

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ СИСТЕМ

УДК 629.78

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Донсков А.В.^{1*}, Мишурова Н.В.^{1**}, Соловьев С.В.^{1-2***}

¹ Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва,
ул. Ленина, 4А, Королёв, Московская обл., 141070, Россия

² Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, Москва, 105005, Россия

* e-mail: aleksej_ne@mail.ru

** e-mail: trigonella@mail.ru

*** e-mail: sergey.soloviev@scsc.ru

Рассмотрен вопрос разработки автоматизированной системы контроля состояния космических аппаратов. Выявлена и обоснована необходимость развития автоматизированных средств контроля состояния. На основе проведенного исследования авторами предлагается подход к разработке системы, которая позволяет автоматизировать рутинные задачи специалиста группы управления в части анализа телеметрической информации, отображать результаты автоматизированного анализа и информационной поддержки специалиста оперативной смены управления полетом космического аппарата. Авторами предложена обобщенная структура программного комплекса на примере контроля состояния транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС» и транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс МС» с указанием предъявляемых требований. Делается акцент на решение задачи по автоматизации процесса анализа телеметрической информации с борта космического аппарата. Рассматриваются инструменты для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля, пилотируемый космический корабль, космический аппарат, контроль, анализ состояния, полет, управление полетом космического аппарата, нештатная ситуация, телеметрическая информация.

Текущими направлениями развития космонавтики являются совершенствование космических аппаратов (КА), в том числе и пилотируемых кораблей как технического устройства, расширение количества выполняемых КА функциональных задач и как следствие увеличение полетных операций в процессе выполнения орбитального полета. Это, в

свою очередь, усложняет управление полетом, особенно с учетом обеспечения требований по безопасности экипажа пилотируемого корабля, и выполнение программы полета.

Контроль является необходимой задачей, решаемой при управлении полетом КА, он играет роль обратной связи, с помощью которой оцениваются

и состояние КА, и выполнение программы полета. Оценке подлежат все основные процессы, происходящие на борту КА. Оценка состояния и работы бортовых систем КА является основной функцией обеспечения безопасности полета экипажа, работоспособности КА, рационального использования его ресурсов, требуемого характера управляемого движения, требуемых параметров внутренней физической обстановки КА, выполнения им полетных операций, научно-исследовательской программы и плана полета в целом [1–4].

Технология контроля состояния КА достаточно отработана и включает устоявшуюся последовательность действий, выполняемых как аппаратно-программными средствами, так и операторами службы управления.

На процесс и технологию контроля состояния КА существенное влияние оказывают параметры орбитального движения КА, конструктивные особенности КА и наземного контура управления (НКУ). Это выражается в наличии ограничений:

- длительности сеанса связи;
- пропускной способности радиолинии передачи телеметрической информации (ТМИ);
- возможностей датчиковой аппаратуры, бортовых средств измерений и вычислительных средств КА.

Перечисленные ограничения определяются и учитываются на этапе создания КА. Принимаются технические решения, оптимизирующие влияние этих факторов на процесс управления полетом КА [5]. Тем не менее, общая тенденция повышения функциональных возможностей КА и производительности бортовых вычислительных средств КА приводят к увеличению количества разнородной информации, поступающей от КА и контролируемой персоналом управления.

Накопленный опыт управления полетом КА различного типа и назначения позволяет четко сформулировать основные недостатки средств и технологий контроля, которыми в настоящее время являются:

- наличие операций «ручного» контроля;
- ограниченная автоматизация анализа для контроля выполнения полетных операций;
- отсутствие автоматизированного прогнозирования технического состояния КА;
- ограничение по отображению ТМИ на рабочем месте оператора;
- ограниченная информационная поддержка оператора.

В статье представлен подход к разработке автоматизированной системы контроля состояния КА, создаваемой с целью минимизации человеческого

фактора в процессе управления полетом КА, к повышению информационной доступности и снижению нагрузки специалиста группы анализа на выполнение рутинных операций. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является реализация концепции максимальной автоматизации процессов анализа телеметрической информации КА и предоставления оператору управления только результатов анализа. Значительно расширяются возможности системы по быстрому представлению разнообразных данных из эксплуатационной и конструкторской документации с реализацией трехмерного объемного отображения конструкции и компоновки КА и его составных частей, приборов и агрегатов.

Предлагаемый подход к разработке автоматизированной системы контроля

Автоматизированная система контроля (АСК) КА предназначена для автоматизированного решения задач анализа и информационной поддержки специалистов оперативной смены при управлении полетом пилотируемых космических кораблей (ПКС) [6].

В соответствии с назначением АСК решает следующие задачи:

- прием полного потока ТМИ КА от контрольно-измерительной станции (КИС);
- устранение сбойности, привязка к шкале времени, обработка ТМИ до уровня физических значений параметров;
- отображение ТМИ-информации на автоматизированных рабочих местах операторов;
- автоматизированный анализ ТМИ КА;
- автоматизированное формирование рекомендаций при выявлении нештатной ситуации (НШС) на борту КА;
- автоматизированное формирование отчетов по результатам обработки ТМИ;
- информационная поддержка специалистов оперативной смены как единой интерактивной электронной системы документации;
- хранение полученных результатов.

В статье рассматриваются наиболее актуальные, технически сложные и востребованные задачи автоматизации, а именно:

- отображение ТМИ;
- автоматизированный анализ ТМИ;
- информационная поддержка специалиста группы анализа.

Типичная система отображения ТМИ для информативного представления состояния КА реализована с использованием специальных текстовых форматов (рис. 1).

КАДР 135 ТКМ ОБОБЩЕННЫЙ КАДР БРТС		РАССВЕТ-3БМ		МБИТС						
КВАНТ-В	'А'									
КВАНТ	БП1	04:30:41	АВТАКК	ВКЛ АВТОМ.АККУСТ	04:27:29	ВРЕМЯ	19.09.05.000	04:43:13	ВИПБОИ	ВК
ПРП	ЕСТЬ ПИТ.	04:27:29	ПА	ВКЛЮЧЕН ОСН.	04:27:29	ИЗДЕЛ	718	04:27:29	МСС1	ВК
АРУ1	-136.984 ДБ	04:41:43	ПРД (ПУ)	ОТКЛЮЧЕН	04:30:55	КСС	НП	04:27:29	Ш01	5
АРУ2	-136.122 ДБ	04:41:43	ВМ10	НЕТ МОЩН.	04:30:55	СЭСЗУ	42	04:27:29	Ш11	25
РК1	+ЗАМКНУТ	04:41:21	ВМ1Р	НЕТ МОЩН.	04:27:29	СЦП	21	04:27:29	МДЦ1	ВК
РК2	-РАЗОМКНУТ	04:41:21	МПВ1	0.170 ВТ	04:30:55	КРР	СТОП	04:27:29		
ЧЕТ1	+НЕТ КОМАНД	04:41:21	МОВ1	0.164 ВТ	04:27:29	ВНПМБ	+ВКЛ.РЕЖ.НП	04:27:29	МСС2	ВК
ЧЕТ2	+НЕТ КОМАНД	04:41:21	ТНГ	КИ.КК.ВИ	04:27:29				Ш02	5
МПК1	7.407 ВТ	04:36:22	ПРМ (ПД)	ВКЛЮЧЕН	04:27:29	ВБПМБ	-ВКЛ.БП2	04:27:29	Ш12	25
МПВ3	7.935 ВТ	04:32:40	ПРМ (ПС)	ВД0.251 В	04:27:29	МПМБ1	0.362 В	04:27:29	МСТ2	ВК
МОВ3	0.098 ВТ	04:27:29	ВН	ВД0.230 В	04:41:28	МПМБ2	5.269 В	04:27:29	ЭРТ2	49
КВВКВ1			АРУ1Р	ВД0.255 В	04:41:25	МПВ5	8.192 ВТ	04:27:29	МРТ2	20
МПК2	ВЫКЛ	04:27:29	АРУ2Р	ВД0.251 В	04:27:29	МОВ5	0.177 ВТ	04:27:29		
МПВ4	0.067 ВТ	04:27:29	АП1	+ПОДКЛ.ПРД	04:27:29	АПК7	-ПОДКЛ.ПРД2	04:27:29	МСС3	ВК
МОВ4	0.070 ВТ	04:27:29	АПЗД	+ПОДКЛ.К АБМ-272	04:27:29	КВВВИТС	0.744	04:27:29	Ш03	5
КВВКВ2	-0.011	04:27:29							Ш13	25
ПОДКПРМ	1-ВНА2. 2-ВНА1	04:27:29	КЛЕСТ-М			КЗАП8	-	04:27:29	МСТ3	ВК
ПОДКПРД	1-ВНА1. 2-ВНА2	04:27:29	МП3	0.342 ВТ	04:27:29				ЭРТ3	49
ТОКПОТР	НОРМА	04:27:29	МП4	0.256 ВТ	04:27:29				МРТ3	19
ОВК	+ЕСТЬ БЛОКИРОВ.	04:27:29	АПТ1	+ОБЪЕКТ.АНТ.	04:27:29				МДЦ3	ВК
			Т59	6.044 ГРАД С	04:27:29					
38Г6						КВСП2	-	04:27:29	МСС4	ВК
ПРДМ	-ВКЛ.ПИТАНИЕ	04:27:29	АНТЕННА МБИТС						Ш04	6
			АР1	-РАСКРЫТА	04:27:29				Ш14	25
КОМАНДЫ ИНПУ1			АНТ.АБМ 272 «РАССВЕТ-3БМ»						МСТ4	ВК
КОМИНПУ1			АЗ1	-РАСКРЫТА	04:27:29				ЭРТ4	49
									МРТ4	19
ЗАКЛАДКА МЦИ			КВИТАНЦИИ							
СТПВ1	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39	МАРК1	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39	МКВИТ1	0			
	+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41		+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41		0			
КОМАНДЫ ИНПУ2	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41		-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41					
КОМИНПУ2	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39	МАРК2	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39					
	+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41		+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41					
	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41		-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41					
	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39	МАРК3	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:39					
	+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41		+НАЛИЧИЕ СИГНАЛА	04:30:41					
	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41		-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41					
	-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41		-НЕТ СИГНАЛА	04:30:41					
АРУ1	-136.984 ДБ	04:41:43				АРУ1Р	0.255 В			
ДБ АРУ2	-136.122 ДБ	04:41:43				В АРУ2Р	0.251 В			

Рис. 1. Формат отображения ТМИ

В форматах содержатся обозначение телеметрического параметра, его текущее значение и время формирования этого значения. Для многих телеметрических параметров (ТМП) такое представление достаточно стандартное для большинства разнотипных КА. В некоторых случаях, это касается в первую очередь аналоговых и температурных параметров, для индикации результатов анализа используются три цвета:

- зеленый или черный — параметр в норме;
- желтый — внимание: значение параметра близко к допустимому пределу;
- красный — ненорма параметра.

Подобная автоматизация применяется повсеместно [7—11] и не вызывает особых нареканий, она интуитивно наглядна для оператора дежурной смены управления и проста при создании программного обеспечения, реализующего алгоритмы обработки ТМИ.

Тем не менее, в некоторых случаях подобное отображение изменения не способно полноценно показать состояние того или иного параметра. Это касается тех ТМП, которые меняют свое нормальное значение, предусмотренное технической документацией, в процессе полета КА. Это особенно ха-

рактерно для параметров ПКК. Например, параметр «давление в большой полости стыка» (ДПС) имеет нормальное значение, равное атмосферному давлению в момент старта ПКК в составе ракеты-носителя. После выведения на орбиту, но до стыковки с орбитальным комплексом (ОК) данный параметр имеет нормальное значение, равное нулю. После стыковки и открытия люков нормальное значение для параметра вновь становится равным атмосферному давлению. Этот пример не единичен, доля подобных параметров и связанных с ним операций по «ручному» контролю для ПКК — не менее 20%. Подобное состояние приводит к существенному росту трудоемкости, к необходимости наличия большого числа квалифицированных операторов в дежурных сменах управления полетом.

«Ручной» контроль негативно влияет на оперативность анализа при управлении полетом КА во время сеанса связи и проведении динамических операций с КА, что обуславливает возникновение ошибок, которые связаны с человеческим фактором.

Для автоматизации операций контроля в части ТМП, имеющих различное значение в нормальном состоянии, требуется применение специальных методов их обработки. Одним из вариантов явля-

ется формирование дополнительных параметров, которые определяют текущую фазу полета или проведение конкретных полетных операций. Общий алгоритм в данном случае может быть таким: сначала автоматизированный анализ и определение фазы полета КА или полетного времени (отсчитываемого от момента $T_{\text{кп}}$), затем определение граничных значений контролируемых параметров, иначе говоря, текущего значения «норма» или «ненорма» и только после этого — обработка ТМП с автоматическим анализом на допустимые значения, определенные эксплуатационной документацией [12—15]. Таким образом, для различных этапов полета граничные значения или признаки варьируются и могут принимать прямо противоположные значения. Эти значения генерируются автоматизированной системой самостоятельно, исходя из полетного времени или иных признаков, например формируемых бортовым комплексом управления (БКУ) КА.

Другим вариантом автоматизации «ручных» операций является анализ ТМП, меняющих свое нормальное значение, совместно с другими связанными ТМП. Алгоритм обработки при этом строится на последовательном анализе сначала связанных параметров, а затем анализируется параметр, меняющий свое нормальное значение [16, 17]. Фактически анализ связанных параметров определяет этап полета или состояние КА. Анализ же ТМП производится только при наличии полученного признака состояния от связанных параметров. Таким образом, в зависимости от наличия или отсутствия признака состояния формируются те или иные допустимые значения ТМП, ранее анализируемые методом «ручных» операций. Например, для описанного выше параметра ДПС связанным параметром для автоматизированного анализа является аналитический параметр «Полет». Данный параметр формируется на основе состояния параметров «контакт отделения» (КО), «признак причаливания» (ПРПР) поступающих от ПКК, и признака «станция», поступающего от орбитального комплекса. Параметр «Полет» формируется наземными средствами обработки ТМИ и однозначно определяет, в каком состоянии должны находиться значения параметра ДПС. При этом, если параметр «Полет» принял значение «состыкован», то контролируемые значения ДПС должны находиться на уровне атмосферного давления, а в противном случае параметр ДПС должен иметь контрольные значения, равные «0».

Помимо автоматизации операций «ручного» контроля отдельных ТМП, целесообразно применять дополнительные алгоритмы обработки для

формирования так называемых обобщенных параметров. Данные параметры формируют интегральную оценку, которая характеризует состояние сразу группы однотипных параметров. Наиболее очевидный пример — это интегральная оценка, например, теплового состояния КА. Температура оборудования, конструкции или среды внутри КА измеряется значительным числом тепловых датчиков. Информация с этих датчиков передается с борта КА на наземные средства контроля. Из сравнения текущих значений с допустимыми диапазонами формируется обобщенная характеристика теплового состояния КА. При этом при нахождении всех значений внутри допустимого диапазона обобщенный параметр принимает значение «норма», при выходе текущих значений температуры за допустимый диапазон — значение «ненорма». Как правило, в конструкции КА и его системы бортовых измерений первичные датчики, не только температурные, но и датчики тока, давления и другие либо дублируются, либо группируются таким образом, чтобы иметь достоверную информацию при различных ситуациях или отказах (рис. 2). Для исключения сбоев первичные параметры от датчиков разбивают на группы и анализируют по мажоритарной схеме. Это позволяет исключить ошибки, связанные с выходом из строя отдельных датчиков, или сбоем при передаче данных с борта КА на наземные средства обработки.

Алгоритмы формирования обобщенных параметров могут быть составлены для интегральной оценки состояния не только группы однотипных ТМП. Для отдельной бортовой системы КА также возможно генерирование обобщенных параметров, но необходимо в алгоритмах учитывать текущий режим работы бортовой системы КА. Задача такого алгоритма усложняется, поскольку приходится иметь дело с разнородными параметрами, которые в разное время формируются на борту КА. Кроме того, существуют неединичные критерии, по которым формируется признак «норма» или «ненорма». Например, для системы энергоснабжения помимо допустимых значений температур оборудования системы, напряжений и токов, а для некоторых конструкций — и давлений в аккумуляторных батареях, принципиальным является не только положительный энергобаланс, но и гарантированное время работы, которые обеспечивают аккумуляторные батареи при пропадании тока с солнечных батарей (СБ), рис. 3. Подобный запас обеспечит прохождение теневых участков орбиты без прерывания выполнения целевой задачи. То есть алгоритм анализа при работе должен учесть выход за граничные зна-

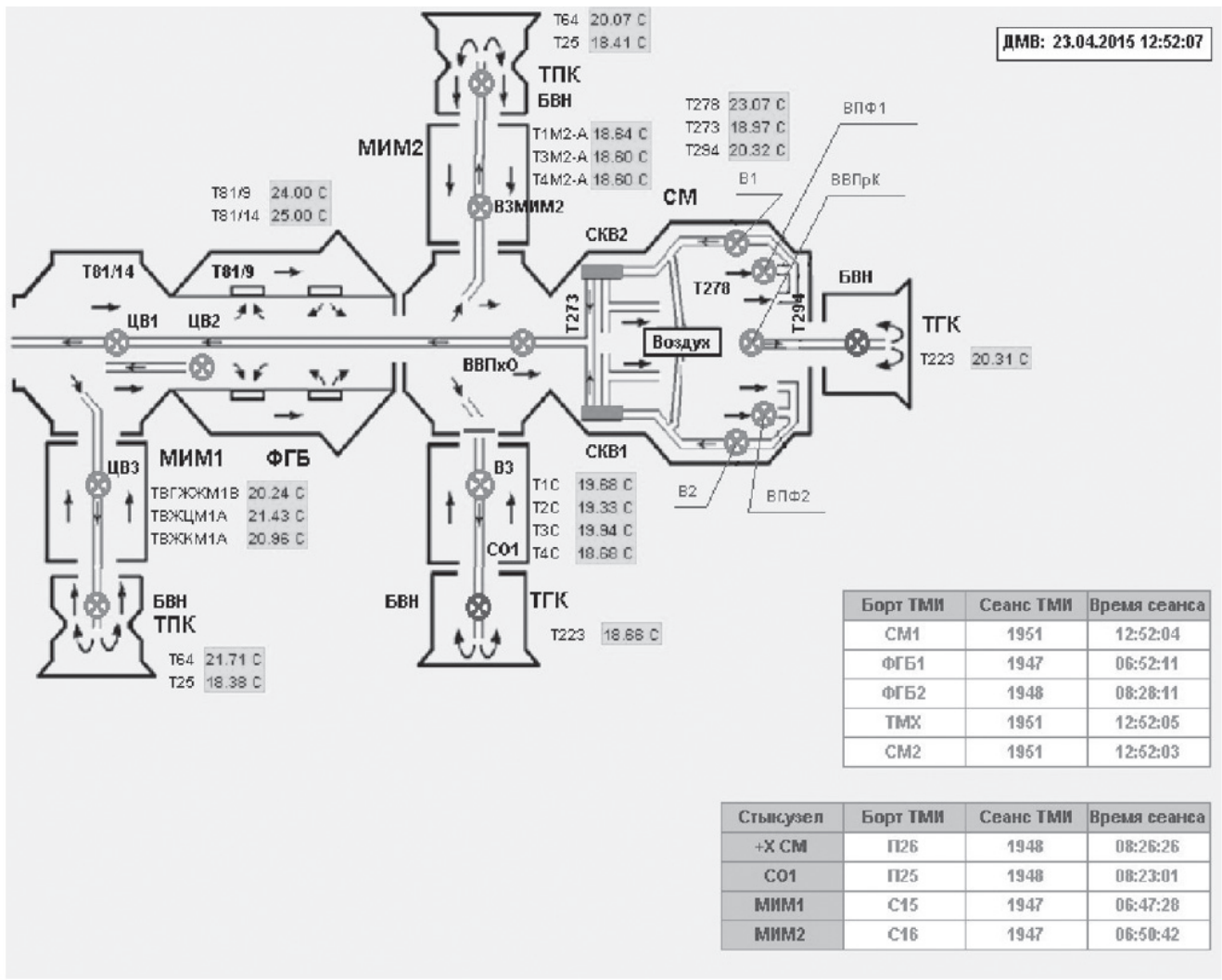


Рис. 2. Схема расположения температурных датчиков на борту российского сегмента МКС

чения параметра «ток СБ». Данное требование реализуется за счет использования дополнительной баллистической информации, которая поступает не с борта КА, а из других источников, например от баллистического комплекса или из модели движения КА.

Иерархическое объединение обобщенных параметров по системам КА по принципу «от простого к сложному» и дополнительные алгоритмы обработки позволяют в конечном итоге образовать обобщенный параметр на уровне КА в целом (рис. 4). Это — весьма эффективное решение, особенно при длительных рабочих режимах КА, характерных для КА связи, метеорологии и навигации, или в ситуации дежурных режимов, например совместный полет ТПК и ТГК в составе орбитального комплекса.

Практика контроля на основе обобщенных параметров состояния бортовых систем и КА в целом существует. Так, автоматизация контроля рутинных операций процесса контроля наземными техниче-

скими средствами управления позволила намного сократить персонал ЦУП КА связи (до двух операторов на 5-6 спутников) без потери качества выполнения контрольных функций и надежности управления в целом. Для ПКК автоматизация процедур анализа также имеет большой потенциал.

Использование «ручных» операций контроля в перспективе может потребоваться только для анализа отработки абсолютно новых режимов или полетных операций для вновь разрабатываемых КА, с последующей по мере отработки заменой их на автоматизированный контроль.

Еще одним возможным методом контроля полета КА следует считать разработку специализированных многопараметрических алгоритмов анализа. Хотя современные бортовые комплексы управления формируют обобщенные параметры и локализуют единичные неисправности оперативно и эффективно, в ряде случаев такие действия могут не быть эффективными или приводить к ложным

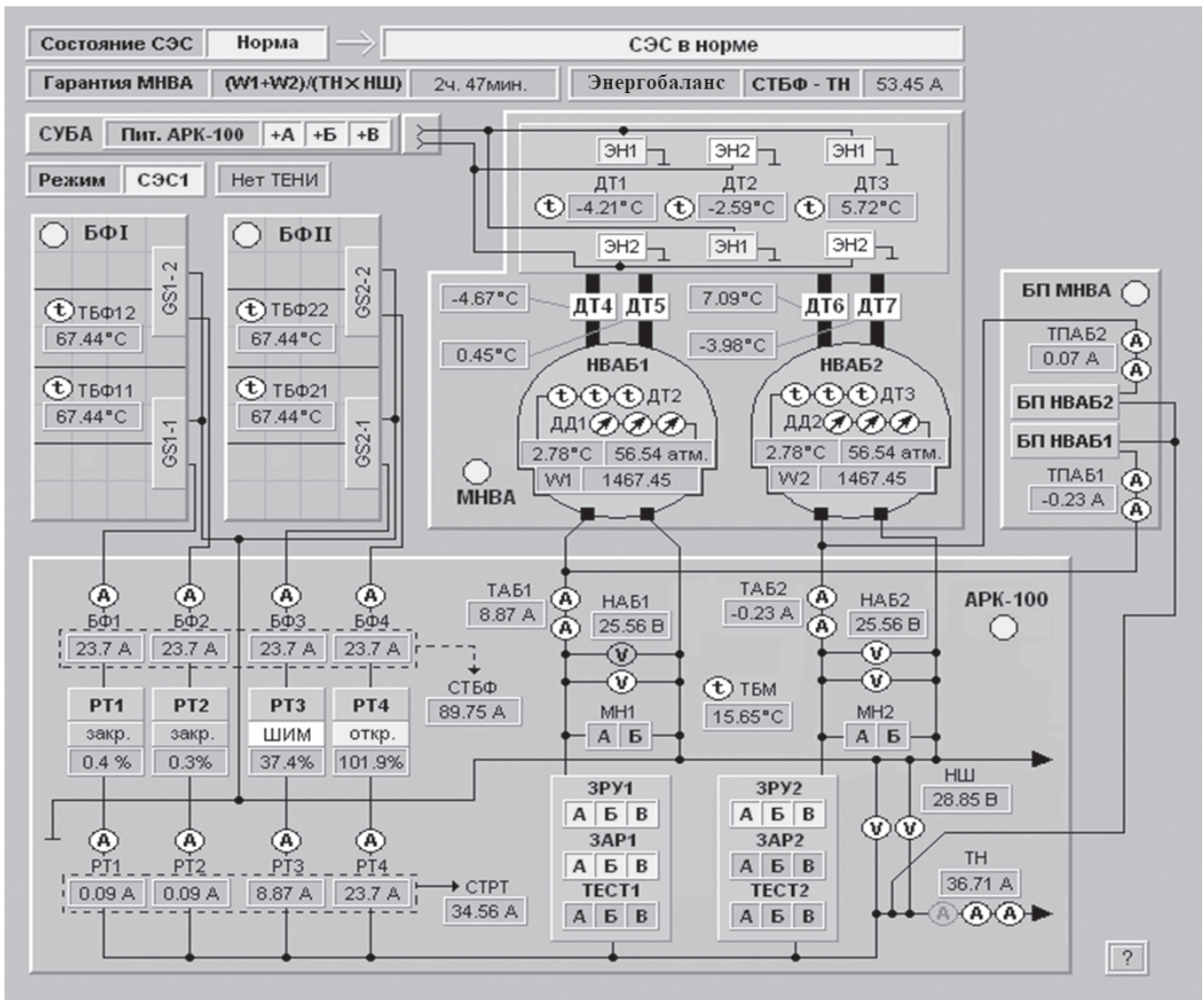


Рис. 3. Формат отображения СЭС с обобщенным параметром «норма» по системе в целом

срабатываниям. К такого рода событиям относятся следующие:

- сбой бортовой аппаратуры или бортовой ТМИ;
- наложение событий на борту КА, приводящее к переполнению вычислительных возможностей БКУ;
- некорректные начальные настраиваемые параметры алгоритмов БКУ.

Наличие специализированных алгоритмов анализа позволит оперативно выявлять сбои и кратковременные отклонения в функционировании КА, минимизируя изменения программы полета. Большое значение будет иметь возможность использования в них информации, получаемой при полете однотипных КА, и опыт их эксплуатации.

Одним из существенных факторов повышения эффективности контроля является информационная поддержка операторов дежурных смен управ-

ления. Исходя из анализа действий операторов и решаемых ими задач управления, представляются весьма востребованными и актуальными следующие виды информационной поддержки:

- информационно-поисковые системы;
- трехмерные модели конструкции КА;
- вспомогательные модели (баллистические, динамические и т.п.).

Информационно-поисковые системы призваны упростить работу операторов управления с эксплуатационной документацией [18–20]. Объем эксплуатационной документации по управлению ПКК и регулярно применяемой специалистами дежурной смены составляет около 100 различных источников (инструкции, технические описания, журналы смен и т.п.). Для РС МКС число документов значительно больше, а учитывая изменение конфигурации станции, модернизацию ПКК, объем эксплуатационной документации существенно вы-

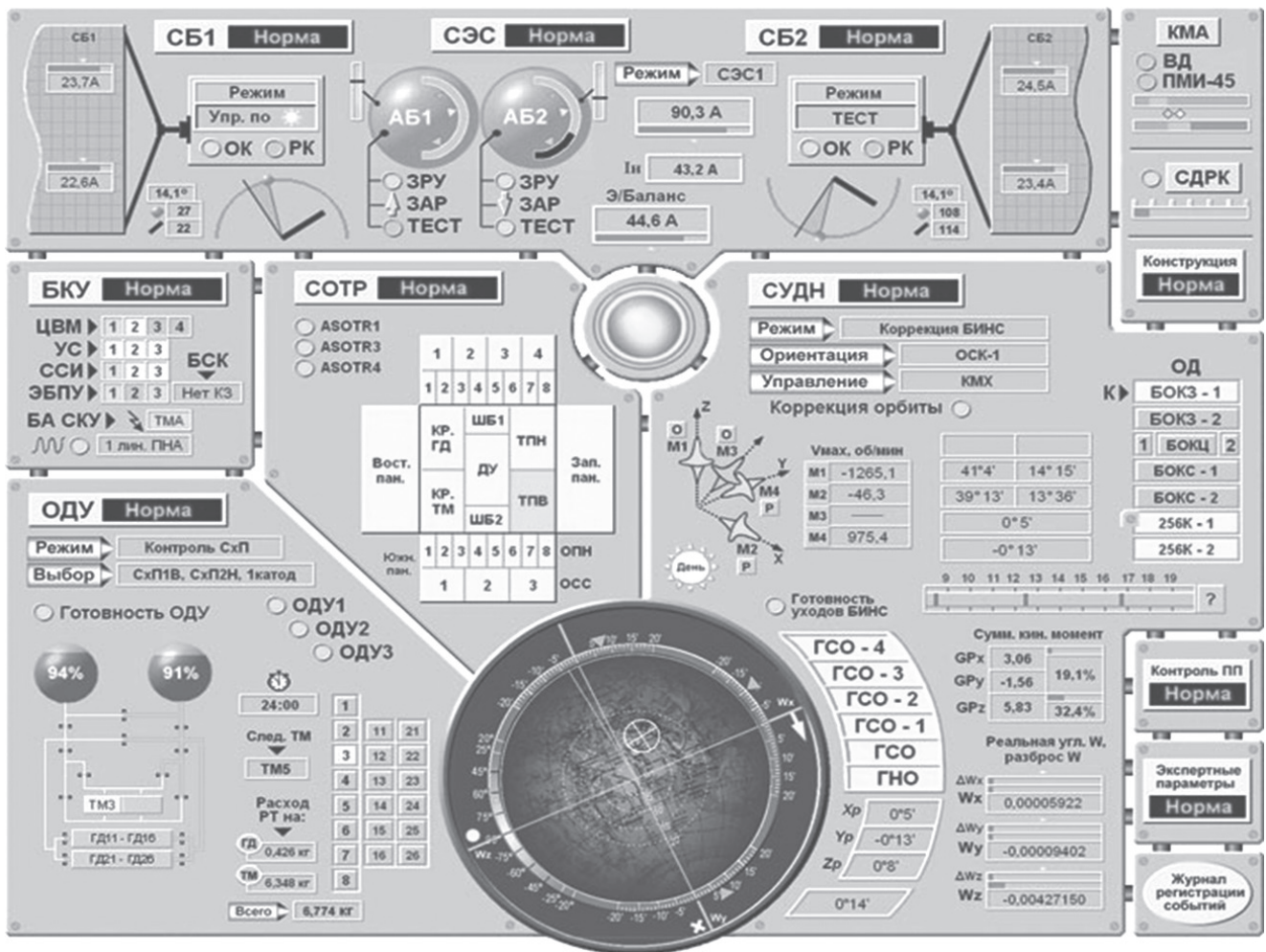


Рис. 4. Пример представления обобщенного параметра «норма» для КА и бортовых систем КА

рос. Вся документация (проектная, конструкторская, эксплуатационная и др.) сейчас разрабатывается, хранится и распространяется в электронном виде. Однако самое существенное в технологии ее использования — это быстрый поиск необходимой информации с нечеткими признаками в большом объеме электронных документов. Поэтому с рабочего места оператора целесообразно иметь доступ к специальному поисковому программному обеспечению, позволяющему по различным критериям находить необходимые сведения в эксплуатационной и в других видах документации. При этом должны быть реализованы следующие способы поиска информации:

- адресный;
- семантический (связанный со значением);
- документальный.

Отдельно следует отметить необходимость поиска информации по телеметрическим параметрам не только в инструкциях по эксплуатации, но и технических описаниях и по возможности в конструкторских документах. Поэтому в дальнейшем

будем под *поиском информации* понимать процесс, в ходе которого в той или иной последовательности производится соотнесение отыскиваемого документа с каждым документом, хранящимся в системе. Информационно-поисковые системы позволяют, при соответствующей настройке, весьма эффективно осуществлять поиск в массивах машиночитаемых данных, содержащих заданные слова.

Для операторов управления в дежурных сменах характерна устойчивость тематического профиля запросов, т. е. запросы являются «информационно-ориентированными» и, соответственно, есть возможность организовать информационное пространство проблемы. Это означает, что пользователь создает по существу новый, «самостоятельный» проблемно-ориентированный, индивидуально обновляемый и пополняемый информационный подресурс, включающий, помимо подборок документов, и метаинформацию, например словари специальной терминологии, классификаторы предметных областей, описания ресурсов и т.д.

Для понимания методов автоматизации поиска существенными являются два следующих фактора:

- сравниваются не сами объекты, а описания — так называемые «поисковые образы»;
- сам процесс является сложным (составным и не одноактным) и обычно реализуется последовательностью операций.

Данные в информационно-поисковую систему должны вводиться на основе специально разрабатываемых форматов ввода.

Термины и телеметрические параметры, применяемые для управления полетом КА, как правило, являются составными, т.е. содержат несколько слов, поэтому организация поиска должна происходить с усечением справа. Это общепризнанная форма организации в поисковых машинах типа «Google» и т.п., применяемых в интернете. Например, при вводе в строку поиска «температура на торцевой панели 21», после набора слова «температура» информационно-поисковая машина отображает ссылки на параметры, содержащие эти слова. При добавлении следующего слова происходит уточнение и остаются ссылки только на параметры температуры торцевой панели и т.д. В каждом случае оператор должен представлять, что именно он хочет найти, так как в предложенном ему варианте будет найдено гораздо большее количество документов, чем при задании данного слова полностью (без усечения). В подобном случае возможно в полученном массиве информации провести уточняющий поиск, например структурированный в соответствии со схемой деления КА, и в результате получить более адекватные и точные данные.

Исходя из изложенного выше, можно определить требования к единой интерактивной электронной системе представления документации (ЕСД), которая должна обеспечивать:

- оперативный поиск информации во всем массиве документации;
- автоматический выбор необходимой документации, используемой в текущий момент времени реализации плана полета;
- структурирование документации на уровни и подуровни (оперативная документация, справочная информация, организационная документация, процедуры при НШС, графическая информация и др.);
- предоставление более информативной графической информации (3D-анимация, видеоинформация);
- наличие единых актуальных версий документации;
- использование современных методов и алгоритмов компьютерной обработки информации, представленной в документации, с целью выработ-

ки своевременных решений и подсказок для персонала главной оперативной группы управления;

- увязывание документации с текущими показаниями ТМИ при возникновении нештатной ситуации;
- возможности на программном уровне взаимодействовать с другими информационными системами, например автоматизированной системой планирования и др.;
- доступность всей документации на всех рабочих местах специалистов службы управления.

Выводы

Рассмотренные в данной статье задачи автоматизации процессов контроля при управлении полетом КА не являются исчерпывающими. В зависимости от целевого назначения КА (или орбитальной группировки КА) могут не только изменяться задачи и их совокупный набор, но и появляться специфические и самостоятельные направления. С учетом сложившейся практики управления полетом в пилотируемой космонавтике в целом сформирован подход к разработке автоматизированной системы контроля состояния бортовых систем КА. Автоматизация решения этих задач позволяет повысить качественный уровень функционирования группы управления за счет выявления аномальных ситуаций, потенциально переходящих в нештатные ситуации, и оперативное обеспечение информацией операторов управления по широкому кругу решаемых задач.

Библиографический список

1. Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами: Учеб. пособие: В 2 ч. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. Ч. 2. — 426 с.
2. Кравец В.Г., Любинский В.Е. Основы управления космическими полетами. — М.: Машиностроение, 1983. — 224 с.
3. Ушаков А.П., Брега А.Н., Коваленко А.А., Чернобровкин С.Г. Управление полетом орбитальной станции «Мир». Концепция автоматизированного планирования и управления. — Калининград: РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 1995. — 243 с.
4. Матюшин М.М. Оперативное управление пилотируемыми космическими комплексами: проблемы и тенденции развития // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 (Москва, 16—19 июля 2014): Сборник трудов. — М.: Изд-во Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 3313—3323.
5. Наземный комплекс управления дальними космическими аппаратами: перспективы развития / Под ред. Ю.М. Урличича. — М.: Радиотехника, 2012. — 214 с.

6. Соловьев С.В., Мишурова Н.В. Анализ текущего состояния процесса контроля при управлении полетом космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 3(51). URL: <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/1474.html> DOI 10.18698/2308-6033-2016-03-1474
7. Бочкарев В.В., Крыжановский Г.А., Сухих Н.Н. Автоматизированное управление движением авиационного транспорта. — М.: Транспорт, 1999. — 319 с.
8. Медведев А.В., Сухих Н.Н., Федоров М.С. Структуры и алгоритмы управления сложных авиационных систем // Структуры сложных систем и алгоритмы управления: межвузовский сборник. Сер.: Вопросы теории систем автоматического управления. Вып. 8-1990 / Под ред. Ю.А. Борцова, В.Б. Яковлева. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. — 207 с.
9. Лукин Ф.А., Шахматов А.В., Мушовец К.В., Зеленков П.В. Механизм управляемой телеметрии космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2012. № 5(45). С. 140-144.
10. Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Под ред. А.С. Сырова. — М.: МАИ-ПРИНТ, 2010. — 304 с.
11. Шкляр В.Н. Надежность систем управления: Учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 126 с.
12. Лукин Ф.А., Шахматов А.В., Мушовец К.В. и др. Механизм управляемой телеметрии космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2012. № 5(45). С. 140-144.
13. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике: Учебный курс. — СПб.: Наука и техника, 2007. — 672 с.
14. Милицин А.В., Самсонов В.К., Ходак В.А., Литвак И.И. Отображение информации в центре управления космическими полетами. — М.: Радио и связь, 1982. — 194 с.
15. Князев А.В. Теоретико-графовое моделирование информационных процессов в АСУ испытаниями // Вестник Московского авиационного института. 2002. Т. 9. № 2. С. 38-43.
16. Гасов В.М., Коротаев А.И., Сенькин С.И. Отображение информации. — М.: Высшая школа, 1990. — 111 с.
17. Соловьев С.В. Интеллектуальный метод анализа для автоматизированного прогнозирования состояния КА // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 2(50). URL: <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/1469.html> DOI 10.18698/2308-6033-2016-02-1469
18. Олейников И.И., Павлов В.П., Ковалева М.В. Методы выявления и оценки параметров опасных ситуаций при обеспечении безопасности полета космических аппаратов в околоземном космическом пространстве // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 5. С. 32-37.
19. Писаренко В.Н. Управление контролепригодностью при эксплуатации объекта // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 1. С. 67-75.
20. Барсегян А.А., Курприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 336 с.
21. Деревянко В.В. Применение Data Mining в космических приложениях // Исследования наукограда. 2012. № 1. С. 47-51.

AUTOMATED SYSTEM FOR SPACE VEHICLE STATUS MONITORING

Donskov A.V.^{1*}, Mishurova N.V.^{1}, Solov'ev S.V.^{1-2***}**

¹ Rocket and Space Corporation "Energia" named after S.P. Korolev,
4, Lenin str., Korolev, Moscow region, 141070, Russia

² Bauman Moscow State Technical University,
BMSTU, 5, 2nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia

* e-mail: aleksej_ne@mail.ru

** e-mail: trigonella@mail.ru

*** e-mail: sergey.soloviev@scsc.ru

Abstract

The article considers the issue of a space vehicles status monitoring automated systems developing.

The goal of the work consists in analysis and application of the tools for flight control systems of conventional spacecraft improving.

The technique of a manned spacecraft current state status monitoring with account for affecting factors (an aircraft orbital movement parameters, structural specifics

of an aircraft and ground-based control loop), as well as a throughput of radio communication circuit for telemetric information transmitting, sensor equipment capabilities, onboard measuring instrumentation and computing means were studied.

The conclusion was drawn, that the tasks of controlling processes automation while spacecraft flight control are not exhaustive.

Depending on the designation of an individual spacecraft or spacecraft orbital group not only the tasks and their aggregate set can change, but specific and independent assignments may arise as well.

With account for the current flight control practice in manned astronautics the approach at large to a space vehicles' on-board equipment status monitoring automated systems developing was formed. Automation of problems solving on telemetric information displaying and analysing coupled with information support of a specialist of the group of analysis allows increase the quality level of the managing group functioning. It is achieved through detecting an abnormal situation, potentially translating into emergencies, as well as operational provision of flight control operators with information over a wide range of the problems being solved.

The significance of the spacecraft status monitoring automated systems developing is being proved by the fact that it allows minimize the human factor in the process of a spacecraft control, increase information accessibility and ease-off the burden of analysis group specialist while performing routine operations.

The considered approach to the spacecraft status monitoring automated systems developing can be applied to both the process of of existing manned space vehicles flight control process improvement, and prospective manned spacecraft under development.

Keywords: automated monitoring system, manned spacecraft, space vehicle, control, status monitoring, space vehicle, control, status analysis, flight, spacecraft flight control, emergency situation, telemetric information.

References

1. Solov'ev V.A., Lysenko L.N., Lyubinskii V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami* (Space flight management), Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2010. Part 2 – 426 p.
2. Kravets V.G., Lyubinskii V.E. *Osnovy upravleniya kosmicheskimi poletami* (Fundamentals of space flight control), Moscow, Mashinostroenie, 1983, 224 p.
3. Ushakov A.P., Brega A.N., Kovalenko A.A., Chernobrovkin S.G. *Upravlenie poletom orbital'noi stantsii "Mir". Kontseptsiya avtomatizirovannogo planirovaniya i upravleniya* ("Mir" space station mission control. Automated planning and control concept), Kaliningrad, RKK "Energia" im. S.P. Koroleva, 1995, 243 p.
4. Matyushin M.M. *XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014 (Moskva, 16-19 iyulya 2014): sbornik trudov*. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3313-3323.
5. *Nazemnyi kompleks upravleniya dal'nimi kosmicheskimi apparatami: perspektivy razvitiya* (Long-distance spacecraft ground-based control: prospects of development), Moscow, Radiotekhnika, 2012, 214 p.
6. Solov'ev S.V., Mishurova N.V. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, 2016, no. 3(51), available at: <http://engjournal.ru/catalog/arse/adb/1474.html> DOI: 10.18698/2308-6033-2016-03-1474
7. Bochkarev V.V., Kryzhanovskii G.A., Sukhikh N.N. *Avtomatizirovannoe upravlenie dvizheniem aviatsionnogo transporta* (Automated control of air transport movement), Moscow, Transport, 1999, 319 p.
8. Medvedev A.V., Sukhikh N.N., Fedorov M.S. *Struktury slozhnykh sistem i algoritmy upravleniya. Mezhvuzovskii sbornik*, Leningrad, Leningradskii universitet, no. 8, 1990, 207 p.
9. Lukin F.A., Shakhmatov A.V., Mushovets K.V., Zelenkov P.V. *Vestnik SibGAU*, 2012, no. 5(45), pp. 140-144.
10. Brovkin A.G., Burdygov B.G., Gordiiko S.V. *Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami* (Spacecraft onboard control systems), Moscow, MAI-PRINT, 2010, 304 p.
11. Shklyar V.N. *Nadezhnost' sistem upravleniya* (Control systems reliability), Tomsk, Tomskii politekhnicheskii universitet, 2009, 126 p.
12. Lukin F.A., Shakhmatov A.V., Mushovets K.V. *Vestnik SibGAU*, 2012, no. 5(45), pp. 140-144.
13. Nazarov A.V., Kozyrev G.I., Shitov I.V. *Sovremennaya telemetriya v teorii i na praktike* (Modern telemetry in theory and in practice), St. Petersburg, Nauka i tekhnika, 2007, 672 p.
14. Militsin A.V., Samsonov V.K., Khodak V.A., Litvak I.I. *Otobrazhenie informatsii v tsentre upravleniya kosmicheskimi poletami* (Information displaying in space flight control center), Moscow, Radio i svyaz', 1982, 194 p.
15. Knyazev A.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2002, vol. 9, no. 2, pp. 38-43.
16. Gasov V.M., Korotaev A.I., Sen'kin S.I. *Otobrazhenie informatsii* (Information Display), Moscow, Vysshaya shkola, 1990, 111 p.
17. Solov'ev S.V. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, 2016, no. 2(50), available at: <http://engjournal.ru/catalog/arse/adb/1469.html> DOI: 10.18698/2308-6033-2016-02-1469
18. Oleinikov I.I., Pavlov V.P., Kovaleva M.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2012, vol. 19, no. 5, pp. 32-37.
19. Pisarenko V.N. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2018, vol. 25, no. 1, pp. 67-75.
20. Barsegyan A.A., Kupriyanov M.S., Stepanenko V.V., Kholod I.I. *Metody i modeli analiza dannykh: OLAP i Data Mining* (Methods and models of data analysis: OLAP and Data Mining), St. Petersburg, BKhV-Peterburg, 2004, 336 p.
21. Derevyanko V.V. *Issledovaniya naukoigrada*, 2012, no. 1, pp. 47-51.