

Построение оценочной функции для поддержки принятия оперативных решений при контроле параметров состояния космического аппарата
04, апрель 2011
авторы: Матюшин М. М., Саркисян Х. В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана
mykes1986@mail.ru
matushin@scsc.ru

Введение

Так как от состояния бортовых систем космического аппарата зависит способность космического аппарата выполнять план полета, то контроль параметров бортовых систем и принятие оперативных решений является важнейшей задачей по управлению космическим аппаратом. В свою очередь, для того чтобы правильно принимать оперативные решения требуется верно оценивать состояния параметров бортовых систем. Оценка параметров происходит в соответствии с оценочной функцией, вид которой, в силу специфики каждого отдельно взятого параметра, будет разным. Не существует единой методики построения оценочной функции. Анализ одного и того же параметра может происходить в соответствии с различными видами оценочных функции. В данной работе представлен способ построения оценочной функции для одного параметра. Так как задача построения оценочных функции для анализа параметров бортовой системы космического аппарата является узкоспециализированным, работ по этой тематике очень мало. Данная работа не является исчерпывающей, так как зачастую для принятия оперативных решений недостаточно оценки одного параметра, и в этом случае нужно использовать решающее правило для выбора того параметра, который наибольшим образом влияет на исход события.

1. Классификация параметров бортовых систем

Оперативное управление полетом космического аппарата в широком смысле этого слова подразумевает изменение состояния космического аппарата в соответствии с планом полета. Для системы управления полетом космического аппарата в целом и в частности для наземных операторов оперативной группы управления полетом космического аппарата, работающих в центре управления полетом, состояние космического аппарата описывается некоторым массивом данных.

Этот массив составляют параметры состояния космического аппарата на определенных временных интервалах. К числу параметров, характеризующих состояние космического аппарата обычно относят [1]:

- параметры состояния бортовых систем аппарата;
- параметры состояния элементов конструкции, определяемые степенью их износа, целостности, величиной приобретенных деформаций, герметичностью замкнутых объемов и т.д.;
- параметры эксплуатации, такие как температурный и влажностный режимы, уровни радиации и шума, характеристики вибраций и др.;
- ресурсные параметры космического аппарата, претерпевающие изменения в процессе полета;
- параметры движения в инерциальном пространстве центра масс космического аппарата на текущий и любой наперед заданный момент времени;
- параметры углового движения космического аппарата, определяемые решением задач ориентации и стабилизации его осей относительно базовой системы отсчета;
- фактические выходные характеристики функционирования бортовых систем (например, точность осуществления ориентации космического аппарата, энергопроизводительность его солнечных батарей и т.д.);
- медицинское и психофизиологическое состояние экипажа, характеризующее его способность выполнять возложенные на него задачи;
- комплексные параметры (целевые функции) характеризующие степень выполнения задач полета на фиксированный момент времени.

Параметры для оценки состояния космического аппарата, в основном, поступают в центр управления полетом в составе телеметрической информации, хотя возможны и иные средства получения информации о значении параметра, особенно если это касается управления пилотируемыми полетами.

Прежде чем попасть на средства отображения специалиста оперативной группы управления космического аппарата в центр управления полетом, телеметрические параметры должны быть соответствующим образом получены с борта космического аппарата в неискаженном виде, обработаны в вычислительном комплексе центра управления полетом (дешифрованы, тарированы, привязаны ко времени и т.д.), скомпонованы в удобном для отображения виде.

Это достаточно важные этапы и в настоящее время каждому из этих этапов посвящено достаточно большое число научных и практических работ, например работы

[2,3,4]. Но задача оценки параметров и принятия решений о состоянии контролируемого объекта – в данном случае космического аппарата, как правило, выходит за рамки этих работ. Решение этой задачи специалистом оперативной группы управления подразумевает соотнесение оцениваемого в данный момент времени параметра и состояние контролируемого аспекта функционирования космического аппарата, который этот параметр и характеризует.

На первый взгляд задача представляется достаточно тривиальной, поэтому она часто выносится за рамки исследований. Однако, если учесть возможную неоднозначность интерпретации разными специалистами одного и того же значения параметра в зависимости от тенденции развития ситуации на борту космического аппарата, поскольку специалисты опираются только на свой опыт, знания и интуицию, то встает задача предоставления этим специалистам некоторого формального инструмента для облегчения оценки параметра.

Существуют различные подходы к классификации параметров, поступающих с борта космического аппарата, [3]. В данном случае отметим, что все множество параметров возможно разбить на два больших класса – дискретные и непрерывные. К дискретным относятся параметры, характеризующиеся скачкообразным изменением значения дискретных уровней: «включено – выключено», «положение 1 – положение 2», «красный коридор – желтый коридор – зеленый коридор» и т.д. Непрерывные параметры могут принимать значения из некоторого множества. Далее остановимся подробнее на оценке информации при контроле единичного непрерывного параметра.

2. Оценка непрерывного единичного параметра

Рассмотрим непрерывный параметр p , полученный с борта космического аппарата. Целью получения данного параметра является оценка с его помощью состояния объекта контроля. Состояние объекта контроля - узла, блока, подсистемы или какого-то аспекта их функционирования может быть классифицировано в зависимости от области значений, принимаемых этим параметром. Это и будет решением, которое принимает специалист, оценивающий на Земле объект контроля.

В простейшем случае на основе решения специалиста оперативной группы управления состояние может быть отнесено к одному из двух классов - «норма» или «не норма». На практике могут быть выделены промежуточные состояния, которые соотносятся с переходом параметра от одного состояния к другому в направлении от «нормы» к «не норме». Т.е. формально множество возможных состояний контролируемого объекта - узла, блока, подсистемы или какого-то аспекта их

функционирования S разбивается на некое n -е количество подмножеств, в простейшем случае два

$$S_{шт} \cup S_{нс} = S, \quad (1)$$

где $S_{шт}$ - штатное состояние контролируемого объекта, $S_{нс}$ - нештатное состояние контролируемого объекта.

Пусть P – есть полное множество значений, принимаемых параметром p . $P_{доп}$ - допустимое подмножество значений параметра p , естественно, $P_{доп} \subset P$. Тогда принятие решения по оценке текущего состояния объекта контроля S_t после получения значения параметра p_t момент времени t_i происходит на основе правила

$$\forall t: p_t \in P_{доп} \rightarrow S_t \in S_{шт}, \quad (2)$$

$$\forall t: p_t \notin P_{доп} \rightarrow S_t \in S_{нс}. \quad (3)$$

Или если (2) и (3) сформулировать словами, что характерно для эксплуатационно-технической документации по управлению полетом космического аппарата, для принятия решения по оценке объекта контроля в определенный момент времени необходимо следовать правилу: «если параметр принимает значения из области допустимых значений, то состояние объекта контроля можно определить как штатное состояние и, наоборот, если параметр принимает значения вне области допустимых значений, то состояние объекта контроля можно определить как нештатное состояние».

Для удобства отображения данного правила введем понятие оценочной функции $\rho(p)$ для единичного параметра p , значения которой будут указывать, находятся ли значения параметра в области допустимых значений на текущий момент времени

$$\rho(p) = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \in P_{доп}, \\ 0, & \text{если } p_i \notin P_{доп}. \end{cases} \quad (4)$$

Если в процессе контроля состояния в текущий момент времени объект находится в пределах нормы и объект функционирует штатным образом, то оценочная функция ρ принимает значение 1. Если состояние объекта контроля на момент контроля нештатное, имеются какие-то сбои или отказ в его работе, то $\rho = 0$. Такая оценочная функция характеризует степень соответствия параметра планируемому, штатным значениям.

2.1. Оценка единичного параметра с двусторонним ограничением

Рассмотрим область допустимых значений контролируемого параметра с двусторонним ограничением. К подобным параметрам может относиться, например,

давление в герметичной рабочей зоне блоков и систем космического аппарата, которое должно находиться в определенных рамках для обеспечения жизнедеятельности экипажа и работоспособности аппаратуры.

В этом случае возможно принятие решение о допустимом состоянии S_t , если контролируемый параметр, в данном случае давление, принимает значение из области допустимого диапазона $[p_{\min}; p_{\max}]$. В этом случае оценочная функция может принимать значения

$$\rho(p_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } p_t \in [p_{\min}; p_{\max}] , \\ 0, & \text{если } p_t \notin [p_{\min}; p_{\max}] . \end{cases} \quad (5)$$

Оценочная функция для параметра, имеющего двустороннее ограничение представлено на рис. 1.



Рис. 1. Оценочная функция для параметра, имеющего двустороннее ограничение

При принятии решений в рамках управления полетом космического аппарата нельзя ограничиться строгим учетом только двух областей значений параметра. Однако на практике существуют определенные сложности при учете только двух областей значений параметра.

Рассмотрим следующий пример, пусть в качестве объекта контроля выступает функционирование некоторого блока бортовой аппаратуры, функционирование блока проходит в штатном режиме, если температура на блоке не превышает некоторого допустимого максимального значения $t_{\max}^{\text{доп}}$. Пусть на борту есть средства охлаждения данного блока, которые оперативная группа управления может включить в работу выдав соответствующее управляющее воздействие в бортовой контур управления космического аппарата. Естественно подключение дополнительных средств охлаждения нежелательно,

поскольку приводит к дополнительным затратам электроэнергии на борту космического аппарата, кроме того сами эти средства имеют определенный ресурс, трудновосполнимый в условиях космического полета. Таким образом, при наличии тенденции к повышению температуры на контролируемом блоке, целью специалистов группы управления будет принятие решения о подключении средств охлаждения. Слишком раннее подключение в результате принятого решения нежелательно, поскольку приведет к тому, что будет напрасно тратиться электроэнергия и ресурс бортовых систем, тем более вполне возможно изменение тренда температуры из-за влияния различных внешних внутренних факторов. Слишком позднее подключение приведет к выходу блока из строя. Т.е. принять решение о выходе значения параметра за некоторые допустимые пределы необходимо своевременно. При этом в общем виде это «своевременно» зависит не только от характеристик объекта контроля и окружающей его среды, но и от принятых технологий управления полетом данного космического аппарата и возможностей оперативной группы управления осуществлять это управление.

В качестве одной из мер для преодоления существующих сложностей на практике оценивается несколько диапазонов изменения параметра. Например, может быть два диапазона пороговых значений: предельно допустимого и среднестатистического для ожидаемых значений параметров. Если параметр, описывающий объект контроля, не вышел за среднестатистические значения отклонений, то принимается решение о нормальном состоянии системы. Если какой-либо из параметров системы больше среднестатистического порога, но не превышает предельно допустимого значения, то для специалистов оперативной группы управления это означает, что необходимо разрабатывать и осуществлять действия по изменению состояния объекта контроля в соответствии со штатными процедурами управления полетом космического аппарата.

И, наконец, если какой-либо параметр превышает допустимое значение, то должно быть принято решение, что состояние объекта контроля вышло за допустимые пределы и на борту есть нештатная ситуация. В этом случае оперативная группа управления начинает работать по процедурам выхода из нештатной ситуации.

2.2. Пример оценки непрерывного параметра с двусторонним ограничением с разбиением области на среднестатистические и предельно допустимые значения

Рассмотрим подобное разбиение на примере температуры, которая должна находиться в определенных рамках для обеспечения работоспособности аппаратуры. Т.е. если температура выходит за среднестатистические значения группой управления

начинают планироваться и затем, при сохранении тенденций, предприниматься действия с целью охлаждения или наоборот нагрева рабочей зоны.

В этом случае штатное состояние S_t на момент времени t наличествует, если контролируемый параметр p_t , в данном случае температура, принимает значение из области среднестатистического диапазона $[p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]$:

$$\forall t: p_t \in [p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}] \rightarrow S_t \in S_{um}. \quad (6)$$

Если контролируемый параметр p_t , в данном случае температура, выходит из области среднестатистического диапазона $[p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]$, но еще не выходит из области допустимых значений $[p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]$, оперативной группе управления необходимо принять решение по дальнейшему управлению объектом контроля, поскольку есть тенденция к переходу от его штатного состояния к нештатному и для оперативной группы управления он находится в некотором промежуточном состоянии $S_{пром}$:

$$\forall t: p_t \in [p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}] \text{ или } p_t \in [p_{\max}^{cp}; p_{\max}^{don}] \rightarrow S_t \in S_{um}. \quad (7)$$

При этом необходимо учитывать, что с точки зрения требования к работоспособности объекта контроля, которые, например, определяются его разработчиками, параметр находится в пределах нормы, т.е. изменение параметра в данных пределах важно именно для специалистов оперативной группы управления.

И, естественно, если контролируемый параметр p_t , выходит из области допустимых значений $[p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]$, то на рассматриваемый момент времени имеется нештатное состояние объекта контроля S_{nc} :

$$\forall t: p_t \notin [p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}] \rightarrow S_t \in S_{nc}. \quad (8)$$

Поскольку оценочная функция характеризует степень соответствия параметра планируемым, штатным значениям, то при $p_t \in [p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]$ она будет принимать значение 1, как и в предыдущих случаях. При $p_t \notin [p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]$ оценочная функция, соответственно, будет принимать значение 0. Для случая, когда p_t , выходит из области среднестатистического диапазона $[p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]$, но еще не выходит из области допустимых значений $[p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]$, можно дать следующую интерпретацию оценочной функции. В этом случае оценочная функция будет показывать для специалистов оперативной группы управления степень отклонения параметра от состояния «норма» и приближения

его к состоянию «не норма», принимая значения из диапазона $\rho(p_i) \in [0;1]$. В этом случае оценочная функция может принимать следующие значения

$$\rho(p_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \in [p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]; \\ [0;1], & \text{если } (p_i \notin [p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]) \text{ или } (p_i \in [p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]); \\ 0, & \text{если } p_i \notin [p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]. \end{cases} \quad (9)$$

В первом приближении в качестве вида оценочной функции может быть задана прямая, отражающее линейное убывание (возрастание) степени отклонения параметра от состояния «норма». Для рассматриваемого случая с двумя интервалами контролируемого параметра оценочная функция будет иметь вид

$$\rho(p_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } p_i < p_{\min}^{don}; \\ \frac{p_i - p_{\min}^{don}}{p_{\min}^{cp} - p_{\min}^{don}}, & \text{если } p_{\min}^{don} \leq p_i \leq p_{\min}^{cp}; \\ 1, & \text{если } p_i \in [p_{\min}^{cp}; p_{\max}^{cp}]; \\ \frac{p_{\max}^{don} - p_i}{p_{\max}^{don} - p_{\max}^{cp}}, & \text{если } p_{\max}^{cp} \leq p_i \leq p_{\max}^{don}; \\ 0, & \text{если } p_i > p_{\max}^{don}. \end{cases} \quad (10)$$

Графически рассматриваемый случай двустороннего ограничения области допустимых значений контролируемого параметра, с разбиением области на среднестатистические значения и предельные допустимые представлен на рис. 2.

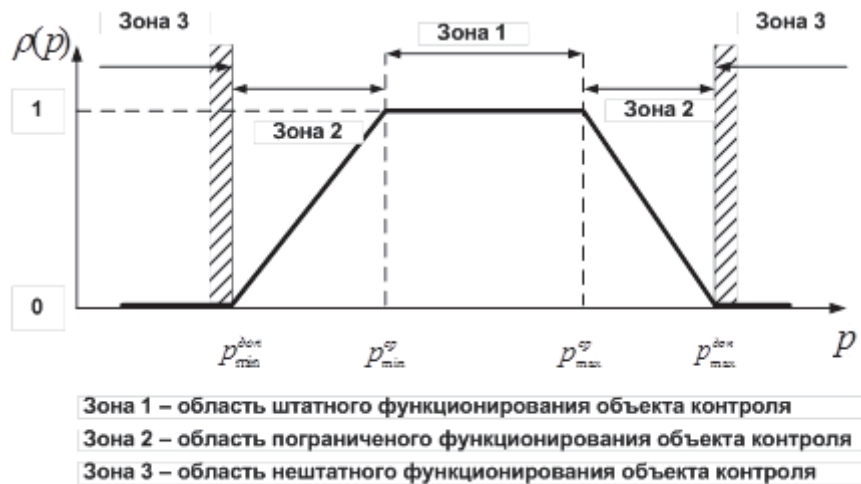


Рис. 2. Оценочная функция для параметра, с учетом средних значений

Условие линейности, принятое в (10), в убывании (возрастании) степени отклонения параметра от состояния «норма» подразумевает следующее. Если разбить диапазон, например, $[p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}]$ на k равных диапазонов, то значимость для специалистов

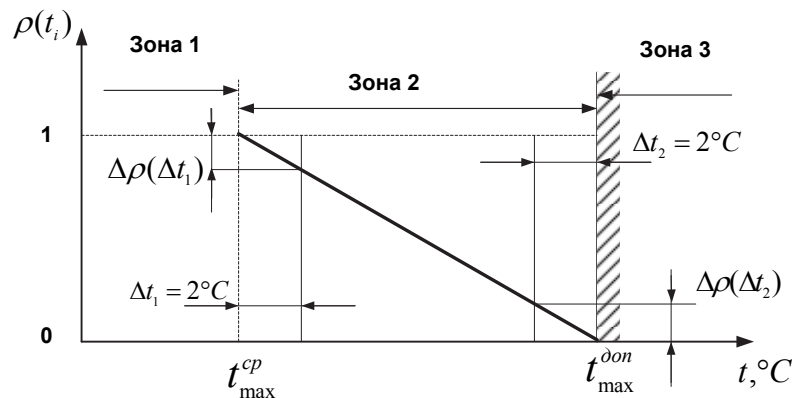
оперативной группы управления отклонения параметра от состояния «норма» к состоянию «не норма», выражаемая оценочной функцией, будет для двух любых диапазонов Δ_i и Δ_j одинакова. На практике это далеко не всегда так.

Рассмотрим следующий пример. Сравним две ситуации возможные в рассмотренном примере с оценкой температуры.

Ситуация 1: произошло повышение температуры на контролируемом блоке на два градуса Цельсия по сравнению со среднестатистическим значением.

Ситуация 2: два градуса Цельсия осталось до верхней критической границы температуры на этом контролируемом блоке.

В случае выполнения предположения линейности оценочной функции для оперативной группы управления полетом ситуация 1 и ситуация 2 равнозначны (рис. 3.).



Зона 1 – область среднестатистической температуры

Зона 2 – область пограничных значений температуры

Зона 3 – область отказа по температуре

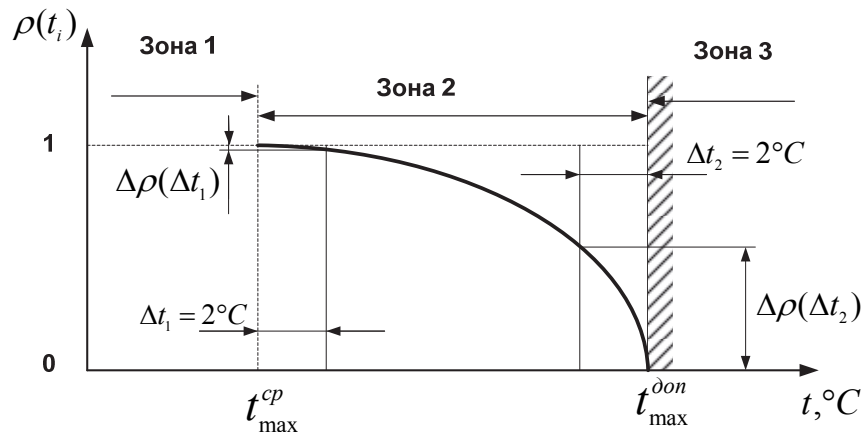
Рис. 3. Линейный вид оценочной функции

То есть, при равенстве интервалов, на которые изменилась температура в первом и во втором случаях $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 2^\circ\text{C}$, наблюдается равенство изменения оценочных функций $\Delta\rho(\Delta t_1) = \Delta\rho(\Delta t_2)$, что означает одинаковую значимость для оперативной группы управления первой и второй ситуаций.

Однако на практике, скорее всего, реакция на эти ситуации оперативной группы управления будет принципиально разной. Первая ситуация, скорее всего, вызовет лишь усиление контроля за тенденциями изменения температуры, а при второй ситуации специалистами группы управления будет приложен максимум усилий, чтобы не допустить повышение температуры на эти два градуса.

Т.е., с учетом выполнения условия $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 2^\circ\text{C}$, значимость, и необходимая реакция, для группы управления будут различными. Вторая ситуация будет значительно

более значима, что можно отразить с помощью оценочной функции - $\Delta\rho(\Delta t_2) > \Delta\rho(\Delta t_1)$. В этом случае вид оценочной функции представлен на рис. 4.



Зона 1 – область среднестатистической температуры

Зона 2 – область пограничных значений температуры

Зона 3 – область отказа по температуре

Рис. 4. Нелинейный вид оценочной функции

То есть, при равенстве интервалов на которые изменилась температура в первом и во втором случаях $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 2^\circ\text{C}$, значимость второй ситуации, а, соответственно, величина изменения оценочной функции для оперативной группы управления будет больше.

3. Экспертный подход к построению оценочной функции

При решении практически задач по управлению полетом космического аппарата во многих случаях не строится формально определенная оценочная функция параметра, и решение принимается на основе эвристических способностей специалистов оперативной группы управления. Эти специалисты, обладая многолетним опытом управления полетом и понимая складывающуюся оперативную ситуацию управления полетом, вполне могут по тенденциям изменения параметра принять соответствующее решение.

Однако в настоящее время многократно возрастают информационные потоки, в том числе и телеметрические, в борта космического аппарата. Работа с большими информационными потоками требует значительного усиления роли автоматизированного анализа информации и в этом случае появляется насущная необходимость формального определения оценочной функции.

В качестве одного из способов построения такой функции можно предложить следующий подход. В первую очередь необходимо определить области среднестатистического диапазона изменения параметров $[p_{\min}^{cp} : p_{\max}^{cp}]$ в которых оценочная

функция принимает значение 1 и область допустимых значений параметров $[p_{\min}^{don}; p_{\max}^{don}]$, выходя за которые функция принимает значение 0. Таким образом, задание оценочной функции сводится к ее определению на интервалах $[p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}]$ и $[p_{\max}^{cp}; p_{\max}^{don}]$.

В первом приближении примем гипотезу о непрерывности оценочной функции на рассматриваемых интервалах. Вид оценочной функции на интервалах $[p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}]$ и $[p_{\max}^{cp}; p_{\max}^{don}]$ может быть любым. Однако для возможности использования оценочной функции в процессе автоматизированного анализа информации и поддержки принятия решений в ходе оценки состояния КА представляется удобным использовать функции, которые допускают аналитическое представление в виде некой стандартной математической функции. Это упрощает соответствующие численные расчеты, упрощает использование данных функций при автоматизированном анализе параметров и дает возможность более наглядного представления оценочной функции для специалистов управления. Т.е., выбор вида оценочной функции сводится к подбору некой стандартной функции, которая наиболее точно отражает степень соответствия параметра планируемому, штатным значениям и значимость изменений параметра для группы управления.

Для построения оценочной функции на интервалах $[p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}]$ и $[p_{\max}^{cp}; p_{\max}^{don}]$ предлагается использовать экспертный подход к построению оценочной функции, разработанный на основе общего метода анализа иерархий [5]. В качестве экспертов привлекаются специалисты оперативной группы управления, которые обладают опытом принятия решений по оценке подобных параметров. Подход заключается в следующем. Рассматриваемый интервал $[p_{\min}^{don}; p_{\min}^{cp}]$ или $[p_{\max}^{cp}; p_{\max}^{don}]$ разбивается на n точек. Значения оценочной функции в каждой из этих n точек представляются в виде

$$\rho(p_i) = \omega_i, i \in [1; n]. \quad (11)$$

Далее эксперт выполняет попарные сравнения соседних точек, оценивая значения искомой оценочной функции в этих точках. Результаты попарных сравнений соседних точек представляются в виде обратно симметричной $(n \times n)$ -матрицы отношений

$$A = ((a_{i,j})); \quad i, j \in [1; n]. \quad (12)$$

Здесь $a_{i,j} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$ – число, показывающее сколько раз, по мнению эксперта, значение искомой оценочной функции в точке $\rho(p_i)$ больше $\rho(p_j)$. При данном сравнении эксперт оперирует понятиями интенсивности, представленными в таблице.

Таблица. Значения интенсивности для сравнения двух точек оценочной функции

Интенсивность	Определение
0	$\rho(p_i)$ и $\rho(p_j)$ несравнимы
1	$\rho(p_i)$ и $\rho(p_j)$ равны
1.5	$\rho(p_i)$ и $\rho(p_j)$ почти равны, но $\rho(p_i)$ немного больше $\rho(p_j)$
3	$\rho(p_i)$ немного больше $\rho(p_j)$
5	$\rho(p_i)$ больше $\rho(p_j)$
7	$\rho(p_i)$ намного больше $\rho(p_j)$
9	$\rho(p_i)$ абсолютно больше $\rho(p_j)$
2,4,6,8	Промежуточные значения

Элементы матрицы получены a_{ij} с учетом следующего правила: если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$. Таким образом, получившаяся матрица парных сравнений A имеет

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ - & - & - & - \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Так как отношения сравнения a_{ij} в реальном случае не точны из-за того, что они получены эмпирическим способом, для вычисления вектора ω необходимо учитывать следующее. Эмпирическая шкала $\omega = (\omega_1; \omega_n)$ должна удовлетворять задаче на поиск собственного значения матрицы A

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega,$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad (14)$$

где $\lambda_{\max}$ - наибольшее собственное значение, с учетом условия нормализации вектора ω .

Из теории матриц известно, что собственные значения матрицы являются непрерывными функциями коэффициентов, следовательно, задача сводится к поиску вектора ω , который удовлетворяет (14).

Так как известно, что выражение (14) имеет единственное решение, то значения координат нормализованного главного собственного вектора матрицы A ,

соответствующего максимальному собственному значению $\lambda_{\max}$ будут искомыми значения оценочной функции в точках.

Наиболее точное вычисление вектора получается путем возведения матрицы в произвольно большие степени и деления суммы каждой строки на общую сумму элементов матрицы. Подобные вычисления производятся с помощью специальных программных средств.

Согласованность суждений в матрице проверяется следующим образом. Под согласованностью понимается тот факт, что при наличии основного массива необработанных данных все другие данные логически могут быть получены из них. Для проведения парных сравнений n объектов при условии, что каждый объект представлен в данных, по крайней мере, один раз, требуется $(n - 1)$ суждений о парных сравнениях. Как отмечается в работе [5], даже при использовании для суждений всех действительных чисел до тех пор, пока не будет суждений по основным $(n - 1)$ объектам, получить согласованные числа очень трудно.

Согласованность положительной обратно симметричной матрицы эквивалентна требованию равенства ее максимального собственного значения $\lambda_{\max}$ с n . Таким образом, отклонение от согласованности оценивается отношением

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1}. \quad (15)$$

Здесь IS - «индекс согласованности».

Наибольшее собственное значение матрицы может быть определено по формуле

$$\lambda_{\max} = \omega_1 \sum_{i=1}^n a_{i1} + \omega_2 \sum_{i=1}^n a_{i2} + \dots + \omega_i \sum_{i=1}^n a_{ij} + \dots + \omega_m \sum_{i=1}^n a_{in}. \quad (16)$$

Показателем согласованности положительной обратно симметричной матрицы является - отношение согласованности

$$OS = \frac{IS}{SS}, \quad (17)$$

где SS – случайный индекс, который представляет собой случайную согласованность экспертных оценок матрицы размерностью n , [5].

Значение OS , меньшее или равное 0,10 (10%) [5], считается допустимым, а по данным, представленным в матрице A , могут быть получены решения. Если значение OS превышает допустимый уровень (найденное значение $OS > OS_{\text{доп}}=0,10$), то информация, содержащаяся в матрице A , недопустимо искажена (противоречивость информации выше нормы) [6]. В этом случае суждения о компетентности экспертов будут характеризоваться большой неточностью и очень низким качеством. Следовательно, требуется пересмотр

суждений и повторное заполнение матрицы A . Таким образом процесс формирования матрицы суждений является итеративным и содержит такое количество циклов, которое необходимо для получения значения $OS \leq 0,10$.

В результате выполнения данной процедуры, получается набор точек, характеризующий оценочную функцию. Далее под данный набор точек известными методами [7] подбирается наиболее подходящая аналитическая функция, которая в дальнейшем и будет далее рассматриваться в качестве оценочной функции.

В качестве практического применения оценочной функции для автоматизированной оценки и поддержки принятия решений по состоянию объекта контроля может быть использовано цветовое кодирование на форматах отображения специалистов оперативной группы управления.

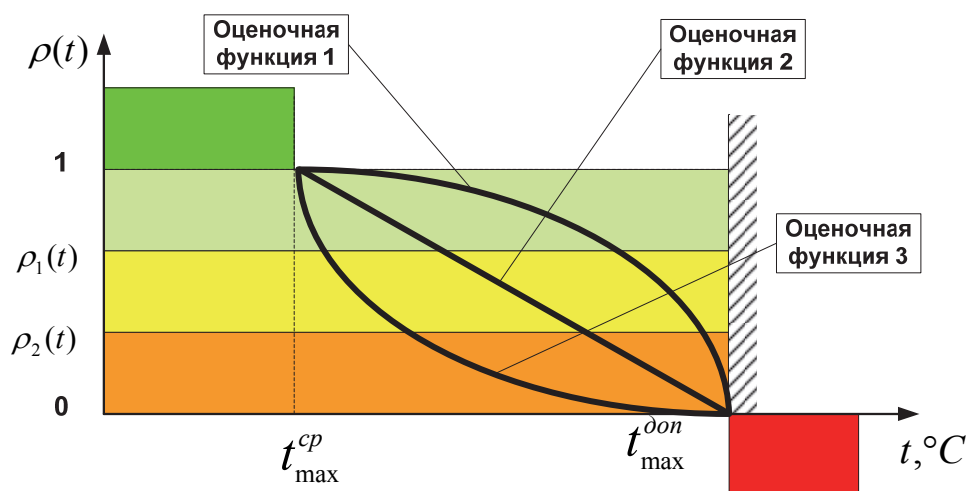


Рис. 5. Пример цветового кодирования для форматов отображения на основе оценочной функции

Целью такого цветового кодирования является привлечение внимания специалистов оперативной группы управления к параметрам, вышедшим за пределы средних значений. На рис. 5. представлен пример, в котором цветовое обозначение параметра меняется от зеленого (при $\rho(p_i)=1$) до красного (при $\rho(p_i)=0$), с использованием трех промежуточных цветов. При этом каждый цвет соответствует определенному интервалу значений оценочной функции.

Заключение

В работе дана классификация параметров характеризующих состояние космического аппарата. Для анализа состояния космического аппарата требуется оценка параметров характеризующих состояние космического аппарата. Работа по построению оценочных функций параметров состояния космического аппарата является важным

инструментом при принятии оперативных решений. В статье описаны способы построения оценочной функции одного непрерывного параметра, а также параметра с двусторонним ограничением области допустимых значений. Построена оценочная функция с применением экспертных оценок и использовано цветовое кодирование для автоматизированной оценки и поддержки принятия решений.

Литература:

1. Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами. Ч2. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 426с.
2. Гасов В.М., Коротаев А.И., Сенькин С.И. Отображение информации. – М.: Высшая школа, 1990.- 111с.
3. Современная телеметрия в теории и на практике /А.В.Назаров, Г.И.Козырев, И.В.Шитов и др:– СПб.; Наука и техника, 2007.- 672с.
4. Милицин А.В., Самсонов В.К., Ходак В.А. Отображение информации в центре управления космическими полетами - М.: Радио и связь, 1982.-190с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь. 1993.- 278с.
6. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М., 1980. – 161с.
7. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика. Основы эконометрики – М.:ЮНИТИ, 1998 г – 656с.