УДК 629.519

© Котяшев Н.Н., Кузнецов А.А., Купцов А.В.
Kotyashev N., Kuznetsov A., Kuptsov A.

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С КОНЕЧНЫМ СОСТОЯНИЕМ

PROCESS APPROACH TO STUDY OF THE INSTITUTIONAL AND TECHNIKAL REAL TIME SUSTEMS WITH FINAL STATE

Аннотация. *Рассмотрены различные формы представления процессов в организационно-технических системах реального времени с завершающим состоянием. Получены аналитические выражения для функций распределения времени завершения процессов (циклов управления). Определены возможности и условия аппроксимации полумарковских процессов марковскими. Исследование проведено в интересах оценки вероятностно - временных характеристик процессов, управления их проектированием и реализацией.*

Annotation. *Various forms of process representation in institutional and technical real-time systems with final state are assessed. The analytical expressions for the functions of a process (a control loop) completion time distribution are obtained. The possibilities and conditions for the approximation of semi-Markov processes with Markov ones are found. The study was conducted in order to assess probability-time characteristics of the processes, to manage its design and implementation.*

Ключевые слова. *Организационно-технические системы управления, процессный подход, цикл управления, марковские и полумарковские процессы, функции распределения времени завершения процессов.*

Key words. *Organizational and technical management systems, process approach, the control loop, Markov and semi-Markov processes, the process completion time distribution functions.*

При исследовании организационно-технических систем (ОТС) широкое распространение получили системный, функциональный (структурный), ситуационный и некоторые другие подходы. Системный подход, как методологическая основа исследований в области техники, рассматривает ОТС как совокупность взаимосвязанных элементов, таких как люди, структура, задачи и технология, которые ориентированы на достижение различных целей. К сожалению, чаще всего при его применении ограничиваются лишь отдельными его принципами – целеориентированности, композиции и декомпозиции.

При функциональном подходе считается, что ОТС – это некий набор функций, распределяющихся среди подразделений, которые не всегда осознают свое место в общей цели. Ситуационный же подход к управлению ОТС, предполагающий разработку экспертных систем, вообще развит в большей степени теоретически.

Поэтому все более широкое распространение к исследованию и управлению ОТС в рыночных условиях получает процессный подход, при котором функционирование ОТС рассматривается как уникальный управляемый процесс достижения некоторых заданных целей, представляющий собой совокупность взаимосвязанных скоординированных действий (подпроцессов), имеющий ограничения по срокам, стоимости, ресурсам и показателям качества (безопасности, надежности получаемых решений, устойчивости и др.) и позволяющий определить оптимальные последовательность и взаимодействие подпроцессов, организацию процесса в целом.

На сегодняшний день понятия "процессный подход", "процессное управление" используются достаточно часто, однако общего понимания этих терминов пока

Котяшев Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 38 НИИИ МО РФ, тел. 515-17-00;
Кузнецов Андрей Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 38 НИИИ МО РФ, тел. 8-498-600-31-63;
Купцов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, начальник управления 38 НИИИ МО РФ, тел. 8-926-373-14-88.

Kotiaschev Nikolay – doctor of technical sciences, professor, chief researcher 38 SRII MD RF, tel. 515-17-00;
Kusnezov Andrey – doctor of technical sciences, professor, chief researcher 38 SRII MD RF, tel.8-498-600-31-63;
Kupzov Alecsey – candidate of technical sciences, chief of department 38 SRII MD RF, tel/ 8-926-373-14-88.

не сформировалось. Причиной этого является достаточно аморфное определение этого термина в соответствующих стандартах [1, 2, 15].

Подчинение структуры процессам, а процессов стратегии означает, что сначала надо выстроить стратегию, т. е сформировать видение будущего, определить его стратегические цели, затем выстроить процесс и подпроцессы таким образом, чтобы каждый из них был ориентирован на достижение конкретной (конечной) цели и лишь потом формировать организационно-техническую структуру системы, которая бы обеспечивала эффективное исполнение подпроцессов и процесса в целом.

В ОТС гражданского профиля к основным процессам можно отнести: анализ внешней среды, разработку стратегии, маркетинг рынков, закупку сырья и оборудования, производство и сбыт продуктов. К вспомогательным – управление персоналом и ресурсами, управление развитием. В ОТС военного назначения такими процессами, например, будут – загрузка баз данных АСУ, формирование данных управления, их доведение до объектов управления, ввод в системы управления вооружения и многие другие.

Описать процесс означает описать его структуру (например, графической или аналитической схемой), разработать показатели, по которым оценивается процесс, его результаты и удовлетворенность его состоянием. Главный недостаток, который следует преодолеть – процессы в ОТС недостаточно формализованы и описаны, то есть не имеют установленного способа выполнения действий (процедуры), не заданы показатели качества процесса - статистические данные об его эффективности и результативности, не выработаны предложения по его рациональной реорганизации. Кроме того, явно не достаточно исследованы процессы для систем с конечным циклом управления. Таким образом, для того чтобы процессный подход к управлению ОТС стал возможным, необходимо рассмотреть математические модели представления процессов. Имеющиеся многочисленные публикации по процессному подходу больше направлены на его организационную сторону и моделированию процессов в них внимания практически не уделяется. Авторы делают попытку преодоления этого недостатка.

В статье в основном рассматривается применение процессного подхода к системам непрерывного времени с конечным состоянием. Объектом рассмотрения являются сложные многофазные (многопроцессорные) системы, относящихся к классу систем критического приложения с непрерывным временем, в которых информационные процессы не имеют конфликтов из-за ресурсов, где все их ресурсы монопольно используются для решения основной функциональной задачи. В качестве таких систем могут выступать системы с конечным циклом управления, к которым можно отнести многие информационные системы, автоматизированные системы управления, например, системы, обеспечивающие оперативное решение задач подготовки и доведения данных до объектов управления, и многие другие.

Как показано в работах [3–7], риск применения многих систем, особенно систем критического применения с конечным состоянием и непрерывным временем, определяется вероятностью завершения процесса в системе на величину математического ожидания остаточного расходуемого ресурса, в частности при противоборстве систем. Отсюда следует, что исследование процессов в таких системах, в частности, определение вероятности их своевременного завершения, является одним из важнейших направлений оценки и управления функциональными рисками и требует своего детального исследования. Основные риски применения таких систем связаны с несвоевременным завершением процессов в системе, (например, цикла управления ОТС) и, в частности, с наиболее критичным по оперативности сценарием применения систем. Разработка моделей процессов позволит также выработать предложения по их рациональной реорганизации за счет автоматизации или внедрения новых технологий.

Наиболее полной характеристикой устойчивости функционирования организационно-технических систем является функция распределения времени завершения цикла управления, в том числе и с учетом возможных деструктивных воздействий на них. Поглощающее состояние системы определяется завершением решения ею своих функциональных задач или цикла управления. Вероятность прибытия системы в поглощающее состояние в ходе реализации процесса будет постоянно возрастать во времени, пока не достигнет величины, близкой к единице, и она будет ничем иным как функцией распределения времени завершения процесса в системе. Эта функция может быть экспериментальной, полученной в ходе имитационного моделирования, а в ряде случаев определена аналитически. Она при анализе ОТС есть наиболее полная характеристика процесса, протекающего в системе; с ее помощью можно решать как задачи анализа (например, оценки вероятностно-временных характеристик), так и задачи синтеза, в частности, управления процессом для улучшения его оперативных характеристик и снижения рисков невыполнения системой своей функциональной задачи.

1. Обобщенные и частные представления характеристик процессов в ОТС

Обозначим функцию общего времени на выполнение функциональной задачи системой как $F(t)$. Это время складывается из отдельных операций, продолжительностью t_i (i=1,2,...,n). Тогда из простых геометрических соображений (см. рис.1) можно записать выражение для вероятности нахождения процесса в i – операции (фазе), при условии завершенности (i–1) – операции

$$p_{i,i-1} = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})}. \qquad (1)$$

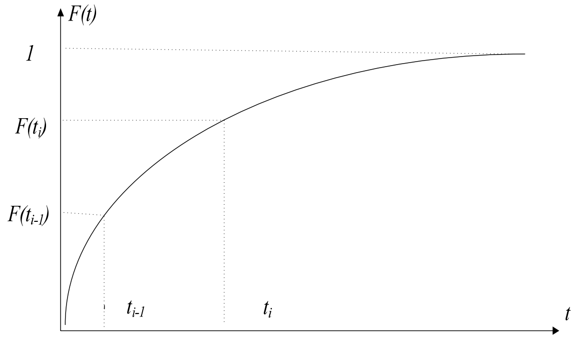

Рис.1. К определению вероятности состояния процесса в ОТС

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

$$p(t < X \le t + \Delta t / X > t) = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})}. \qquad (2)$$

Левая часть этого выражения может быть представлена как

$$p(t < X \le t + \Delta t / X > t) = \lambda(t)\Delta t + 0(t), \qquad (3)$$

где $\lambda(t)$ – функция интенсивности процесса;

$0(t)$ – величина более высокого порядка малости.

Приравнивая правые части и деля их на Δt, получаем соотношение

$$\lambda(t) = \frac{\varphi(t)}{1 - F(t_{i-1})}, \qquad (4)$$

где $\varphi(t) = F^{'}(t)$ – плотность распределения времени завершения процесса.

Преобразуем (4) к виду дифференциального уравнения

$$\lambda(t)dt = -\frac{d(1 - F(t))}{1 - F(t_{i-1})} \qquad (5)$$

и проинтегрируем левую и правую части от 0 до t

$$\ln(1 - F(\tau))\Big|_0^t = \int_0^t \lambda(\tau)d\tau; \qquad (6)$$

$$1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}. \qquad (7)$$

Окончательно будем иметь

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}; \qquad (8)$$

$$\varphi(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}. \qquad (9)$$

Выражение (8) является обобщенным аналитическим представлением функции распределения времени выполнения операции произвольного типа. Оно может быть положено в основу анализа процессов, протекающих в организационно-технических системах, для произвольных распределений времени выполнения отдельных операций [5].

Для примера найдем выражение для интенсивности процесса для равномерного закона распределения времени его завершения. В диапазоне границ распределения $t \in (a, b)$ приравняем выражения для функций распределений в классическом виде

$$F(t \le T) = \frac{t - a}{b - a}$$

и полученной в виде (8)

$$\frac{t - a}{b - a} = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}. \qquad (10)$$

Выражение для $\lambda(t)$запишется

$$\lambda(t) = \begin{cases} \infty, & t \ge b; \\ \dfrac{1}{b - t}, & t \in (a, b). \end{cases} \qquad (11)$$

Подставляя это выражение для $\lambda(t)$ в выражение (8), получаем совпадающие графики для функции распределения как для классического ее представления, так и для представления в виде (8).

2. Оценка функций распределения времени завершения процесса марковского типа с непрерывным временем и поглощающим состоянием

Как правило, нетривиальные процессы имеют ряд состояний (фаз, операций). Переход от состояния к состоянию осуществляется в момент завершения предшествующей операции. Для марковских процессов с конечным числом состояний и непрерывным временем характерно свойство: длительности отдельных операций являются независимыми случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону с параметрами λ_i, i=1, 2, ..., n, где n – число фаз обработки информации. При этом интенсивность выхода из состояния S_i, соответствующего i-й фазе обработки, постоянна во времени и равна λ_i. Она определяет среднее число событий в единицу времени.

Рассмотрим для примера некоторый информационный процесс, разделяющийся на два подпроцесса: подготовку (передачу) некоторого набора данных двух типов с интенсивностями λ_{12} и λ_{13} (состояние 1); передачу данных первого типа по каналу 1 – (состояние 2) с интенсивностью λ_{24}, второго типа – по каналу 2 (состояние 3) с интенсивностью λ_{34}. Далее проводится их контроль (операция 4) и введение в систему управления с интенсивностью λ_{45}. Представим такой процесс некоторым графом, состоящим из набора вершин и дуг (рис. 2).

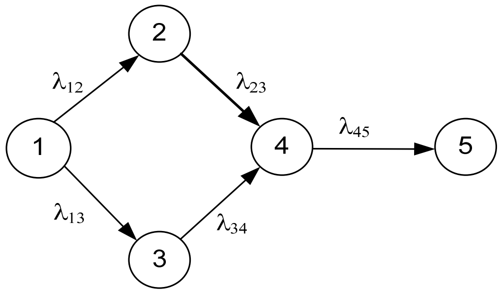

Рис.2. Граф состояний и переходов информационного процесса

Положим, что длительности всех пяти операций - случайные величины, распределенные экспоненциально с параметрами λ_{12}, λ_{13}, ...,λ_{45} соответственно. Из пяти состояний S_1, S_2,..., S_5 первые четыре соответствуют указанным выше операциям, состояние S_5 – завершению информационного процесса. Состояние S_5 – поглощающее, дальше процесс не продолжается.

Пользуясь правилом формирования системы дифференциальных уравнений Колмогорова [7], запишем систему уравнений для вероятностей состояний по графу (см. рис. 2), добавив к ней еще одно выравнивающее уравнение: сумму вероятностей всех состояний в любой момент времени, равную единице

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t)\lambda_{12} - P_1(t)\lambda_{13}; \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = -P_2(t)\lambda_{24} + P_1(t)\lambda_{12}; \\ \dfrac{dP_3(t)}{dt} = -P_3(t)\lambda_{34} + P_1(t)\lambda_{13}; \\ \dfrac{dP_4(t)}{dt} = -P_4(t)\lambda_{45} + P_2(t)\lambda_{24} + P_3\lambda_{34}; \\ \dfrac{dP_5(t)}{dt} = P_5(t)\lambda_{45}; \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3 + P_4 + P_5(t) = 1. \end{cases} \qquad (12)$$

Для определения аналитических функций для $p_i(t)$ можно воспользоваться операторным методом при заданных начальных условиях $P_1(t)=1;\ P_2(t)=,\dots,=P_5(t)=0$. Так как состояние S_5 – поглощающее, то $p_5(t)$ – есть вероятность того, что процесс закончится к моменту t [5]

$$P_5(t)=Вер\{t<=T\}=F_T(t), \qquad (13)$$

где T – случайная длительность информационного процесса, $F_T(t)$ - функция распределения длительности T информационного процесса.

Вероятность завершающего состояния с использованием этого метода будет иметь вид

$$p_5(t) = \lambda_{24}\lambda_{45}\lambda_{12}\left[\frac{1-e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1(\lambda_{24}-\lambda_1)(\lambda_{45}-\lambda_1)} + \right.$$
$$\left. + \frac{1-e^{-\lambda_{24} t}}{\lambda_{24}(\lambda_1-\lambda_{24})(\lambda_{45}-\lambda_{24})} + \frac{1-e^{-\lambda_{45} t}}{\lambda_{45}(\lambda_1-\lambda_{45})(\lambda_{24}-\lambda_{45})}\right] +$$
$$+\lambda_{34}\lambda_{45}\lambda_{13}\left[\frac{1-e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1(\lambda_{34}-\lambda_1)(\lambda_{45}-\lambda_1)} + \right.$$
$$\left. + \frac{1-e^{-\lambda_{34} t}}{\lambda_{34}(\lambda_1-\lambda_{34})(\lambda_{45}-\lambda_{34})} + \frac{1-e^{-\lambda_{45} t}}{\lambda_{45}(\lambda_1-\lambda_{45})(\lambda_{34}-\lambda_{45})}\right]. \qquad (14)$$

Выражение (14) есть функция распределения длительности информационного процесса (рис.3), т.е. $F_T(t)=Вер\{t<=T_i\} = p_5(t)$. Пользуясь выражением для $p_5(t)$, можно найти вероятность завершения процесса к произвольному моменту времени, плотность вероятности времени завершения процесса, среднюю длительность процесса и некоторые другие характеристики, например, риски незавершения процесса на заданный и произвольный моменты времени.

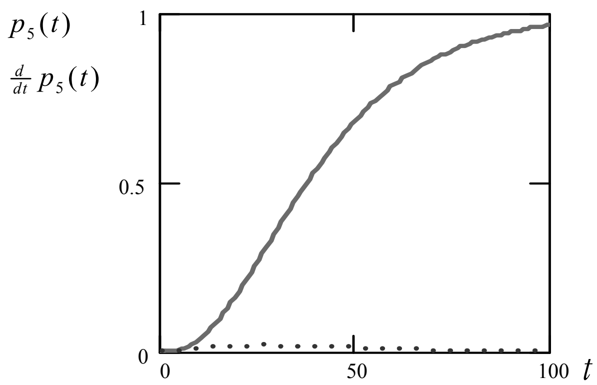

Рис.3. Функция и плотность распределения длительности информационного процесса марковского типа с завершающим состоянием: ——— – $p_5(t)$; ·········· – $\frac{d}{dt}p_5(t)$

Математическое ожидание при известном аналитическом представлении функции распределения находится как интеграл Стильтьеса [9]

$$p_{cp} = \int_0^{Tпред} t \cdot \frac{d}{dt} p_5(t) dt. \qquad (15)$$

Получение аналитических зависимостей для вероятностей завершения процессов в ОТС даже наиболее подходящим для этой цели операторным методом, как видим, представляет собой достаточно трудоемкий процесс. Развитые компьютерные системы вполне могут решать многие подобные задачи автоматически. Так, система *Maple*-7 легко находит аналитическое решение системы дифференциальных уравнений вида (12). Например, для интенсивностей отдельных подпроцессов

$$\lambda_{12}= \lambda_{13}=\lambda_{24}= \lambda_{34}= \lambda_{45}= 0{,}1$$

получим следующие выражения для вероятностей состояний:

$$\begin{aligned} &P_1(t) = \exp(-1/5 \cdot t); \\ &P_2(t) = \exp(-1/10 \cdot t) - \exp(-1/5 \cdot t); \\ &P_3(t) = \exp(-1/10 \cdot t) - \exp(-1/5 \cdot t); \\ &P_4(t) = (1/5 \cdot t - 2) \cdot \exp(-1/10 \cdot t). \end{aligned} \quad (16)$$

И для завершающего состояния

$$P_5(t) = -\exp(-1/10 \cdot t) - \exp(-1/5 \cdot t) + 1, \quad (17)$$

график которого полностью совпадает при тех же исходных данных с графиком выведенного выше соотношения (14).

3. Характеристика процессов, состоящих из сложных операций не марковского типа

Рассмотрим обобщенное аналитическое представление характеристик процесса в системе, состоящего из N фаз (операций), когда условия марковости подпроцессов не выполняются. Такие процессы обычно называются полумарковскими.

Исходными данными для анализа полумарковских процессов могут быть графы состояний системы, матрицы переходов, условные и безусловные функции распределения времени нахождения системы в конкретном состоянии (и, следовательно, его математические ожидания). На их основе, когда известны матрицы переходов из состояния в состояние, составляются и решаются соответствующие интегральные уравнения, связывающие вероятности состояний и характеристики полумарковского процесса [5,6]; если матрицы переходов не известны, то выражения для стационарных вероятностей состояний полумарковских процессов находятся с использованием вложенных в полумарковский процесс марковских цепей [8].

Приведем здесь без подробных доказательств некоторые важные выражения, используемые при описании полумарковских процессов и необходимые для анализа функционирования различных комплексов и систем.

Обобщенное аналитическое представление произвольной функции распределения времени выполнения сложной операции, состоящей из N параллельно выполняемых операций, критерием завершения которой является выполнение одной из операций и всех операций соответственно

$$F_1(t) = 1 - e^{-\int_0^t \sum_{i=1}^N \lambda_i(\tau)d\tau}; \quad (18)$$

$$F_N(t) = \prod_{i=1}^N (1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(\tau)d\tau}). \quad (19)$$

Ниже приведены аналитические выражения для описания сложных процессов, когда их частные операции описываются усеченным показательным распределением, встречающимся наряду с показательным распределением достаточно часто на практике. Для N операций, выполняемых параллельно (процесс завершается при выполнении всех операций) будем иметь

$$F_{пар}(t) = \prod_{i=1}^N [1 - e^{-a_i(t - t^i_{\min})}]. \quad (20)$$

Для N операций, выполняемых последовательно, будут справедливы следующие выражения для функции распределения и математического ожидания времени выполнения совокупности операций

$$F_N(t) = 1 - (\prod_{i=1}^N a_i) \cdot (\sum_{i=1}^N \frac{e^{-a_i(t - T_N)}}{a_i \prod_{k \neq i}^N (a_k - a_i)}); \quad t \geq T_N; \quad T_N = \sum_i^N t^i_{\min}; \quad (21)$$

$$M[t] = T_N + \sum_i^N \frac{1}{a_i}; \quad a_i = \frac{1}{m_i}. \quad (22)$$

На основе (18)–(22) можно получить соответствующие выражения для характеристики процессов, состоящих из любой комбинации последовательно-параллельных операций, в том числе не марковского типа.

Каждое конкретное аналитическое представление функции распределения времени выполнения сложной операции справедливо только для определенных условий применения ОТС. При изменении этих условий (сценариев) изменяется и основной параметр функции $F(t)$ – функция интенсивности $\lambda(t)$. Для полной группы несовместных событий о характере условий применения ОТС, заданных вероятностями p_j (i =1,2,...,r), $\sum_{i=1}^r p_j = 1$, по формуле полной вероятности будет иметь место

$$\tilde{F}(t) = \sum_{j=1}^r p_j F_j(t) \quad (23)$$

С учетом (23) можно записать

$$\tilde{F}(t) = 1 - \sum_j^r P_j (\prod_{i=1}^N a_{ij}) \sum_{i=1}^{N_j} \frac{e^{-a_{ij}(t - T_{N_j})}}{a_{ij} \prod_{k \neq i}^N (a_{kj} - a_{ij})},$$

$$t \geq T_{N_j}, \ T_{N_j} = \sum_i^{N_j} t^{ij}_{\min}. \quad (24)$$

Следует подчеркнуть еще один важный аспект анализа полумарковских процессов. Известно, что аналитическое представление полумарковских процессов еще более трудоемкая задача, чем для марковских процессов. Это касается как получения функций распределения для времени завершения процесса, так и вероятностей состояния системы. В первом случае необходимо решать сложные интегро-дифференциальные уравнения, во втором

– использовать аппарат вложенных марковских цепей, и то лишь только для получения вероятностей стационарных состояний системы. Что же касается получения переходных вероятностей состояний, то таких исследований, кажется, вообще не проводилось. И здесь на помощь могут вполне прийти аппроксимации полумарковских процессов марковскими. Ведущие специалисты в области исследования полумарковских процессов отмечают, что замена непуассоновских потоков событий пуассоновскими с теми же интенсивностями приводит в большинстве практических задач к решениям, столь мало отличающимся от истинных, что этой погрешностью (3-5%, в редких случаях 10-12%) можно пренебречь [8], а во многих случаях, в частности, при исследовании средних значений характеристик они практически совпадают. Это объясняется тем, что потоки событий, протекающих в реальных системах, в силу предельных теорем теории потоков весьма близки к пуассоновским. Более того, как показывает практика, к пуассоновским потокам многим системам приспособиться гораздо сложнее, так что завершение других случайных процессов с одинаковой интенсивностью будет «надежнее». Можно показать, что для системы, находящейся в трех состояниях (без завершающего состояния) и исследованной в работе [8] (рис. 4), в которой аварии и отказы подчинены показательному распределению

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t)},$$

а восстановления распределению Эрланга

$$F(t) = 1 - (1-w) * e^{-w*t},$$

вероятности стационарных состояний для интенсивностей отказов и восстановления системы λ_{12}=0,00057, λ_{13}=0,0023, λ_{21}=0,05 и λ_{31}=0,2 будут следующими: P_1=0,96; P_2=0,02 и P_3=0,02.

Практически те же значения вероятностей получим и с использованием аппроксимирующей модели, в которой распределение Эрланга было заменено показательным распределением с интенсивностью, выравнивающей математические ожидания распределений $\lambda_{пок}=\lambda_{эрл}/2$.

Приняв в такой системе за завершающее состоянии, например, выполнение функциональной задачи за время $T_{фз}$, можно построить зависимость для вероятностей ее невыполнения в функции времени. Такой функцией будет $F(t>T_{фз})=1-F(t>T_{фз})$ (рис. 5).

Можно также показать, что если процесс в системе описывается графом вида (рис. 6), в котором находящаяся в готовности система (состояние – 1) через промежуток $t_{мпп}$ проходит плановые проверки с продолжительностью $t_{пп}$ (состояние – 2), с интенсивностью λ следуют отказы в системе и с интенсивностью w идет восстановление системы (состояние – 3), то вероятности стационарных состояний оказываются также одинаковыми по величине как при аппроксимации этого процесса процессом полумарковского типа, так и марковского.

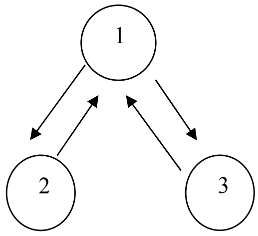

Рис.4. Граф состояний системы полумарковского типа:
1 – готовность;
2- восстановление после отказа;
3 – восстановление после аварии

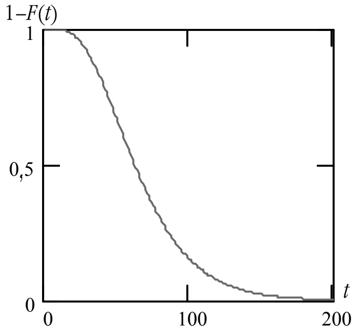

Рис.5. Зависимость для вероятности невыполнения функциональной задачи за время t

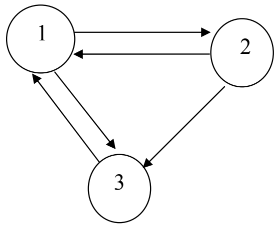

Рис. 6. Граф состояний системы полумарковского вида:
1 – готовность;
2 – профилактика;
3 – восстановление после отказа

Функции распределения времени завершения процессов во многих реальных ОТС подчинены нередко усеченному показательному распределению (проверку этой гипотезы легко осуществить с помощью критерия Пирсона) $F(t) = 1 - e^{-\lambda(t - t_{\min})}$ с интенсивностью

$$\lambda(t) = \begin{cases} \alpha, & t > t_{\min}; \\ 0, & t \le t_{\min}. \end{cases}$$

Тогда легко можно произвести выравнивание его интенсивности с интенсивностью показательного распределения

$$\lambda(t) = \begin{cases} \dfrac{1}{\dfrac{1}{\alpha} + t_{\min}}, & t > 0; \\ 0, & t \le 0 \end{cases} \qquad (25)$$

и получить аналитические выражения для показателей процесса с использованием системы универсальной компьютерной алгебры *Maple* для произвольного графа состояний (например, вида, представленного на рис. 7).

Для интенсивностей усеченного показательного распределения и минимального завершения времени ре-

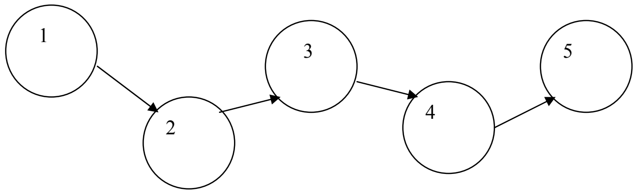

Рис. 7. Граф системы, состоящей из последовательных подпроцессов

ализации подпроцессов

$$\lambda = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,4 \\ 0,3 \\ 0,2 \\ 0,1 \end{pmatrix}; \qquad t_{\min} = \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \\ 9 \\ 11 \\ 13 \end{pmatrix}$$

найдем отношение значений математических ожиданий завершения процессов в ОТС, полученных при одной и другой схемах исследований, (практически равное единице)

$$\delta = \frac{67,883}{67,991} = 0,998.$$

Для графа состояний еще более сложной системы (рис. 8), вполне адекватно аппроксимирующего процессы в одной из автоматизированных систем, и описываемого системой дифференциальных уравнений Колмогорова (не будем приводить ее здесь ввиду громоздкости записи) для значений интенсивностей подпроцессов

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8 = \lambda_9 = \lambda_{10} = \lambda_{11} = 0,1,$$

была получена функция распределения времени завершения процессов, протекающих в ОТС (вероятность состояния 12) вида

$$P_{12}(t) = 1 \times 10^{-3} \int_0^t \int_0^t \int_0^t e^{(-u/10)} ududu. \quad (26)$$

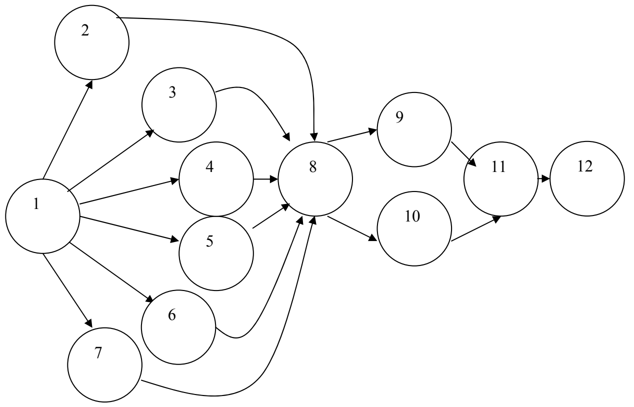

Рис. 8. Граф состояний сложной ОТС

После символьных преобразований эта сложная зависимость была упрощена и приведена к виду

$$P_{12}(t) = 4,167 \times 10^{-7} \int_0^t e^{-\lambda(-u/10)} u^4 du\ . \quad (27)$$

Производная по времени для этой функции будет плотностью распределения времени завершения цикла управления в системе и имеет вид

$$q_{12}(t) = 4,167 \times 10^{-7} t^4 e^{-\lambda(-t/10)}. \quad (28)$$

Графики зависимостей для вероятности и плотности распределения времени прибытия системы в завершающее состояние будут аналогами графиков, представленных на рис. 3.

С использованием системы универсальной компьютерной алгебры *Maple-13* были найдены также и аналитические выражения для вероятностей состояний системы и в остальных вершинах графа

$$P_1(t) = e^{(-t/10)}; \quad (29)$$

$$P_2(t) = P_3(t) = P_4(t) = P_5(t) =$$

$$= P_6(t) = P_7(t) = 0,1666 \times 10^{-2} e^{(-t/10)}; \quad (30)$$

$$P_8(t) = 5 \times 10^{-4} t^2 e^{(-t/10)}; \quad (31)$$

$$P_9(t) = P_{10}(t) = 0,25 \times 10^{-4} t^3 e^{(-t/10)}; \quad (32)$$

$$P_{11}(t) = 5 \times 10^{-6} t^4 e^{(-t/10)}. \quad (33)$$

С учетом времен срабатывания подсистем, подчинных усеченному показательному распределению, полученные зависимости для вероятностей состояний процессов потребуют временной коррекции на величину минимального времени на выполнение всех операций. Например, при последовательном соединении подсистем это смещение будет равно

$$T_N = \sum_i^N t_{\min}^i, \quad t \geq T_N$$

для операций общего вида – с выравниванием зависимостей для функций распределения времени завершения процесса по математическому ожиданию выполнения всех операций.

Выработка управляющих решений по оптимизации процессов может быть осуществлена с использованием методов теории расписаний, случайных процессов, математического программирования.

Начальные этапы управления процессами в ОТС, в частности, определение всех необходимых подпроцессов и их взаимодействие являются в большей степени эвристическими процедурами. Отдельные вопросы технологического управления случайными процессами применения ОТС рассмотрены в работах [3,5,8], в которых получены частные аналитические решения по рациональному управлению процессами. Ряд подходов к решению задач оптимальной организации детерминированных процессов в ОТС рассмотрен в работе [11].

Управление процессами в ОТС критических приложений можно представить как минимизацию некоторого выбранного функционала затрат [3,4], зависящего как от коэффициентов затрат, так и от интенсивностей подпроцессов λ_i и их граничных (верхнего и нижнего) значений

$$\Phi(\lambda) = \sum_{i=0}^{N}\left[C_i \cdot \ln\left[\frac{\lambda_{B_i} - \lambda_{H_i}}{\lambda_{B_i} - \lambda_i}\right]\right]$$

с ограничениями на вероятность P_{mp} своевременного завершения процесса

$$P_{mp} = \sum_{i=0}^{N}\left[\boldsymbol{C_i} \cdot \left[1 - \exp\left[-\lambda_i \cdot \left(t - T_{\min_i}\right)\right]\right]\right], \ \lambda_{\text{Н}} \le \lambda_i \le \lambda_{\text{В}},$$

где $T_{\min_i}$ – минимальные нижние границы завершения подпроцессов.

Иллюстрация такого управления представлена на рис 9.

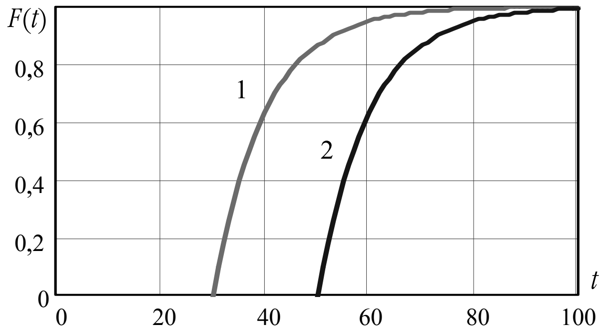

Рис. 9. Иллюстрация управления процессом в ОТС:
1 – состояние после управления $F_1(t)$;
2 – исходное состояние $F_2(t)$

В классе детерминированных задач актуальной задачей может явиться оптимизация планирования процесса в ОТС, т.е. определение порядка выполнения составляющих его последовательно-параллельных операций заданной длительности (рис.10), оптимального в смысле некоторого критерия.

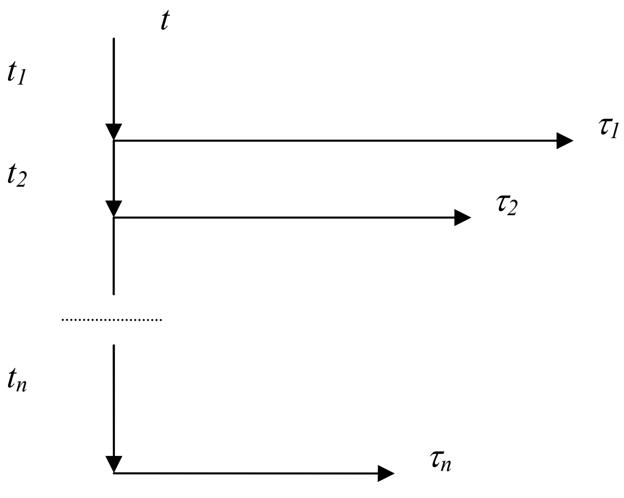

Рис. 10. Схема процесса в детерминированной ОТС

Для получения рекомендаций по организации планирования процессов, в частности, по определению порядка выполнения операций фиксированной длительности, оказывающего существенное влияние на его оперативность, можно сформулировать две задачи оптимизации детерминированного процесса.

1. Даны длительности операций, выполняемых последовательно t_i и параллельно τ_i, для каждой i-й группы функциональных задач $i = 1, ..., n$.

Требуется определить порядок выполнения операций, доставляющих минимум продолжительности процесса T_n для всей заданной совокупности изделий, и значение этого минимума.

2. Даны для каждой 1-й группы функциональных задач: количество задач N_i и длительности t_i, τ_i, $i = 1, ..., n$; максимально допустимая продолжительность процесса $T_{зад}$.

Требуется определить максимальное количество задач, которые могут быть выполнены в течение времени $T_{зад}$, и перечень совокупностей задач, для которого достигается указанный максимум.

Рассмотренные задачи решаются методами теории расписаний, а также с использованием специальных методов, обладающих более высокой эффективностью [11].

Дерево управления подпроцессами в ОТС с изменяюшимися требованиями к показателям эффективности процесса, что характерно для различных сценариев функционирования ОТС, рассмотрено в работе [12].

Адаптивный алгоритм управления процессом в ОТС может быть построен в некотором функциональном базисе $\boldsymbol{S}=\{S_1, S_2, S_3\}$, где S_1 – имя мероприятия, на основе алгебры целевых управлений [13]. Задействование каждого мероприятия интерпретируется во времени, в логическом пространстве и информационном пространстве. Такой алгоритм может быть спроектирован по некоторому заданному критерию, например, минимальному времени на достижение цели управления. Управление можно осуществить как в непересекающихся базисах, так и в пересекающихся, когда одни и те же элементы базиса используются на различных этапах протекания процессов в ОТС. В последнем случае должна быть осуществлена проверка условий, нагрузок, функциональной пригодности проводимых мероприятий обеспечивать требуемую эффективность процессов в ОТС.

Если управление процессами в ОТС осуществляется в нечеткой среде, то применяется аппарат ситуационного управления, также обладающий свойством адаптивности к реальной текущей обстановке. Когда множество различных факторов, влияющих на состояние ОТС, приводит к множеству возможных текущих ситуаций S, а количество управляющих решений U по влиянию на них ограничено, т.е. $S_m >> U$, модели ситуационного управления обладают, особенно в стрессовых ситуациях, наибольшей эффективностью [14].

Примером методической реализации процессного подхода к управлению может служить постоянно совершенствующийся аппарат диспетчеризации информационных процессов в вычислительных системах. В целом вопросы управления оперативностью протекающих в ОТС процессов требуют отдельного рассмотрения.

Таким образом, переход на процессный подход к исследованию и управлению в ОТС является не только возможным, но и необходимым условием для повышения эффективности функционирования ОТС и снижения затрат.

Выводы

Рассмотрены различные формы представления непрерывных процессов в ОТС с завершающим состоянием, удобные для оценки различных вероятностно - временных характеристик, рисков применения систем и выработки предложений по их совершенствованию. Получены аналитические выражения для функций распределения времени завершения информационных процессов (цикла управления), необходимые не только для анализа процессов, но и управления ими. Определены возможности и условия аппроксимации полумарковских процессов марковскими. Рассмотрен ряд перспективных направлений по управлению процессами в ОТС, реализация которых позволит наиболее эффективно достичь конечных целей функционирования ОТС.

Литература

1. Стандарт ISO 9004:2000. Системы Менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.
2. Стандарт ИСО 9001:2000. Сиситемы менеджмента качества. Требования.
3. Корнеев В.В., Василенко В.В., Котяшев Н.Н. Аналитические представления процессов риска в комплексах и системах критических приложений // Двойные технологии, №1, 2002. – с. 20-24.
4. Лукин В.Л., Глухов А.П., Котяшев Н.Н. Управление ресурсами проектируемых систем и комплексов критических приложений с заранее поставленными для них целями управления в условиях воздействий // Двойные технологии, №1, 2008.
5. Василенко В.В., Котяшев Н.Н., Глухов А.П. Управление рискам проектируемых систем в условиях воздействий // Стратегическая стабильность, №1, 2008.
6. Корнеев В.В. Теоретические основы теории случайных процессов. Монография. МО РФ, 2000. - 50с.
7. Лецкий Э.К и др. Информационные технологии на железнодорожном транспорте. М.: УМК МПС. 2000.-680с.
8. Волков Л.И. Безопасность и надежность систем. СИП РИА. 2004. - 300с.
9. Математический энциклопедический словарь. Под редакцией Ю.В. Прохорова. М: Советская энциклопедия. 1988. - 848с.
10. Коваленко И.Н. и др. Полумарковские модели в задачах проектирования систем управления ЛА. М.: Машиностроение. 1973. – 176с.
11. Котяшев Н.Н., Гараган С.А. Оптимальное планирование процессов в системах подготовки и доведения данных управления ЛА. // Оборонная техника. .- №7, 1995- 53-56с.
12. Галактионов В.С., Знак В.А., Знак Н.Е. Выбор структуры математических моделей для АСУ двойного назначения с гибкими показателями эффективности // Двойные технологии, №1, 2009. – с. 20-24.
13. Антонов Ю.Г. Перспективы многофункционального применения алгебры целевых задач в космической отрасли. //Двойные технологии, № 1, 2000, 18-19с.
14. Иванов А.Ю. и др. Военно-технические основы построения и математическое моделирование перспективных средств и комплексов автоматизации. С-П., ВАС, 1997, 419с.
15. Ксенчук Е.В. Процессный подход в управлении. 2002-2009 г.г. http://quality.eup.ru.

Материал поступил в редакцию 28. 08. 2010 г.