

ОБОСНОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕРАКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ К ПУСКУ

© 2019

А. Е. Привалов кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения; Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург; cerebrum203@yandex.ru

П. Ю. Бугайченко кандидат военных наук, преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения; Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург; pavel_bugaichenko@rambler.ru

Решается задача обоснования архитектуры интерактивной информационной модели процесса подготовки ракеты космического назначения (РКН) к пуску. Актуальность исследований обусловлена сложностью и высокой динамикой процесса подготовки РКН к пуску, а также последними достижениями в области информационного моделирования и теории поддержки принятия решений. Целью исследований является повышение ситуационной осведомлённости лица, принимающего решение при управлении процессом подготовки РКН к пуску. Проведён анализ процесса формирования ситуационной осведомлённости как составной части процесса принятия решений, на основании которого впервые предложена модель показателя эффективности формирования ситуационной осведомлённости. Разработана модель оценивания эффективности исследуемого процесса на базе математического аппарата теории непрерывных цепей Маркова. Представлены результаты численных экспериментов, подтверждающих адекватность модели и позволяющих сформулировать количественные требования к процессу формирования ситуационной осведомлённости, обеспечивающие его максимальную эффективность. Сформулированы задачи информационной системы, направленные на удовлетворение полученных требований, и разработана архитектура информационной модели процесса подготовки РКН к пуску. Результаты исследований могут быть использованы для обоснования количественных требований к разрабатываемым информационным моделям обстановки на этапе разработки технического задания.

Ракета космического назначения; подготовка к пуску; ситуационная осведомлённость; принятие решений; эффективность.

Цитирование: Привалов А.Е., Бугайченко П.Ю. Обоснование архитектуры интерактивной информационной модели процесса подготовки ракеты космического назначения к пуску // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 3. С. 118-130. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-3-118-130

Введение

В настоящее время к эффективности процесса подготовки ракет космического назначения (РКН) к пуску предъявляются достаточно жёсткие требования, обусловленные всё возрастающей ролью космических систем в современном мире. Достижение требуемых показателей зависит от качества выполнения всех функций управления процессом.

Принятие решений при управлении процессом подготовки и пуска имеет следующие особенности:

- строгая структура, определённая сетевым графиком, отклонения от которого возможны лишь в малом диапазоне;
- априорная определённость оценочной системы в соответствии с руководящими и эксплуатационными документами;

- высокая динамика, накладывающая жёсткие временные рамки на процесс принятия решений;
- большой объём информации о ходе процесса.

При этом от степени владения информацией лицом, принимающим решение (ЛПР) – ситуационной осведомлённости (СО) [1] – напрямую зависит его правильность. Повысить ситуационную осведомлённость ЛПР при подготовке РКН к пуску возможно с применением технологии информационного моделирования.

Информационная модель обстановки представляет собой интерактивный мультимедийный аналитический документ, который имеет следующие особенности:

- он содержит информацию, необходимую для выработки решения, в максимально удобном для восприятия визуально-ориентированном виде;
- с ним можно взаимодействовать в процессе выработки решения, получая доступ к необходимой в настоящий момент информации.

В статье рассмотрена задача обоснования архитектуры информационной модели процесса подготовки РКН к пуску на основании новой модели оценивания эффективности процесса формирования ситуационной осведомлённости ЛПР.

Постановка задачи

Согласно модели М.Р. Эндсли [2] состояние ситуационной осведомлённости является результатом процесса анализа и оценки окружающей среды и включает три уровня: восприятие, осмысление и прогнозирование ситуации.

Первый уровень ситуационной осведомлённости – восприятие ситуации – включает в себя наблюдение множества N параметров, характеризующих объект и процесс управления. Информацию о значениях этих параметров условно можно разделить:

- на информацию о текущей обстановке, поступающую от командиров подчинённых расчётов, а также от автоматизированных систем управления (I_t);
- информацию о плановом выполнении процесса (эталонный процесс), источником которой являются сетевые графики, карточки хронометража и другие оперативные документы (I_n).

Формирование первого уровня соответствует этапу мониторинга при разработке управленческих решений [3]. Сущность мониторинга заключается в измерении параметров и сравнении их с плановыми значениями. Ввиду сложности объекта управления и высокой динамики происходящих процессов полноценный анализ всех параметров не всегда возможен. Снижение полноты мониторинга существенно влияет на качество принимаемых решений и, в некоторых случаях, может привести к возникновению нештатных и аварийных ситуаций.

Формирование второго уровня ситуационной осведомлённости выполняется на этапе диагностирования ситуации и включает в себя анализ поступившей информации, отнесение ситуации к одному из классов (задача распознавания образов). При осмыслении ситуации возможно возникновение ошибок, причинами которых являются недостаточные достоверность и полнота представляемой информации. Достоверность является характеристикой входной информации для системы принятия решений (СПР), следовательно находится за границами исследования. Полнота мониторинга является характеристикой СПР, которая влияет на качество принимаемых решений.

Формирование третьего уровня ситуационной осведомлённости соответствует этапу прогнозирования ситуации. Соответствие уровней модели М.Р. Эндсли этапам

принятия решений представлено на рис. 1. Таким образом, процесс формирования ситуационной осведомлённости является обязательной составляющей принятия решения. Следовательно эффективность формирования ситуационной осведомленности можно оценить с помощью показателя:

$$K_{co} = \frac{\mathcal{E}_{np}^{(pco)}}{\mathcal{E}_{np}^{(uco)}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{np}^{(pco)}$ – показатель эффективности принятия решения с реальной системой формирования ситуационной осведомлённости; $\mathcal{E}_{np}^{(uco)}$ – показатель эффективности принятия решения с идеальной системой формирования ситуационной осведомлённости

Исходя из вышесказанного, можно осуществить математическую постановку задачи.

Дано:

1) $T = \{t_1, t_2 \dots t_7\}$ – множество средних длительностей соответствующих этапов принятия решений;

2) N – общее количество параметров объекта и процесса управления;

3) N_a – количество наблюдаемых параметров объекта и процесса управления;

4) $t_{отк}$ – среднее время нахождения параметров в «норме» ($I_t = I_n$);

5) t_k – среднее время, в течение которого параметр может находиться в «ненорме», и это не приводит к возникновению аварийной ситуации (располагаемое время для принятия решения).

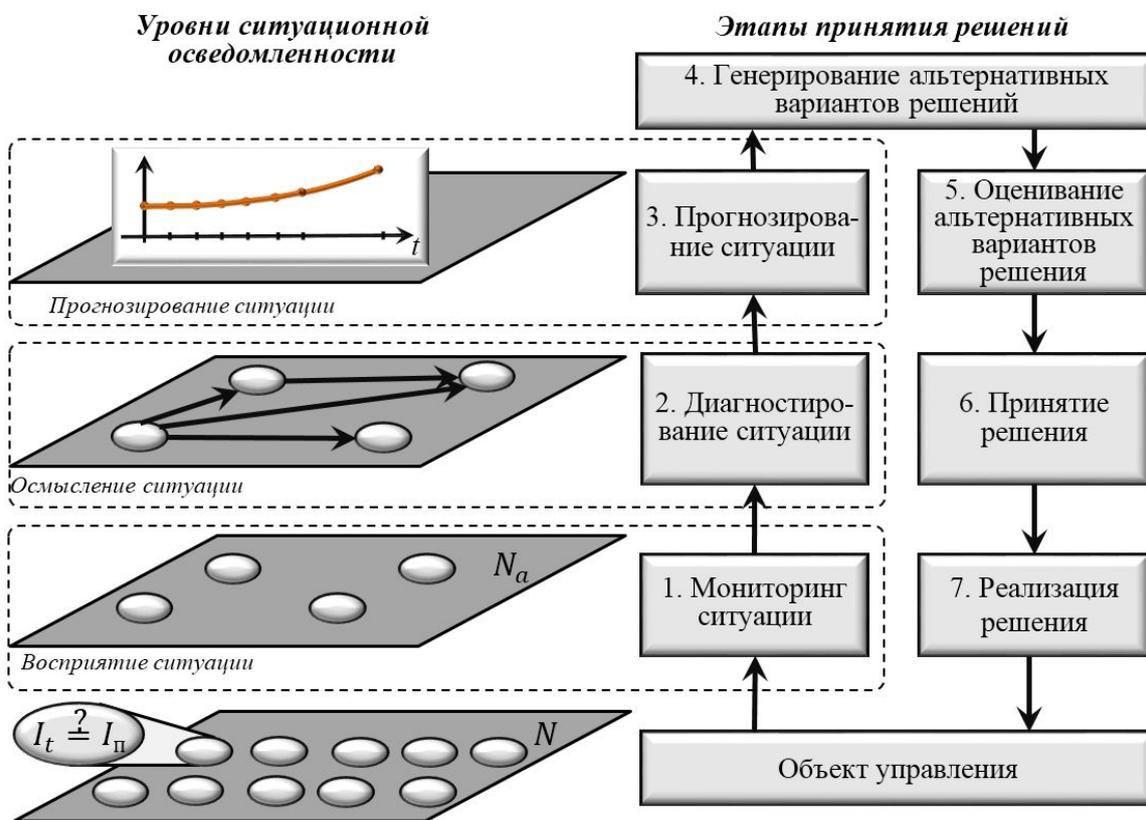


Рис. 1. Соответствие уровней ситуационной осведомлённости и этапов принятия решений

Выполнить:

1. Разработать модель для оценивания эффективности формирования ситуационной осведомлённости (1)
2. Определить наиболее значимые параметры процесса формирования ситуационной осведомлённости и оценить их влияние на показатель эффективности.
3. Обосновать архитектуру интерактивной информационной модели процесса подготовки РКН к пуску для обеспечения условия $K_{co} \geq K_{треб}$.

Допущения:

1. Получаемая информация достоверна.
2. При правильном определении вида нештатной ситуации всегда существует решение, переводящее ситуацию в штатную.
3. В отдельный момент времени только один параметр может выйти за пределы нормы (допущение актуально для систем с высоким уровнем целевой эффективности).

Разработка математической модели оценивания эффективности формирования ситуационной осведомлённости

Система принятия решений функционирует в непрерывном масштабе времени и может находиться в одном из дискретных состояний S_i , каждое из которых характеризует окончание соответствующего этапа процесса принятия решения. Поэтому для оценивания эффективности формирования СО, как составной части этого процесса, может быть использована модель на базе математического аппарата теории непрерывных цепей Маркова [4]. Так как информация о состоянии объекта управления достаточно разнородна по содержанию и каждый из её видов имеет свою смысловую ценность, потребное и располагаемое время обработки, то полагаем её «осреднённой».

Пусть определено вероятностное пространство Колмогорова, в котором случайными событиями являются события A_i – нахождение процесса принятия решения в состоянии S_i , на котором заданы:

- алгебра событий $A = \{A_i\}$;
- аксиома существования вероятности случайных событий $P(A_i)$;
- аксиома нормировки вероятности $P(A)$;
- аксиома аддитивности вероятности $P\left(\sum_i A_i\right) = \sum_i P(A_i)$.

Обозначим интенсивности изменения вероятностей состояний как λ_{ij} , интенсивности изменения вероятностей по всем направлениям образуют множество интенсивностей $\Lambda = \{\lambda_{ij}\}$.

Объект управления может находиться в трёх состояниях:

- S_0 – штатное функционирование объекта управления ($I_t = I_n$);
- S_1 – нештатное функционирование объекта управления ($I_t \neq I_n$);
- S_2 – предельное состояние – состояние, в котором не существует решения, которое вернёт объект в штатное состояние.

Интенсивность переходов между состояниями S_0 и S_1 определяется через $t_{отк}$, интенсивность переходов между состояниями S_1 и S_2 определяется через t_k :

$$\lambda_{01} = \frac{N}{t_{\text{отк}}}, \quad \lambda_{12} = \frac{1}{t_{\text{к}}}.$$

Принятие решения осуществляется в условиях нахождения объекта в одном из перечисленных состояний. Если объект управления находится в состоянии S_0 , то СПР может принять либо правильное, либо ошибочное решение о состоянии объекта (ошибка первого рода). Источником ошибок первого рода может быть только недостоверность поступающей информации. Так как гипотеза об исправном состоянии объекта является нулевой, недостаточная полнота мониторинга не повлечёт за собой возникновение ошибки первого рода. Следовательно, если объект находится в состоянии S_0 , то функционирование СПР не выводит его из этого состояния. Воспользовавшись аксиомой аддитивности вероятности, объединим все состояния, описывающие этапы принятия решения при условии S_0 , в одно состояние (назовём его S_0). Аналогичным образом объединим все состояния принятия решения в состоянии S_2 в одно состояние S_2 . Таким образом, процесс принятия решения влияет только на перевод системы из состояния S_1 в состояние S_0 .

Процесс принятия решения состоит из семи этапов. Обозначим состояния, соответствующие первым трём этапам, соответственно S_m , S_d , S_f . Интенсивность мониторинга λ_{1m} можно определить через количество наблюдаемых параметров N_a и среднее время наблюдения одного параметра $t_m = t_1$:

$$\lambda_{1m} = \frac{1}{N_a t_m}.$$

Из состояния S_m возможен переход:

- в состояние S_d в случае правильного диагностирования ситуации;
- в состояние S_1 в случае ошибки второго рода, то есть принятия решения об исправности объекта.

В последнем случае СПР заканчивает работу, не сформировав управляющего воздействия на восстановление штатного функционирования объекта, и объект остаётся в состоянии S_1 .

Вероятность ошибки второго рода определяется через полноту контроля [5]:

$$\Pi = \frac{\log_2 \frac{1}{N - N_a} - \log_2 \frac{1}{N}}{-\log_2 \frac{1}{N}}.$$

Среднюю длительность этапа диагностирования ситуации обозначим $t_d = t_2$, среднюю длительность прогнозирования – $t_f = t_3$. Следовательно

$$\lambda_{md} = \frac{1}{t_d} \Pi, \quad \lambda_{m1} = \frac{1}{t_d} (1 - \Pi), \quad \lambda_{df} = \frac{1}{t_f}.$$

Этапы 4-7 работы СПР не участвуют в формировании ситуационной осведомлённости, поэтому, воспользовавшись аксиомой аддитивности вероятности и допущением о гарантированном существовании решения, переводящего ситуацию в штатную, объединим их с состоянием S_0 . Следовательно

$$\lambda_{f0} = \frac{1}{t_r} = \frac{1}{\sum_{i=4}^7 t_i}.$$

Граф состояний процесса принятия решений с реальной системой СО представлен на рис. 2, а. Идеальная система СО характеризуется мониторингом всего множества параметров и бесконечно малыми (соответствующими режиму реального времени) длительностями выполнения этапов 1-3 поддержки принятия решения (т.е. $\Pi = 1$, $t_1 = t_2 = t_3 = 0$). С учётом принятых допущений и аксиом граф состояний процесса принятия решений представлен на рис. 2, б.

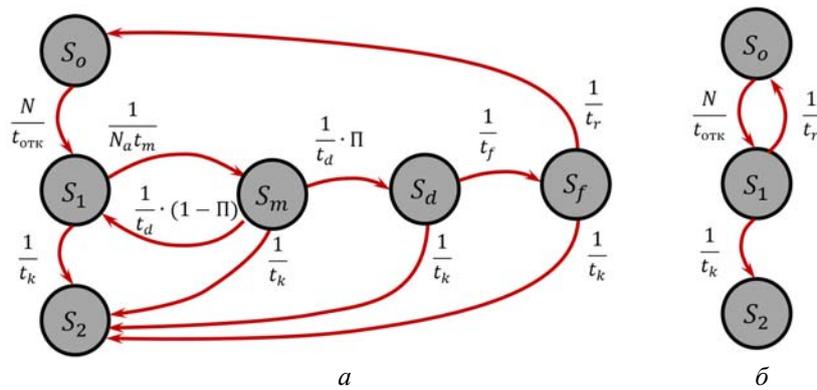


Рис. 2. Графы состояний СПР с реальной и идеальной системами СО

В соответствии с правилом Колмогорова [6] получены следующие системы уравнений состояния для реальной (2) и идеальной (3) систем:

$$\begin{cases} \dot{p}_0 = p_d \frac{1}{t_r} - p_0 \frac{N}{t_{отк}}; \\ \dot{p}_1 = p_0 \frac{N}{t_{отк}} + p_a \frac{1}{t_d} (1 - \Pi) - p_1 \left(\frac{1}{t_k} + \frac{1}{N_a t_a} \right); \\ \dot{p}_2 = p_1 \frac{1}{t_k} + p_a \frac{1}{t_k} + p_d \frac{1}{t_k}; \\ \dot{p}_a = p_1 \frac{1}{N_a t_a} - p_a \left(\frac{1}{t_d} (1 - \Pi) - \frac{1}{t_k} - \frac{1}{t_d} \Pi \right); \\ \dot{p}_d = p_a \frac{1}{t_d} \Pi - p_d \left(\frac{1}{t_f} + \frac{1}{t_k} \right); \\ \dot{p}_f = p_d \frac{1}{t_f} - p_f \left(\frac{1}{t_r} + \frac{1}{t_k} \right). \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{p}_0 = p_1 \frac{1}{t_r} - p_0 \frac{N}{t_{отк}}; \\ \dot{p}_1 = p_0 \frac{N}{t_{отк}} - p_1 \left(\frac{1}{t_k} + \frac{1}{t_r} \right); \\ \dot{p}_2 = p_1 \frac{1}{t_k}. \end{cases} \quad (3)$$

Эффективность принятия решения определяется как свойство процесса принятия решения, характеризующее его приспособленность к достижению цели [7]. Целью процесса принятия решений при управлении процессом подготовки РКН к пуску является обеспечение планового хода процесса и парирование отклонений. Численно эффективность принятия решения можно выразить через вероятность непопадания системы в состояние S_2 . Очевидно, что p_2 является поглощающим состоянием, в связи с этим $p_2(t \rightarrow \infty) = 1$. Поэтому для расчётов целесообразно использовать значение вероятности невыполнения целевой задачи за временной интервал, равный длительности подготовки РКН к пуску. Следовательно

$$K_{co} = \frac{\mathcal{E}_{np}^{(pco)}}{\mathcal{E}_{np}^{(uco)}} = \frac{(1 - p_2^{(pco)}(\tau_{mn}))}{(1 - p_2^{(uco)}(\tau_{mn}))},$$

где τ_{mn} – длительность подготовки РКН к пуску; $p_2^{(pco)}$ – вероятность невыполнения задачи СПР с реальной системой СО; $p_2^{(uco)}$ – вероятность невыполнения задачи СПР с идеальной системой СО.

В целях проверки адекватности разработанной модели были проведены численные эксперименты по оцениванию K_{co} при изменении полноты контроля Π в интервале от 0,01 (1%) до 0,8 (80%) и длительности мониторинга t_m от 0,0001 до 0,018 (мин.) при общем времени принятия решения $\sum_{i=1}^7 t_i = 45$ мин. Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Из графика видно, что K_{co} возрастает при снижении длительности мониторинга и повышении полноты контроля.

Анализ результатов проведения экспериментов позволяет сформулировать следующие требования к информационной модели процесса подготовки РКН к пуску для достижения $K_{co} \geq K_{треб} = 0,95$:

- полнота мониторинга параметров объекта и процесса управления $\Pi \geq 0,8$;
- длительность мониторинга каждого параметра $t_m \leq 0,002$ (мин.);
- длительность процесса принятия решения $\sum_{i=1}^7 t_i \leq 45$ (мин.).

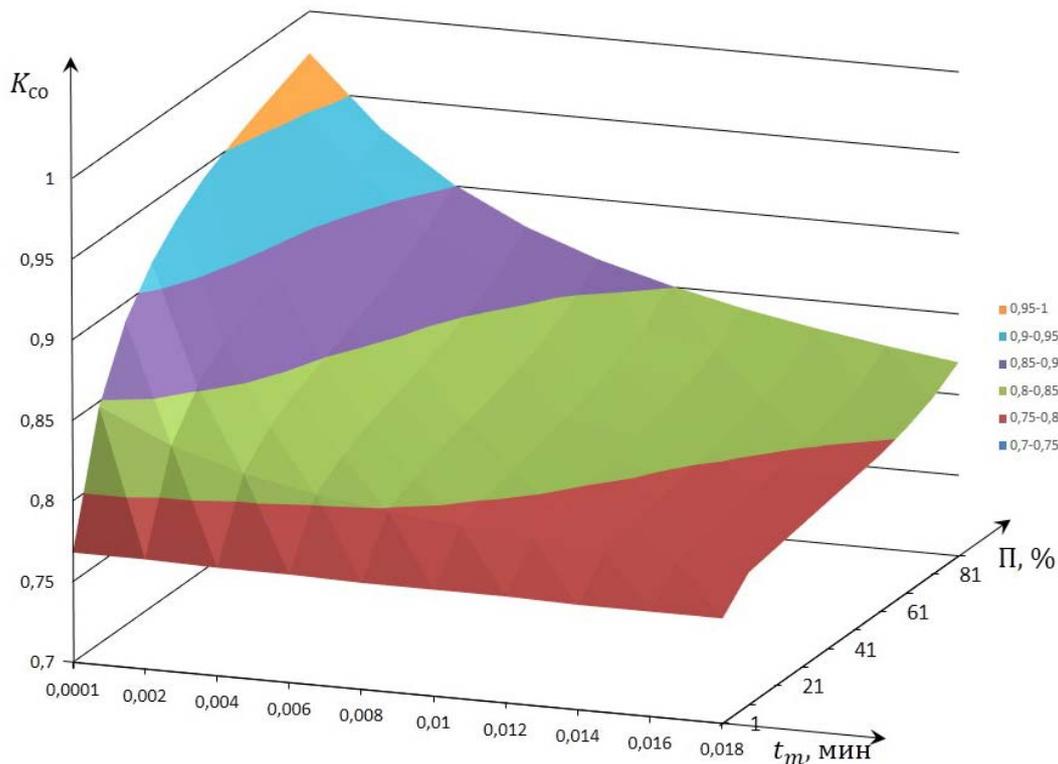


Рис. 3. Зависимость эффективности СО от полноты контроля и длительности мониторинга

Архитектура интерактивной информационной модели процесса подготовки РКН к пуску

Архитектура интерактивной информационной модели процесса подготовки РКН к пуску определяется перечнем задач, направленных на удовлетворение вышеперечисленных требований (рис. 4).

Задача 1. Автоматическое получение информации о текущих значениях параметров объекта и процесса управления. Источником информации о текущих значениях параметров являются автоматизированные системы управления класса MES и SCADA [8; 9]. Применение ручного ввода значений параметров приведёт к существенному увеличению длительности мониторинга, а следовательно к снижению K_{co} .

Задача 2. Автоматическое получение информации о плановых значениях объекта и процесса управления. Подготовка РКН к пуску является сложным процессом со множеством обратных связей, штатное течение которого во многом зависит от текущей ситуации. Поэтому наиболее перспективным источником информации о плановом (эталонном) процессе представляется имитационная модель, функционирующая в реальном масштабе времени параллельно с объектом управления. Для решения этой задачи может быть использована уже разработанная имитационная модель процесса подготовки РКН к пуску [10].

Задача 3. Автоматическое сравнение плановой и текущей ситуации с выявлением отклонений. Длительность выполнения задач №№1-3 является составляющей времени t_m .

Задача 4. Автоматическое прогнозирование ситуации в режиме реального времени. Обеспечение режима реального времени возможно только с применением аналитических моделей, т.к. имитационное моделирование предполагает проведение статистического эксперимента и может занять достаточно длительное время. Вместе с тем, на процесс подготовки РКН к пуску влияет множество случайных факторов различной природы (отказы технологического оборудования, неблагоприятные условия внешней среды, ошибки операторов и т.п.), сочетание которых не позволяет построить адекватные аналитические модели процесса. Обеспечение требуемой точности и оперативности прогнозирования возможно с применением метамоделей, под которыми понимается приближённая векторная стохастическая функция, полученная путём проведения экспериментов с моделью системы и описывающая зависимость выходных параметров от входных [11]. Метамоделей, как правило, выражаются в форме аналитических уравнений, таблиц, графиков, поверхностей или контурных карт.

Для построения метамоделей необходимо выполнить следующие этапы:

1. Разработка сценария развития нештатной ситуации.
2. Определение варьируемых и оцениваемых параметров процесса, разработка плана эксперимента.
3. Проведение статистических испытаний по разработанному плану и обработка их результатов.
4. Построение метамоделей процесса подготовки РКН при возникновении данной нештатной ситуации.

Заблаговременная подготовка метамоделей для каждой из возможных ситуаций позволит существенно повысить оперативность предоставления прогнозной информации для поддержки принятия решений во время их возникновения.

Задача 5. Предоставление информации в удобном для восприятия виде. В целях сокращения времени восприятия информации представление информации необходимо организовывать в образной графической форме [12]. Скорость восприятия информации в графической форме на порядок выше, чем в остальных, и составляет менее 100 мс [13], что удовлетворяет предъявляемым требованиям. Предлагается организация информации в форме четырёх интерфейсов: сетевой график, состояние технологического оборудования, 3D- и 2D-схема.

Интерфейс сетевого графика предназначен для предоставления информации о структуре и ходе технологического процесса. На нём отображается структура эталонного сетевого графика подготовки РКН, а также текущее и прогнозное состояние процесса. Интерфейс в интерактивном режиме может предоставлять детальную информацию о каждой операции сетевого графика.

Интерфейс визуализации состояния технологического оборудования предназначен для представления в графическом виде загрузки, текущих режимов работы, технического состояния каждого агрегата (системы).

Интерфейс 3D и 2D-схемы предназначен для представления элементов технического и стартового комплекса в целом и предоставления доступа в интерактивном режиме к информации о каждом здании и сооружении. По мере необходимости могут выводиться сведения о количестве личного состава, находящегося в здании, технологическом оборудовании и нештатных ситуациях.

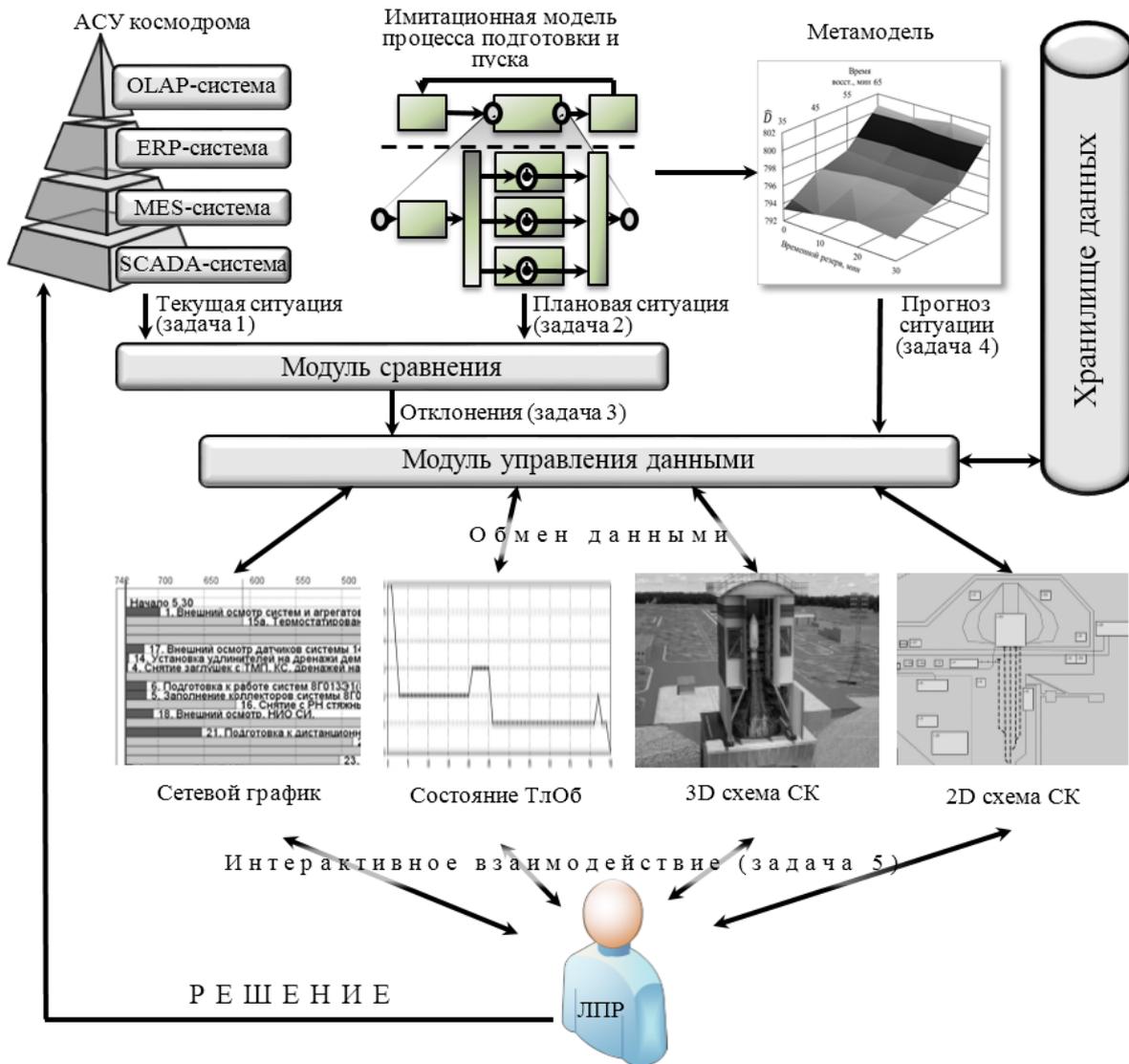


Рис. 4. Архитектура интерактивной информационной модели процесса подготовки РКН к пуску

Для минимизации времени получения требуемой информации данные интерфейсы должны обеспечивать выполнение следующих функций [14]:

- перемещение по уровням иерархии модели, вплоть до выхода на детальную информацию, обусловившую формирование значения конкретного показателя (эта возможность полезна для перехода от обзорного к более детальным уровням видения ситуации и наоборот);
- изменение масштаба времени отображения параметров;
- включение анимационных и/или цветовых индикаторов значений параметров и ряд других визуальных эффектов, улучшающих восприятие.

Заключение

Эффективность принятия решений напрямую зависит от полноты и оперативности представления данных. Поэтому необходимым условием повышения эффективности принятия решений является обеспечение требуемого уровня СО ЛПР, которое реализуется в настоящее время с применением информационных моделей обстановки.

Разработана модель оценивания эффективности формирования СО, которая позволяет сформировать количественные требования к параметрам процесса её формирования. Сформированные требования могут быть использованы на этапе разработки технического задания на разработку информационной модели обстановки, а также для обоснования архитектурных решений при её проектировании. Разработанная модель апробирована для обоснования архитектуры интерактивной информационной модели процесса подготовки РКН к пуску.

Библиографический список

1. Привалов А.Е., Кочанов И.А., Бугайченко П.Ю. Онтологический подход к формированию ситуационной осведомлённости при управлении эксплуатацией ракетно-космических комплексов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2013. № 639. С. 93-98.
2. Kokar M.M., Matheus C.J., Waclawski K. Ontology-based situation awareness // Information Fusion. 2009. V. 10, Iss. 1. P. 83-98. DOI: 10.1016/j.inffus.2007.01.004
3. Карась И.В., Привалов А.Е. Технологии разработки управленческих решений. Ч. 1. Теоретические основы разработки управленческих решений. Управление проектами: уч. пособие. СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. 116 с.
4. Минаков Е.П., Шафигуллин И.Ш., Зубачев А.М. Методы исследования эффективности применения организационно-технических систем космического назначения: учебник. СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. 244 с.
5. Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика: учебник для вузов. М.: МО СССР, 1987. 521 с.
6. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник и практикум. М.: Юрайт, 2017. 514 с.
7. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремлённых систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.
8. Шмелёв В.В. Корпоративная информационная система автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракеты космического назначения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 646. С. 29-37.
9. Зеленцов В.А., Ковалев А.П., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Методология создания и применения интеллектуальных информационных технологий наземно-космического мониторинга сложных объектов // Труды СПИИРАН. 2013. № 5 (28). С. 7-81.
10. Привалов А.Е., Зубачев М.А., Степанов С.С. Программа имитационного моделирования выполнения мероприятий в распределённой системе: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618764; заявка № 2018616103 от 05.06.2018 г.
11. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. СПб: Питер, 2004. 847 с.
12. Новикова Е.В., Лавренюк С.Ю., Ильин Н.И. Многокритериальное проектирование и обоснование эффективности создания и эксплуатации ситуационных центров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 4. С. 63-67.
13. Констандов Э.А. Психофизиология сознания и бессознательного. СПб: Питер, 2004. 167 с.
14. Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Новикова Е.В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.

JUSTIFICATION OF THE ARCHITECTURE OF AN INTERACTIVE INFORMATION MODEL OF THE PROCESS OF SPACE-MISSION VEHICLE LAUNCH PREPARATION

© 2019

A. E. Privalov Candidate of Science (Engineering), Senior Lecturer of the Department of Management of Organizational and Technical Systems for Space Purpose; Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation; cerebrum203@yandex.ru

P. Yu. Bugaichenko Candidate of Science (Military), Lecturer of the Department of Management of Organizational and Technical Systems for Space Purpose; Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation; pavel_bugaichenko@rambler.ru

The article presents a solution of the problem of substantiating the architecture of an interactive information model for the launch preparation of an integrated launch vehicle (ILV). The relevance of the research is due to the complexity and high dynamics of the ILV launch preparation process, as well as the latest achievements in the field of information modeling and decision support theory. The aim of the research is to raise the situational awareness of the decision maker in managing the process of preparing ILV for launch. The process of formation of situational awareness as an integral part of the decision-making process is analyzed. On the basis of this analysis a model of an indicator of the effectiveness of situational awareness formation is proposed for the first time. A model for evaluating the effectiveness of the process under study is developed on the basis of the mathematical apparatus of the theory of continuous-time Markov chains. The results of numerical experiments confirming the adequacy of the model and making it possible to state the quantitative requirements for the process of formation of situational awareness, ensuring its maximum efficiency, are presented. The tasks of the information system aimed at satisfying the requirements are stated, and the architecture of the information model of the ILV launch preparation process is developed. The research results can be used to justify the quantitative requirements for the developed information models of the launch situation at the stage of development of technical specifications.

Integrated launch vehicle; launch preparation; situational awareness; decision-making; efficiency.

Citation: Privalov A.E., Bugaichenko P.Yu. Justification of the architecture of an interactive information model of the process of space-mission vehicle launch preparation. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 3. P. 118-130. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-3-118-130

References

1. Privalov A.E., Kochanov I.A., Bugaichenko P.Yu. The ontological approach to forming situation awareness during the management of the operation RKK. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2013. No. 639. P. 93-98. (In Russ.)
2. Kokar M.M., Matheus C.J., Baclawski K. Ontology-based situation awareness. *Information Fusion*. 2009. V. 10, Iss. 1. P. 83-98. DOI: 10.1016/j.inffus.2007.01.004
3. Karas' I.V., Privalov A.E. *Tekhnologii razrabotki upravlencheskikh resheniy. Ch. 1. Teoreticheskie osnovy razrabotki upravlencheskikh resheniy. Upravlenie proektami: uchebnoe posobie* [Technologies of development of management decisions. Part 1. Theoretical basis for the development of management decisions. Project management. Tutorial]. SPb: Mozhaisky Military Space Academy Publ., 2012. 116 p.
4. Minakov E.P., Shafigullin I.Sh., Zubachev A.M. *Metody issledovaniya effektivnosti primeneniya organizatsionno-tekhnicheskikh sistem kosmicheskogo naznacheniya: uchebnik* [Methods of analyzing the effectiveness of using organizational and technical space-mission systems: textbook]. SPb: Mozhaisky Military Space Academy Publ., 2016. 244 p.
5. Dmitriev A.K., Yusupov R.M. *Identifikatsiya i tekhnicheskaya diagnostika: uchebnik dlya vuzov* [Identification and technical diagnostics: textbook for higher education]. Moscow: MO USSR Publ., 1987. 521 p.

6. Kremer N.Sh. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnik i praktikum* [Probability theory and mathematical statistics: textbook and workshop]. Moscow: Yurayt Publ., 2017. 514 p.

7. Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlyennykh system* [Methodological foundations of external design of purposeful processes and goal-oriented systems]. Moscow: AST Publ., 2006. 504 p.

8. Shmelev V.V. The solution of a problem of optimum planning of a process a dynamic programing method. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2015. No. 646. P. 29-37. (In Russ.)

9. Zelentsov V.A., Kovalev A.P., Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Creation and application methodology of the intelligent information technology of complexity objects space and ground based monitoring. *SPIIRAS Proceedings*. 2013. No. 5 (28). P. 7-81. (In Russ.)

10. Privalov A.E., Zubachev M.A., Stepanov S.S. *Programma imitatsionnogo modelirovaniya vypolneniya meropriyatiy v raspredelennoy sisteme* [Program of simulation of the implementation of activities in a distributed system]. Certificate of state registration of computer programs no. 2018618764, application no. 2018618764 of June, 5, 2018.

11. Law A.M., Kelton D.W. *Simulation modelling and analysis*. Singapore: McGraw-Hill, 1991. 749 p.

12. Novikova E.V., Lavrenyuk S.Yu., Il'in N.I. Multicriterion design and the basing of the efficiency of creation and operation of situation centers. *Informacionnye Tehnologii v Proektirovanii i Proizvodstve*. 2012. No. 4. P. 63-67. (In Russ.)

13. Konstandov E.A. *Psikhofiziologiya soznaniya i bessoznatel'nogo* [Psychophysiology of consciousness and the unconscious]. SPb: Piter Publ., 2004. 167 p.

14. Il'in N.I., Demidov N.N., Novikova E.V. *Situatsionnye tsentry. Opyt, sostoyanie, tendentsii razvitiya* [Situational centers. Experience, status, development trends]. Moscow: MediaPress Publ., 2011. 336 p.