного грузопотока. **Методы:** адаптивное перепланирование поблочного грузопотока российского сегмента Международной космической станции, которое иницируется событиями, с применением мультиагентных технологий и онтологий, где принимается во внимание динамический баланс интересов всех сторон с учетом основных ограничений и предпочтений участников процесса адаптивного планирования грузопотока в ответ на поступающие события в режиме реального времени. **Результаты:** выявлено, что возникновение любых важных событий приводит к перепланированию размещения грузов на транспортных грузовых кораблях «Прогресс» и транспортных пилотируемых кораблях «Союз». Представлены сценарии обработки приведенных событий планировщиком поблочного грузопотока российского сегмента Международной космической станции. **Практическая значимость:** обработка приведенных событий реализована в интерактивной мультиагентной системе построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов российского сегмента Международной космической станции. Внедрение системы позволило повысить эффективность процесса планирования и снизить риски по управлению и обслуживанию российского сегмента Международной космической станции.

Ключевые слова — российский сегмент Международной космической станции, программа полета, поблочный грузопоток, события и сценарии, адаптивное планирование, мультиагентные технологии.

Введение

Международная космическая станция (МКС) — один из сложнейших проектов за всю историю человечества, в реализации которого участвуют большие коллективы ученых и инженеров из России, США и других стран [1]. Одна из главных задач жизнеобеспечения работы МКС — управление грузопотоком по доставке на станцию важнейших грузов, таких как топливо и вода, воздух и продукты питания, запасные части, инструменты и принадлежности, научная аппаратура для проведения космических экспериментов, а также возврат грузов и результатов экспериментов на Землю.

Для планирования грузопотока требуется учитывать множество разных по своей природе факторов, критериев принятия решений, ограничений и предпочтений, включая состояние склада и ресурсы приборов на станции, изменяющиеся потребности в топливе, воде, воздухе и продовольствии, особенности баллистики в движении станции, солнечную активность, типы кораблей и стыковочных модулей и др. [2, 3].

При этом любое важное событие, например изменение дат запусков, стыковок или отстыковок

кораблей, потеря грузового корабля, изменение состава экипажа или внеплановые работы на борту станции, ведет к цепочке перепланирования многих других связанных с ним работ, ресурсы для которых должны быть пересчитаны.

В частности, появление космического мусора на орбите (например, из-за внезапного отказа запущенного спутника) вызовет необходимость маневра станции и корректировки ее орбиты. Для этого потребуются включение двигателей, что является причиной дополнительных затрат топлива и, соответственно, необходимости в следующем старте транспортного грузового корабля (ТГК) доставить на станцию больше топлива, перепланировав некоторые грузы на дальнейшие полеты, и т. д.

Грузоподъемность ТГК и транспортных пилотируемых кораблей (ТПК) ограничена, поэтому если неожиданно возникает потребность в дополнительном грузе, то объемы и массы других грузов приходится уменьшать, согласованно меняя планы отправки грузов на последующих кораблях.

В работе проводятся исследование, анализ и классификация возможных событий, приводящих к согласованной перестройке всех планов по доставке грузов, а также рассматриваются сценарии планирования, которые адаптивно изменяют план грузопотока российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

¹ Научный руководитель — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета П. О. Скобелев.

Особенности грузопотока и события, приводящие к перепланированию

Сложность планирования поблочного грузопотока вызвана следующими правилами и ограничениями:

- грузоподъемность ТГК «Прогресс» составляет 2500 кг;
- планируемые к доставке грузы делятся на четыре категории: сухой груз, вода, топливо, газ;
- для каждой из категорий грузов предусмотрен ограничивающий диапазон с минимальным

и максимальным значениями возможной к доставке массы (табл. 1);

— определение даты возможной доставки грузов на станцию.

Грузы, входящие в категорию «Сухой груз», имеют приоритет размещения, который варьируется от 1 (самый важный) до 8 (минимальный приоритет). При этом грузы с большим приоритетом могут вытеснять грузы с меньшим приоритетом.

В случае нехватки свободного места на ТГК «Прогресс» грузы разных категорий могут вытеснять друг друга в следующей последовательности:

— если масса всех сухих грузов превысила максимальный допустимый предел 1600 кг, то сухие грузы вытесняют друг друга с учетом приоритета;

— если масса всех сухих грузов составила 1600 кг, но на ТГК «Прогресс» не хватает свободного места для жидкостей, то последовательно вытесняются вода, топливо, газ, при этом каждый груз вытесняется до своего минимума, т. е., например, воды в любом случае будет запланировано на полет минимум 100 кг.

■ **Таблица 1.** Характеристики категорий груза

Категория груза	Минимальная масса доставляемого груза, кг	Максимальная допустимая масса доставляемого груза, кг
Сухой груз	100	1600
Вода	100	420
Топливо	100	1100
Газ	20	50

■ **Таблица 2.** События адаптивного планирования грузопотока РС МКС

№	Событие	Причина возникновения события
1	Добавление груза в поблочный грузопоток	Срочный заказ от куратора на доставку на РС МКС не предусмотренного ранее груза, например, в связи с поломкой оборудования
2	Удаление груза из грузопотока	Отмена заказа на доставку запланированного груза, например, если не успели вовремя подготовить груз
3	Изменение количества груза	
3.1	Увеличение количества сухого груза	Запрос на доставку дополнительного количества сухого груза
3.2	Уменьшение количества сухого груза	Запрос на уменьшение количества запланированного на доставку сухого груза
3.3	Увеличение количества жидкости	Запрос на доставку дополнительного количества жидкости
3.4	Уменьшение количества жидкости	Запрос на уменьшение количества запланированной на доставку жидкости
4	Изменение массы груза на полете	Запрос на уменьшение массы груза, запланированного на доставку
5	Изменение приоритета груза на полете	Срочная заявка на изменение приоритета груза, предназначенного для парирования нештатной ситуации при ее возникновении
6	Изменение предпочитаемого типа корабля в онтологии грузопотока	Изменение типа корабля для доставки груза
7	Изменение предпочитаемого диапазона дат для планирования груза	Изменение даты доставки груза, например с запасными частями, инструментами и принадлежностями, на более ранний срок при выходе из строя оборудования
8	Фиксирование груза на полете	Заявка на фиксацию груза на конкретном транспортном корабле при необходимости доставить его в любом случае
9	Доукомплектация полета сухими грузами	Необходимость доукомплектации транспортного корабля дополнительными сухими грузами
10	Разукомплектация полета	Отмена полета транспортного корабля
11	Изменение программы полета	
11.1	Удаление полета	Изменение программы полета при удалении из нее полета транспортного корабля
11.2	Добавление полета	Изменение программы полета при добавлении нового полета транспортного корабля

Было проведено исследование всех возможных событий, приводящих к перепланированию грузопотока, в ходе анализа была произведена их классификация (табл. 2).

Вышеперечисленные события приводят к адаптивному изменению грузопотока РС МКС на основе сценариев, приведенных в следующем разделе.

Основные сценарии планирования поблочного грузопотока

Для описания сценариев планирования поблочного грузопотока в качестве исходных данных выступают ранее сформированные программа полета и поблочный грузопоток РС МКС. Приведенные ниже сценарии работы планировщика поблочного грузопотока разработаны с применением мультиагентного подхода [4–7] и предметных онтологий [8–10] только для одного ТГК.

Добавление груза в поблочный грузопоток

Предположим, что для поддержания жизнедеятельности станции необходимо срочно доставить некоторое оборудование в связи с его поломкой. Поскольку доставка груза имеет приоритетное значение, в результате планирования грузопотока грузы с меньшим приоритетом будут вытеснены с текущего полета на более позднее время.

Данный сценарий показывает пример добавления груза «Вентилятор» с большим приоритетом и вытеснение уже запланированных грузов, имеющих меньший приоритет.

Шаг 1. Создать копию поблочного грузопотока для дальнейшего формирования извещения.

Шаг 2. Добавить новый груз в поблочный грузопоток: выбрать наименование нужного груза, например «Вентилятор» (децимальный номер 17КС.53Ю 5011-0, приоритет груза 2), и ввести требуемое количество на соответствующий полет, например, 7 ед. на ТГК «Прогресс 410».

Шаг 3. В поблочном грузопотоке должна появиться строка, соответствующая новому грузу, подсвеченная розовым цветом, это означает, что у массы данного груза значение «предложено» больше, чем «запланировано». Далее начинает работать подсистема автоматического планирования (планировщик). После обновления сведений от планировщика строка, соответствующая грузу «Вентилятор», окрашивается в белый цвет, т. е. для массы данного груза значение «предложено» равно значению «запланировано».

Шаг 4. Поскольку добавленный груз имеет высокий приоритет (2) и общая загрузка ТГК «Прогресс» не увеличилась и составила 2500 кг, в результате перепланирования поблочного грузопотока часть менее приоритетного груза была вытеснена на другие полеты. Чтобы просмотреть список вытесненных грузов, необходимо сформировать извещение.

Шаг 5. Согласно извещению, были перепланированы следующие грузы (табл. 3).

В результате перепланирования состав грузов может измениться и на других транспортных грузовых кораблях, запланированных в программе полета.

■ Таблица 3. Перечень грузов, перепланированных в ходе добавления нового груза

№	Наименование груза	Децимальный номер и приоритет груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 3	6	5	При вытеснении груза учитываются его приоритет и масса. Вытеснение груза произошло, поскольку приоритет ПТАБ-1М ниже (3), чем у добавленного груза. Также у вытесненного груза высокая масса (14 кг)
2	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3	0	1	Переброс на ранний полет произошел, так как в результате переброса груза «ПТАБ-1М» (см. № 1) освободилось 14 кг массы. Общая масса добавленного вентилятора составила 6,3 кг. Итого, осталось свободного места на 14 – 6,3 = 7,7 кг. Чтобы заполнить данное свободное место, с более поздних полетов будут переброшены легкие грузы с учетом их приоритета
3	Регулятор тока РТ-50-1М	ЕИГА.435264.001-03, приоритет 3	1	2	
4	Элемент питания, тип AA Alkaline	AA Alkaline, приоритет 7	16	15	
5	Жесткий диск HDD	SM-FOTO-HDD, приоритет 7	0	1	

Удаление груза из грузопотока

Предположим, что отпала необходимость в доставке на РС МКС некоторого оборудования. Поскольку в результате удаления груза на полете освободится место, на свободное место будет запланирован груз с позднего полета.

Данный сценарий показывает пример удаления груза «Вентилятор» и вытеснение уже запланированных грузов, имеющих меньший приоритет.

Шаг 1. Создать копию поблочного грузопотока для дальнейшего формирования извещения.

Шаг 2. Для того чтобы удалить груз «Вентилятор» (децимальный номер 6411-01, количество 4 шт., полет ТГК «Прогресс 410») из поблочного грузопотока, необходимо выделить строку с данным грузом и удалить его из соответствующего раздела «Служебный модуль», «Средства жизнеобеспечения», «Средства обеспечения газового состава», «Средства очистки атмосферы». После подтверждения удаления строка с грузом «Вентилятор» должна исчезнуть, а масса сухих грузов должна остаться прежней — 1600 кг.

Шаг 3. Поскольку на полете освободится место, другие сухие грузы займут это место. Согласно извещению, были перепланированы следующие грузы (табл. 4).

Изменение количества груза

Предположим, что возникла необходимость увеличить количество доставляемых на ТГК «Прогресс» грузов. Поскольку в результате уве-

личения количества доставляемых грузов возникает нехватка свободного места, грузы могут вытеснять друг друга с учетом приоритета.

Для демонстрации сценариев изменения количества груза опишем случай увеличения количества сухого груза.

Шаг 1. Создать копию поблочного грузопотока для дальнейшего формирования извещения.

Шаг 2. Для редактирования значения груза выделить строку с нужным грузом, например «Вентилятор» (децимальный номер 6411-01, приоритет 1), и изменить предлагаемое значение на полете ТГК «Прогресс 410» с 4 шт. на 5 шт.

Шаг 3. После появления сообщения от планировщика и обновления грузопотока количество груза «Вентилятор» в поблочном грузопотоке должно увеличиться с 4 до 5.

Шаг 4. Поскольку добавленный груз имеет высокий приоритет (1) и общая загрузка ТГК «Прогресс» не увеличилась и составила 2500 кг, то в результате перепланирования поблочного грузопотока часть менее приоритетного груза была вытеснена на другие полеты. Чтобы просмотреть список вытесненных грузов, необходимо сформировать извещение.

Согласно извещению, были перепланированы следующие грузы (табл. 5).

Изменение массы груза на полете

Для каждого груза в онтологии поблочного грузопотока указывается «нормативная» мас-

■ Таблица 4. Перечень грузов, перепланированных в ходе удаления нового груза

№	Наименование груза	Децимальный номер, приоритет и масса груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Вентилятор	6411-01, приоритет 1, масса 2,3 кг	4	0	При вытеснении груза учитываются его приоритет и масса. В результате удаления освободилось $2,3 \times 4 = 9,2$ кг. В результате перепланирования были запланированы грузы общей массой $+1 \times 1,7 + 1 \times 14 - 10 \times 0,63 - 9 \times 0,03 + 1 \times 0,1 = 9,2$ кг
2	М-приемник со шлангом	A8-9060-800-04, приоритет 1, масса 1,7 кг	0	1	
3	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАВ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 3, масса 14 кг	6	7	
4	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3, масса 0,63 кг	11	1	
5	Элемент питания, тип AA Alkaline	AA Alkaline приоритет 7, масса 0,03 кг	16	7	
6	Футляр для жесткого диска	SM-FOTO-BOXHDD, приоритет 7, масса 0,1 кг	0	1	

■ Таблица 5. Перечень грузов, перепланированных из-за увеличения количества сухого груза

№	Наименование груза	Децимальный номер, приоритет и масса груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Вентилятор	6411-01, приоритет 1, масса 2,3 кг	4	5	Груз имеет наибольший приоритет, вследствие увеличения количества груза на 1 ед. требуется 2,3 кг дополнительной массы, следовательно, грузы с низшим приоритетом будут вытеснены с полета. В результате перепланирования получим $+1 \times 2,3 + 1 \times 11 - 1 \times 14 + 1 \times 0,63 + 1 \times 0,7 = 0,63$ кг
2	Твердотопливный генератор кислорода ТГК	17КС.216Ю 0000А-0, приоритет 1, масса 11 кг	0	1	
3	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 3, масса 14 кг	6	5	
4	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3, масса 0,63 кг	11	12	
5	Футляр для жесткого диска	SM-ФОТО-ВОХНDD, приоритет 7, масса 0,1 кг	0	1	

■ Таблица 6. Перечень грузов, перепланированных из-за уменьшения фактической массы сухого груза

№	Наименование груза	Децимальный номер, приоритет и масса груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Блок управления преобразователем тока аккумуляторной батареи БУПТ-1М	ЕИГА.468333.001-03, приоритет 4, масса 3,7 кг	0	2	Из-за уменьшения фактической массы освободилось 2 кг массы ($14 - 12 = 2$ кг), в результате дополнительно запланировалась 1 ед. ПТАБ-1М и вытеснились грузы с меньшим приоритетом
2	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 2, масса 12 кг	6	7	
3	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3, масса 0,63 кг	11	0	
4	Элемент питания, тип АА Alkaline	АА Alkaline, приоритет 7, масса 0,03 кг	16	0	

са, которая примерно одинакова для всех грузов данного типа. Однако фактическая масса конкретного экземпляра груза, отправляемого на ТГК «Прогресс», может отличаться в большую или меньшую сторону.

Шаг 1. Создать копию поблочного грузопотока для дальнейшего формирования извещения.

Шаг 2. Указать необходимое значение фактической массы. При этом во всех других полетах масса данного груза не изменится и будет равна нормативной.

Например, уменьшим массу груза «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-

1М» (децимальный номер ЕИГА.435241.001-03, масса 14 кг, приоритет 3) с 14 до 12 кг на полете ТГК «Прогресс 410».

Шаг 3. После изменения в поблочном грузопотоке будет отражено новое значение массы и произойдет перепланирование грузопотока. Согласно извещению, были перепланированы следующие грузы (табл. 6).

Изменение приоритета груза на полете

Для каждого груза в онтологии поблочного грузопотока указывается «нормативный» приоритет, который зависит от типа груза (пища,

обеспечение экипажа, научная аппаратура, коммерческие грузы и пр.). Приоритет груза указывается в онтологии поблочного грузопотока, однако для конкретного полета приоритет груза может отличаться, например, важно запланировать на конкретный полет какую-то научную аппаратуру. Для этого необходимо увеличить приоритет груза только на данном полете.

Шаг 1. Создать копию поблочного грузопотока для дальнейшего формирования извещения.

Шаг 2. Указать необходимое значение приоритета. При этом во всех других полетах приоритет данного груза не изменится и будет равен нормативному.

Например, увеличим приоритет груза «Вентилятор» (децимальный номер МО-2-5008) с 4 до 1 на полете ТГК «Прогресс 410».

Шаг 3. После изменения приоритета произойдет перепланирование грузопотока. Согласно извещению, были перепланированы следующие грузы (табл. 7).

■ Таблица 7. Перечень грузов, перепланированных из-за изменения приоритета конкретного груза

№	Наименование груза	Децимальный номер, приоритет и масса груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Вентилятор	МО-2-5008, приоритет 1, масса 2,5 кг	0	11	В результате изменения приоритета с 4 на 1 был запланирован груз «Вентилятор». Также был запланирован груз «Набор личной гигиены «Комфорт-3М» с приоритетом 1. Остальные грузы с низким приоритетом были вытеснены: $+11 \times 2,5 + 1 \times 2,5 - 2 \times 14 - 1 \times 0,63 - 16 \times 0,03 = 0,89$ кг
2	Набор личной гигиены «Комфорт-3М»	Хт2.945.606, приоритет 1, масса 2,5 кг	0	1	
3	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАВ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 2, масса 14 кг	6	4	
4	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3, масса 0,63 кг	11	10	
5	Элемент питания, тип AA Alkaline	AA Alkaline, приоритет 7, масса 0,03 кг	16	0	

■ Таблица 8. Перечень грузов, перепланированных из-за изменения типа предпочитаемого корабля

№	Наименование груза	Децимальный номер, приоритет и масса груза	Количество груза		Причина перепланирования
			до перепланирования	после перепланирования	
1	Набор личной гигиены «Комфорт-1М»	Хт2.945.605, приоритет 1, масса 2,5 кг	0	1	В результате размещения груза «Набор личной гигиены «Комфорт-1М»» часть грузов с ТГК «Прогресс 410» была вытеснена
2	Блок управления преобразователем тока аккумуляторной батареи БУПТ-1М	ЕИГА.468333.001-03, приоритет 4, масса 3,7 кг	0	5	
3	Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАВ-1М	ЕИГА.435241.001-03, приоритет 2, масса 12 кг	6	5	
4	Микроэлектронный интегратор разрядно-зарядных токов МИРТ-3	СЛИЮ.411613.001, приоритет 3, масса 0,63 кг	11	0	

Изменение предпочитаемого типа корабля в онтологии грузопотока

Для каждого груза в онтологии поблочного грузопотока может быть указан предпочитаемый тип корабля, на котором груз доставляется на РС МКС. Груз может быть доставлен кораблями ТГК «Прогресс» или ТПК «Союз».

Рассмотрим изменение предпочитаемого типа корабля для груза «Набор личной гигиены “Комфорт-1М”» (децимальный номер Хт2.945.605).

Шаг 1. Пусть в исходном поблочном грузопотоке предложена и запланирована одна единица груза «Набор личной гигиены “Комфорт-1М”».

Шаг 2. В онтологии грузопотока указан в качестве предпочитаемого типа транспортный корабль ТПК «Союз-ТМА».

Шаг 3. Изменить тип предпочитаемого транспортного корабля на ТГК «Прогресс-М».

Шаг 4. После перепланирования груз был «переброшен» с ТПК «Союз 702» на ТГК «Прогресс 410». Подробные сведения о перепланированных грузах можно просмотреть в извещении (фрагмент представлен в табл. 8).

Изменение предпочитаемого диапазона дат для планирования груза

Для каждого груза можно указать предпочитаемый диапазон дат доставки на РС МКС.

Данный сценарий продемонстрируем на примере груза «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М» (децимальный номер ЕИГА.435241.001-03).

Шаг 1. При просмотре исходного запланированного грузопотока видно, что часть груза «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М» «переброшена» с ТГК «Прогресс 410» на ТГК «Прогресс 411» (2 ед. из 8). В качестве временного диапазона для груза указан период с 01.01.2011 по 30.06.2011.

Шаг 2. Ограничим диапазон до стыковки ТГК «Прогресс 411». Как видно из программы полета, дата стыковки ТГК «Прогресс 411» 20.06.2011. В поблочном грузопотоке изменим в диапазоне дат 30.06.2011 на 20.06.2011.

Шаг 3. После перепланирования груз «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М» не запланировался на ТГК «Прогресс 411», поскольку диапазон предпочитаемых дат груза не совпадает с периодом полета ТГК «Прогресс 411».

Фиксирование груза на полете

Необходимо реализовать возможность «принудительного» планирования груза на конкретный полет: предположим, что груз, несмотря на свой низкий приоритет, обязательно должен лететь на конкретном транспортном корабле.

Данный сценарий является продолжением предыдущего сценария: в результате изменения предпочитаемого диапазона дат на полет ТГК «Прогресс 410» была запланирована только часть груза (5 ед. из 8 ед. требуемых). Допустим, что есть необходимость обязательно отправить на ТГК «Прогресс 410» все 8 ед. груза «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М». Для этого необходимо:

Шаг 1. В поблочном грузопотоке вручную ввести запланированное значение 8 для груза «Преобразователь тока аккумуляторной батареи ПТАБ-1М» и зафиксировать планируемое значение.

Шаг 2. После перепланирования все 8 ед. груза запланированы на полете ТГК «Прогресс 410».

Шаг 3. В результате перепланирования часть грузов была вытеснена на более поздние полеты.

Доукомплектация полета сухими грузами

Необходимо реализовать возможность доукомплектации полета сухими грузами. Доукомплектация означает, что если на транспортном корабле имеется свободное место, т. е. сухих грузов запланировано меньше 1600 кг, то на данное свободное место могут быть запланированы сухие грузы с соседних полетов.

Шаг 1. При просмотре загрузки полетов сухими грузами согласно карте полетов видно, что ТГК «Прогресс 412» заполнен не полностью. Согласно логике планирования, на данном полете можно разместить еще $1600 - 1194,6 = 405,4$ кг сухого груза.

Шаг 2. Вызвав команду «Доукомплектовать полет», доукомплектуем полет ТГК «Прогресс 412».

Шаг 3. После перепланирования на полет ТГК «Прогресс 412» запланировано 1600 кг сухого груза.

Разукомплектация полета

Параллельно с доукомплектацией необходимо реализовать возможность «разукомплектовать» полет.

Шаг 1. При просмотре загрузки полетов сухими грузами согласно карте полетов видно, что ТГК «Прогресс 412» заполнен полностью.

Шаг 2. Разукомплектуем полет ТГК «Прогресс 412», вызвав команду «Разукомплектовать полет».

Шаг 3. После перепланирования масса запланированного сухого груза в результате разукомплектации уменьшилась с 1600 до 1194,6 кг.

Изменение программы полета

Поблочный грузопоток тесто связан с данными из программы полета. В частности, речь идет

о количестве полетов, а также о датах стыковки/расстыковки.

Ниже представлено описание сценария, показывающего взаимосвязь между программой полета и поблочным грузопотоком при удалении полета.

Шаг 1. Загрузить требуемую программу полета.

Шаг 2. Удалить полет ТГК «Прогресс 412» из программы полета.

Шаг 3. В поблочном грузопотоке полет ТГК «Прогресс 412» стал подсвечиваться серым цветом, обозначаящим, что полет удален из программы полета.

Шаг 4. В результате удаления полета из программы полета грузы, запланированные на данный полет, оказались в «подвешенном» состоянии. Их необходимо перенести на другой полет, выбрав команду «Перенести грузы», указать номер полета, куда переносится груз, при этом грузы перебрасываются с ТГК «Прогресс 412» на ТГК «Прогресс 414» с соблюдением всех правил и ограничений.

Заключение

В работе описаны особенности планирования грузопотока РС МКС и проведено исследование основных событий, влияющих на изменение поблочного грузопотока РС МКС. В результате анализа основные события были классифицированы по типам.

Для возникающих событий различных типов были разработаны сценарии перепланирования поблочного грузопотока, рассмотрены шаги планирования с учетом правил и ограничений, описанных в онтологии грузопотока.

Сценарии работы планировщика поблочного грузопотока разработаны с применением мультиагентного подхода и предметных онтологий, что обеспечило нахождение динамического баланса интересов кораблей, модулей и систем РС МКС, полетов, грузов с учетом основных ограничений и предпочтений участников процесса адаптивного планирования ресурсов в ответ на поступающие события в режиме реального времени.

Литература

1. Соловьев В. А., Лысенко Л. Н., Любинский В. Е. Управление космическими полетами. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. Ч. I. — 476 с.
2. Лахин О. И. Особенности постановки задачи планирования программы полета и грузопотока Российского сегмента Международной космической станции // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2015. № 3(47). С. 32–46.
3. Лахин О. И., Майоров И. В. Метод адаптивного планирования грузопотока РС МКС на основе мультиагентных технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 12. С. 847–852.
4. Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 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. Vittikh V. A., Larukhin V. B., Tsarev A. V. Actors, Holonic Enterprises, Ontologies and Multi-Agent Technology // Proc. of 6th Intern. Conf. on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS'2013), Aug. 26–28, 2013, Prague, Czech Republic. Springer, 2013. P. 13–24.
7. Skobelev P. O. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management // Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry/Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). — Elsevier, 2015. P. 207–230.
8. Матюшин М. М. и др. Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах / М. М. Матюшин, Т. Г. Вакурина, В. В. Котеля, П. О. Скобелев, О. И. Лахин, С. С. Кожевников, Е. В. Симонова, А. И. Носкова // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 9–17.
9. Вакурина Т. Г. и др. Онтология Российского сегмента Международной космической станции и ее практическое использование в интеллектуальных аэрокосмических приложениях/ Т. Г. Вакурина, В. В. Котеля, О. И. Лахин, М. М. Матюшин, П. О. Скобелев // Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», Минск, 20–22 февраля 2014 г. Минск: БГУИР, 2014. С. 221–226.
10. Вакурина Т. Г. и др. Корпоративная распределенная онтология для управления Российским сегментом Международной космической станции / Т. Г. Вакурина, О. И. Лахин, Ю. С. Юрыгина, Е. В. Симонова, Д. Н. Коршиков, А. И. Носкова // Тр. XVI Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 30 июня–03 июля 2014 г. Самара: СИЦ РАН, 2014. С. 435–443.

UDC 658.512.6

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.6.19

Analysis of Cargo Flow Adaptive Scheduling Events for the Russian Segment of the International Space StationLakhin O. I.^a, Project Manager, lakhin@yandex.ru^aSoftware Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moscovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation

Purpose: Cargo flow management is crucial for the functioning of the International Space Station. Cargo flow scheduling must take into account a lot of different factors, criteria, rules, preferences and constraints. Any important event can lead to a chain of rescheduling. The aim of this work is research and analysis in order to classify the main events which can lead to changes in an agreed cargo flow schedule. **Methods:** The cargo flow for the International Space Station (Russian segment) is an object of adaptive rescheduling which is triggered by events, using multi-agent technologies and ontologies. The paper shows how to achieve a dynamic balance between the interests of all the sides, taking into account the major constraints and preferences of adaptive resource scheduling process participants in response to incoming events in real time. **Results:** The paper shows that any important events lead to rescheduling of cargo allocation between the transportation flights. The main scenarios have been developed for processing such types of events by the ISS cargo flow scheduler. **Practical relevance:** The results of this work are used in an interactive multi-agent system for developing the flight program, scheduling the cargo flow and estimating the resources of the Russian segment of ISS. The introduction of the system has increased the scheduling process efficiency and reduced the risks in management and servicing of the Station.

Keywords — International Space Station (Russian Segment), Flight Program, Cargo Flow, Events and Scenarios, Adaptive Scheduling, Multi-Agent Technologies.

References

1. Solov'jov V. A., Lysenko L. N., Ljubinskij V. E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami* [Spaceflight Control]. Moscow, MGTU Publ., 2009. Part 1. 476 p. (In Russian).
2. Lakhin O. I. Specific Features of Problem Statement for Flight Program and Cargo Flow Scheduling for the Russian Segment of the International Space Station. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 3(47), pp. 32–46 (In Russian).
3. Lakhin O. I., Mayorov I. V. Method of Adaptive Cargo Flow Scheduling for the ISS RS on the Basis of Multi-Agent Technology. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 12, pp. 847–852 (In Russian).
4. Skobelev P. O. Multi-Agent Technology for Industrial Applications: Towards 20 years Anniversary of Samara Scientific School of Multi-Agent Systems. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2011, no. 12, pp. 33–46 (In Russian).
5. Skobelev P. O. Intelligent Systems for Real Time Resource Management: Principles, Experience and Perspectives. *Appendix to Theoretic and Applied Scientific and Technical Journal "Informatsionnye tekhnologii"*, 2013, no. 1, pp. 1–32 (In Russian).
6. Vittikh V. A., Larukhin V. B., Tsarev A. V. Actors, Holonic Enterprises, Ontologies and Multi-Agent Technology. *Proc. of 6th Intern. Conf. on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS'2013)*. Prague, Springer, 2013, pp. 13–24.
7. Skobelev P. O. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In: *Industrial Agents. Emerging Applications of Software Agents in Industry* / Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). Elsevier, 2015, pp. 207–230.
8. Matyushin M. M., Vakurina T. G., Kotelya V. V., Skobelev P. O., Lakhin O. I., Kozhevnikov S. S., Simonova E. V., Noskova A. I. Methods and Software for Creation of Ontologies for Visualizing Connected Information Objects of Random Nature in Complex Information-Analytical Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2014, no. 2(69), pp. 9–17 (In Russian).
9. Vakurina T. G., Kotelya V. V., Lakhin O. I., Matushin M. M., Skobelev P. O. Ontology of ISS Russian Segment and its Practical Use in Intellectual Aerospace Applications. *Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh sistem"* [Proc. of the IV Intern. Scientific and Technical Conf. "Open Semantic Technologies for Intelligent Systems" (OSTIS-2014)]. Minsk, 2014, pp. 221–226 (In Russian).
10. Vakurina T. G., Lakhin O. I., Jurygina Ju. S., Simonova E. V., Korshikov D. N., Noskova A. I. Corporate Distributed Ontology for Management of the Russian Segment of the International Space Station. *Trudy XVI Mezhdunarodnoi konferentsii "Problemy upravleniia i modelirovaniia v slozhnykh sistemakh"* [Proc. of XVI Intern. Conf. "Complex Systems: Control and Modeling Problems"]. Samara, 2014, pp. 435–443 (In Russian).