

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Тутуров А. А.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Описаны специфика работы специалистов дежурной смены и роль отображения информации о процессах, протекающих в космическом комплексе, на принятие решений по управлению космическими аппаратами в составе орбитальной группировки дистанционного зондирования Земли. Поставлена задача разработки графического интерфейса как элемента системы поддержки принятия решений для дежурной смены управления космическими аппаратами, состоящей из специалистов предприятий космического комплекса. Предложены принципы разделения служебной информации, которой оперируют специалисты дежурной смены, по категориям на основе природы её источников, а также механизм отображения данной информации в режиме реально времени с помощью графического интерфейса с целью уменьшить затраты времени на идентификацию ситуации нештатного функционирования наземного и/или бортового программно-технического обеспечения в условиях ограниченного времени проведения сеанса связи с космическим аппаратом. Ключевой особенностью предложенного графического интерфейса является «вектор состояния космического аппарата» – способ отображения данных телеметрии элементов подсистем космического аппарата, необходимых для регистрации нештатной ситуации на борту космического аппарата, и поиска стратегии купирования/ликвидации последствий обеспечения её функциональной устойчивости как способности сохранять и/или восстанавливать возложенные на неё функции.

Ключевые слова: космический аппарат, космический комплекс, нештатная ситуация, диагностика, система поддержки принятия решений, интерфейс.

1. Введение

Учитывая современный уровень развития программно-технического обеспечения элементной базы такой масштабной системы как космический комплекс (КК), особо актуален вопрос обеспечения его функциональной устойчивости [3], под которой в данной работе подразумевается способность сохранения и/или

¹ Алексей Александрович Тутуров, м.н.с. (tuturov@mail.ru).

восстановления возможности выполнения функций, возложенных на систему, а также адаптирования информационных каналов связи при изменении характеристик её элементов под воздействием деструктивных факторов внешней и/или внутренней среды.

В данной работе КК будет рассматриваться как социокиберфизическая система [6, 7], в которой человеческий фактор в виде коллективов специалистов, экспертов предприятий, входящих в состав КК, а также разработчиков космической техники, рассматривается как некий информационный ресурс, призванный отразить опыт, знания и интуицию упомянутых групп лиц в виде неких цифровых двойников [5] этих коллективов.

Требуется предложить графический интерфейс, исходя из отображения процессов в космическом комплексе и информации о текущем состоянии его элементов, учёт которых необходим для принятия рений по управлению космическим аппаратом (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) во время проведения сеанса связи с КА. Необходимо учесть требования, связанные с возможностью обнаружения нештатной ситуации (НШС) в процессе проведения сеанса связи с КА. Такие требования могут быть связаны со сбоями в работе бортового и/или наземного программно-технического обеспечения.

2. Постановка проблемы

2.1. КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК СРЕДА УПРАВЛЕНИЯ

Управление КА ДЗЗ в составе орбитальной группировки (ОГ) требует учёта воздействия большого числа факторов, определяемых характеристиками элементов космического комплекса, задействованных в данных процессах.

В решении задачи данной работы предлагается использовать:

1. ОГ КА ДЗЗ.
2. Наземный комплекс управления (НКУ) – совокупность технических средств и сооружений, предназначенных для управления функционированием ОГ КА с момента её выведения на орбиту.

3. Наземный комплекс приёма, обработки и распределения информации (НКПОР) – совокупность взаимосвязанных наземных технических средств с программным обеспечением, предназначенных для обеспечения заказчика и его потребителей целевой информацией, полученной на основе данных мониторинга работы ОГ КА.

4. Центр управления полётами (ЦУП) – сооружения с техническими системами и технологическими средствами командно-программного, телеметрического и баллистико-навигационного обеспечения, внешних информационных обменов, магистральных и специальных связей, отображения, предназначенными для обеспечения деятельности обслуживающего персонала по формированию, передаче, приему, обработке, хранению, документированию информации при непрерывном процессе управления полетами КА.

2.2. АЛГОРИТМ

Базовый алгоритм штатного рабочего цикла КА в ОГ ДЗЗ имеет вид:

1. НКПОР: формирование заказа на получение целевой информации, а именно: характеристики (разрешение, спектральный диапазон и т.д.), объём и желательный срок предоставления результата ДЗЗ.

2. ЦУП: анализ текущего функционала ОГ применительно к условиям заказа: баллистический анализ траекторий, пригодных для работы КА в ближайшее время, относительно наземных станций и района получения целевой информации.

3. ЦУП: формирование пакетированного программного кода рабочей программы конкретного КА для загрузки в его бортовую вычислительную систему.

4. ЦУП+НКУ+КА: проведение сеанса связи – получение телеметрической информации о состоянии КА [1] при отсутствии нештатной ситуации на борту, закладка РП в бортовую вычислительную систему.

5. КА: отработка рабочего задания – штатная работа целевой аппаратуры в заданный период времени и заданном режиме, обеспеченным штатной работой служебной аппаратуры. Формирование целевой информации на борту КА и подготовка её

к передаче на наземную станцию связи в автоматическом режиме согласно.

6. КА+НКУ: проведение автоматического сброса целевой информации на наземную станцию связи.

7. НКПОР: валидация результата выполнения требований заказчика. Передача заказчику полученной целевой информации.

На рис. 1 представлена схема участия элементов КК в алгоритме штатного рабочего цикла ДЗЗ с разделением на области административных, баллистических и технических задач.

Под административными задачами подразумевается совокупность решений по управлению процессами обмена информации и принятия решений при взаимодействии с потребителями услуг ДЗЗ относительно оформления, изменения, уточнения, реализации и проверки результатов их заказов, а именно, соответствия полученных характеристик результатов ДЗЗ условиям заказа. В область административных задач также входят все организационные задачи, описывающие взаимодействия специалистов предприятий в составе КК.

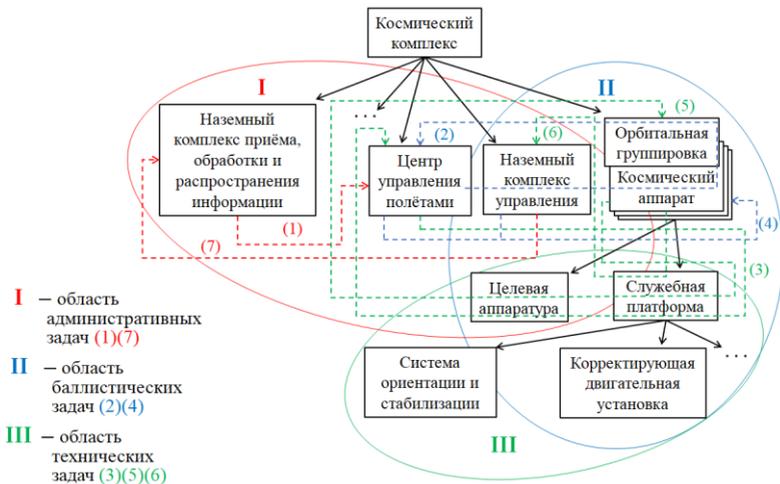


Рис. 1. Схема реализации базового алгоритма штатного рабочего цикла ОГ КА ДЗЗ в составе КК

Под баллистическими задачами подразумевается совокупность решений по управлению реализацией процессов обмена информации и принятия решений относительно вопросов порядка баллистического построения КА в ОГ. В данную область входят задачи расчета очередностей задействования КА, зависящих от текущего уровня качества работы их целевой аппаратуры, количества пригодных для решения конкретной задачи КА в составе ОГ на текущий момент времени, а также географии как расположения наземных станций связи НКУ, так и района проведения ДЗЗ.

Под техническими задачами подразумевается совокупность решений по управлению процессами обмена информации и принятия решений относительно вопросов штатного и нештатного функционирования программного обеспечения и аппаратуры бортовой и наземной техники. Особое внимание уделяется работе таких бортовых систем как система ориентации и стабилизации (СОС) и корректирующая двигательная установка (КДУ). От штатной работы СОС напрямую зависят ориентация на Солнце солнечных батарей КА и ориентация на цель аппаратуры ДЗЗ при проведении съёмки. От штатной работы КДУ зависят высота орбиты КА и его расположение в баллистическом построении ОГ. Проведение коррекций орбиты с помощью КДУ накладывает ограничения на задействования целевой аппаратуры.

Как видно из схемы представленного алгоритма, на всех его шагах, кроме шага №5 (отработки рабочего задания бортовой аппаратурой КА) непосредственно присутствуют специалисты предприятия в составе КК. Следовательно, на каждом шаге формируются экспертные оценки, чья скорость и точность формирования связана с форматом восприятия информации, а также с возможными помехами в каналах связи между элементами КК или внутри них. Вся связанная с шагами алгоритма информация проходит через специалистов дежурной смены управления КА и рассматривается как информационные ресурсы, общий вид которых представлен на рис. 2.

2.3. МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Как видно на рис. 2., вся информация в распоряжении дежурной смены управления КА имеет три «основных» направления: «кадры», «техника» и «программы».

Под «кадрами» подразумевается совокупность экспертных оценок и принятых специалистами НКУ, ЦУП и НКПОР решений, на базе информации, получаемой от всех элементов КК.

Под «техникой» подразумевается совокупность сообщений о текущем состоянии бортового и наземного технического обеспечения всех элементов КК.

Под «программами» подразумевается совокупность бортового и наземного программного обеспечения «ПО», а также регламентирующие документы и инструкции, как актуальные, так и вышедшие из употребления, но представляющие ценность при принятии решений по управлению и/или разработке новых решений, инструкций и/или программно-технического обеспечения для конкретного элемента КК.



Рис. 2. Модель информационных ресурсов дежурной смены управления КА

Помимо «основных» направлений на рис. 2. представлены курсивом «смешанные»:

- «кадрово-техническое» – совокупность информации, получаемой специалистами от техники напрямую, – это главным образом массивы данных бортовой телеметрии КА и отчёты аппаратуры НКУ, получаемые во время и/или после окончания проведения сеанса связи с КА. Для «кадрово-технической» информации источником ошибок являются «программы» в виде несовершенства регламентирующей деятельность специалистов документов или нарушения по тем или иным причинам работы бортового и/или наземного ПО;

- «программно-техническое» – совокупность информации, получаемой бортовой и/или наземной техникой посредством штатной работы бортового и/или наземного ПО, – это главным образом программные пакеты, закладываемые во время сеанса связи на борт КА при изменении бортового ПО, а также команды наземного ПО, посредством которого осуществляется непосредственное и/или отложенное управление наземной и/или бортовой техникой. Для «программно-технической» информации источником ошибок являются «кадры» в виде человеческого фактора при принятии решений по управлению техническими средствами.

- «программно-кадровые» – совокупность информации, получаемой специалистами предприятий КК посредством использования в основном наземного ПО, – это главным образом продукты расчетов программных комплексов и/или средств планирования сеансов связи с КА. Для «программно-кадровой» информации источником ошибок являются технические сбои в каналах связи, делающие невозможным своевременную доставку или реализацию информации, что автоматически снижает её актуальность, поскольку посредством неё доводятся все решения по управлению.

Полукруглыми стрелками на рис. 2. показано направление последовательности обмена информации специалистами дежурной смены в рамках реализации базового алгоритма суточного цикла управления КА:

- стандартный рабочий день дежурной смены управления начинается с «пересменки» – передачи составом специалистов сменяющейся дежурной смены всех особенностей своего дежурства заступающему составу;
- специалисты дежурной смены управления ЦУП связываются с НКУ и НКПОР, собирая данные для оформления суточного Плана задействования средств (план проведения сеансов наземными станциями связи НКУ), который должен штатно поступить в работу через 72 часа. Исходными данными для этой подзадачи являются сведения от заказчиков о виде, качестве и количестве запрашиваемой ими целевой информации, а также результаты анализа текущей степени применимости конкретных КА в составе ОГ для реализации этого запроса, в том числе результаты актуального баллистического построения ОГ;
- проводятся «дневные» сеансы связи с КА по Планам сеансов связи [2], подготовленным накануне предыдущей сменой, которые базово состоят из функциональных, служебных и разовых команд, а также циклограмм – стандартизированных программных пакетов для реализации запланированных операций управления в заданном периоде по бортовой шкале времени;
- в процессе сеанса связи с КА специалисты дежурной смены получают массив данных телеметрии и проводят по нему экспресс-анализ состояния бортовой аппаратуры в режиме реального времени;
- после окончания сеансов связи специалистами дежурной смены проводится с использованием наземного ПО глубокий анализ массива данных телеметрии КА с занесением статистики в соответствующие журналы;
- к середине рабочего дня специалистам дежурной смены управления ЦУП поступает от специалистов НКПОР сведения о запрашиваемой заказчиками целевой информации на ближайшие сутки, на основании которых совместно формируется файл рабочей программы для закладки на борт КА штатно в первый «вечерний» сеанс связи;
- после проведения «ночных» и «утренних» сеансов связи специалистами дежурной смены управления формируется ста-

тистика за сутки по всем КА в составе ОГ для передачи её следующему составу на очередной «пересменке».

2.3. НЕШТАТНЫЕ СИТУАЦИИ

Среди наиболее вероятных сценариев регистрации НШС на борту КА можно выделить:

1. Обнаружение НШС в процессе экспресс-анализа массива данных бортовой телеметрии в процессе сеанса связи с КА (шаг №4 алгоритма штатного рабочего цикла КА в ОГ ДЗЗ).

2. Отсутствие запланированного автоматического сброса целевой информации наземной станцией НКУ (шаг №6 алгоритма штатного рабочего цикла КА в ОГ ДЗЗ).

В случае регистрации НШС на сеансе связи в задачи специалистов дежурной смены входит скорейшая идентификация вида и степени критичности НШС. В случае успешного выполнения данного условия необходимо выдать соответствующие управляющие воздействия на борт для запуска программных процедур восстановления штатного функционирования систем КА до окончания текущего сеанса связи из-за естественного выхода КА из зоны радиовидимости наземной станции НКУ.

В случае регистрации НШС по отсутствию запланированного автоматического сброса целевой информации и получения соответствующей информации от специалистов НКУ специалистам дежурной смены управления ЦУП необходимо провести регламентированную процедуру подготовки к встрече на ближайшем сеансе связи данного КА в НШС.

Принятие всех решений при наличии НШС связано с жёсткими ограничениями по времени до окончания сеанса связи и/или до начала следующего ближайшего сеанса связи, для внепланового осуществления которого необходимо провести «дозаказ» свободной станции связи НКУ в План задействования средств на текущие сутки.

Отметим, что факт регистрации НШС на борту нарушает ход реализации полётного задания для данного конкретного КА, но не для ОГ ДЗЗ в целом. Однако возникает необходимость пересмотреть программы работ остальных КА в ОГ для определения тех, которые при минимальных затратах по времени и допустимой потере качества целевой информации смогут реализо-

вать полётное задание КА в НШС [4]. Сам же процесс купирования/ликвидации последствий НШС на борту КА может занимать несколько витков орбиты и требовать проведения дополнительных сеансов связи, что перераспределяет рабочие ресурсы дежурной смены управления, создавая дополнительную трудовую и соответственно сенсорную нагрузку на специалистов предприятий КК.

Таким образом, разработка стратегий, уменьшающих вероятность возникновения НШС и повышающих эффективность их устранения, является приоритетом работы специалистов дежурной смены управления наряду с качественной реализацией базового алгоритма штатного рабочего цикла ОГ КА ДЗЗ в составе КК. Что в свою очередь отражает актуальность проблематики поисков новых программно-технических решений, улучшающих восприятие больших объёмов информации специалистами дежурной смены управления, как способа уменьшения времени реакции на НШС и экономии ресурсов КК.

Одним из возможных направлений решения данной проблемы – уменьшения времени на восприятие оператором текущей информации о состоянии КА, анализ и принятие решения по управлению – является разработка системы поддержки принятия решений. Данная система подразумевает автоматизированный программно-технический комплекс, хранящий статистику по видам возможных НШС, сочетаниям факторов, повышающих вероятность возникновения НШС, стратегиям по ликвидации/купированию последствий НШС, а также факторам, требующим особого внимания при выборе и применении тех или иных управляющих воздействий специалистами дежурной смены управления.

Класс данных систем автоматически попадает под ограничения, связанные с коммерческой тайной, вследствие чего акцент в данной работе будет сделан только на разработке модификации графического интерфейса – одного из ключевых элементов, определяющих эффективность системы поддержки принятия решений.

2.4. ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Прототип предлагаемого графического интерфейса системы поддержки принятия решений для специалистов дежурной смены управления представлен на рис. 3.

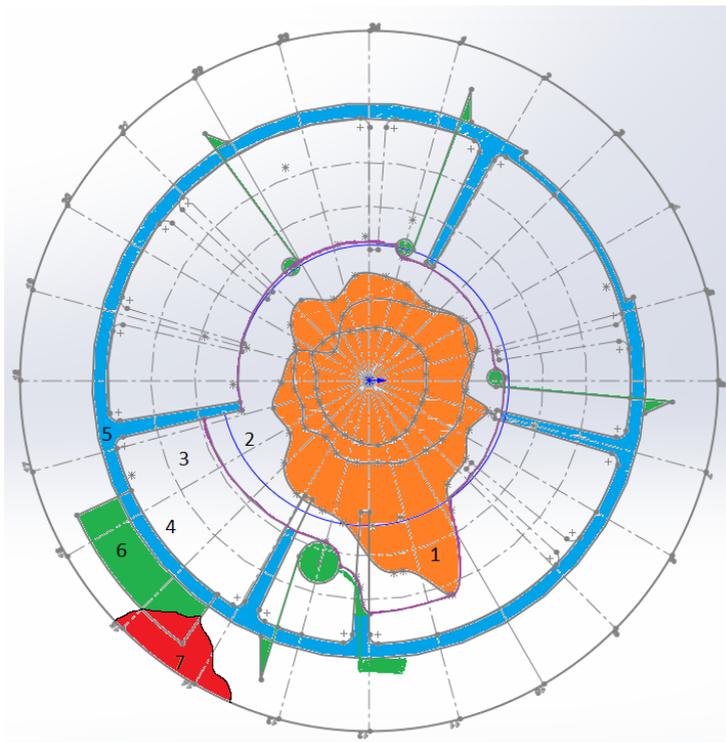


Рис. 3. Прототип графического интерфейса системы поддержки принятия решений для специалистов дежурной смены управления

Рассмотрим представленные рис. 3. семь разноцветных областей исходя из приоритета логики их функционирования.

Область №5 (голубой цвет) – область плановых «программно-кадровых» процессов. Вертикальные пики отображают времена и продолжительность проведения сеансов связи с КА. Поскольку пользователями данного интерфейса предполагаются специалисты дежурной смены управления КА, интенсивность

их работы показана равномерной с падением на сон большинства сотрудников от 2 ночи до 5 часов утра.

В реальности интенсивность даже запланированных действий будет изменяться, что даст дополнительные результаты при исследовании вопросов оптимизации трудовой деятельности специалистов КК, прямо или косвенно задействованных в управлении КА. Следует обратить внимание, что серым пунктиром без заливки голубым цветом показаны незапланированные сеансы связи с КА, но возможные для проведения исходя из взаимодействия баллистических параметров орбиты КА с географией наземных станций связи НКУ.

Область №6 (зелёный цвет) – область «техничко-программных» процессов. Эта область неоднородна и лежит в обеих средах: на Земле и в космосе. Крупный прямоугольный участок зелёного цвета (между 14 и 17 часами) с внешней стороны от области № 5 отображает максимальную загруженность наземного ПО ЦУП и НКПОР в связи с подготовкой новой рабочей программы на следующие сутки полёта КА, которая штатно закладывается на первом вечернем «закладочном» сеансе связи с КА. Треугольные зелёные участки (около 1, 6, 13 и 22 часов) отображают обработку наземным ПО запланированных автоматических сбросов отчётов о работе целевой аппаратуры КА по радиоканалу связи на пункты приёма НКПОР. Круглые зелёные участки, соединённые с зелёными треугольными, являются отображением работы бортового ПО в рамках рабочей программы на текущие сутки полёта КА.

Области №1 и №7 – это области нештатных ситуаций в космосе и на Земле соответственно. В случае области №1 её состав в большинстве случаев представлен ошибками в программных и/или технических процессах, отображаемых информационными категориями «программы» и «техника» соответственно. Например, ошибки в бортовом ПО или попадание микрометеоритов в элементы конструкций или приборов КА. В случае области №7 к ошибкам в наземном ПО и технике добавляются ошибки, обусловленные прямым влиянием человеческого фактора, в то время как для области №1 они могут существовать лишь косвенно с момента разработки и проектирования КА и его бортового ПО.

Области №2, №3 и №4 соответственно отображают зоны «штатного», «ограниченного» и «нештатного» функционирования КА в космосе. Внешняя граница области №4 соответствует физическому прекращению работоспособности КА ввиду полной потери функциональной устойчивости [3] или штатной консервации с последующей утилизацией после окончания срока эксплуатации.

«Кадрово-технические» взаимодействия на рис. 3. отображены в моменты проведения сеансов связи с КА и косвенно «вектором состояния КА», представленным спиралью синего цвета в области №2 и фиолетовой кривой в областях №2, №3 и №4. Оба «вектора состояния КА» берут начало на вечернем «закладочном» витке и отражают поведение аппарата, соответственно:

- синий – предполагаемое поведение на основании прогноза системы поддержки принятия решений, оперирующей данными цифрового двойника КА;
- фиолетовый – реальное поведение на основании обработки и анализа данных бортовой телеметрии КА, поступающих в процессе проведения сеансов связи.

Как видно на рис. 3, реализации рабочей программы (зелёные круги) могут как не оказывать влияния на «вектор состояния КА», так и отклонять его от запланированного положения (синий цвет) в сторону большей устойчивости (к центру) или в сторону меньшей устойчивости (к краю области №2).

Следует отметить, что, хотя граница области №1 имеет случайный характер, внутри данной области находятся определяемые контуры трёх ограничений, являющихся следствиями статистики сбора информации о процессах категорий «кадры», «программы» и «техника», а именно:

1. Ограничения, обусловленные несовершенством ПО, которые, как правило, максимальны на этапе начала лётных испытаний прототипа серии КА и должны устраняться к их окончанию.
2. Ограничения, обусловленные старением бортового оборудования и конструкций КА. Данные ограничения, как правило, неустранимы ввиду невозможности или не рентабельности про-

ведения ремонта и/или замены вышедших из строя элементов в условиях космоса. Данные ограничения постепенно расширяют область №1 и по факту являются основной причиной прекращения эксплуатации КА.

3. Ограничения, обусловленные изменениями эксплуатационной документации на основе принятия решений экспертным сообществом по итогам анализа НШС на борту КА. Данные ограничения являются фундаментальной основой рабочего функционала системы поддержки принятия решений.

2.5. ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ «ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ КА»

В представленной модели графического интерфейса суточного цикла управления КА для специалистов дежурной смены управления. Вызывает сложность реализация «вектора состояния КА». На данном этапе этот элемент графического интерфейса представляет собой некую спираль, поперечное сечение которой сегментировано в соответствии с составом всех активных в текущий момент времени подсистем служебной платформы и целевой аппаратуры КА, которые в свою очередь разделены на 3 зоны:

1. Внутренняя зона, окрашиваемая в оранжевый цвет, сигнализирует, что показания конкретного датчика конкретного телеметрируемого элемента работающей в данный момент подсистемы КА лежат ниже его индивидуальной нормы значений, определяемой на основании накопленной статистики. При этом такая статистика может различаться в зависимости от конкретного режима функционирования данного элемента и/или степени его износа.

2. Средняя зона, окрашиваемая в зелёный цвет и перекрывающая внутреннюю зону, сигнализирует, что показания конкретного датчика конкретного телеметрируемого элемента работающей в данный момент подсистемы КА лежат в границах его индивидуальной нормы значений.

3. Внешняя зона, окрашиваемая в красный цвет и перекрывающая внутреннюю и среднюю зоны, сигнализирует, что показания конкретного датчика конкретного телеметрируемого элемента работающей в данный момент подсистемы КА лежат выше границы его индивидуальной нормы значений.

Случай, когда не активна ни одна из зон и, соответственно, весь сектор показаний телеметрии конкретного датчика не окрашен, сигнализирует факт отсутствия данных телеметрии с этого конкретного датчика. Это может указывать, как на плановое отсутствие задействования конкретного элемента в программе работы на данный момент, так и на повреждение самого датчика и/или помехи при записи/передаче данных телеметрии при условии, что в данный момент времени этот элемент подсистемы КА должен быть задействован в реализации актуальной программы работы.

Предлагаемый вид поперечного среза «вектора состояния КА» представлен на рис. 4.

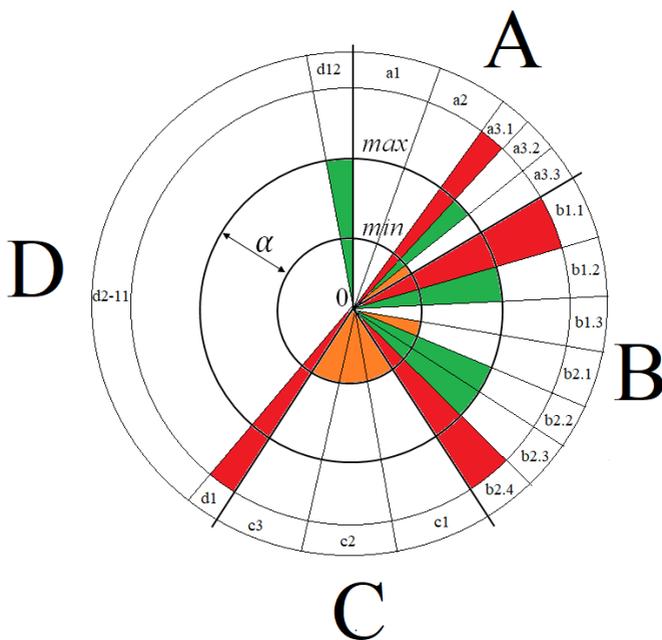


Рис. 4. Иллюстрация поперечного среза «вектора состояния КА»

Заглавными латинскими буквами обозначены подсистемы КА, строчными с номерами – показания датчиков элементов данных подсистем. У некоторых элементов может быть

несколько датчиков, в этом случае добавляются цифры в десятичную часть номера. Оранжевым цветом изображены показания датчиков ниже нижней границы допустимого диапазона статистической нормы альфа показаний для конкретного датчика. Зелёным – показания в пределах статистической нормы альфа. Красным – показания выше верхней границы статистической нормы альфа. Отсутствие данных датчика отображается отсутствием цветовой индикации, поскольку при отключенном приборе отсутствие данных является штатной ситуацией, но если прибор должен по плану функционировать, то отсутствие данных является косвенным признаком нештатной ситуации, из-за возможных проблем с энергоснабжением и/или проблем с передачей данных телеметрии.

В то время как поперечный срез спирали «вектора состояния КА» образуется данными телеметрии всех активных в текущий момент времени датчиков, направление поворота (к центру или от центра области «штатного» функционирования №2 на рис. 3, демонстрирует динамику изменения текущего состояния всего КА как сложной системы.

3. Заключение

Развитию разрабатываемого графического интерфейса системы поддержки принятия решений для специалистов дежурной смены управления КА ДЗЗ в составе ОГ предполагает его реализацию в виде программного продукта для всей системы поддержки принятия решений, используя реальные данные телеметрии ОГ КА ДЗЗ для определения разновидностей и периодичности НШС на продолжительном временном отрезке с проверкой результатов путём сравнения с данными статистики НШС собранными специалистами дежурной смены управления за исследуемый период. В случае высокой степени совпадения данных моделирования с результатами наблюдений данный программный продукт может быть внедрён как элемент механизма оценки эффективности специалистов дежурной смены управления по итогам окончания рабочей смены.

Литература

1. АБРАМОВ Н.С., ТАЛАЛАЕВ А.А., ФРАЛЕНКО В.П. *Интеллектуальный анализ телеметрической информации для диагностики оборудования космического аппарата // Информационные технологии и вычислительные системы.* – 2016. – №1. – С. 64–75.
2. ГОНЧАРОВ А.К., ЧЕРНОВ А.А. *Планирование сеансов приёма информации с космических аппаратов орбитальной группировки при ограниченном количестве приёмных комплексов // Космонавтика и ракетостроение.* – 2014. – №1. – С. 180–189.
3. КОРОЛЕВ А.Н. *Функциональная устойчивость навигационно-информационных систем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* – 2018. – Т. 61, №7. – С. 559–565.
4. КОТЯШОВ Е.В., КУВАЕВ О.Л., КУДИНОВ М.Г., ЧЕРНЯВСКИЙ В.А. *Информационно-расчетная модель планирования применения орбитальных группировок космических аппаратов // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского.* – 2017. – №657. – С. 15–22.
5. YURKEVITCH E.V., STEPANOVSKAYA I.A. *Controlling the security of the airport airspace using the digital twin // Journal of Physics: Conference Series.* – London: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2021. – Vol.1864. –P. 012128 (1–6).
6. YURKEVITCH E.V., STEPANOVSKAYA I.A., KRYUKOVA L.N. *Mechanisms of information support for the digital transformation of space complexes based on the concept of socio-cyber-physical self-organization // Lecture Notes in Networks and Systems.* – Cham: Springer. – 2022. – Vol. 330. – P. 629-637.
7. YURKEVITCH E.V., KRYUKOVA L.N. *Model design as a new socio-cyber-physical systems creating mechanism // Journal of Physics: Conference Series.* – London: IOP Publishing Limited. – 2021. – Vol. 1864. – P. 012089 (1–6).

DEVELOPMENT OF A PROJECT OF A GRAPHIC INTERFACE AS AN ELEMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DUTY SHIFT OF SPACE VEHICLE CONTROL

Aleksey Tuturov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., junior researcher (tuturov@mail.ru).

Abstract: The specifics of the work of duty shift specialists and the role of means of displaying information about the processes occurring in the space complex on decision-making on the control of spacecraft as part of the Earth's remote sensing orbital constellation are described. The task was set to develop a graphical interface project as an element of a decision support system for the on-duty shift of spacecraft control, consisting of specialists from space complex enterprises. The principles of separating service information, which are operated by shift shift specialists, into categories based on the nature of its sources, as well as a mechanism for displaying this information in real time using a graphical interface, in order to reduce the time spent on identifying the situation of abnormal operation of the ground and/or on-board software and hardware in the conditions of a limited time of a communication session with the spacecraft. The key feature of the proposed graphical interface is the "spacecraft state vector" - a method for displaying telemetry data of the elements of the spacecraft subsystems necessary to register an emergency situation on board the spacecraft and search for a strategy to stop / eliminate its consequences by ensuring functional stability - the ability of the system to save and / or restore the functions assigned to it.

Keywords: spacecraft, space complex, emergency situation, diagnostics, decision support system, interface.

УДК 629.78 + 004.5 + 007.5

ББК 32.81

DOI: 10.25728/ubs.2023.101.8

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М.Ф. Караваем.

Поступила в редакцию 05.12.2022.

Опубликована 31.01.2023.