

## ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА В ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

**В. Ф. Волков (Санкт-Петербург)**

Анализ процесса создания систем оружия и других потенциально опасных систем (ПОС) показывает, что исторически этот процесс можно представить в форме серии «проектных ударов», причем каждая из сторон не всегда доводит проект до практической реализации, следуя принципам «военной хитрости» и рефлексивного управления.

При этом под потенциально опасными системами будем понимать технические системы, строительство и эксплуатация которых связаны с возможностью аварии, влекущей за собой нанесение катастрофически большого ущерба (финансового, экологического и т.д.). Список ПОС постоянно пополняется: несмотря на известный риск, они будут проектироваться, так как без них цивилизация не сможет разрешить многие проблемы, например энергетические.

Судя по известным публикациям, эффективность ПОС оценивается классическими методами теории исследования операций, т. е. априори вводятся в рассмотрение «функциональные» стадии жизненного цикла ПОС – стадии эксплуатации и целевого применения, – когда вся исходная информация о самих ПОС известна. При этом в качестве основного аргумента для расчета показателей (ожидаемого эффекта и др.) рассматривается вероятность  $v_3$  выполнения целевой задачи, а при ее вычислении к частным показателям, характеризующим надежность и безопасность штатного функционирования, предъявляются повышенные требования, обусловленные спецификой объекта исследований.

На ранних стадиях жизненного цикла ПОС такой подход требует корректировки, так как имеет место неопределенность в исходных данных как о ПОС, так и об условиях их функционирования. Очевидно, эта неопределенность должна быть учтена при оценке достоверности величины  $v_3$  (и соответственно всех производных от нее показателей), а показатель достоверности следует учитывать при принятии решения о продолжении работы над проектом вновь создаваемой ПОС. Более того, только на ранних стадиях возможны устранение конструкторских ошибок и учет новых сведений (о природе, конкуренте, противнике, террористе) с наименьшими затратами. В публикациях, посвященных управлению научно-техническими разработками, проблема достоверности показателей, на основе которых принимаются решения, не затрагивались. Между тем эта проблема для ПОС обостряется из-за невозможности проведения их полноценных испытаний (по сравнению с другими видами технических систем), а также по той причине, что для некоторых ПОС жизненный цикл может ограничиться ранними стадиями (вследствие морального устаревания, в ходе конкурентной борьбы конструкторских бюро – участников соответствующих конкурсов и т.д.).

Рассмотрим возможные подходы к задаче управления разработками ПОС на ранних стадиях жизненного цикла.

### **Вероятностная динамика процесса разработки ПОС**

В соответствии с изложенным, ранние стадии для ПОС не менее важны, чем функциональные, – они завершаются принятием решения либо о прекращении проектирования (по крайней мере, в первоначально задуманном виде), либо о переходе к полномасштабной разработке ПОС, после чего процесс остановить труднее. Введем следующие обозначения:  $j$  – номер фазы ранних стадий жизненного цикла ( $j = 0$  – концептуальная;  $j = 1$  – аванпроектирование;  $j = 2$  – эскизное проектирование;  $j = 3$  – раз-

работка технического проекта);  $v^j$  – вероятность выполнения потенциально опасной системой целевой задачи, вычисленная на  $j$ -й фазе (расчеты проводятся в соответствии с техническим заданием заказчика; в роли последнего для ПОС, как правило, выступает государственное учреждение);  $v^{T33}$  – значение упомянутой вероятности, указанное в техническом задании заказчика (ТЗ3);  $k$  – число попыток сдать проект заказчику на  $j$ -й фазе стадии проектирования,  $j = 1(1)3$ .

Как правило, если после обработки результатов каждой фазы и вычисления величины  $v^j$  выполняется неравенство

$$v^j \geq v^{T33}, \quad (1)$$

то на  $j$ -й фазе принимается решение о пригодности проекта (т.е. о выполнении требований заказчика) и о переводе процесса разработки в  $j+1$ -ю фазу (согласно неравенству  $v^{(0)} \geq v^{T33}$  принимается решение о начале работ по созданию проекта).

При этом величины  $v^j$  являются сложными детерминированными функциями технических характеристик объектов ПОС и их инфраструктуры, свойств среды, параметров, способов применения (управления), характеристик географического размещения и т.д. Однако многие из перечисленных аргументов объективно являются случайными величинами – одни только на ранних стадиях жизненных циклов, другие постоянно. Следовательно, подход, основанный на проверке равенства (1), некорректен. Вероятность  $v^j$  сама является случайной величиной как функция случайных аргументов, поэтому вместо (1) предлагается при простейших подходах избавиться от случайностей путем введения математического ожидания  $v_{\text{ср}}^{(j)}$  величины  $v^{(j)}$  либо гарантируемой вероятности

$$W^{(j)} = P(v^j \geq v^{T33});$$

При более тонких исследованиях, а также в конфликтных ситуациях (между заказчиком и разработчиком) рекомендуется использовать всю систему разработанных в теории исследования операций критериев, учитывающих субъективно-психологические особенности лица, принимающего решение (ЛПР)).

Можно показать, что в обоих вариантах для расчетов критерия соответствия требования ТЗ необходимо использовать аппарат дискретных поглощающих цепей Маркова с числом состояний не менее трех. При этом конструировании состояний в модели следует учитывать не только поступательное развитие процесса, но и возможность его отбрасывания назад вследствие появившихся в ходе проектирования неблагоприятных обстоятельств. В этом и заключается суть вероятностной динамики ранних стадий жизненного цикла.

Число шагов в упомянутых марковских моделях случайно за исключением ситуации с искусственной остановкой процесса (например, по финансовым причинам). При наличии соответствующих вычислительных мощностей можно объединить (укрупнить) три фазы проектирования в единую неоднородную цепь Маркова. Во всех вариантах моделей с любым числом состояний вероятность перехода  $\pi_{21}^{(j)}$  из второго невозвратного состояния (при их нумерации в соответствии с каноническим представлением) в поглощающее состояние определяется как произведение трех следующих сомножителей:

$$\pi_{21}^{(j)} = P_K^{(j)} P_0^{(j)} W^{(j)}, \quad (2)$$

где  $P_K^{(j)}$  – вероятность того, что конкурент в течение рассматриваемой фазы не сменит концепцию и характеристики своей системы действий;  $P_0^{(j)}$  – вероятность отсутствия за это же время кардинальных инженерно-организационных неудач.

### Два класса задач управления разработкой ПОС

Одна из особенностей ранних стадий жизненного цикла ПОС – случайный характер традиционного показателя, вероятности  $v^{(i)}_3$ . Второй особенностью является наличие в составе вычисляемой величины  $v_3$  случайной ошибки  $\Delta\hat{v}$ . Ее появление обусловлено, в первую очередь, ограниченным объемом натурных испытаний одних элементов ПОС и невозможностью испытаний других (например, из экологических соображений). Следовательно, в распоряжение ЛПР поступает только одна из возможных реализаций случайного показателя  $v^{(i)}_3$  – величина  $v^{(i)}_{\text{выч}}$ , содержащая невыделяемую ошибку  $\Delta v^{(i)}$  и ограниченная в пределах от 0 до 1. Очевидно, что учесть ошибку можно, введя в рассмотрение дополнительно к  $v^{(i)}_0$  или  $W^{(i)}$  величину  $\beta^{(i)}$  – риск заказчика принять непригодный проект ПОС при условии соблюдения (по данным экспертов) неравенства (1).

$$\beta^{(j)} = P\left[\left(\hat{v}_{\text{выч}}^{(j)} \geq v^{TT3}\right) / \left(\hat{v}^{(j)} < v^{TT3}\right)\right] \quad (3)$$

где  $\hat{v}_{\text{выч}}^{(j)} = \hat{v}^{(j)} + \Delta\hat{v}^{(j)}$  – значение вероятности  $v_3$ , вычисляемое специалистами экспертной группы после обработки результатов  $j$ -й фазы проектирования.

Для большей части встречающихся на практике комбинаций законов распределения величин  $v^{(i)}$  и  $\Delta v^{(i)}$  вероятность  $\beta^{(i)}$  определяется лишь численно, поэтому детальное аналитическое преобразование выражения (3) не приводится. Однако следует отметить, что плотности распределения  $v^{(i)}$  и  $\Delta v^{(i)}$  должны переоцениваться экспертными группами не только на каждой фазе, но и после каждой попытки сдать проект. Тип переоценки зависит от причин, по которым проект не был принят (доработки, дополнительные стендовые или имитационные испытания, полное изменение конструкции ПОС и т.д.), но в его основе лежит либо байесовская схема, либо комбинированные методы В.Н. Пугачева.

Таким образом, в состав вектора управления процессом создания ПОС на ранних стадиях жизненного цикла должны входить величины  $W$  и  $\beta$ . Само управление зависит от вида ситуации. Каждому виду ситуации соответствует свой класс оптимального управления разработкой ПОС.

Первый класс отличается тем, что требования ко времени создания ( $t_c$ ) ПОС нечетко жесткие; допускается нарушение сроков в разумных пределах. Для данного класса при

$$W^{(j)} < W^3$$

проект пересматривается полностью; при  $(W^{(i)} \geq W^3) \wedge (\beta^{(i)} > \beta^3)$  решаются оптимизационные задачи, связанные с минимизацией дополнительных затрат на мероприятия по обеспечению выполнения неравенства  $\beta^{(i)} \leq \beta^3$ ; при  $(W^{(i)} \leq W^3) \wedge (\beta^{(i)} \leq \beta^3)$  проект принимается.

В экстремальной (или) упрощенной ситуации отсутствуют ограничения на величину  $t_0$ , которая рассматривается как случайная (как правило, этот вариант имеет место при поиске конструкции ПОС, исходя из ранее не известных физических, химических, биологических и других принципов).

В качестве одного из параметров системы ограничений в упомянутых оптимизационных задачах должно выступать число  $k_3$  экспертных переоценок. С одной стороны, величина  $k_3$  ограничена снизу

$$k_3 \geq k(\gamma), \quad k(\gamma) = F_{k_3}^{-1}(\gamma), \quad k_\Sigma = \sum_{j=1}^3 \hat{k}_j, \quad (4)$$

где  $k(\gamma)$  – квантиль суммарного числа  $k_{\Sigma}$  попыток сдать проект, соответствующий доверительной вероятности  $\gamma$ . Однако имеет место и ограничение, налагаемое на  $k_3$  сверху, так как эта величина является одним из аргументов стоимости  $C_{\Sigma}$  разработки ПОС. Кроме того, величина  $k_3$  связана неоднозначной зависимостью [в отличии от пропорциональной зависимости  $C_{\Sigma} = C(k_3)$ ] с величиной  $t_c$ . Приведем пример этой зависимости для первого слагаемого величины  $t_c$  – продолжительности стадии аванпроектирования  $t_{а.п.}$ . Пусть расчетная продолжительность фазы аванпроектирования – 24 мес, продолжительность проектирования, включая незначительные доработки – 35 мес, продолжительность перепроектирования с неполной переработкой конструкции ПОС вследствие выявленной необходимости смены ее концепции при последующих небольших доработках – 48 мес и при существенных доработках – 72 мес. В этом случае после проведения расчетов получим следующие возможные реализации продолжительности аванпроектирования в зависимости от значения номера экспертизы:

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{а.п.}^i$	24	30	35	48	72	54	60	65	78	102	59	65
I	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{а.п.}^i$	70	83	107	72	78	83	96	120	96	102	107	120

Второй класс задач отличается предельно жесткими требованиями ко времени  $t_c$ , все недостатки предыдущего этапа устраняются на последующем ценой сверхзатрат, оправдываемых необходимостью уложиться в предписанный срок, т.е. переход к  $(j+1)$ -й фазе не осуществляется только при  $W^{(j)} < W^3$ , когда задержка на  $j$ -й фазе компенсируется на  $(j+1)$ -й фазе.

Для данной ситуации в состав вектора управления в интересах заказчика необходимо ввести величину  $a$  – риска организации, разрабатывающей ПОС, так как при  $a > a^3$  заказчик теряет время из-за ошибочного отклонения пригодного проекта ПОС. Все оптимизационные задачи данного класса также сводятся к минимизации затрат (сверхзатрат), но при ограничении снизу на вероятность  $P_c$  создания проекта к заданному сроку  $t_c$  (имеется в виду завершение ранних стадий жизненного цикла, но не реализация всей программы ПОС).

Задачи первого класса решаются с помощью аппарата управляемых цепей Маркова. При этом, если возможность проведения полунатуральных, вычислительных и экспертно-эвристических испытаний позволяет довести число  $k_3$  до 20, то возможно использование методов проверки статистических гипотез с введением в рассмотрение критического параметра  $T_k$ , подчиненного распределению Хотеллинга (при небольшой размерности вектора управления, т.е. для  $\langle W; \beta \rangle$  или  $\langle W; \beta; a \rangle$ ).

Задача второго класса решается с помощью методов стохастического программирования. Вероятность  $P_c$  определяется путем использования аппарата характеристических функций. При этом число  $k^{11}$ , существенно больше  $k^1$ , для задач первого класса в связи с использованием в вычислительных алгоритмах ретроспективной развертки.

В докладе приводятся два примера имитационных моделей – концептуальной (позволяющей получить оценки временных функционалов «проектной войны») и прогнозной (для корректировки параметров долгосрочных программ вооружений).

### Литература

1. **Горбулин В.П.** Методы моделирования и проблемы обеспечения надежности потенциально опасных систем//Кибернетика. –1987. –№ 4. – С. 8–15.
2. **Михалевич В.С., Волкович В.Л., Быченко Н.Н.** Проблемы моделирования и защиты региона в чрезвычайных ситуациях //УСиМ. –1991. –№ 8. – С. 3–9.
3. **Коутиньо Дж. С.** Управление разработками перспективных систем. – М.:Машиностроение, 1982. – 448 с.
4. Надежность и эффективность в технике/Справочник в 10 т.//Под ред. Ю.В.Крючкова и др. – М.:Машиностроение, 1986–1988 гг.
5. **Пугачев В.Н.** Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. – М.:Сов.радио, 1973. – 256 с.
6. **Блок В.Р. и др.** Модель холодной войны и оптимального отклика//Автоматика и телемеханика. –1982. –№ 3. – С. 124–135.
7. **Арчибальд Р.Д.** Управление высокотехнологичными программами и проектами – М.: МК-Пресс, 2002. – 469 с.