

Моделирование сценариев оперативного управления полетом космического аппарата

77-30569/2229653

09, сентябрь 2011

Матюшин М. М.

УДК.629.7

МГТУ им. Н.Э. Баумана

matushin@scsc.ru

Введение

Одной из важных особенностей процесса управления полетом является его непрерывность. Операции управления полетом следуют одна за другой, складываясь в технологические процессы управления. Вслед за реализацией очередного технологического процесса управления начинается один или несколько следующих. Поскольку принятие решений является одной из важных частей управления полетом космического аппарата (КА), процесс принятия решений также продолжается непрерывно. За одним принятым решением и контролем его реализации обязательно следуют другие решения.

Требование непрерывности накладывает определенные ограничения на возможность описания и формального представления процесса принятия решений. С одной стороны анализ только статической ситуации принятия решений может быть недостаточен, поскольку он не отражает «предыстории» процесса управления полетом и поэтому имеет определенные ограничения на прогноз тенденций развития ситуации управления полетом.

С другой стороны, при формализации процесса принятия решений как динамического процесса решения многошаговой задачи, встает проблема выделения начальной точки для построения «дерева» решений, что в случае непрерывности процесса принятия решений может быть выполнено с той или иной степенью волюнтаризма. Кроме того, во многих случаях переход в определенное состояние КА зависит не только от его текущего состояния, но и достаточно сильно зависит от «предыстории» процесса управления полетом, в достаточной мере влияющей на текущее состояние. Данный факт накладывает значительные ограничения на использование, например, марковских моделей при описании многошагового процесса принятия решений. Кроме того, факторы,

действующие на процесс управления полетом, а значит необходимые для учета при принятии решений, с течением времени меняются, что осложняет их формализацию в модели принятия решений.

Все это определяет объективные сложности в разработке формальной модели динамического многошагового процесса принятия решений, учитывающей все аспекты процесса управления полетом. Есть опасность, что подобная модель может быть либо очень громоздкой и инертной, что затруднит учет новизны ситуаций управления полетом, либо чересчур грубой, что может привести к неверным рекомендациям по принятию решений. Поэтому видится достаточно проблематичным получение в качестве результата моделирования динамического многошагового процесса принятия решений некоторой детерминированной программы, определяющей шаг за шагом последовательность необходимых решений.

Однако, в ходе процесса управления полетом лицо, принимающее решение (ЛПР) всегда, хотя бы мысленно, создает модель сценария управления и возможного развития событий. В общем случае подробность, проработанность и прозрачность этой модели целиком зависит от знаний и опыта ЛПР. При дефиците времени, который характерен для принятия решений в условиях оперативного управления полетом КА, построение полной и адекватной, до приемлемой степени, модели может представлять собой довольно сложную задачу для ЛПР. Облегчить процесс синтеза и последующего анализа такой сценарной модели возможно, формализовав некоторые аспекты этой модели, например, средства описания сценария и процедуру выбора вариантов на основе сценарной модели [5].

Подобная сценарная модель может использоваться и в том или ином виде используется на практике, например, для построения и анализа алгоритмов развития нештатной ситуации и определения действий в ней оперативной группы управления полетом КА, для разработки сценариев тренировок оперативной группы управления КА [1,2].

1. Формализация сценария.

Определение 1. Под событием управления полетом будем понимать выражение:

$$W = W(P(t_i), t_i, \Delta \tau_i),$$

где $P(t_i) = \{p_j(t_i)\}$ - множество параметров, описывающих состояние используемых моделей, t_i - момент времени начала события, $\Delta \tau_i$ - длительность сценария.

Определение 2. Под алфавитом событий будем понимать множество:

$$\Theta = \{W_k\},$$

где $k \in [1, \dots, K]$, K – полное количество классов событий, возможное при достижении (недостижении) рассматриваемой цели.

Таким образом, все множество классов возможных событий при достижении (недостижении) рассматриваемой цели будет образовывать алфавит событий конкретного сценария.

Определение 3. Под сценарием управления полетом будем понимать последовательность (цепочку) событий, упорядоченных во времени из выбранного алфавита:

$$\omega = \{W_m\},$$

которая заканчивается достижением определенной частной цели управления полетом КА.

Определение 4. Под ситуацией управления полетом будем понимать последствия цепочки событий, произошедших к моменту времени t_i :

$$St = f\left(\bigcup_{k=1}^{i-1} W_k t_i\right)$$

Определение 5. Под пространством сценариев будем понимать множество:

$$\Omega = \{\omega_j\},$$

где $j \in [1, \dots, M]$, M – полное количество сценариев, возможных при достижении (недостижении) рассматриваемой цели управления полетом.

Таким образом, все множество возможных сценариев при достижении (недостижении) будет образовывать пространство сценариев.

Пусть, например, разрабатывается событийная модель, в которой алфавит состоит из p событий. Ход течения процесса управления полетом КА моделируется в дискретном времени $t = [1, 2, \dots, n]$. В этом случае для длительности $\Delta T = n$ пространство сценариев будет представлять собой последовательность $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_i, \dots, \omega_m\}$, где ω_j представляет собой j -тый сценарий как частную последовательность событий из выбранного алфавита.

2. Основные элементы сценария управления полетом

Как уже отмечалось, задача выделения некоторого обособленного участка в непрерывном процессе управления полетом является не тривиальной и решение ее в общем виде затруднено. Однако, вполне возможно выделить из общего процесса

управления полетом процесс достижения некоторой частной цели управления полетом КА. Для этого процесса достижения частной цели вполне может быть выделено:

А) Начало процесса - как некоторое инициирующее событие на временной оси (рассматривая на временной оси шкалу абсолютного времени, с некоторой степенью точности).

Б) Конечная точка этого процесса на временной оси - как результат достижения или не достижения данной цели.

В) Временной интервал достижения цели, определяющий предполагаемую длительность процесса.

Кроме того, внутри интервала могут быть обозначены точки или интервалы, отражающие влияние различных факторов на достижение данной частной цели. Неопределенность влияния этих факторов на достижение цели полета определяется возможностью проявления внешних и внутренних возмущающих факторов в системе управления полетом космического аппарата. Для компенсации влияния таких факторов ЛПР принимает одно или последовательно несколько решений, которые затем выражаются в изменении плана полета и выдачи на борт определенных решением или решениями управляющих воздействий.

Исходя из этого, определим, что сценарием является описание процесса управления полетом, направленного на достижение одной из целей управления, реализация данного описания возможна в дискретном, в том числе и временном, пространстве, с приемлемой степенью точности. Описание представляет собой множество возможных фазовых траекторий изменений состояния системы управления полетом.

В этом случае, сценарий будет представлять собой достаточно сложную формальную конструкцию, в которой сочетаются различные элементы (модели, шкалы, переменные), описывающие процесс достижения рассматриваемой цели.

3. Модели, использующиеся при построении сценария

В сценарном описании процесса оперативного управления полета могут быть использованы модели следующих классов:

1) Группа моделей, характеризующих объект управления – космический аппарат. К данной группе относятся:

модели состояния объекта управления – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает доступный для анализа в текущий момент информационный образ фазового состояния космического аппарата с помощью заранее определенного вектора параметров;

модели управляющих воздействий на объект управления – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает средства изменения идентифицированного информационного образа фазового состояния космического аппарата;

модели внешних воздействий на объект управления – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает факторы, потенциально влияющие на идентифицированный информационный образа фазового состояния космического аппарата;

модели бортовых ресурсов – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает ресурсы для изменения идентифицированного информационного образа фазового состояния космического аппарата.

2) Группа моделей, характеризующих автоматизированную систему управления полетом. К данной группе относятся:

целевые модели управления полетом – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает требуемый и реально получаемый результат управления полетом КА;

модели технологий управления полетом КА – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает технологии функционирования автоматизированной системы управления полетом (АСУП) по изменению идентифицированного информационного образа фазового состояния космического аппарата;

модели состояния АСУП – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает доступный для анализа в текущий момент информационный образ состояния АСУП;

модели возмущающих воздействий на АСУП – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает факторы, потенциально влияющие на функционирование АСУП;

модели ресурсов АСУП – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает ресурсы необходимые для функционирования АСУП.

3) Группа моделей, характеризующих средства приема информации с борта КА и выдачи управляющих воздействий на борт КА. К данной группе относятся:

модели состояния средств приема/передачи информации – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает доступный для анализа в текущий момент информационный образ состояния средств приема/передачи информации;

модели возмущающих воздействий на АСУП – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает факторы, потенциально влияющие на функционирование средств приема/передачи информации;

модели ресурсов АСУП – в рамках сценарного моделирования данная группа моделей описывает ресурсы необходимые для функционирования средств приема/передачи информации.

Необходимо отметить, что использование моделей данной группы связано с анализом возможных ограничений идентификации информационного образа фазового состояния космического аппарата, а также ограничений изменения этого образа в соответствии с технологиями управления полетом. К таким ограничениям могут быть отнесены отсутствие необходимых средств идентификации образа состояния космического аппарата или условий его полета в рассматриваемый момент времени, возможность неадекватной идентификации этого образа из-за специфики функционирования средств и т.д.

4) Группа моделей, характеризующих процесс принятия решений. К данной группе относятся, например, модели статической ситуации принятия решения, модели описания неопределенностей при выборе варианта решений, модели показателей эффективности процесса управления полетом, модели критериев выбора вариантов решения и т.д.

4. Шкалы сценария

В рамках данного подхода к сценарному моделированию процессов управления полетом КА под шкалами измерений будем понимать используемый для анализа порядок определения и обозначения значений параметров событий сценария.

Основными шкалами при синтезе и анализе сценария являются временные шкалы, это обуславливается тем, что процессы управления полетом достаточно сильно динамически претерпевают изменения с течением времени и управление полетом ведется с помощью и на основе планов полета, в которых используются те или иные временные шкалы.

Одной из основных шкал, используемых при разработке и анализе сценария, можно определить непрерывную интервальную временную шкалу - ScT . С помощью такой шкалы описываются свойства объекта анализа – космического аппарата и/или системы управления полетом на динамической траектории в фазовом пространстве с учетом непрерывности сценарного времени. Данная шкала может использовать абсолютное время (например, декретное московское время, Greenwich Mean Time, Coordinated Universal Time и т.д.), в этом случае появляется возможность соотнесения сценария с событиями,

влияющими на управление полетом космического аппарата, но которые по тем или иным причинам не могут быть включены в сценарий, поскольку, как правило, все события, происходящие при управлении полетом, достаточно точно могут быть привязаны к абсолютной временной шкале.

Кроме того, данная шкала может использовать относительное время. В этом случае есть две возможности. Одна из них - использовать относительное время с начала какой-либо ответственной операции, например для управления полетом КК «Шаттл» широко используется время, отсчитываемое от момента его старта.

В этом случае возможность привязки событий сценария к другим событиям сужается, однако делается особый акцент на текущем полете или ответственной операции космического аппарата, что может быть удобно при анализе управления полетом транспортных и грузовых космических кораблей с небольшими интервалами полета. Вторая возможность - использование относительного времени с нулем в момент начала сценария. В этом случае затруднена непосредственная привязка к событиям, не входящим в сценарий, с другой стороны такой подход позволяет сосредоточиться непосредственно на анализе самого сценария. В общем случае возможны различные комбинации приведенных выше интервальных шкал.



Рис.1. Пример использования временных шкал

Однако, как уже было упомянуто, сценарий является описанием процесса управления полетом в дискретном времени. Поэтому непрерывная интервальная временная шкала используется в основном для связи самого сценария и отдельных его событий с другими явлениями процесса управления полетом. В процессе синтеза и

анализа самого сценария используется шкала дискретного времени - $Sc\Delta t$. Подобная шкала дискретного времени может характеризоваться следующими показателями:

1) длина сценария, n – количество временных промежутков или дискрет, на которые разбивается сценарий, для одной ветви сценария или для одной цепочки событий, длина – количество событий в данной цепочке.

2) временной шаг сценария:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1},$$

где t_i, t_{i-1} - времена соседних событий сценария в некоторой непрерывной временной шкале. Временной шаг позволяет связать шкалу дискретного сценарного времени и требуемую непрерывную шкалу.

3) длительность сценария:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i,$$

где Δt_i , - временной шаг сценария. n – длина сценария. Длительность сценария оценить продолжительность сценария требуемую непрерывную шкалу.

Временные шкалы являются основными шкалами при анализе и синтезе сценариев, однако, они являются не единственными шкалами. Так, в качестве дополнительных могут быть использованы шкалы, отражающие свойства тех или иных особо важных для сценарного моделирования параметров процесса управления полетом - ScP .

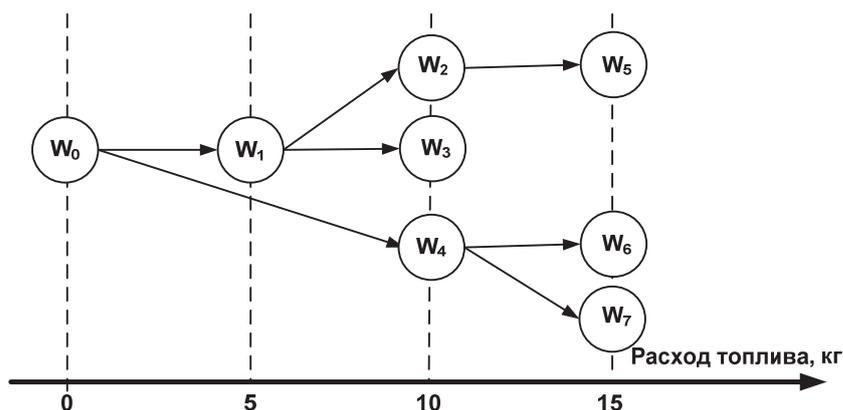


Рис. 2. Пример использования шкал параметров

Кроме интервальных шкал параметров могут быть использованы также шкалы порядка, отражающие свойства параметров, для которых имеют смысл соотношения порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства, например,

пороги опасности проявления некоторого внешнего возмущающего фактора и даже шкалы наименований, отражающих некоторые качественные свойства параметров.

6. Примеры событий, возможных для использования в алфавите сценария

В качестве примера событий сценария управления полетом для достижения частной цели в сценарии рассмотрим следующие события, возможные при управлении полетом КА :

- 1) ситуации принятия решения;
- 2) процедура реализации решения;
- 3) момент появления новой для ЛПР (группы управления полетом КА, экипажа) информации о воздействии внешних или внутренних возмущающих факторов.

Остановимся на этих событиях подробнее.

Ситуация принятия решения. Ситуацию принятия решений в данном случае будем рассматривать как статическую ситуацию принятия решений, описанную ранее. Учитывая возможную многошаговость процесса принятия решения в процессе реализации сценария, будем полагать, что на k -ом шаге принятия решений у ЛПР имеется следующая информация:

1. Имеется множество предполагаемых состояний КА $S^k = \{s_1^k, \dots, s_j^k, \dots, s_m^k\}$, одно из которых будет наблюдаться после реализации решения, принятого на k -ом шаге.
2. Имеется множество решений $D^k = \{d_1^k, \dots, d_j^k, \dots, d_m^k\}$, одно из которых должен принять ЛПР на k -ом шаге.
3. Имеется множество возможных состояний среды $E = \{e_1^k, \dots, e_s^k\}$, влияющей на состояние КА; состояние среды обуславливается действием внешних и внутренних возмущающих факторов.
4. Каждому решению d_i^k на k -ом шаге и каждому предполагаемому состоянию КА s_j^k можно поставить в соответствие скалярный или векторный показатель безопасности и эффективности управления полетом КА $k_{ij}^k = k(d_i^k, s_j^k)$. Данный показатель может быть представлен как в абсолютных единицах, отражающих например физические характеристики процесса управления полетом, так и в относительных единицах, например, быть задан в виде риска или «сожаления».

5. Для предполагаемых состояний КА, может быть задана различными способами оценка появления того или иного состояния. Например, может быть задана априорная вероятность появления состояния s_j^k после реализации решения, принятого на k -ом шаге.
6. Имеется характеристика источников информации о предполагаемом состоянии и КА и возмущающих факторах.

Для принятия решения на k -ом шаге используются модели и методы принятия решений в статической ситуации управления. При этом при выборе соответствующих критериев принятия решения и выборе оптимального варианта решения на основании этих критериев учитывается возможность влияния последствий данного решения на весь интервал времени рассматриваемого сценария.

Процедура реализации решения. Как правило, сценарий разрабатывается для определенного технологического процесса управления полетом или его существенной части. Принимаемое решение, как правило, реализуется с помощью выполнения соответствующей полетной операции или шага соответствующей полетной операции, кроме того, в зависимости от процесса управления полетом может потребоваться выполнение совокупности полетных операций для реализации данного решения.

Полетная операция представляет собой ограниченный временными и ресурсными рамками процесс управления полетом КА, в результате которого достигается одна из частных целей (подцелей) внутри технологического процесса управления полетом КА, в данном случае реализация принятого решения. Шаг операции представляет собой действие с единичным массивом данных в процессе реализации определенной полетной процедуры, данное действие в определенных условиях также может являться реализацией принятого решения.

Полетная операция обладает определенной длительностью, и имеется ограниченное множество ресурсов, которые могут быть использованы в той или иной операции. Она состоит из последовательно выполняемых шагов, однако для некоторых шагов операции требование последовательности выполнения может являться строгим, для других - нет.

Шаги полетных операций представляют собой действие с массивом данных. Они могут включать в себя, такие действия как: выдачу команд или цифровых массивов на включение или выключение некоторого агрегата, прибора или системы, получение с борта ПКА, обработку и автоматизированный анализ массива данных, выполнение экипажем

шагов бортовой документации или радиограмм, например, открытие клапанов, выдача команд с пульта и т.д.

В общем виде реализация R^k решения d_0^k , принятого на k -ом шаге может быть определена следующим образом:

$$R^k(d_0^k) = \bigcup_{i=1}^p O_i^k,$$

где O_i^k - модель i -той полетной операции, выполняемой для реализации решения d_0^k , принятого на k -ом шаге:

$$O_i^k = \langle St_i, T_i, t_i, L_i, \Theta_i, R_i, F_i, \delta_i \rangle,$$

где T_{no} - длительность i -той полетной операций, $t_i = \{t\}$ - множество моментов начала выполнения шагов i -той полетной операций, $L_i = \{l\}$ - множество отношений между шагами i -той полетной операций; $\Theta_i = \{\theta\}$ - множество возможных последовательностей выполнения шагов i -той полетной операций; $R_i = \{r\}$ - множество ресурсов, необходимых для реализации i -той полетной операций, $F_i = \{f\}$ - множество отображений, осуществляемых на $S_i, T_i, t_i, L_i, \Theta_i, R_i$, $\delta_i = \{\delta\}$ - множество отношений над элементами $S_i, T_i, t_i, L_i, \Theta_i, R_i$, при этом

$$F_i : (S_i, T_i, t_i, L_i, \Theta_i, R_i) \rightarrow \Theta_i,$$

$St_i = \{st_i^1, \dots, st_i^j, \dots, st_i^v\}$ - множество шагов i -той полетной операций, при этом:

$$st_i^j = \{I_i^j, \mathfrak{R}_i^j, R_i^j, T_i^j, G_i^j\}$$

где I_i^j - совокупность входных данных для j -го шага i -той полетной операций, R_i^j - множество ресурсов, требуемых для выполнения j -го шага i -той полетной операций, T_i^j - временной интервал выполнения j -го шага i -той полетной операций, G_i^j - совокупность выходных данных, \mathfrak{R}_i^j - методическое обеспечение j -го шага i -той полетной операций, представленное в виде обобщенного оператора. При этом:

$$\mathfrak{R}_i^j : I_i^j(R_i^j, T_i^j) \rightarrow G_i^j$$

Таким образом, реализуя принятое решение, АСУП выполняет множество полетных операций и изменяет необходимым образом состояние КА. В некоторых случаях в

сценарии процесса управления полетом необходимо учитывать возможность ошибок в процессе выполнения реализации принятого решения, поэтому возможно появление нескольких исходов выполнения требуемого множества полетных операций. В некоторых случаях для каждого исхода может быть дана количественная оценка возможности появления, например с помощью распределения вероятностей.

Моменты появления информации о воздействии возмущающих факторов.

Состояние КА может изменяться не только от управляющих воздействий, выдаваемых на бортовые системы КА в рамках реализации полетных операций субъектом управления – группой управления полетом, экипажем или бортовым контуром управления. Большое влияние оказывают возмущающие факторы внешней среды, в которой происходит полет КА, а также внутренние возмущающие факторы, возникающие внутри системы управления полетом и бортовых систем КА. Такие события напрямую могут влиять на процесс принятия оперативных решений.

В качестве примера внешних возмущающих воздействий можно привести:

- метеориты и осколки «космического мусора», угрожающие целостности конструкции ОКТ;
- тормозящие действие среды, в которой происходит полет;
- повышение солнечной активности, влияющее на уровень радиации;
- метеообстановка на земле по трассе полета, влияющая на условия наблюдения с орбиты и т.д.

В качестве примера внутренних возмущающих воздействий можно привести отказы в работе бортовых систем; возникновение неисправностей агрегатов, блоков, оборудования, элементов конструкции ОКТ; ошибки в работе экипажа и наземных операторов управления.

Влияние этих факторов, как правило, имеет случайный характер, поэтому в результате влияния этих факторов в сценарии появляется неопределенность и соответствующее ей множество возможных состояний КА. Поскольку сценарий ситуации управления полетом разрабатывается ЛПП, то в нем действие возмущающих факторов отражается как определенные события – моменты появления новой информации о воздействии внешних или внутренних возмущающих факторов, последствиями которых является множество возможных состояний КА после такого воздействия. Влияние внешних и внутренних возмущающих воздействий отражается в сценарии, если их значения выходят за расчетные пределы, определяющие порог чувствительности процесса управления к возмущающим воздействиям, либо учет конкретных возмущающих воздействий важен при принятии данного решения. Т.е. вместо определенного состояния КА, которое было

до момента влияния возмущающих факторов, в данном сценарии возможно и необходимо различать несколько предполагаемых состояний КА после этого момента.

Например, для случая столкновения с метеоритной частицей [4] показателем метеоритной безопасности является глубина проникновения частиц в материал оболочки КА. Расчетная глубина проникновения принимается на интервале $[h_{\min}, h_{\max}]$:

$$h_{\min} = \left[\frac{k(k-1)m}{H_0} \right]^{1/3} \left[\frac{\mathcal{G}}{4\pi\rho} \right]^{2/3},$$

$$h_{\max} = \left[\frac{3\bar{\eta}\eta m \mathcal{G}^2}{8\pi\rho_{sc}\zeta} \right]^{1/3},$$

где k – показатель адиабаты, m – масса метеоритной частицы, H_0 – удельная теплота парообразования материала оболочки; ρ – плотность частицы; \mathcal{G} – скорость соударения; η – коэффициент, характеризующий полноту превращения энергии в условиях столкновения; ρ_{sc} – плотность оболочки КА; ζ – плотность энергии, необходимой для разрушения кристаллической решетки или мелкого дробления среды; $\bar{\eta}$ – коэффициент зависимости от скорости и плотности частицы при различной толщине оболочки КА.

В зависимости от задачи принятия решений, в качестве возмущающих факторов в сценарий могут включаться случаи, при которых в условиях столкновения с метеоритной частицей глубина проникновения $h_{\text{реал}} \in [h_{\min}, h_{\max}]$ либо меньше толщины оболочки КА, либо нет.

7. Формирование пространства сценариев

Для описания достижения даже частной цели управления теоретически может быть выделено бесконечное количество событий и, соответственно, может быть разработано бесконечное число сценариев. Поэтому достаточно сложной и плохо формализуемой задачей является выделение алфавита сценария, выделение моментов появления событий сценария и построение пространства сценария.

Общим подходом, как уже упоминалось, является выделение основных факторов, влияющих на достижение рассматриваемой цели. Определение порога чувствительности значимости влияния тех или иных факторов зависит от конкретных условий управления полетом. Затем выделение моментов на временной оси, в которые значения параметров, описывающих эти факторы, могут переходить порог чувствительности, либо необходимо выделить событие на временной оси, когда информация о переходе порога

чувствительности появится в распоряжении ЛПР. Влияние таких факторов может привести к возможности появления разных сценариев после выделенного события.

Для компенсации выделенных факторов ЛПР должен принять решение, которое выражается в выборе того или иного варианта действий по управлению полетом КА, т.е. предполагает выбор того или иного сценария управления полетом. Сценарное пространство расширяется еще больше.

После принятого решения происходит его реализация в виде выполнения той или иной процедуры управления полетом, результат выполнения этой процедуры может быть различным, что также расширяет пространство сценария.

Учитывая, что сценарий представляется, как правило, в дискретном времени, временной шаг построения сценария может быть выбран постоянным, т.е. $\Delta t_i = const$, либо переменным, т.е. $\Delta t_i = var$. Выбор того или иного варианта производится в зависимости от задач построения сценария и особенностей полетной ситуации.

Основными требованиями к создаваемому пространству сценариев являются:

1) адекватное с точки зрения достижения определенных целей отражение изменений состояния космического аппарата и условий его полета в ходе достижения рассматриваемой цели;

2) учет реального состояния ресурсов КА, которые могут быть использованы для достижения цели;

3) отражение возможных решений, которые могут быть приняты в тех или иных ситуациях, и условий, в которых они принимаются;

4) предоставление возможности для ЛПР выбрать оптимальный (приемлемый) вариант действий по достижению поставленной цели путем визуализации возможных причин и последствий воздействия возмущающих факторов.

В общем виде построение пространства сценариев может быть выполнено путем реализации следующих этапов:

1) Выбор соответствующей частной цели управления полетом КА - g_k^* . Выбор такой частной цели происходит путем выделения ее множества целей, характерных для данного этапа полета КА $g_k^* \in G^*$. В некоторых случаях критерий выделения может носить субъективный характер, это вполне допустимо, но при этом ЛПР или исследователь, формирующий пространство сценариев, должен учитывать данный факт в процессе анализа сценария.

2) Для рассматриваемой цели выделяется набор моделей, которые будут использоваться при синтезе и анализе данного сценарного пространства.

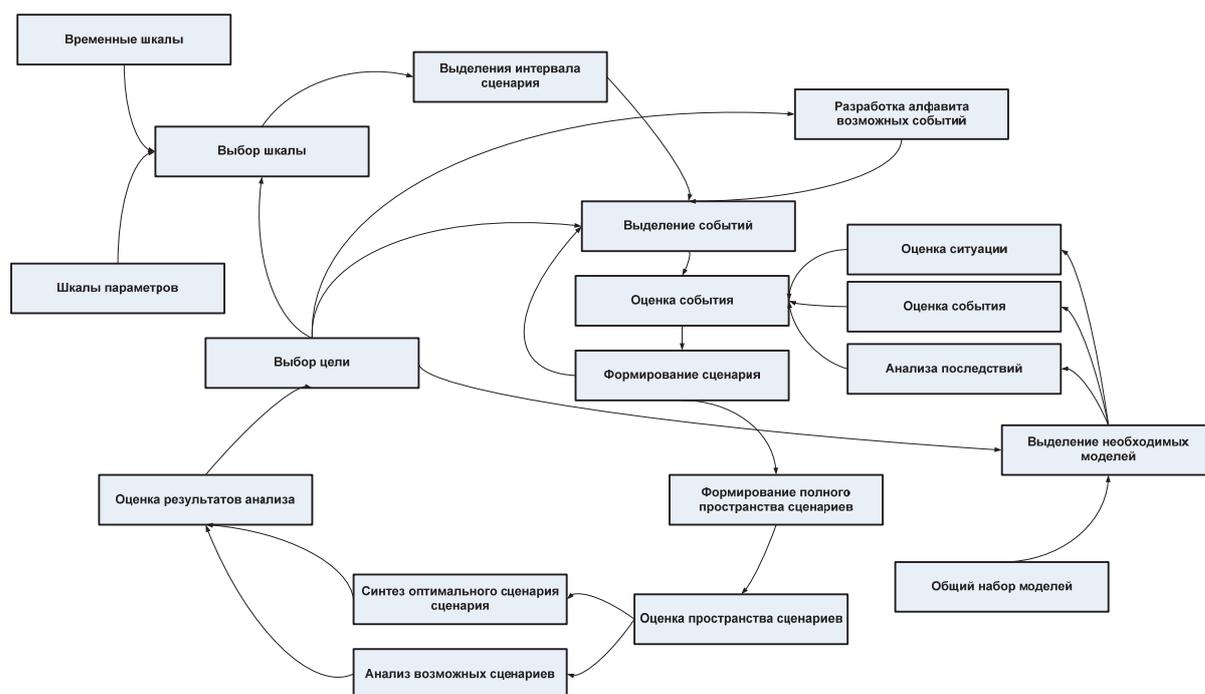


Рис. 3. Этапы построения сценария

3) Для рассматриваемой цели разрабатывается алфавит возможных событий $g_k^* \rightarrow \Theta$.

4) Для построения сценарного пространства выбирается тип шкалы, как правило, шкалы дискретного времени $Sc\Delta t$, определяются правила связи выбранной дискретной шкалы и непрерывных временных шкал, используемых при управлении полетом.

5) Для выбранной частной цели на временной оси отмечается предполагаемый интервал ее достижения $g_k^* \rightarrow \Delta T$. При этом выделяется начало процесса как некоторое инициирующее событие на временной оси и конечная точка этого процесса на временной оси как результат достижения или не достижения данной цели.

6) В интервале пространства сценариев последовательно, начиная с конца сценария, выделяются события, влияющие на достижения поставленной цели управления полетом W_m . Каждое событие выбирается из разработанного алфавита Θ .

7) Для каждой точки сценария в соответствии с используемыми в данной случае моделями производится оценка его состояния и ситуации управления полетом на момент проявления текущего события.

8) Для каждой точки сценария в соответствии с используемыми в данной случае моделями производится анализ события и уточняется множество параметров, характеризующих это событие.

9) Для каждой точки сценария в соответствии с используемыми в данной случае моделями производится анализ последствий данного события.

10) При достижении начальной точки сценарного пространства в результате последовательного выполнения шагов 5, 6, 7, 8 выделенные события последовательно соединяются и таким образом формируется один из возможных сценариев достижения цели – ω_l . В некоторых случаях возможно говорить о таком сценарии как о некотором базовом, однако, в этом случае необходимо уточнять само понятие базового сценария.

11) Для выделенного сценария, двигаясь последовательно от события к событию в направлении от исходной точки сценария к конечной, анализируются последствия каждого из событий и для события i -го уровня, при необходимости выделяются альтернативные события для $i+1$ -го уровня, которые не входят в сценарий ω_l .

12) Каждое из вновь выявленных событий анализируется с точки зрения последствия для достижения рассматриваемой цели, тем самым создавая сценарии альтернативные сценарию ω_l .

13) Для каждого выделенного альтернативного сценария шаги 5-11 повторяются.

14) После построения полного пространства сценария происходит его анализ. Такой анализ может проходить в двух направлениях – поиск и выбор наиболее подходящего с точки зрения достижения рассматриваемой цели сценария и/или анализ и подготовка ко всем возможным вариантам развития полетной ситуации.

15) Для уточнения результатов анализа возможен выбор альтернативной шкалы, например, шкалы или шкал параметра (параметров) в этом случае пространство сценариев строится и анализируется в соответствии с представленным выше порядком, но в выбранной альтернативной шкале.

16) После окончания анализа, при необходимости, может происходить уточнение рассматриваемой цели управления полетом и, соответственно, используемых моделей и алфавита событий.

Заключение

Необходимо учитывать, что сценарная модель, как правило, является ограниченной, поскольку формализует лишь существенные факторы оперативного управления полетом космического аппарата, с приемлемой для практических задач в конкретных условиях степенью точности. Тем не менее, сценарное моделирование позволяет, при использовании полных входных данных и корректных описаний, достаточно точно отразить основные аспекты реализуемых, в ходе оперативного управления полетом, процессов.

Поэтому, хотя с одной стороны, подобные модели не могут претендовать на полную формализацию многошагового процесса принятия решений, однако с другой - отражая, текущую ситуацию управления полетом с требуемой полнотой, они способствуют выбору оптимального варианта или вариантов решения из множества возможных.

Литература:

1. Матюшин М.М. Обеспечение безопасности управления полетом КА с использованием временной избыточности. // Актуальные проблемы российской космонавтики. Тр. XXXV академических чтений по космонавтике.: – М. Комиссия РАН., 2011 г.
2. Матюшин М.М. Поддержка принятия решений при разработке сценариев тренировок наземных операторов управления полетом КА. // Актуальные проблемы российской космонавтики. Тр. XXXIII академических чтений по космонавтике.: – М. Комиссия РАН., 2009 г.
3. Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009.
4. Справочник по безопасности космических полетов. М.: Машиностроение, 1989.
5. Jamshidian F., Yu Z. Scenario Simulation: Theory and Methodology.//Finance and Stochastic.1997.1. p. 293-330.