



Моделирование распределения ресурсов на стадиях долгосрочных проектов наукоемких технических систем оборонного назначения*

Совместно с С.И Пляской, А.С. Рубаном, И.А. Степановской, А.П. Сериковым

Постановка задачи

Разработка и создание наукоемких продукции и технологии характеризуются большой степенью неопределенности в отношении их практической реализации и дальнейшего применения. Жизненный цикл (ЖЦ) такой продукции представляет собой сложный процесс, берущий начало в момент возникновения идеи по ее созданию и завершающийся утилизацией продукции. Этот процесс разделяют на пять больших стадий:

- предпроектная стадия, т.е. определение замысла и создание научно-технического задела;
- разработка, включающая этапы технического проектирования, создания опытных образцов, его испытания;
- производство (тиражирование);
- эксплуатация;
- утилизация.

Каждая из этих стадий предполагает наличие множества мероприятий различной степени сложности, между которыми могут быть различные связи. Говоря в терминах теории графов, ЖЦ представляется в виде нелинейного графа, в котором могут быть различные ветви и обратные связи.

Общая продолжительность жизненного цикла составляет от 20 до 40-50 лет в зависимости от удачности конструкторского замысла и успешности исполнения базовых, модифицированных и модернизированных образцов продукции.

Особую важность имеет первая стадия, которая для продукции военного или двойного назначения должна заканчиваться созданием тактико-технических требований (ТТТ). Глубокая проработка предусмотренных на этой стадии вопросов позволяет сформировать достаточно ясное представление о возможных в ходе последующих стадий мероприятиях, связанных с модернизацией, доработками продукции, а также ее утилизацией. Так, если предпроектные исследования выполнены с должным качеством, то в ТТТ будут помещены, в том числе и такие требования, которые предусматривают, например, на стадии утилизации возможность получения существенного экономического эффекта. При низком качестве проработки для реализации утилизации потребуются дополнительные затраты.

Чтобы перейти к вопросам моделирования ЖЦ, будем полагать, что наша продукция, – наукоемкая техническая система (НТС), – находится в процессе ЖЦ в различных фазовых состояниях (ФС), характеризующихся трансформацией располагаемых (входных) ресурсов различного рода в соответствующую каждому ФС форму – так называемый выходной ресурс.

В зависимости от происхождения все разнообразие ресурсов, которыми в той или иной степени распоряжаются субъекты ЖЦ НТС, можно разделить на следующие пять крупных классов:

- трудовые и наиболее существенный для НТС их подкласс - интеллектуальные ресурсы;
- материальные ресурсы (здания и сооружения, оборудование, источники и/или носители энергии, сырье и т.п.);
- информационные ресурсы, которые могут рассматриваться как симбиоз (или одна из форм) материальных и интеллектуальных ресурсов;

* Вооружение. Политика, Конверсия. №6, 2008, стр. 24-31. Работа была выполнена при поддержке РФФИ. Проект №08-01-13503-офи_ц.



- финансы;
- время.

Пусть для определенности в качестве НТС рассматривается авиационный комплекс (АК). На предпроектной стадии он представляется в форме информационного ресурса: приближенной прогностической модели (технических требований к будущему облику АК). Входными ресурсами на этой стадии являются главным образом интеллектуальные, а именно (см. рис. 1):

- интересы государственного заказчика, выраженные в технических, экономических и временных требованиях к будущему АК;
- общие и частные знания (замысел, идея и т.п.) творческих коллективов разработчиков АК и его подсистем;
- потребности отдельных субъектов (инвесторов, потребителей, эксплуатантов и др.), выраженные в финансово подкрепленных обязательствах по перспективной эксплуатации АК.



Рис. 1. Пример трансформации информационных ресурсов на ранних стадиях ЖЦ АК.

Материальные, финансовые и временные ресурсы на данной стадии выполняют обеспечивающую функцию.

При окончании этапа проектирования ФС АК приобретает форму информационного ресурса, т.е. хорошо структурированных сведений, материализованных в виде патентов, конструкторской и технологической документации, являющихся входными ресурсами для этапа постройки опытных образцов. При завершении стадии разработки, включая постройку опытного образца и проведение приемо-сдаточных испытаний, все ресурсы, которыми располагал разработчик, воплощаются в финишное ФС, имеющее форму итогового материального ресурса – образца АК и комплекта документации – информационного ресурса, обеспечивающего возможность серийного производства и дальнейшей эксплуатации АК. На стадии эксплуатации под воздействием управляемых и неуправляемых факторов образец АК также подвергается структурной и параметрической трансформации с расходом и преобразованием соответствующих ресурсов (топливо, трудозатраты, расходные материалы и др.).



Таким образом, жизненный цикл НТС может быть представлен как управляемый процесс трансформации ее фазовых состояний, описываемых в терминах ресурсов, которыми располагают субъекты ЖЦ НТС. Причем, трансформация ФС объективно осуществляется как во времени (по этапам ЖЦ НТС), так и в пространстве, координатами которого могут выступать вид ресурса, эффект от использования ресурса и признаки принадлежности ресурса субъекту ЖЦ и элементу иерархии НТС (подсистеме НТС).

Исходя из вышеизложенного, постановка задачи управления ЖЦ НТС может быть записана в следующем общем виде:

На множестве решений $U = \{U_n, n \in N\}$ найти такую их последовательность $U_{ser}(T)$, которая в некий момент времени t_f на всем пространстве ресурсов, субъектов ЖЦ, подсистем НТС доставляет экстремум показателю эффективности $W(U_{ser}, t_f)$, или формально:

$$\text{Найти } U_{ser}(T) \subset U: W(U_{ser}, t_f) \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

$$\text{при ограничениях: } V(T) \subset V(T)_{lim}, \quad (1a)$$

$$S(T) \subset S(T)_{lim}, \quad (1b)$$

$$E(T) \subset E(T)_{lim}, \quad (1c)$$

где

$U = \{U_\eta, \eta \in N\}$ – множество решений (управляющих воздействий);

$U_{ser}(T) = \{U_\eta(t_{li}) \mid l \in L, i \in I, \eta \in N\}$ – последовательность решений в моменты времени, соответствующих началу k -го этапа ЖЦ l -й подсистемы НТС;

$V = \{V_m, m \in M\}$ – множество ресурсов;

$S = \{S_\xi, \xi \in \Xi\}$ – множество субъектов ЖЦ НТС;

$E = \{E_l, l \in L\}$ – множество подсистем, входящих в состав НТС (элементов иерархии);

$T = \{t_{li}, l \in L, i \in I\}$ – множество моментов времени, соответствующих началу k -го этапа ЖЦ l -й подсистемы НТС;

$N, M, \Xi, L, I = 1, 2, \dots$ – индексные множества решений, видов ресурсов, субъектов, подсистем и этапов ЖЦ НТС соответственно;

A_{lim} – множество ограничений, накладываемых на множество A ;

$W(\cdot)$ – показатель (в общем случае векторный), характеризующий эффективность управления ЖЦ НТС.

Для каждого i -го этапа ЖЦ l -й подсистемы НТС подмножества ресурсов ξ -го субъекта ЖЦ $V_i^{l\xi}: \cup_i V_i^{l\xi} = V^{l\xi}$ разбиваются, в свою очередь, на подмножества входных (располагаемых) $X_i^{l\xi}$, выходных (целевых) $Y_i^{l\xi}$ и промежуточных (внутренних) $Z_i^{l\xi}$ ресурсов, удовлетворяющих условию $\forall \xi \in \Xi, \forall l \in L: X_i^{l\xi} \cup Y_i^{l\xi} \cup Z_i^{l\xi} = V_i^{l\xi}$. Здесь $V^{l\xi} \subset V^{l\xi}_{lim}$ – множество ресурсов ξ -го субъекта, отводимых на реализацию ЖЦ l -й подсистемы. Указанные подмножества могут пересекаться и на интервале $T_i \leq t < T_{i+1}$, для каждого субъекта S_ξ и подсистемы НТС E_l реализуются входные $R_{вх}^{l\xi}: X_i^{l\xi} \rightarrow Z_{i+1}^{l\xi}$ и выходные $R_{вых}^{l\xi}: Z_i^{l\xi} \rightarrow Y_{i+1}^{l\xi}$ операторы, характерные для динамических систем общего вида. Определение структуры и параметров указанных операторов составляет основную задачу идентификации системы управления ЖЦ НТС.

Сделаем важное замечание к выбору общей целевой функции управления ЖЦ НТС. Любая НТС создается для достижения некоторых результатов, и ее полезность может быть оценена в единицах приведенных классов ресурсов. В этой связи, имеют право на жизнь критерии эффективности управления ЖЦ НТС, основанные на абсолютном либо относительном приращении ресурсов как в сторону их расхода, так и в сторону их



прироста на отдельных этапах ЖЦ и на всем его протяжении. В силу того, что внешние (по отношению к НТС) механизмы изменения меры ценности ресурсов (например, изменения котировок активов субъектов ЖЦ НТС под действием рыночных механизмов) выходят за рамки настоящей работы, то, по нашему мнению, целесообразно использовать один из альтернативных аспектов приращения ресурсов – их расход или затраты.

С учетом сделанного замечания, в предположении решения задачи шкалирования ресурсов¹, в качестве одного из удобных показателей эффективности управления ЖЦ НТС может рассматриваться величина кумулятивных затрат ресурсов, вычисленная на всем протяжении ЖЦ. При известных структурах указанных в (1) множеств, начальных и текущих значениях расходов ресурсов во всех диапазонах изменения их индексов, одним из вариантов записи этого показателя может быть выражение вида

$$W(U_{ser}, t_f) = \sum_{L, \Xi, M} \sum_{i=1}^f \left[\int_{t_{i-1}}^{t_i} w_m^{\xi li}(U_{ser}, \tau) d\tau + W_{m0}^{\xi li}(U_{ser}, \tau) \right], \quad (2)$$

где $w_m^{\xi li}(U_{ser}, \tau)$ – мгновенный расход ресурса m -го вида ξ -го субъекта на i -м этапе ЖЦ l -й подсистемы НТС;

$W_{m0}^{\xi li}(U_{ser}, \tau)$ – начальный вклад ресурса m -го вида ξ -го субъекта на i -м этапе ЖЦ l -й подсистемы НТС.

В случае если t_f представляет собой момент завершения ЖЦ, то задача (1) соответствует классической постановке многоточечной краевой задачи [9], в которой внутренние точки задаются посредством множества T . Отметим, что принимаемые в моменты $T = \{t_{li}, l \in L, i \in I\}$ решения зависят от достигнутых на предыдущем этапе ЖЦ НТС результатов. Кроме того, вследствие решений, касающихся, например, продолжения текущего этапа либо возврата к предыдущему, как внутренние моменты времени t_{li} , так и финальный t_f , существенно смещаются вправо, т.е. характерные точки оказываются нестационарными, что приводит к дополнительным трудностям при решении задачи.

В силу иерархической структуры НТС и естественного параллелизма в процессах ЖЦ ее подсистем построение структурного графа переходов между этапами ЖЦ НТС, определение характеристик ресурсов и, в конечном счете, функционала вида (2) носит нетривиальный характер. К тому же наличие циклических переходов внутри структурного графа ЖЦ НТС делает невозможным использование хорошо зарекомендовавших себя для древовидных структур ЖЦ методов PERT [4].

1. Аналитические модели распределения ресурсов на стадиях и этапах ЖЦ НТС

Отличительной особенностью технологических процессов (ТП) создания, производства и эксплуатации НТС является наличие большого числа случайных факторов, влияющих как на длительность соответствующих этапов, так и на возможность их реализации. К таким факторам относятся:

¹ Задача шкалирования разнородных ресурсов в настоящее время сводится преимущественно к поиску функциональных зависимостей между различными классами ресурсов, причем, в качестве независимых переменных используют либо время, либо деньги.



- неопределенность времени на поиск оптимальных технических решений и подбор способных их добиться специалистов;
- несоответствие средств измерений и технологического оборудования требованиям производства (разработки) конкретного изделия, а, следовательно, дополнительные временные затраты на его замену или реконструкцию;
- возникновение новых технологий и технических решений в ходе развития проекта долгосрочных НТС, что приводит к пересмотру (в ряде случаев, планируемому) схмотехнических, конструкторских, а иногда и идеологических основ построения НТС;
- погрешности проектирования, неизбежные для НТС;
- неполнота и ограниченная точность испытательных экспериментов, обуславливающие ошибки первого и второго рода в оценках заданных параметров и характеристик НТС;
- неопределенность сроков и средств на подбор элементной базы для реализации технически сложной НТС;
- отказы под воздействием внешней среды, неумелых действий персонала;
- внезапное банкротство контрагентов и ряд других факторов.

В этих условиях появляется необходимость в привлечении вероятностных методов к построению моделей ЖЦ НТС. Среди большого числа методов описания сложных процессов (автоматы с конечным числом состояний, сети Петри и их различные проблемно-ориентированные расширения: Е-сети, комби-сети, FIFO-сети и пр. [6, 7]) наиболее привлекательными для моделирования ТП, этапов и стадий ЖЦ НТС являются полумарковские процессы, использование которых для этой задачи первоначально было предложено в [3].

Пусть ЖЦ НТС содержит n этапов, на каждом из которых задана многомерная функция распределения ресурсов $F_i(\mathbf{v})$, $i = \overline{1, n}$, $\mathbf{v} = \{v_m, m \in M\}$. Переходы между этапами случайны и описываются стационарными вероятностями. Тогда, ЖЦ НТС при определенных допущениях может быть описан с помощью однородного полумарковского процесса (ПМП)

$$\mathbf{M} = \langle \mathbf{Z}, \mathbf{p}_0, \mathbf{Q}(t), \mathbf{v} \rangle, \quad (3)$$

где $\mathbf{Z} = \{z_i, i = \overline{1, n}\}$ - пространство состояний ПМП, соответствующих этапам ЖЦ НТС;

$\mathbf{p}_0 = \{p_i(v_m = 0): p_1(0) = 1, p_i(0) = 0 \forall i > 1, \forall m\}$ - вектор начального распределения вероятностей состояний;

$\mathbf{Q}(\mathbf{v}) = \|Q_{ij}(\mathbf{v}), i, j = \overline{1, n}\|$ - матрица переходов с элементами $Q_{ij}(\mathbf{v}) = p_{ij}F_i(\mathbf{v})$;

$p_{ij} = P(z = z_j | z = z_i), i = \overline{1, n}$, - вероятности переходов соответствующей вложенной марковской цепи.

На практике наиболее часты явления прерывания ТП при испытаниях опытных образцов НТС, когда под воздействием внешних факторов проявляются конструкторские и технологические погрешности, становятся наблюдаемыми скрытые ошибки разработчиков. В этих случаях оказываются неизбежными неоднократные доработки, зачастую коренным образом меняющие первоначальный замысел.

Введем для каждого состояния ПМП z_i фиктивное сопряженное состояние z'_i , имеющее двустороннюю связь с «родительским» состоянием z_i . Содержательно z'_i соответствует действиям, связанным с решением на повтор i -го этапа ЖЦ (измерения, оценка, контроль и т.п.) и характеризуется дополнительными затратами ресурсов с функцией распределения



$F'_i(\mathbf{v})$. Переходы между фиктивными состояниями возможны только в направлении, обратном порядку следования этапов ЖЦ, т.е. от z'_i к z'_{i-1} . Вероятности таких переходов соответствуют вероятностям принятия решений на возврат к более ранним этапам ЖЦ и на графе обозначены символами $q_{i,i-1}$. Переход от z'_i к z'_{i-1} происходит с вероятностью решения на повтор этапа, равной

$$p(z=z'_i|z=z_i) = 1 - p(z=z_{i+1}|z=z_i) = 1 - p_{i,i+1} = \bar{p}_{i,i+1}.$$

Переход в обратном направлении

$$p(z=z_i|z=z'_i) = 1 - p(z=z'_{i-1}|z=z'_i) = 1 - q_{i,i-1} = \bar{q}_{i,i-1}.$$

Граф ПМП, построенный с учетом приведенных соображений, представлен на рис.3.

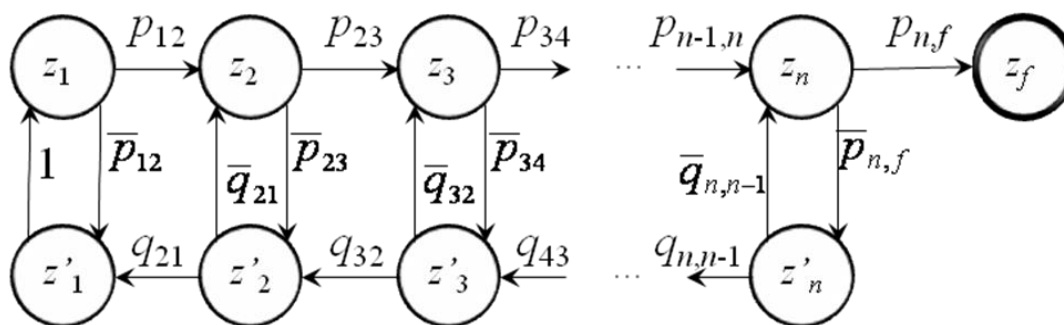


Рис. 2. Граф, соответствующий нелинейному ЖЦ НТС

В том случае, когда выделение целевых ресурсов на принятие решений не предусмотрено (или они входят в состав ресурсов соответствующих этапов ЖЦ), т.е. $F'_i(\mathbf{v})=\mathbf{1}(0)$, где $\mathbf{1}(\cdot)$ – векторная единичная функция, полученный граф ПМП может быть трансформирован к виду, представленному на рис. 3.

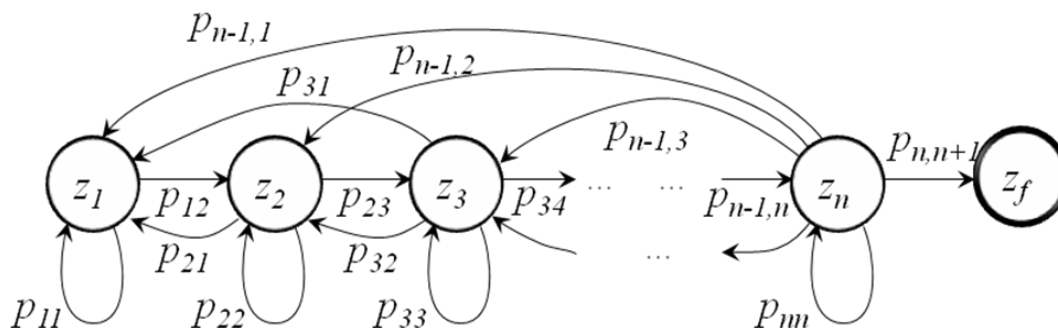


Рис. 3. Трансформированный граф нелинейного ЖЦ НТС

Исходя из принятого условия преобразования графа и общего свойства нормировки марковских цепей, для переходных вероятностей этих двух процессов могут быть получены следующие соотношения:



$$P_{n,f}^* = P_{n,f};$$

$$P_{i,i+1}^* = P_{i,i+1}, i = \overline{1, n-1};$$

$$P_{i,i-k}^* = \overline{P_{i,i+1}} \overline{Q_{i-k,i-k-1}} \prod_{j=0}^{k-1} q_{i-j,i-j-1}, k = \overline{0, i-1}, i = \overline{1, n}.$$

Структура ПМП, представленного на рис. 3, была впервые предложена в [3] и названа полновозвратной по той причине, что из любого состояния процесса возможен переход (возврат) в любое более раннее за один шаг. Движение вперед возможно только последовательными переходами в состояние, ближайшее к текущему.

Для вероятностей перехода $G_i(v)$ с расходом ресурса v из состояния z_i , $i = \overline{1, n}$, в поглощающее состояние z_f (интервально-переходных вероятностей) имеем систему уравнений

$$\mathbf{G}(v) = \mathbf{Q}(v) * \mathbf{G}(v) + \mathbf{R}(v), \quad (4)$$

где $\mathbf{G}(v) = \{G_i(v), i = \overline{1, n}\}$ - вектор интервально-переходных вероятностей;

$\mathbf{R}(v) = \{r_{i,n+1}, i = \overline{1, n}\}$ - вектор вероятностей прямых переходов в состояние z_f , все элементы которого, за исключением $r_{n,f}(v) = p_{n,f}F_n(v)$, равны нулю;

* - символ операции свертки.

Решение системы (4) при произвольных $F_i(v)$ затруднено, тем более, что нас интересуют не столько ресурсы, обеспечивающие переход из z_i в z_f и характеризующиеся ФР $G_i(v)$, сколько ресурсы, расходуемые непосредственно в состоянии z_i с учетом всех возвратов и повторов до завершения процесса (объединенные ресурсы i -го этапа V_i), ФР которых $H_i(v) = P(V_i < v)$. Для нахождения этих функций воспользуемся следующим приемом.

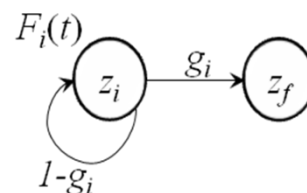


Рис. 4. Эквивалентный граф для нахождения ФР $H_i(v)$.

Исключим расход ресурсов во всех состояниях z_j , отличных от z_i , т.е. примем $F_j(v) = 1(0)$ для всех $j \neq i$. Это позволяет заменить исходный процесс на n структурно идентичных процессов, характеризующихся двумя состояниями $x_1 = z_i$ и $x_2 = z_f$ с переходными вероятностями (рис. 4):

$$p_{12}^{(i)} = p[z = x_2 | z = x_1] = g_i;$$

$$p_{11}^{(i)} = p[z = x_1 | z = x_1] = 1 - g_i.$$

При этом система (4) сводится к n независимым уравнениям (интегральные уравнения Вольтерра 2 рода) вида

$$H_i(v) = g_i F_i(v) + (1 - g_i) \int_0^v H_i(v - \tau) dF_i(\tau), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

для решения которых имеется достаточное число развитых методов [11].

В [3] показано, что вероятности g_i есть обратная величина соответствующего диагонального элемента матрицы $(\mathbf{I} - \mathbf{P})^{-1}$, т.е.

$$g_i = 1/(\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ii}^{-1},$$

где \mathbf{P} - матрица переходных вероятностей вложенной в исходный процесс марковской цепи;

\mathbf{I} - единичная матрица.

Из (5) можно получить рекуррентное соотношение для начального момента m -го порядка распределения $H_i(v)$



$$\beta_i^{(m)} = \alpha_i^{(m)} + \frac{(1-g_i)}{g_i} \sum_{j=1}^m C_m^i \alpha_i^{(j)} \beta_i^{(m-j)}, \quad (6)$$

где $\alpha_i^{(m)}$ - начальный момент m -го порядка исходного распределения $F_i(v)$.

Отсюда математическое ожидание и дисперсия объединенных ресурсов на i -м этапе ЖЦ НТС соответственно

$$\bar{V}_i = \beta_i^{(1)} = \alpha_i^{(1)} / g_i = \bar{v}_i (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ii}^{-1};$$

$$D(V_i) = \frac{\sigma_i^2}{g_i} + \frac{\bar{v}_i^2 (1-g_i)}{g_i^2},$$

где \bar{v}_i , σ_i^2 - математическое ожидание и дисперсия ресурсов, подчиняющихся исходному распределению $F_i(v)$.

Как и в линейном случае величина кумулятивных затрат ресурсов определяется как сумма объединенных ресурсов на этапах ЖЦ, т.е. $W(U_{ser}, t_f) = V_\Sigma = \sum_{i=1}^n V_i$ (индексы видов

ресурсов и их принадлежности субъектам и подсистемам НТС здесь опущены). ФР случайной величины V_Σ также определяется в виде свертки ФР объединенных ресурсов на этапах $H_\Sigma(v) = H_1(v) * H_2(v) * \dots * H_n(v)$, однако, в отличие от линейной модели, случайные величины V_i зависимы и характеризуются величиной ковариации [3]

$$\text{cov}(V_i V_j) = M[(V_i - \bar{V}_i)(V_j - \bar{V}_j)] = (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ij}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ji}^{-1} \bar{v}_i \bar{v}_j.$$

Математическое ожидание и дисперсия кумулятивных затрат ресурсов соответственно

$$M(V_\Sigma) = \bar{V}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \bar{V}_i = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ii}^{-1};$$

$$D(V_\Sigma) = \sum_{i=1}^n D(V_i) + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ij}^{-1} (\mathbf{I} - \mathbf{P})_{ji}^{-1} \bar{v}_i \bar{v}_j = \sum_{i=1}^n D(V_i) + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \text{cov}(V_i V_j)$$

Таким образом, предложен методический подход к определению параметров кумулятивных затрат ресурсов и объединенных ресурсов на отдельных этапах ЖЦ НТС, позволяющий учитывать решения, связанные с циклическими повторами этапов ЖЦ и возвратами к более ранним этапам в процессе управления.

Сделаем дополнение. Интуитивно ясно, что при наличии циклов возвратов и повторов этапов ЖЦ вероятности переходов находятся во взаимной связи с величиной расходуемых на этапах ресурсов. Увеличение, к примеру, продолжительности входного, выходного и пооперационного контроля в ходе ТП на этапах ЖЦ НТС (возрастание временных ресурсов), связанное, в частности, с ростом глубины контроля, приводит к повышению достоверности контрольных операций (за счет снижения вероятностей ошибок первого и второго рода). Это, в свою очередь, снижает вероятности решений, направленных на повтор этапов. К аналогичному эффекту приводит также повышение точности контрольно-измерительных процедур, которая находится в степенной зависимости от стоимости испытательного оборудования. Результат действия подобных механизмов, в конечном счете, отражается на величине кумулятивных расходов ресурсов. Например, возникает эффект снижения удельных затрат на этапах массового производства и эксплуатации НТС, на этапах разработки которых был потрачен большой объем ресурсов на обеспечение их качества [3].

Поиск указанных и подобных зависимостей, формально составляющих содержание упомянутой задачи идентификации системы управления ЖЦ НТС, целесообразно осуществлять статистическими методами с помощью имитационного моделирования ТП.



2. Задачи аналитического мониторинга ЖЦ НТС

Управление ЖЦ сложных НТС в рамках общей постановки (1) предполагает решение задач мониторинга различного рода ресурсов на этапах ЖЦ. Важность этих задач возрастает в условиях неопределенности, обусловленной:

- многокритериальностью задачи управления ЖЦ НТС;
- нелинейным и нестационарным характером изменения различных ресурсов;
- недостатком априорных сведений об операторах $R_{вх}$, $R_{вых}$ (идентификация системы управления ЖЦ НТС – одна из главных задач мониторинга);
- неоднозначностью интересов субъектов ЖЦ и другими факторами.

Отметим, что результаты измерения переходных вероятностей и компонент входных, выходных и промежуточных ресурсов (X , Y , Z) будут неэквиливанты в указанном ресурсном пространстве (1.а-с), что накладывает существенные ограничения на применение в этом случае классической теории оценивания.

В связи с этим потребуются:

- разработка и исследование моделей неэквиливантных «временных» рядов;
- разработка методов и алгоритмов оценки и их исследование (точность, устойчивость и т.д.);
- разработка соответствующих инструментальных средств;
- разработка рекомендаций по применению конкретных прикладных задач.

Кроме того, самостоятельный научный интерес, а также большую практическую значимость представляет исследование путем мониторинга корреляционных связей между затратами различных ресурсов на стадиях ЖЦ НТС.

Одной из перспективных задач аналитического мониторинга ЖЦ АК является прогнозирование расхода ресурсов и возникновения рискованных ситуаций. Решение данной задачи предполагается осуществить с помощью моделирующего стенда управления ресурсами (МСУР). МСУР, место которого в контуре управления ЖЦ НТС приведено на рис. 5, позволяет имитировать условия возникновения обстоятельств, приводящих к появлению различного рода рисков (включая риски повторов отдельных фаз проекта и возвратов к более ранним), и оценить потенциальные потери ресурсов на различных этапах ЖЦ НТС.



Рис. 5. Общая схема системы управления ЖЦ НТС
Система управления ЖЦ НТС должна обеспечивать:



- процессы систематического наблюдения за параметрами ЖЦ НТС;
- оценку и анализ параметров ЖЦ НТС;
- подготовку рекомендаций для принятия управленческих решений.

Применительно к АК МСУР - это программный комплекс, включающий следующие компоненты:

1. Модель взаимодействия субъектов ЖЦ АК (производственной кооперации образца по сопровождению ЖЦ АК), включающую:

- Структурно-параметрическое описание (модель) перспективного АК, включая его назначение, тактико-технические и эксплуатационные характеристики;
- Модель жизненного цикла АК;
- Модель взаимодействия субъектов ЖЦ перспективного АК.

2. Модель ресурсного обеспечения субъектов ЖЦ АК.

3. Когнитивную модель рисков.

4. Систему планирования экспериментов.

5. Систему поддержки принятия решений по управлению ЖЦ АК;

6. Систему структурно-параметрической идентификации моделей ЖЦ АК.

Указанные компоненты характеризуются структурной и параметрической гибкостью и могут настраиваться на заданный этап ЖЦ АК, его подсистемы и конкретную прикладную задачу по управлению ЖЦ АК.

К наиболее распространенным задачам, связанным с применением МСУР, могут быть отнесены:

- Планирование ресурсов на стадиях ЖЦ АК с учетом рисков.
- Поиск и обоснование рациональных вариантов производственной кооперации по созданию АК.
- Разработка предложений по основным направлениям концентрации ресурсов на этапах ЖЦ АК.
- Информатизация процессов управления ЖЦ АК.
- Страхование рисков по созданию перспективных АК.
- Формирование частно-государственных партнерств в авиастроительной сфере на условиях разделения рисков.

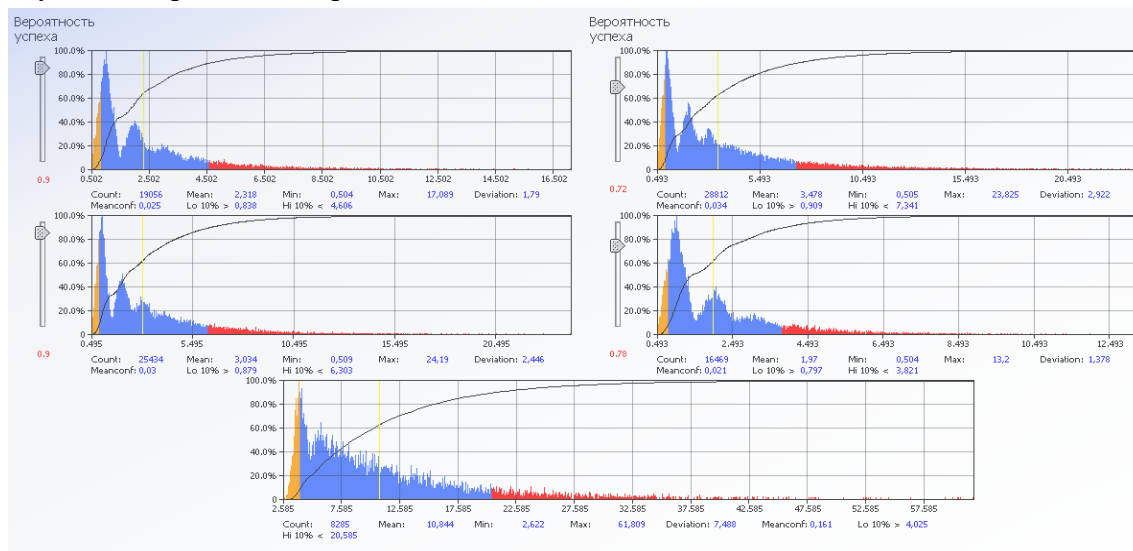


Рис. 6. Эмпирические ФР ресурсов для треугольно-распределенных исходных затрат

В настоящее время проведено макетирование отдельных программных компонент, предполагаемых к разработке в составе МСУР. Например, на рис. 6 приведены результаты имитационного моделирования трансформации ФР затрат временных ресурсов на этапах ЖЦ под воздействием факторов, влияющих на вероятности возвратов и повторов этапов ЖЦ. В опытной модели ЖЦ АК рассматривалось 4 этапа, исходная длительность которых



описывалась треугольным, усеченным нормальным и бета распределениями с различными параметрами. На рисунке отчетливо проявляется смесовый характер итоговых распределений на отдельных этапах (колебательность эмпирических функций плотности вероятности) и возникновение обширных «хвостов».

Выводы

1. В статье предложен критерий качества управления жизненным циклом НТС – минимизация кумулятивных расходов ресурсов на всем протяжении ЖЦ, а в качестве частных показателей расхода ресурсов на отдельных этапах предлагается использовать функции распределения объединенных ресурсов на этапах ЖЦ НТС.
2. На основе указанных критериев и показателей предложена общая постановка задачи управления ЖЦ НТС, решение которой путем моделирования позволит осуществлять поддержку принятия управленческих решений в процессе планирования и выполнения проектов долгосрочных НТС.
3. Разработаны аналитические модели распределения ресурсов на этапах и стадиях долгосрочных проектов, отличающиеся возможностью оценки и прогнозирования расхода ресурсов различного рода для нелинейных структур ЖЦ.
4. Предложена концепция разработки универсального МСУР, ориентированного на решение наиболее часто встречающихся управленческих задач, сопровождающих ЖЦ НТС.

Литература

1. *Бендиков М.А., Фролов И.Э.* Рынки высокотехнологичной продукции: тенденции и перспективы развития. Маркетинг в России и за рубежом №2, 2001.
2. *Аюпов А.А., Аюпов А.И., Пляскота С.И., Рубан А.С.* Мониторинг интересов субъектов жизненного цикла сложных организационно-технических систем// Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2007). Труды первой международной конференции (1-3 октября 2007 г., Москва, Россия). Под ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. – 2007 г., с. 276 – 282.
3. *Пляскота С.И., Шагаев И.В.* Экономическая эффективность отказоустойчивости//Автоматика и телемеханика. №7, 1995 г., с.131-143.
4. *А.Кофман, Г.Дебазей.* Сетевые методы планирования. Применение системы ПЕРТ и ее разновидностей при управлении производственными и научно-исследовательскими проектами. М.: Прогресс. 1968.
5. *Бурков В.Н.* Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977.
6. *Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М.* Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989.
7. *Christos G., Stephen G.* Sample Path Properties of Times Discrete Event Systems // IEEE Trans. Jan. 1989. V. 77. p. 54-68.
8. *Райфа Г, Шлейфер Р.* Прикладная теория статистических решений / Под ред. и с предисл. Ю. Н. Благовещенского. М., «Статистика», 1977.
9. *Брайсон, Хо Ю-Ши.* Прикладная теория оптимального управления / под ред. А.М. Летова, М.: «Мир», 1972.
10. *Тихонов В.И., Миронов М.А.* Марковские процессы. М.: Сов. радио, 1977.
11. *Верлань А.Ф., Сизиков В.С.* Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Справочное пособие. Киев: Наукова думка, 1986.