

УДК: 623

DOI: 10.53816/20753608\_2021\_4\_22

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ  
ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ**

**THE APPLICATION OF STOCHASTIC MODELLING METHODS  
IN PLANNING AND CONTROL OF WEAPONS DEVELOPMENT**

*По представлению чл.-корр. РАРАН С.И. Бокова*

***Р.С. Белорозов, А.Ф. Матвеев***

*46 ЦНИИ МО РФ*

***R.S. Belorozov, A.F. Matveev***

В статье предлагается и обосновывается схема стохастического моделирования, применяемая для исследования процессов и задач планирования и управления развитием вооружения и военной техники. Затем с ее использованием строятся стохастические модели прогнозирования стоимости образцов вооружения и военной техники, технического обеспечения войск в части серийных закупок, ремонта и модернизации вооружения и военной техники, макроэкономического прогнозирования параметров военного планирования, используемые в задачах обоснования технико-экономических исходных данных, военно-технических исходных данных макроэкономических исходных данных соответственно.

**Ключевые слова:** методы стохастического моделирования, вооружение и военная техника, модель прогнозирования стоимости, модель макроэкономического прогнозирования, модель прогнозирования технического обеспечения.

The article proposes and justifies a scheme of stochastic modeling. They used to study the processes and tasks of planning and managing the development of weapons. Then, using it, stochastic models are constructed for predicting the cost of weapons samples, technical support of troops in terms of serial purchases, repair and modernization of weapons, macroeconomic forecasting of military planning parameters, used in the tasks of substantiating technical-economic initial data, military-technical initial data, macroeconomic initial data.

**Keywords:** stochastic modeling methods, weapons and military equipment, cost forecasting model, macroeconomic forecasting model, hardware forecasting model.

В последние годы с целью обеспечения качества и оперативности проведения работ и принимаемых управленческих решений на каждом из этапов обоснования перспектив развития системы вооружения разработан и используется утвержденный научно-методический аппарат (НМА). В его состав включены взаимосвязанные по входным и выходным данным методики,

обеспечивающие научное обоснование целей, основных направлений, последовательности и темпов развития системы вооружения ВС РФ с учетом ресурсных возможностей государства и избранных приоритетов развития вооружения и военной техники (ВВТ).

В целом, разработанный НМА является необходимым методическим инструментом

для принятия решений по обоснованию целей, основных направлений, последовательности и темпов развития системы вооружения ВС РФ с учетом ресурсных возможностей государства и избранных приоритетов развития ВВТ.

Необходимо отметить, что научно-методической основой процесса формирования параметров развития системы вооружения является совокупность моделей, методов и методик, составляющих современную методологию программно-целевого планирования управления развитием ВВТ.

Как показывает практика прогнозирования и формирования параметров развития ВВТ на долгосрочный период, данный процесс подвержен влиянию случайных факторов [1]. Это видно по следующим признакам:

- наличие случайных ошибок при прогнозе на перспективу, особенно при быстрых темпах научно-технического прогресса;
- изменения военно-политической обстановки в мире, вызывающие необходимость внесения соответствующих уточнений в содержание боевых задач Вооруженных Сил, других войск, воинских формирований и органов Российской Федерации;
- изменчивость природно-климатических условий возможных театров военных действий;
- неопределенность в оценке действительного уровня науки, техники и экономики;
- изменчивость (вследствие физического и морального износа) тактико-технических характеристик образцов вооружения и военной техники, разрабатываемых в соответствии с программами совершенствования комплексов вооружения;
- низкая оценка достоверности исходных данных на предмет случайных ошибок;
- сильная зависимость от компетенции экспертов, виляющая, в конечном итоге, на точность результата.

Таким образом, возникает необходимость совершенствования и модернизации существующего научно-методического аппарата обоснования и планирования параметров развития ВВТ в интересах создания универсального методического инструментария, позволяющего решать и преодолеть обозначенные трудности с заданной точностью результатов.

Одним из решений преодоления указанной проблемы является разработка, внедрение и использование на практике методов стохастиче-

ского моделирования, целью которых является получение и численная реализация аналитических зависимостей между параметрами, описывающих случайные процессы (то есть процессы, возникающие при решении поставленной задачи под влиянием факторов случайного характера).

Методы, применяющиеся при стохастическом моделировании, включают:

- методы теории случайных функций (применяемые при исследовании точности систем автоматического управления, работающих под действием произвольных случайных возмущений, как стационарных, так и нестационарных),
- методы теории вероятностей (известные по изучению дисциплин высших учебных заведений),
- методы вычислительной математики (необходимые для выполнения оптимальной численной реализации): регрессионный анализ; корреляционный анализ; статистический анализ; ретроспективный анализ и т.п.

Необходимо пояснить схему стохастического моделирования, например, применяемую авторами для исследований в области планирования развития ВВТ. Она состоит из следующих этапов:

1. Обоснование свойств (выявление признаков) случайного процесса;
2. Определение параметров (системы показателей), описывающих случайный процесс, и анализ связанных с ним случайных событий;
3. Составление стохастических моделей (аналитических выражений и математических моделей) для случайного процесса;
4. Численная реализация стохастических моделей;
5. Проверка стохастических моделей на адекватность, точность и достоверность результатов ретроспективным анализом.

Далее приведены результаты использования указанной схемы моделирования, полученные авторами настоящей работы при решении некоторых задач планирования и управления параметрами развития ВВТ.

#### **Стохастическая модель прогнозирования стоимости образцов ВВТ в задачах обоснования технико-экономических исходных данных (ТЭИД)**

Рассмотрим процесс изменения стоимости на какой-либо образец ВВТ. Так, на фиксиро-

ванном временном отрезке его стоимость может быть постоянной, испытывать незначительные случайные колебания в окрестностях какого-либо значения, скачкообразно изменить свое значение на случайную величину. В первом и во втором случаях такое поведение для стоимости характерно в краткосрочном периоде (до года), а в третьем случае — в долгосрочном (год и выше) периоде.

Пусть для каждого производителя образца ВВТ процесс изменения стоимости во времени монотонная в общем случае негладкая функция времени  $t$  и избыточного спроса  $z(t) = x(t) - y(t)$ , где  $x(t)$  — величина предложения,  $y(t)$  — объем спроса. Тогда ценообразование зависит только от технологии производства, проявляющейся в величине предложения, а также от потребности на данный образец ВВТ и от инфляции, т.е. в дифференциальной форме имеем

$$dC(t) = f(t, C(t), z(t))dt, \quad C(\tau) = C_0, \quad (1)$$

где  $f(t, C(t), z(t))$  — непрерывная функция по переменной  $t$ , определяющая тренд стоимости и восстанавливаемая по статистической информации для каждого образца ВВТ.

Важно отметить, что для регулируемого процесса ценообразования, когда производитель имеет возможность устанавливать необходимую ему стоимость, в правую часть (1) может быть введен параметр управления  $u(t)$ . В рамки этой модели вмещается ряд параметров (в том числе и неэкономических), прямо влияющих на стоимость образца ВВТ, значения которых могут быть получены из соответствующих источников статистической информации.

При возникновении различных факторов, обуславливающих ценообразование случайного характера, уравнение (1) представляется в виде

$$dC(t) = f(t, C(t), z(t))dt + \gamma(t, \varpi)dt, \quad C(\tau) = C_0, \quad (2)$$

где  $\gamma(t, \varpi)$  — случайная функция по переменной  $t$  и случайному параметру  $\varpi$ , характеризующая случайные изменения стоимости образцов ВВТ во времени. Таким образом, уравнение (2) описывает стохастическую модель прогнозирования стоимости образцов ВВТ.

Далее рассмотрим случай, когда стоимости образцов ВВТ постоянно колеблются около своего тренда вследствие аддитивного воздействия на них случайных факторов. При этом считаем, что приращения стоимости — независимые величины.

На стоимость каждого образца ВВТ влияет множество случайных факторов: изменение оптовых цен на сырье, незапланированные издержки производства, изменение цен на импортные комплектующие (вследствие «плавающего» курса валюты покупки) и т.д. Воздействие каждого отдельного фактора невелико, и они, как правило, не зависят друг от друга. В результате на основании центральной предельной теоремы можно утверждать, что в краткосрочном периоде закон распределения приращений процесса изменения стоимостей близок к нормальному. Следуя [2], будем считать, что трендовая составляющая не оказывает влияния на случайную и, наоборот, случайные изменения не влияют на характер тренда. Тогда выражение для стоимости образца ВВТ можно записать в разностной форме

$$C(t + \Delta t) - C(t) \approx f(t, C(t), z(t))\Delta t + \xi(t, C(t), \Delta t),$$

где  $z(t)$  — параметр, а  $\xi(t, C(t), \Delta t)$  — флуктуационная составляющая из-за влияния большого числа независимых факторов. Так как при небольших изменениях  $t$  незначительно изменяется  $C(t)$ , то в малом флуктуационную составляющую будем считать однородным случайным процессом

$$\xi(t, C(t), \Delta t) = F(t, C(t))(\omega(t + \Delta t) - \omega(t)),$$

где  $F(t, C(t))$  — среднее квадратическое отклонение,  $\omega(t + \Delta t) - \omega(t)$  — приращения винеровского процесса. При этом приращение стоимости можно записать в виде

$$C(t + \Delta t) - C(t) = f(t, C(t), z(t))\Delta t + F(t, C(t))\Delta\omega(t) \quad (3)$$

или в виде уравнения в дифференциальной форме

$$dC(t) = f(t, C(t), z(t))dt + F(t, C(t))d\omega(t). \quad (4)$$

Уравнение (4) обычно записывается в интегральной форме

$$C(t) = C_0 + \int_{\tau}^t f(t, C(t), z(t)) dt + \int_{\tau}^t F(t, C(t)) d\omega(t),$$

где интеграл по случайному процессу  $d\omega(t)$  является стохастическим.

В целом, стохастическая модель прогнозирования стоимости образцов ВВТ позволяет решать задачи прогнозирования значений стоимости образцов ВВТ, часто возникающие при принятии управленческих решений руководством органов военного управления Российской Федерации в процессе планирования и управления развитием системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации на ближайшую и долгосрочную перспективы, и существенно повысить достоверность значений технико-экономических исходных данных, используемых при подготовке государственной программы вооружения.

**Стохастическая модель  
технического обеспечения войск  
в части серийных закупок, ремонта  
и модернизации ВВТ в задачах обоснования  
военно-технических исходных данных**

Рассматривается группировка войск, включающая  $m$  различных типов ВВТ численностью  $N_i$ , ( $i = 1, m$ ), необходимых для решения заданного объема боевых задач. Каждый образец ВВТ характеризуется величиной боевого потенциала, который определяется максимальной интенсивностью поражающего действия по типовым объектам поражения с учетом частоты применения по ним.

Любой образец ВВТ, находящийся в войсках, может иметь следующие несовместные состояния [3]:

$S_0$  — исправное (работоспособное) состояние при пребывании его в режиме хранения (готовности к применению);  $S_1$  — неисправное (неработоспособное) состояние, требующее войскового ремонта;  $S_2$  — неисправное (неработоспособное) состояние, требующее ремонта на предприятиях промышленности;  $S_3$  — исправное (работоспособное) состояние при нахождении в режиме боеготовности;  $S_4$  — неисправное состояние, требующее списания и последующей

утилизации;  $S_5$  — исправное (работоспособное) состояние, требующее доработки для повышения боевого потенциала.

Содержание ВВТ в определенном состоянии требует затрат материальных и трудовых ресурсов, которые могут быть выражены в единой стоимостной шкале затрат. Перевод ВВТ из одного состояния в другое осуществляется под действием соответствующих управленческих решений.

Для описания процесса технического обеспечения использована модель массового обслуживания. Состояния процесса характеризуют рассмотренные возможные состояния образца ВВТ, а переходы из одного состояния в другое осуществляются с интенсивностями, которые зависят от воздействия внешней среды и управляющих воздействий со стороны системы управления и структурируются на интенсивности, зависящие от воздействия внешней среды:

$\lambda_{01}$  — интенсивность отказов ВВТ, находящихся на хранении, требующих войскового ремонта;  $\lambda_{02}$  — интенсивность отказов ВВТ, находящихся на хранении, требующих ремонта на предприятиях промышленности;  $\lambda_{31}$  — интенсивность отказов ВВТ, находящихся в боеготовом состоянии;  $\lambda_{03}$  — интенсивность перевода ВВТ в боеготовое состояние;  $\mu_{30}$  — интенсивность перевода ВВТ на хранение;  $\lambda_{24}$  — интенсивность отхода ВВТ в утилизацию;  $\lambda_{05}$  — интенсивность отхода ВВТ на доработки;

и интенсивности, зависящие от управляющих воздействий:

$\mu_{00}$  — интенсивность поступления новых образцов ВВТ;  $\mu_{10}$  — интенсивность восстановления ВВТ средствами войскового ремонта;  $\mu_{20}$  — интенсивность восстановления ВВТ средствами ремонта на предприятиях промышленности;  $\mu_{50}$  — интенсивность поступления модернизированных ВВТ.

Размерность интенсивностей  $\lambda, \mu$  определяются объемами ВВТ и средним временем их перевода в различные состояния.

Используя описанную схему стохастического моделирования и методы теории случайных функций [4], а также с учетом результатов работы [3] система уравнений для средних численностей ВВТ определенного типа, находящихся в различных состояниях, будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dn_0(t)}{dt} &= -(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} + \lambda_{05})n_0(t) + \mu_{10}n_1(t) + \mu_{20}n_2(t) + \mu_{30}n_3(t) + \mu_{50}n_4(t) + \mu_{00}(t) + \gamma_0(t, \varpi) \\ \frac{dn_1(t)}{dt} &= -\mu_{10}n_1(t) + \lambda_{01}n_0(t) + \lambda_{31}n_3(t) + \gamma_1(t, \varpi) \\ \frac{dn_2(t)}{dt} &= -(\lambda_{24} + \mu_{20})n_2(t) + \lambda_{02}n_0(t) + \gamma_2(t, \varpi) \\ \frac{dn_3(t)}{dt} &= -(\mu_{30} + \lambda_{31})n_3(t) + \lambda_{03}n_0(t) + \gamma_3(t, \varpi) \\ \frac{dn_4(t)}{dt} &= \lambda_{24}n_2(t) + \gamma_4(t, \varpi) \\ \frac{dn_5(t)}{dt} &= -\mu_{50}n_5(t) + \lambda_{05}n_0(t) + \gamma_5(t, \varpi); \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$n_0(0) = N_0; n_1(0) = N_1; n_2(0) = N_2; n_3(0) = N_3; n_4(0) = N_4; n_5(0) = N_5;$$

$$n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) + n_4(t) + n_5(t) = N(t),$$

где  $n_i(0), i = \overline{0,5}$  — начальные численности образцов ВВТ, находящихся в различных состояниях.

Дальнейшие вычисления системы стохастических дифференциальных уравнений (4) связаны с использованием закона распределения моделируемого процесса [5] либо его первыми моментами как числовыми характеристиками, а также с применением аппарата теории случайных функций [4] и известных численных методов.

В целом предлагаемая стохастическая модель технического обеспечения войск позволяет в динамике программного периода формировать, исходя из различных комбинаций управляемых параметров, множество возможных вариантов государственных программ вооружения (ГПВ) и проводить их оценку по показателям боеготовности ВВТ, боевого потенциала войск и затрат, необходимых для реализации мероприятий ГПВ на программный период в условиях воздействия в процессе планирования возмущающих факторов случайного характера.

В заключении надо отметить, что дальнейшее совершенствование существующего научно-методического аппарата обоснования и формирования параметров развития ВВТ должно быть связано с исследованиями по разработке и внедрению моделей и методов стохастического моделирования. В результате таких исследо-

ваний должна быть создана новая методология обоснования и планирования параметров развития систем вооружения на основе стохастического моделирования, использующая универсальный научно—методический аппарат для планирования параметров развития ВВТ на долгосрочный период с заданной точностью.

### Литература

1. Военно—экономический анализ. Учебник / Под ред. С.Ф. Викулова. — М.: Воениздат. 2001.
2. Катулев А.Н., Сотников А.Н. Стохастические модели прогнозирования цены / Дискретный анализ и исследование операций. 2002. Серия 2. Том 9. № 1. С. 61–77.
3. Методология программно-целевого планирования развития систем вооружения на современном этапе. Монография / Под ред. В.М. Буренка. — М.: Издательская группа «Граница». 2013.
4. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. — М.: Физматгиз. 1962.
5. Пугачёв В.С. Теория вероятностей и математическая статистика // — М.: ФизМатЛит. 2002.