

А.Н. Кудряшов,
кандидат военных наук, доцент

ТРЕНАЖЕРНО-ОБУЧАЮЩАЯ МОДЕЛЬ ВЫДАЧИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА БОРТОВЫЕ УСТРОЙСТВА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Представлена имитационная модель системы командно-программного обеспечения управления космическими аппаратами, предназначенная для применения в одном из двух режимов: тренажа и изучения. Первый предполагает отработку действий оператора центра управления полетами в процессе выдачи на космический аппарат и исполнения на его борту управляющих воздействий, второй – изучение этого процесса по поэтапно представляемой моделью визуальной информации. Для построения модели использовался аппарат временных сетей Петри, позволяющий учитывать, как параллельность выполнения технологических операций, так и временные задержки, обусловленные физическими особенностями системы управления, а также необходимостью представления обучаемому времени для ознакомления с ситуацией и принятия решения (выполнение действия).

Ключевые слова: имитационная модель, технологическая операция, командно-программная информация, космический аппарат, центр управления, позиция сети, переход сети.

ВВЕДЕНИЕ

Целесообразность разработки модели функционирования системы командно-программного обеспечения (СКПО) управления космическими аппаратами (КА) для использования в качестве обучающего средства (тренажёра) состоит в необходимости улучшения обучения персонала центров управления полетами (ЦУП) за счет приобретения навыков выполнения операций управления КА как в штатном режиме, так и при возникновении нештатных ситуаций. При этом важно, что при подготовке операторов ЦУП с использованием тренажерно-обучающей модели все отказы, нештатные ситуации или искусственно введенные, или возникшие из-за ошибок, совершённых самим обучаемым, будут условными, не наносящими вреда реальной технике (бортовым системам КА и средствам наземного комплекса управления - НКУ).

Включение в состав программного обеспечения ЦУП (реального или учебного) модели функционирования СКПО является актуальным и с точки зрения экономии ресурсов. Так оператору ЦУП должны поступать данные о текущем состоянии средств НКУ, реакции исполнительных органов бортового оборудования КА на управляющие воздействия (командно-программную информацию - КПИ). В реальной практике управления КА эти данные получают на основе оперативного анализа информации квитирования (КВ), телесигнализации (ТС), сверки времени (СВ), оперативного контроля (ИОК). Указанные виды информации получают по обратному квитационному каналу командно-измерительных систем, поэтому их иногда объединяют названием: «Информация обратного канала». Кроме того, оперативно могут анализироваться телеметрическая, телевизионная информация (ТМИ, ТВИ), измерения текущих навигационных параметров (ИТНП), доклады расчетов средств НКУ и экипажа КА. В тренажерном же режиме возможность ввода управляющих воздействий и получения информации о реакции КА на них, о состоянии средств НКУ должна представить модель функционирования СКПО. То есть, в процессе обучения не требуется использование разнородной реальной техники и многочисленного персонала. Причем, если анализ информации о состоянии КА и средств НКУ не предполагает активных действий оператора, то для формирования и выдачи КПИ наработанные навыки таких действий необходимы. Это и обуславливает необходимость разработки модели, имитирующей именно процесс выдачи на КА и исполнения на его борту

сформированных оператором управляющих воздействий. Причем в такой имитационной модели должны быть отражены такие особенности СКПО, как возможная параллельность выполнения технологических операций, а также логико-временные связи между ними.

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СКПО

Система командно-программного обеспечения, как подсистема АСУ КА, является сложной с разных аспектов рассмотрения, в том числе в силу многоструктурности своего построения [1]. Оно включает, в частности: структуру технических средств и каналов связи между ними, а также организационную структуру подразделений с их субординационно-координационными взаимосвязями. Элементы этих структур пространственно (топологически) распределены по поверхности Земли и космическому пространству, следовательно, можно говорить о топологической структуре СКПО. Учитывая то, что СКПО относится к классу автоматизированных систем, может быть выделена структура ее программно-математического обеспечения. Но особая роль принадлежит так называемой технологической структуре – роль первичной, системообразующей структуры [2]. И действительно, применяя один из методов системного анализа: «Построение дерева целей и задач системы», можно главную цель управления КА – обеспечение выполнения им целевых задач, разбить на подцели. Подцели разбиваются на задачи, одна из которых – задача выдачи на борт КА управляющих воздействий и контроль их исполнения. А для решения этой задачи необходимо выполнить совокупность технологических операций, образующих уже не древовидную структуру, а структуру, обусловленную логико-временными связями между операциями (рис.1).

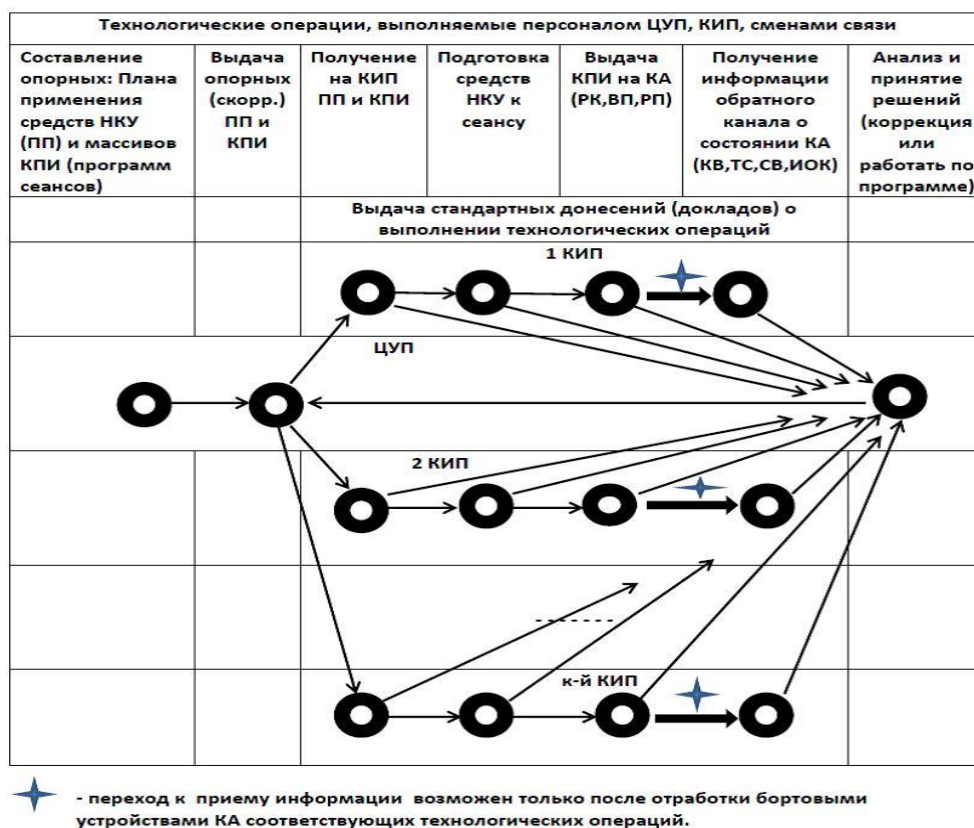


Рис. 1. Технологическая структура системы командно-программного обеспечения управления КА

Указанные на рис.1 операции предполагают следующие действия.

1. Составление Плана применения средств НКУ (ПП), определяющего: когда и какой командно-измерительный пункт (КИП) будет проводить сеанс управления конкретным КА своими средствами НКУ.
2. Формирование управляющих воздействий на КА - массивов командно-программной информации (КПИ).
3. Передача на КИП планов применения средств НКУ и массивов КПИ.
4. Подготовка средств НКУ соответствующих КИП, а, конкретно, командно-измерительных систем (КИС) к сеансу.
5. Выдача массивов КПИ (разовых команд, временных или рабочих программ -РК,ВП,РП) на борт КА с параллельным получением информации обратного канала.
6. Анализ поступающей информации и коррекция в случае необходимости ПП и КПИ.

Перечисленные действия выполняются расчетами ЦУП, КИС, узлов связи центра и КИП с применением технических средств: комплексов средств автоматизации с их программным обеспечением, передатчиков, приемников, систем связи, бортовых устройств. Эти расчеты и средства образуют соответствующие организационную, техническую структуры, структуру программно-математического обеспечения. Тем самым подтверждается приведенный выше тезис о первичности технологической структуры. Следовательно, именно она должна послужить основой для построения модели функционирования СКПО.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКПО

Достаточно проработанными являются аналитические модели выполнения комплексов технологических операций управления КА на основе систем дифференциальных уравнений, где дифференцируемая переменная отражает степень выполнения операции. Этот подход нашел применение для решения задач оптимального планирования работы бортовых систем и средств НКУ [3]. Однако, использование таких моделей в качестве тренажерно-обучающих, представляется нецелесообразным в силу сложности оперативной формализации входной информации. Еще более сложной является адекватная визуализация результатов моделирования.

Поэтому для моделирования функционирования СКПО предлагается использовать имитационное моделирование, и, в частности, так называемые временные сети Петри (ВСП), причинно-следственные модели параллельных действий, способные адекватно отразить логико-временные связи между технологическими операциями и достаточно просто обойти упомянутые выше факторы сложности [4,5,6,7].

Предлагается использовать модель следующего вида:

$$(P, T, F_1, F_2, M, M_Z, Q_Z), \quad (1)$$

где P – множество позиций; T – множество переходов; F_1, F_2 – матрицы входных и выходных инцидентий, задающих связи между входными позициями и переходами, и переходами и выходными позициями соответственно; $M: P \rightarrow N, N = \{0, 1, 2, \dots\}$ – отображение, задающее маркировку ВСП; $M_Z: P \rightarrow Q^* = [q_i^* | q_i^* = [0, q_{zi}]], i = 1, \dots, n$, – отображение, задающее таймер-векторы ВСП, элементы которых q_i^* – это время, прошедшее после поступления маркера в позицию p_i , n – число позиций в сети; Q_Z – множество временных задержек – времен пребывания маркеров в позициях $q_{zi}, i = 1, \dots, n$.

Правило запуска (срабатывания) (2) любого перехода t_j состоит в том, что из каждой его входной позиции p_n должно быть изъято число маркеров, равное кратности дуги (ребра), соединяющей эту позицию с переходом, а в каждую его выходную позицию p_k должно быть дополнительно помещено число маркеров, равное кратности дуги, соединяющей переход и

данную позицию (3). В результате маркировка (состояние) сети изменяется. Для ВСП переход, для которого позиция p_i является входной, не может быть запущен до того, пока не будет выполнено условие: $q_i^* \geq q_{iz}$.

$$m^{\wedge}(p_n) = m(p_n) - f_1(p_n, t_j), \quad (2)$$

$$m^{\wedge}(p_k) = m(p_k) + f_2(t_j, p_k). \quad (3)$$

При построении модели функционирования СКПО с помощью ВСП ее переходы и позиции интерпретировались следующим образом. Переходы – это технологические операции (см. рис.1), а наличие маркеров во входных позициях – условия для их выполнения [6]. Множество позиций P разделено на три подмножества:

- логические позиции, отображающие технологическую последовательность выполнения операций;
- «возмущаемые» или «управляющие» позиции, отсутствие маркеров в которых говорит о невозможности выполнения соответствующих операций из-за отказа технического средства, ошибки персонала, других воздействий или эти операции осознанно исключены из технологического цикла.
- контрольные позиции или позиции отображения ситуации.

Пример интерпретации наличия или отсутствия маркеров в позициях приведен ниже в табл. 1.

Таблица 1

Пример интерпретации маркировки в имитационной модели

Позиции	Интерпретация наличия (отсутствия) маркера
Логические	Создание условия для выполнения следующей технологической операции
Управляющие	КПИ сформирована и введена в КСА ЦУП
	Возможна и разрешена выдача очередной разовой команды (РК)
	Возможна и разрешена выдача рабочей программы (РП)
	Возможна и разрешена выдача команды на съём информации оперативного контроля (ИОК)
	Возможна и разрешена выдача команды на окончание сеанса
	Ввод и отображение программы сеанса
Контрольные	Накопление и отображение информации о выполнении технологических операций
Возмущаемые	Выход из строя штатного канала ЦУП-ОКИК
	Не прохождение тестового сигнала на антенно-фидерное устройство КИС
	Отсутствие квитанции на РК (РП)
	Неисправность конкретного исполнительного органа КА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ В ЦЕЛЯХ ОБУЧЕНИЯ

Разработанная модель в целях обучения может использоваться в двух режимах: тренаж - выполнение действий в качестве оператора ЦУП по формированию и выдаче КПИ на КА и изучение состава его возможных действий в различных условиях обстановки и этапах технологического цикла.

В первом режиме первичная исходная информация: опорные ПП, массивы КПИ, временные задержки, начальная маркировка ВСП, отражающая исходное состояние средств, расчетов, отсутствие (наличие) возмущающих воздействий, могут вводиться как самими обучаемыми, так и преподавателем (инструктором) в зависимости от степени подготовленности обучаемых и задач тренировочного занятия. Выполнение очередной операции начинается с ввода маркера

в соответствующую входную управляющую позицию. Далее за предоставленное время задержки анализируется степень выполнения операции по визуальной информации, предоставляемой при наличии маркеров в соответствующих контрольных позициях. Далее принимается решение о дальнейших действиях: выполнение следующей операции, повтор текущей, коррекция и возврат к предыдущим операциям. Качество выполнения тренировочного задания может быть оценено преподавателем по финальной контрольной подмаркировке.

В режиме изучения информация о ходе выполнения технологических операций дополняется текстуальной и графической информацией справочного характера. Временные задержки не вводятся, переход от операции к операции осуществляется вручную, по мере усвоения материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований получены следующие результаты.

Сделаны выводы о том, что в целях совершенствования навыков операторов ЦУП целесообразно использовать обучающие средства, использующие моделирование функционирования в первую очередь процессов формирования и выдачи на КА управляющих воздействий (СКПО).

Из совокупности структур СКПО выделена как первичная и построена технологическая структура процесса функционирования СКПО.

Предложена модель, имитирующая выполнение технологических операций в СКПО, построенная на основе использования временных сетей Петри.

Во время тренажа модель позволяет учитывать и отображать ход выполнения технологических операций, текущее состояние технических средств, готовность к работам персонала, возможные внешние воздействия. При переходе в режим изучения указанная информация дополняется справочной информацией, комментирующей текущую ситуацию и объясняющей порядок действий в ней оператора. Кроме обучения, представляемая модель, с введенными реальными исходными данными и запущенная в режиме: «Изучение», может оказаться полезной в действующих центрах управления полетами при оперативном анализе нештатных ситуации в качестве справочного пособия.

Дальнейшее совершенствование модели видится в двух направлениях. Первое – это детализация в моделировании операций, выполняемых бортовыми устройствами КА. Второе связано с тем, что рассмотренные технологические операции (рис.1) на практике выполняются циклически и, следовательно, в расширенной модели надо учесть возможность одновременного выполнения операций в текущем сеансе, подготовки к следующему, планирования на последующие сутки и т.д.

Список используемых источников

1. Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами: курс лекций/ А.Н. Павлов, А.Н. Кудряшов, Ю.С. Мануйлов, С.А. Осипенко. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2013. - 237 с.

2. Кудряшов А.Н. Методика экспертного оценивания возможностей наземных средств по обеспечению целевого применения космических аппаратов при использовании региональных центров управления полетами // Региональная информатика и информационная безопасность: сб. тр. // Материалы Санкт-Петербургской междунар. конф. «Региональная информатика». – СПб.: СПОИСУ, 2020. – Вып. 8 – С.37–40.

3. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса: учеб. / под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010. – 609 с.

4. Колесник А.В., Ортиков М.Ю., Чарушиников А.В. Обоснование состава инструментария разработки программных средств моделирования космических систем // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2020. – Вып. 675. – С.53–61.
5. Решмин Б.И. Имитационное моделирование и системы управления. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.
6. Кудряшов А.Н. Анализ целевых возможностей наземного комплекса управления космическими аппаратами на основе сетей Петри и экспертного оценивания // Интеллектуальные технологии на транспорте: электронный журн. – СПб.: ПГУПС, 2020. №2. – С.71–76.
7. Mesoscopic supply chain simulation / T. Hennies, T. Reggelin, J. Tolujew, P. Piccut. –A. // Journal of Computational Science. – 2013. – P. 106–114.