УДК 004.94:629.78

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММЫ ПОЛЕТА, ГРУЗОПОТОКА И РАСЧЕТА РЕСУРСОВ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

© 2016 г. Бидеев А.Г.[1], Горбова Н.В.[1], Кузьмин В.В.[2], Капорцева Г.Н.[1], Лахин О.И.[2], Новиков А.Л.[2], Полников А.С.[2], Симонова Е.В.[2], Скобелев П.О.[3], Сычева М.В.[1], Успенская Н.В.[1], Хамиц И.И.[1]

[1]Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»)
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация, 141070, *e-mail: post@rsce.ru*

[2]НПК «Разумные решения»
Московское шоссе, 17, офис 1201, г. Самара, Российская Федерация, 443013,
e-mail:info@smartsolutions-123.ru

[3]Группа компаний «Генезис знаний» (ГК «Генезис знаний»)
Московское шоссе, 17, офис 2201, г. Самара, Российская Федерация, 443013, *e-mail: info@kg.ru*

Рассматриваются практические результаты внедрения интерактивной мультиагентной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов Российского сегмента Международной космической станции (МАС «Программа полета и грузопоток»). Описываются основные этапы создания проекта от технического задания до промышленной эксплуатации системы. Дается краткое описание программных модулей системы, каждый из которых обеспечивает формирование и контроль реализации планов по одной из областей обслуживания станции. Описываются результаты внедрения системы: новые функциональные возможности, повышение гибкости и оперативности в принятии решений, увеличение эффективности использования ресурсов Международной космической станции, интеграция с уже существующими информационными системами РКК «Энергия». Дается оценка эффективности применения разработанной системы, и намечаются перспективы ее развития.

Ключевые слова: *мультиагентная система, программа полета, результаты внедрения, оперативность в принятии решения.*

RESULTS OF PUTTING INTO OPERATION THE MULTI-AGENT SYSTEM FOR SCHEDULING OF FLIGHT PROGRAM, CARGO FLOW AND RESOURCE MANAGEMENT OF ISS RUSSIAN SEGMENT

Bideev A.G.[1], Gorbova N.V.[1], Kuzmin V.V.[2], Kaportseva G.N.[1], Lakhin O.I.[2], Novikov A.L.[2], Polnikov A.S.[2], Simonova E.V.[2], Skobelev P.O.[3], Sycheva M.V.[1], Uspenskaya N.V.[1], Khamits I.I.[1]

*[1]S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin str., Korolev, 141070, Moscow reg., Russian Federation, e-mail: post@rsce.ru*

*[2]Software Engineering Company Smart Solutions (SEC Smart Solutions)
17 office 1201 Moskovskoye chausse, Samara, 443013, Russian Federation,
e-mail: info@smartsolutions-123.ru*

*[3]Genesis of Knowledge Group
17 office 2201 Moskovskoye chausse, Samara, 443013, Russian Federation, e-mail: info@kg.ru*

The purpose of this study is to evaluate the results of implementing the interactive multi-agent system for scheduling of flight program, cargo flow and resource management of International Space Station Russian segment within RSC Energia. The system consists of several software modules, each responsible for generating a schedule for an aspect of the International Space Station logistics and monitoring the deviations as the plans are implemented. We assessed the length of main project stages,

the capabilities of each software module and their input on the total increase in performance. Usage of the system greatly increased the speed of generating and updating schedules, allowed for the flexibility and promptness in decision-making and increased the efficiency of using the International Space Station resources.

Key words: *multi-agent system, International Space Station Russian segment, flight program, cargo flow, International Space Station logistics, operation results, adaptive scheduling.*

БИДЕЕВ Алексей Геннадьевич — кандидат технических наук, начальник отделения РКК «Энергия», e-mail: alexey.bideev@rsce.ru
BIDEEV Alexey Gennad'evich — Candidate of Science (Engineering), Head of Division at RSC Energia, e-mail: alexey.bideev@rsce.ru

ГОРБОВА Надежда Владиславовна — ведущий инженер РКК «Энергия», e-mail: sychevamv@rsce.ru
GORBOVA Nadezhda Vladislavovna — Lead engineer at RSC Energia, e-mail: sychevamv@rsce.ru

КУЗЬМИН Виталий Владиславович — специалист по внедрению НПК «Разумные решения», e-mail: kuzmin@kg.ru
KUZMIN Vitaly Vladislavovich — Implementation specialist at SEC Smart Solutions, e-mail: kuzmin@kg.ru

КАПОРЦЕВА Галина Николаевна — ведущий инженер РКК «Энергия», e-mail: sychevamv@rsce.ru
KAPORTSEVA Galina Nikolaevna — Lead engineer at RSC Energia, e-mail: sychevamv@rsce.ru

ЛАХИН Олег Иванович — руководитель направления НПК «Разумные решения», e-mail: lakhin@smartsolutions-123.ru
LAKHIN Oleg Ivanovich — Head of Department at SEC Smart Solutions, e-mail: lakhin@smartsolutions-123.ru

НОВИКОВ Антон Леонидович — ведущий программист НПК «Разумные решения», e-mail: novikov@smartsolutions-123.ru
NOVIKOV Anton Leonidovich — Lead programmer at SEC Smart Solutions, e-mail: novikov@smartsolutions-123.ru

ПОЛНИКОВ Александр Сергеевич — руководитель проекта НПК «Разумные решения», e-mail: polnikov@smartsolutions-123.ru
POLNIKOV Alexander Sergeevich — Project manager at SEC Smart Solutions, e-mail: polnikov@smartsolutions-123.ru

СИМОНОВА Елена Витальевна — кандидат технических наук, руководитель учебно-методической группы НПК «Разумные решения», e-mail: simonova@smartsolutions-123.ru
SIMONOVA Elena Vital'evna — Candidate of Science (Engineering), Head of educational-methodical group at SEC Smart Solutions, e-mail: simonova@smartsolutions-123.ru

СКОБЕЛЕВ Петр Олегович — доктор технических наук, Президент ГК «Генезис знаний», e-mail: petr.skobelev@gmail.com
SKOBELEV Petr Olegovich — Doctor of Science (Engineering), President of Genesis of Knowledge Group, e-mail: petr.skobelev@gmail.com

СЫЧЕВА Марина Владимировна — начальник сектора РКК «Энергия», e-mail: sychevamv@rsce.ru
SYCHEVA Marina Vladimirovna — Head of Subdepartment at RSC Energia, e-mail: sychevamv@rsce

УСПЕНСКАЯ Наталия Викторовна — ведущий инженер РКК «Энергия», e-mail: natalia.uspenskaya1@rsce.ru
USPENSKAYA Natalia Viktorovna — Lead engineer at RSC Energia, e-mail: natalia.uspenskaya1@rsce.ru

ХАМИЦ Игорь Игоревич — руководитель НТЦ РКК «Энергия», e-mail: igor.khamits@rsce.ru
KHAMITS Igor Igorevich — Head of STC at RSC Energia, e-mail: igor.khamits@rsce.ru

Введение

Процессы формирования и выполнения программ научно-прикладных исследований, проводимых на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС), отличаются высокой сложностью и динамичностью, что обусловлено наличием множества участников с различными интересами, большим числом технических, экономических и других требований, взаимозависимостью всех решений и т. д. [1, 2].

Эти особенности привели к необходимости разработки новых моделей, методов и средств планирования и оптимизации программы полетов и грузопотока в части использования доступных ресурсов, учитывающих накопленный многолетний успешный опыт решения указанных задач [3].

В результате проведенных НПК «Разумные решения» в тесном творческом сотрудничестве со специалистами РКК «Энергия» научно-исследовательских работ была создана интерактивная мультиагентная система (МАС) построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС [4], внедренная около трех лет назад в промышленную эксплуатацию РКК «Энергия» и функционирующая ныне в рамках единого информационного пространства Корпорации.

Приобретенный опыт более чем трехлетней эксплуатации системы позволяет на практике оценить преимущества разработанного подхода и его перспективы для РКК «Энергия».

В настоящей статье кратко описывается история проекта и дается оценка эффективности применения разработанной системы, а также намечаются перспективы ее развития.

История проекта

Рассмотрим основные этапы, которые представляются характерными для проектов подобного масштаба и сложности.

Разработка технического задания и технического проекта на первую версию системы: март – ноябрь 2010 г. (6 мес). Проект был начат в 2010 г. с разработки технического задания (ТЗ) и технического проекта (ТП), что позволило в тесном сотрудничестве специалистов заказчика и исполнителя достаточно точно специфицировать все требования к первой версии системы. В рамках технического проекта проводился углубленный анализ предметной области с целью выявления основных объектов и процессов, используемых в ходе планирования, их свойств и отношений, а также взаимосвязей и зависимостей между ними.

Создание первой версии мультиагентной системы: февраль – октябрь 2011 г. (9 мес). На основе ТЗ и ТП в течение следующих девяти месяцев были выполнены работы по созданию первой версии мультиагентной системы, которые включали разработку базовых интерфейсов системы, новых моделей, методов и алгоритмов планирования на основе мультиагентных технологий, онтологии МКС, позволяющей осуществлять формирование и моделирование программы полета, создание подсистем планирования, наполнение справочников системы и др. Первая версия системы была установлена в проектном отделе, там же были проведены первичное обучение и сертификация пользователей. На протяжении последующих шести месяцев система проходила апробацию на выбранной группе проектантов, непосредственно задействованных в формировании и согласовании планов обеспечения функционирования РС МКС, а также производящих моделирование различных нештатных ситуаций.

Одновременно начались работы по интеграции с системами, уже существующими в РКК «Энергия», такими как *IMS* (система управления инвентаризацией), содержащая учетную информацию о размещении ресурсов на борту РС МКС, и ПБД (проектная база данных), содержащая информацию о составе изделий.

В настоящее время одновременно с базовым вариантом программы грузопотока рассчитываются десятки альтернативных программ, что повышает безопасность и надежность обеспечения РС МКС необходимыми ресурсами.

Опытная эксплуатация: март – декабрь 2012 г. (9 мес). По результатам апробации система была доработана, что включало как модификацию логики планирования, так и расширение ряда интерфейсных функций для удобства работы пользователей.

Внедрение системы в опытную эксплуатацию началось с выпуска приказа президента РКК «Энергия» от 19.03.2012 г.

В течение первых двух месяцев было проведено обучение 150 новых пользователей. Кроме того, постоянно уточнялись требования к системе, прежде всего, в части поддержки взаимодействий команд различных специалистов, наглядности представления данных, форм отчетности.

Также на больших объемах конкретных производственных данных выявлялись и устранялись ошибки программирования, неизбежно возникающие в столь сложных проектах.

По истечении девяти месяцев система была доработана в соответствии с выявлен-

ными потребностями, обучение пользователей завершено.

Промышленная эксплуатация: декабрь 2012 г. – по н. в. Учитывая положительные результаты опытной эксплуатации, 26.12.2012 г. был выпущен приказ президента РКК «Энергия» о вводе МАС «Программа полета и грузопоток» в промышленную эксплуатацию.

В ходе работы системы ее функции еще несколько раз расширялись и модифицировались с учетом возникающих потребностей. Был реализован ряд дополнительных экранных форм, способствующих более гибкой настройке критериев планирования, а также предоставляющих пользователям разнообразную отчетную информацию. С 2013 г. разработанная система эксплуатируется в штатном режиме, обеспечивается техническое сопровождение. Возникающие у пользователей вопросы по работе с системой решаются оперативно, в самые короткие сроки.

В апреле 2015 г. при запуске грузового корабля «Прогресс М-27М» произошло нештатное отделение корабля от ракеты-носителя, вследствие чего корабль был поврежден и не смог доставить на МКС грузы для функционирования служебных систем и поддержки жизнедеятельности экипажа. Потребовалось в сжатые сроки выполнить оперативное перепланирование программы полета. Данная задача решалась с помощью мультиагентной системы «Программа полета и грузопоток». Был осуществлен перерасчет по нормам и ресурсам всего служебного оборудования, хранящегося на РС МКС, в т. ч. различных расходуемых материалов, запасов воды, пищи, одежды и топлива, для определения критических запасов по одному или нескольким выше перечисленным показателям. Программа запусков следующих кораблей «Прогресс» разрабатывалась на основе этих расчетов. Система автоматически предложила возможные варианты планирования жизненно важных грузов на последующие грузовые корабли «Прогресс», заменив ими менее приоритетные грузы. В течение трех часов были подготовлены для руководства предложения по перепланированию программы полета. Благодаря работе в едином информационном пространстве совместно с кураторами систем постоянно осуществлялся обмен данными, в результате чего в кратчайшие сроки был сформирован новый грузопоток и выполнен заказ на изготовление оборудования взамен утерянного.

До внедрения системы подобное перепланирование программы полета выполнялось вручную в *Excel* и занимало не менее трех дней.

Краткое описание системы

Система состоит из набора взаимосвязанных программных модулей, каждый из которых обеспечивает формирование и контроль реализации планов по одной из областей обслуживания станции.

Модуль «Программа полета» представляет план стартов, стыковок транспортных средств со стыковочными узлами модулей РС МКС и их расстыковок. Допускается проводить ручную коррекцию дат стартов/стыковок/перестыковок/расстыковок кораблей и менять порт стыковки. Также задается информация об участниках экспедиций и планах выполнения внекорабельной деятельности, что позволяет всем заинтересованным специалистам в рамках рабочего места «Наблюдатель» видеть всю необходимую информацию по программе полета. Система позволяет осуществлять автоматическое планирование программы полета, а также выполнять моделирование планов для различных ситуаций.

Представление программы полета МКС в виде диаграммы Ганта показано на рис. 1.

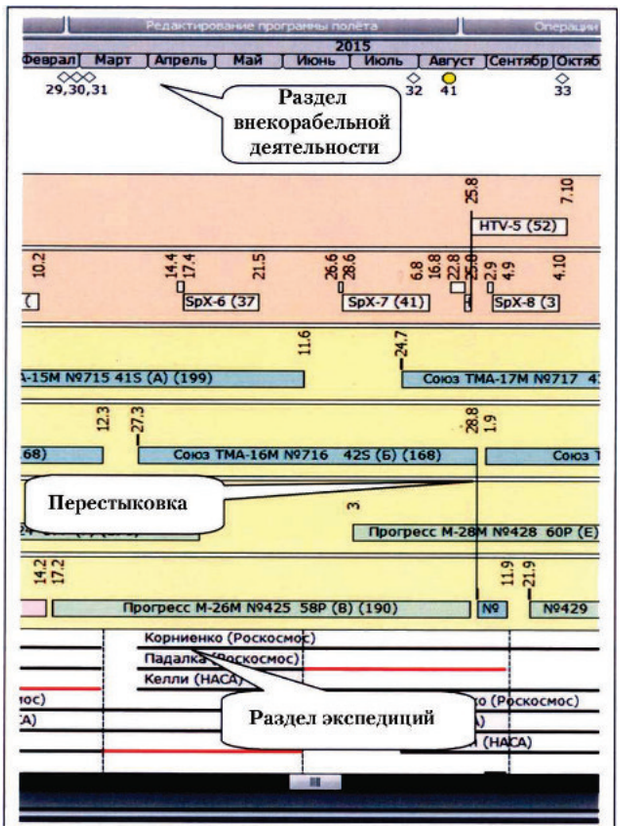

Рис. 1. Представление программы полета к МКС в виде диаграммы Ганта

Модуль «Время экипажа» предназначен для укрупненного расчета затрат времени по основным категориям операций экипажа на станции

для каждой экспедиции. Расчеты осуществляются с привязкой к программе полета, что позволяет своевременно учитывать вносимые в план полетов изменения.

Модуль «Поблочный грузопоток» представляет собой детальную информацию о доставляемых на станцию грузах с разбивкой по полетам. Подсистема автоматического планирования позволяет формировать грузопоток в автоматическом режиме с учетом большого количества разнообразных критериев.

Модуль «Размещение» предназначен для автоматического планирования размещения грузов, доставляемых на транспортных кораблях в зоны хранения модулей станции. При планировании используются фактические данные о текущем размещении грузов на борту (получаемые из системы *IMS*), с их помощью проводится анализ занятых и свободных объемов в модулях РС МКС. Далее, с учетом реально располагаемых объемов в грузовых зонах различного функционального назначения модулей РС МКС, осуществляется автоматическое распределение доставляемых грузов по этим зонам.

Модуль «Возврат» предназначен для формирования детального плана возвращаемых со станции грузов с разбивкой по полетам.

Модуль «Утилизация» предназначен для формирования детальных перечней грузов для их последующей утилизации.

Модуль «Расчет ресурсов» предназначен для прогнозирования расходов топлива, воды, пищи и прочих расходуемых ресурсов на станции в зависимости от полетных операций, количества экипажа, а также доставок грузов и прочих ресурсов на РС МКС.

Модуль «Онтология» предназначен для описания МКС посредством набора онтологий, используемых при автоматическом планировании. Так, например, при размещении грузов используется информация о конфигурации станции (объемы зон модулей РС МКС), сведения о доставляемых грузах (масса, габариты, признаки вложенности), а также о приоритетах размещения грузов по зонам хранения РС МКС.

Пример результата расчета баланса воды показан на рис. 2.

Результаты внедрения. В настоящее время около 200 пользователей РКК «Энергия» и Центра управления полетами ежедневно используют систему в своей работе.

В число основных пользователей системы входят руководители подразделений, сотрудники проектных подразделений, подразделений–кураторов бортовых систем, отделов оперативного планирования.

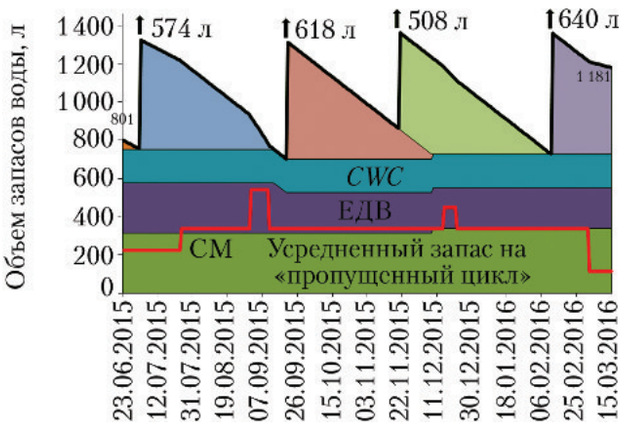

Рис. 2. Баланс воды — клиентская версия и персональный бизнес-радар руководителя (браузерная версия): *— Прогресс М-25М № 425 58Р; — Прогресс М-28М № 428 60Р; — Прогресс М-29М № 429 61Р; — Прогресс МС № 431 62Р; — Прогресс МС-02 № 432 63Р; — неприкосновенный запас воды на РС МКС, л*

Примечание. СМ — служебный модуль; ЕДВ, *CWC* — емкости для воды.

Изменения в процессах планирования после внедрения системы

В результате внедрения системы были получены следующие результаты в части повышения эффективности планирования:

- Автоматизированы все основные и рутинные технологические операции ввода данных, расчетов и анализа результатов, что в целом существенно снижает трудоемкость планирования. До внедрения системы расчеты выполнялись вручную, что влекло за собой неизбежный процент человеческих ошибок.
- В системе поддерживается полный цикл формирования планов по обслуживанию РС МКС: от составления начального плана полета и программы грузопотока до создания плана утилизации грузов (причем во многих версиях, что позволяет прогнозировать «узкие места» и с опережением находить решения сложных проблем). Без использования системы подобной возможности отследить взаимное влияние изменений между планами не представлялось.
- Система полностью интегрирована в информационное пространство РКК «Энергия»: фактические данные о размещении грузов на МКС передаются из *IMS*, поблочный состав изделий передается из ПБД и *Windchill*, данные о программе полета передаются в автоматизированную систему планирования Российского сегмента МКС и в автоматизированную систему организации оперативных работ, ведутся работы по интеграции с информационной системой управления ресурсами Российского сегмента МКС. Тем самым избегается дублирование информации и ошибочное внесение уже введенных данных.

• Впервые появилась возможность в информационной системе формировать независимые резервные планы и сценарии поведения на случай различных нештатных ситуаций, при возникновении которых нужно обеспечить реакцию в кратчайшие сроки. До внедрения системы подобной возможности не имелось.

• Появилась возможность прогнозировать на основании имеющихся фактических данных и сформированного плана расход воды, топлива, пищи и прочих расходуемых экипажем станции ресурсов. Стало возможным учитывать грузы, необходимые для поддержания штатного запаса ресурсов, в плане доставки заблаговременно, с опережением, а также планировать изменение потребностей в случае различных нештатных ситуаций (потеря или задержка грузового корабля, задержка пилотируемого корабля с доставкой нового экипажа, внеплановая внекорабельная деятельность и др.). Данная особенность обеспечивается автоматической синхронизацией балансов с изменениями программы полета, что невозможно при расчетах вручную.

• Автоматическое создание программы полета позволяет минимизировать количество человеческих ошибок по сравнению с ручным. Также имеются специальные интерактивные средства для ручной корректировки программы полета при необходимости.

• Благодаря работе проектантов и кураторов бортовых систем в одном информационном пространстве значительно улучшилось взаимопонимание между специалистами и качество выпускаемой документации. Ранее в исходных данных от кураторов регулярно содержались ошибки — отличия от данных ПБД, их удалось устранить полностью.

• Ведение нормативно-справочной информации, в т. ч. статистики по различным версиям планов, и возможность просмотра действительных версий и фактических данных по утилизации грузов, расходам топлива, запасам воды и др. за прошлые годы позволило обеспечить удобство их использования и наглядность, что, в свою очередь, снизило уровень человеческих ошибок при работе с данными из различных источников.

• Возможность быстрого доступа к утвержденной программе полета всем сотрудникам РКК «Энергия» позволила сократить затраты времени на взаимодействие между отделами за счет упрощения документооборота.

• Непрерывный мониторинг сводной таблицы годового грузопотока (обобщенный грузопоток по полетам) позволяет постоянно контролировать суммарную массу грузов в части дефицита или профицита на корабле. Это позволяет оперативно выявлять недозагруженность транспортно-грузового корабля и избегать неполного использования его ресурсов.

• Улучшился контроль за излишним или недостающим оборудованием на борту станции за счет отображения актуальной информации из *IMS* по фактическому расположению хранящегося на МКС оборудования, сравнению этой информации с требуемым ЗИП и требованием по пропущенному циклу для расходуемого оборудования. Поскольку стоимость доставки на МКС одного килограмма груза может достигать значительных сумм, данное улучшение позволило получить существенный экономический эффект.

• Новые функциональные возможности формирования модели утилизации грузов позволяют проводить расчет накопления отходов на МКС и планирования их утилизации, в т. ч. на кораблях международных партнеров. Это позволяет точнее прогнозировать операции по утилизации отходов с РС МКС.

• Автоматизация планирования размещения доставляемых грузов на РС МКС позволила провести радикальные изменения в процессе размещения грузов:

– система автоматически формирует из текущего грузопотока состав грузов для размещения в объеме текущего корабля. Ранее перечень грузов для грузовых кораблей «Прогресс» составлялся вручную для каждой из множества позиций грузопотока;

– появилась возможность проанализировать размещение различных категорий грузов посредством автоматического расчета свободных объемов в зонах хранения модулей РС МКС с учетом фактических данных из *IMS*, а также прогнозировать потребности в свободных объемах в будущем;

– при планировании размещения учитывается информация об окончании сроков годности уже хранящихся на борту изделий, что позволило размещать вместо них вновь доставленные, а также выдавать соответствующие рекомендации по месту расположения грузов экипажу;

– функциональные возможности МАС «Программа полета и грузопоток» повысили информативность, полноту и корректность взаимного использования данных различными системами, в т. ч. появилась возможность переопределения габаритов грузов с сохранением этих данных во всех последующих отчетах *IMS*, используемых для расчета объемов хранения, что повысило точность и достоверность расчетов.

По мнению пользователей, основной эффект от внедрения системы был получен за счет сокращения времени на принятие решений при рассмотрении новых заявок на доставляемые грузы и возможности моделировать различные варианты плана грузопотока для определения наилучшей реакции на поступающие события, что обеспечивает снижение рисков при доставке критически важных грузов.

Экономический эффект от внедрения системы

Экономический эффект от внедрения МАС «Программа полета и грузопоток» заключается в устранении доставок избыточных единиц грузов на РС МКС, а также в сокращении рабочего времени специалистов, необходимого для построения и согласования рабочих планов.

Стало возможным автоматическое создание первой версии годового грузопотока с учетом актуальных данных по хранящимся на станции грузам и расчета по нормам потребления и ресурсу оборудования для доставки на РС МКС. Время на создание первой версии грузопотока, анализ, принятие заявок от кураторов и согласование снизилось с 352 ч в год (176 ч на создание, анализ и принятие заявок в бумажном виде и 176 ч — на согласование) до 264 ч (8 ч — создание, 80 ч — принятие заявок, 176 ч — согласование), составив общую экономию 88 ч в год.

Извещения об изменениях программы полета и грузопотока формируются и рассылаются в автоматическом режиме. Срок создания одного извещения сократился с 8 до 1 ч, при том, что каждый месяц рассылаются десятки извещений.

Постоянно доступные для кураторов и наблюдателей актуальные данные не требуют создания грузопотока заново с учетом изменений и повторной отправки всем пользователям. Экономия времени составила 50 ч для каждого корабля «Прогресс», или 200 ч в год.

Возможность автоматического перепланирования грузопотока в случае нештатных ситуаций, связанных с потерей корабля, позволяет сэкономить до 40 ч, что особо критично в случае возникновения подобной нештатной ситуации.

Время формирования резервной программы полета на случай нештатных ситуаций с учетом расчета ресурсов сократилось на 320 ч в год.

Время на составление планов размещения снизилось с 264 до 128 ч, составив экономию до 136 ч для каждого грузового корабля «Прогресс», т. е. до 544 ч в год, и 80 ч для каждого пилотируемого корабля «Союз», что соответствует 320 ч в год.

Возможность автоматического сравнения предоставляемых специалистами ЦУП фактических отчетов об утилизации грузов с данными *IMS* и их проверки на наличие дублирования грузов сократила время работы на 78 ч для одного корабля «Прогресс», или на 312 ч в год.

За счет использования системой сведений из программы полета при формировании планов баланса топлива, воды, пищи и расчета времени экипажа экономия времени при расчетах составила 10...15% для каждого модуля:

- один расчет тактического баланса топлива для годичной программы полета проходит быстрее на 32 ч, что составляет 160 ч в год;
- при расчете баланса воды — 30 ч в год;
- при расчете баланса пищи — 30 ч в год;
- при расчете времени экипажа — 50 ч в год.

Таким образом, общая экономия времени по результатам внедрения системы составила до 2 094 ч в год, что составляет минимум 262 рабочих дня.

Высвободившееся время специалистов используется для формирования резервных версий программ полета и прочих планов на случай возникновения различных нештатных ситуаций (перенос даты запуска, потеря корабля «Прогресс», повреждение стыковочного отсека станции и др.), что ранее было труднореализуемо ввиду высокой трудоемкости процесса.

Таким образом, заранее закладываются и анализируются сценарии действий на случай непредвиденных ситуаций, что позволяет повысить оперативность в принятии решений и избежать ошибок при срочном составлении нового плана в условиях нештатных ситуаций.

Перспективы развития системы

Созданная в ходе реализации проекта система является во многом уникальной, обеспечивая адаптивное планирование по непредвиденным событиям в сочетании с контролем исполнения планов, где фактические результаты приводят к изменению и уточнению актуальных версий планов в реальном времени.

Из перспектив развития системы можно выделить следующие:

- более тесная интеграция с другими программными средствами, предназначенная еще значительнее упростить взаимодействие между различными подразделениями Корпорации, устранить дублирование информации и обеспечить возможность адаптивного учета в текущем плане информации по событиям, приходящим из других систем;
- перевод версии рабочее место «Наблюдатель» на *web*-платформу позволяет сотрудникам Корпорации, не вовлеченным

непосредственно в процесс разработки и согласования программ реализации, своевременно получать актуальную информацию о последних изменениях в утвержденных для реализации версиях планов;

• доступ к системе через планшеты и мобильные устройства предоставляет руководству Корпорации возможность постоянно находиться в курсе последних изменений планов и программ из любой точки, не требуя предварительной установки клиентской части;

• создание личного кабинета и бизнес-радара для руководства позволяет проводить анализ ситуации и получать опережающие прогнозы для раннего выявления потенциальных проблем плана;

• создание англоязычной версии рабочего места «Наблюдатель» позволит оперативно уведомлять сотрудников зарубежных партнерских организаций об утвержденных и согласованных изменениях планов и программ полета на РС МКС;

• полная информация о жизненном цикле груза еще более усилит информативность системы и будет содержать: макет изделия, различные версии изделия на стадии разработки, конструкторскую документацию, дату доставки на борт станции, историю размещения на борту МКС и использования в научно-прикладных исследованиях, наработку и ресурсопотребление, текущее местоположение единицы груза и планируемые сроки его утилизации;

• создание сетецентрической платформы для построения адаптивной *p2p* сети взаимодействия отделов Корпорации позволит в равной степени учитывать интересы пользователей разных систем, ответственных за различные аспекты функционирования РС МКС;

• интеграция с информационной системой управления ресурсами РС МКС позволит учитывать потребности научной аппаратуры в ресурсах при размещении на борту, а также повысить качество плана использования располагаемых ресурсов в процессе функционирования станции;

• интеграция с мультиагентной системой формирования и реализации программ научно-прикладных исследований на РС МКС позволит более подробно указывать условия доставки и спуска грузов, задействованных в проведении на борту станции космических экспериментов, и способствовать повышению количества успешно проведенных сеансов экспериментов за период каждой экспедиции;

• управление на основе знаний — во все интегрируемые системы закладывается единая база знаний (онтология). Наличие единого, регулярно обновляемого хранилища важнейших сведений Корпорации позволит систематизировать данные различных типов и далее представить сложные логические зависимости между объектами, состояние которых может влиять на конечный результат планирования;

• развитие мультикритериальной оптимизации за счет учета и поиска баланса интересов новых агентов (важность груза, себестоимость доставки, важность и стадия выполнения эксперимента, ресурсопотребление, надежность и др.). При этом многокритериальное планирование может быть гомеостатическим: система может ситуативно «оптимизировать» план под ряд противоречивых критериев (чем хуже по критерию ситуация, тем важнее добиться улучшения), обеспечивая эластичность по критериям;

• интеллектуальное реагирование на события — используя интеграцию с другими системами, подсистема планирования сможет моделировать и прогнозировать последствия событий и помогать оценить их влияние на текущий план, после чего выдавать предупреждения и уведомления в случае необходимости перепланирования в реальном времени.

Заключение

Переход к планированию в реальном времени обеспечивает РКК «Энергия» возможность повышения гибкости и оперативности в принятии решений, увеличения эффективности использования ресурсов, сокращения их избытков, исключения простоя ресурсов станции и возникновения дефицитов ввиду непредвиденных событий.

Вместе с тем, полученный опыт разработки и внедрения подобных систем показывает, что внедрение рассматриваемых систем — процесс не менее сложный и трудоемкий, чем сама разработка, данное обстоятельство необходимо учитывать в планировании новых крупных проектов.

При этом результаты внедрения показывают, что затрачиваемые усилия для заказчика окупаются в течение достаточно короткого времени. Ежегодно использование системы дает экономию в один человеко-год.

Список литературы:

1. Диязитдинова А.Р., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Сычева М.В., Хамиц И.И., Царев А.В. Концепция мультиагентной системы интерактивного построения программы полета и планирования грузопотока Международной космической станции //

Труды XI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 23–25 июня 2010 г., Самара. С. 608–614.

2. *Ivaschenko A.V., Khamits I.I., Skobelev P.O., Sychova M.V. Multi-agent system for scheduling of flight program, cargo flow and resources of International Space Station // HoloMAS 2011, LNAI 6867, Germany, Springer, 2011. Pp. 165–174.*

3. *Бидеев А.Г., Карбовничий В.А., Майоров И.В., Новиков А.Л., Скобелев П.О., Сычева М.В.* Метод адаптивного планирования грузопотока в интерактивной мультиагентной системе расчета программы полета, грузопотока и ресурсов Российского сегмента Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2014. № 1(4). С. 29–38.

4. *Диязитдинова А.Р., Иващенко А.В., Литвинов И.И., Новиков А.Л., Скобелев П.О., Сюсин И.А., Царев А.В.* Интерактивная мультиагентная система построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов МКС // Труды IV Всероссийской мультиконференции по проблемам управления, 03–08 октября 2011 г., Дивноморское. С. 343–346.

Статья поступила в редакцию 30.12.2015 г.

Reference

1. *Diyazitdinova A.R., Ivashchenko A.V., Simonova E.V., Skobelev P.O., Sycheva M.V., Khamits I.I., Tsarev A.V. Kontseptsiya mul'tiagentnoi sistemy interaktivnogo postroeniya programmy poleta i planirovaniya gruzopotoka mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii* [The concept of multi-agent interactive construction system of the flight program and planning the cargo traffic of the International Space Station]. *Trudy XI Mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh», 23–25 June 2010, Samara. Pp. 608–614.*

2. *Ivaschenko A.V., Khamits I.I., Skobelev P.O., Sychova M.V. Multi-agent system for scheduling of flight program, cargo flow and resources of international space station. HoloMAS 2011, LNAI 6867, Germany, Springer, 2011. Pp. 165–174.*

3. *Bideev A.G., Karbovnichii V.A., Maiorov I.V., Novikov A.L., Skobelev P.O., Sycheva M.V. Metod adaptivnogo planirovaniya gruzopotoka v interaktivnoi mul'tiagentnoi sisteme rascheta programmy poleta, gruzopotoka i resursov Rossiiskogo segmenta Mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii* [The method of adaptive cargo traffic planning in the interactive multi-agent system for calculating the mission plan, cargo traffic and resources of the Russian Segment of the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii, 2014, no. 1(4), pp. 29–38.*

4. *Diyazitdinova A.R., Ivashchenko A.V., Litvinov I.I., Novikov A.L., Skobelev P.O., Syusin I.A., Tsarev A.V. Interaktivnaya mul'tiagentnaya sistema postroeniya programmy poleta, gruzopotoka i rascheta resursov MKS* [The Interactive multi-agent construction system of the flight program, cargo traffic and calculation of the ISS resources]. *Trudy IV Vserossiiskoi mul'tikonferentsii po problemam upravleniya, 03–08 October 2011, Divnomorskoe. Pp. 343–346.*