

УДК 681.5

doi: 10.53816/23061456_2025_1-2_11

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-ОГНЕВОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ**

**FORECASTING FUNCTIONING PARAMETERS OF THE RECONNAISSANCE
AND FIRE SYSTEM IN HIGH-TECH MILITARY CONFLICTS CONDITIONS**

Канд. техн. наук Р.В. Куклин

Ph.D. R.V. Kuklin

Михайловская военная артиллерийская академия

В статье предлагается математический аппарат, адаптированный для прогнозирования условий функционирования элементов разведывательно-огневой системы ракетных войск и артиллерии в условиях современных высокотехнологичных военных конфликтов. Основная идея предложенного подхода базируется на предположении сохранения закона изменения прогнозируемого параметра (переменной), выявленного на ретроспективном участке, на определенном интервале времени в будущем. Данный подход обеспечивает более точный прогноз значений параметров функционирования разведывательно-огневой системы ракетных войск и артиллерии. Основной особенностью предложенных положений является учет частого изменения противником тактики действий. Он обеспечивается путем применения математического аппарата дисконтирования ретроспективных данных, который позволяет по-разному учитывать и оценивать новые данные и устаревшую к настоящему моменту информацию.

Ключевые слова: прогнозирование параметров функционирования, метод экспоненциального сглаживания, дисконтирование ретроспективных данных.

The article proposes a mathematical apparatus adapted to predict the operating conditions of the elements of the reconnaissance and fire system of missile forces and artillery in modern high-tech military conflicts. The main idea of the proposed approach is based on the assumption that the law of change in the predicted parameter (variable) identified in the retrospective section will remain for a certain period of time in the future. This approach provides a more accurate forecast of the functioning parameters of the reconnaissance and fire system of missile forces and artillery. The main feature of the proposed provisions is to take into account the frequent change in the opponent's tactics of action. It is provided by the use of a mathematical apparatus for discounting retrospective data, which allows you to differently take into account and evaluate new data and information that is outdated to date.

Keywords: forecasting functioning parameters, exponential smoothing method, discounting retrospective data.

В современных высокотехнологичных военных конфликтах быстро меняется не только обстановка, но и тактика ведения боевых действий [1]. Поэтому традиционные способы прог-

нозирования, основанные на статистических методах корреляции и регрессии [2], основанные на анализе всех накопленных данных о параметрах функционирования разведывательно-огне-

вой системы (РОС), в условиях высокотехнологичных военных конфликтов не всегда будут обладать требуемой точностью [3]. А в некоторых случаях даже будут играть на руку противнику, вынуждая наши войска действовать шаблонно. Для решения данной проблемы предлагается методика прогнозирования, учитывающая устаревание ретроспективных данных.

Основная идея прогнозирования базируется на предположении сохранения закона изменения прогнозируемого параметра (переменной), выявленного на ретроспективном участке, на определенном интервале времени в будущем. На практике обычно выясняется, что вид и характеристики закона изменения параметра функционирования РОС существенно зависят от интервала времени (затрагиваемого этапа организации или ведения боевых действий) ретроспекции, на котором они определялись. Это приводит к чередованию участков эволюционного и революционного (скачкообразного) изменения процесса, или же изменение закона развития процесса может протекать относительно плавно. Поэтому возникает необходимость непрерывной коррекции экстраполяционной формулы по мере поступления новых данных о фактических значениях параметров функционирования РОС [6–8].

Это заставляет по-разному учитывать и оценивать новейшие данные и устаревшую к настоящему моменту информацию. Реализовать данный принцип в прогнозировании предлагается путем использования различных способов дисконтирования информации по мере удаления времени ее получения в прошлое. Соответственно, под дисконтированием понимается уменьшение информативности ретроспективных значений переменной объекта прогнозирования по мере удаления моментов их измерений в прошлое. Наиболее известными способами введения дисконтирования являются методы движущейся средней и экспоненциального сглаживания [4]. Коэффициенты дисконтирования могут использоваться также и в методе наименьших квадратов [2, 4], который в данном случае может рассматриваться как один из вариантов экспоненциального сглаживания.

Метод движущейся средней предлагает в качестве дисконтирующей функции использовать единичную ступенчатую функцию вида

$$\omega(t_0) = \begin{cases} 1 & \text{для } t_0 - t_p \leq t \leq t_0; \\ 0 & \text{для } t < t_0 - t_p, \end{cases}$$

где t_0 — последний момент времени ретроспективного участка;

t_p — момент времени начала ретроспекции, после которого ретроспективные данные принимаются во внимание.

При определении параметров функционирования РОС ретроспективные значения функции умножаются на $\omega(t_0)$ и, следовательно, вид экстраполирующей функции определяется каждый раз по некоторому числу «последних» точек ряда, попадающих в интервал $t_0 - t_p$. При этом t_p целесообразно определять на основе анализа динамики изменения тактики боевых действий противником в ходе предыдущего опыта боевых действий.

В качестве оценки детерминированной части параметра функционирования РОС целесообразно использовать его математическое ожидание, рассчитанное по нескольким конечным точкам [4]:

$$M(t_0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i.$$

Роль дисконтирующей функции здесь выполняет выбор числа точек N , по которому определяется математическое ожидание. Чем больше N , тем меньше быстродействие модуля отслеживания уровня a , однако тем меньше дисперсия ошибки:

$$D(a) = \frac{D_n}{N}.$$

Процесс оценки a представляет собой динамический пошаговый процесс с шагом 1, при

$$M(t_0) = \frac{M(t_0 - 1) + [y(t_0) - y(t_0 - N)]}{N}.$$

Считая, что оценкой среднего уровня всех предыдущих N точек является $M(t_0 - 1)$, и подставив его вместо $y(t_0 - N)$, получим

$$\hat{M}(t_0) = \frac{1}{N} y(t_0) + \left(1 - \frac{1}{N}\right) M(t_0 - 1).$$

Эта рекуррентная формула является частным случаем формулы экспоненциального сглаживания, которая в общем виде имеет вид [4]:

$$S(t_0) = \alpha y(t_0) + (1 - \alpha)S(t_0 - 1), \quad (1)$$

где α — постоянная сглаживания.

Для получения функции сглаживания 2-го, 3-го и т.д. порядков применяют операцию сглаживания повторно к уже сглаженным значениям функции y .

$$\begin{aligned} S^{(2)}(t_0) &= \alpha S(t_0) + (1 - \alpha)S^{(2)}(t_0 - 1); \\ S^{(3)}(t_0) &= \alpha S^{(2)}(t_0) + (1 - \alpha)S^{(3)}(t_0 - 1); \\ &\dots\dots\dots \\ S^{(n)}(t_0) &= \alpha S^{(n-1)}(t_0) + (1 - \alpha)S^{(n)}(t_0 - 1). \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда, подставив в формулу (1) выражения оценок сглаживающей функции в предыдущих точках ряда, получим выражение

$$S(t_0) = \alpha \sum_{k=0}^{t_0-1} (1 - \alpha)^k y(t_0 - k) + (1 - \alpha)^{t_0} y(0).$$

В случае использования в целях прогнозирования экспоненциального сглаживания задаются описанием тренда в наиболее общей форме степенного полинома. Согласно теореме Брауна [5] коэффициенты α_i , этого полинома могут быть выражены через функции сглаживания различного порядка исходного числового ряда. Тогда задача сводится к расчету значений функции сглаживания $S^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, n + 1$) и через их линейные комбинации — к определению коэффициентов полинома.

Функция сглаживания p -го порядка в момент времени t будет представлена выражением

$$S^{(p)}(t) = \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{y^{(k)}(t) \alpha^p}{k!(p-1)!} \sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j \frac{(p-1+j)!}{j!},$$

где $y^{(k)}(t) = d^k y / dt^k$ — производная процесса, вычисленная в момент времени t ;

α — постоянная сглаживания.

На практике редко используют полиномы с высокими степенями разложения, ограничиваясь обычно степенью не выше $n = 2$. Для них выражения для коэффициентов приводятся в [5].

1. Для полинома нулевого порядка $f(a, T) = a_0(t)$:

$$\hat{a}_0(t) = S^{(1)}(t).$$

2. Для полинома первого порядка $f(a, T) = a_0(t) + a_1(t)T$:

$$\hat{a}_0(t) = 2S^{(1)}(t) - S^{(2)}(t);$$

$$\hat{a}_1(t) = \frac{\alpha}{\beta} [S^{(1)}(t) - S^{(2)}(t)].$$

3. Для полинома второго порядка $f(a, T) = a_0(t) + a_1(t)T + 1/2 a_2(t)T^2$:

$$\hat{a}_0(t) = 3S^{(1)}(t) - 3S^{(2)}(t) + S^{(3)}(t);$$

$$\hat{a}_1(t) = \frac{\alpha}{2\beta^2} \left[\begin{aligned} &(6 - 5\alpha)S^{(1)}(t) - \\ &-2(5 - 4\alpha)S^{(2)}(t) + \\ &+(4 - 3\alpha)S^{(3)}(t) \end{aligned} \right];$$

$$\hat{a}_2(t) = \frac{\alpha^2}{\beta^2} [S^{(1)}(t) - 2S^{(2)}(t) + S^{(3)}(t)].$$

Значения сглаживающих функций рассчитываются посредством рекуррентной процедуры (2). Для начала расчета необходимо установить начальные условия $S^{(1)}(0)$, $S^{(2)}(0)$ и т.д.

В простейшем случае принимают

$$S^{(1)}(0) = S^{(2)}(0) = S^{(3)}(0) = y(0),$$

где $y(0)$ — начальная точка исходного статистического ряда. В другом случае задаются начальными значениями коэффициентов $a_0(0), a_1(0), a_2(0)$ и по известным формулам [4] пересчитывают через них начальные значения функций сглаживания.

Для полинома второй степени $n = 2$ расчет сводится к следующим шагам:

$$1. S^{(1)}(0) = S^{(2)}(0) = S^{(3)}(0) = y(0);$$

$$2. S^{(1)}(1) = \alpha y(1) + (1 - \alpha)S^{(1)}(0);$$

$$S^{(2)}(1) = \alpha S^{(1)}(1) + (1 - \alpha)S^{(2)}(0);$$

$$S^{(3)}(1) = \alpha S^{(2)}(1) + (1 - \alpha)S^{(3)}(0).$$

3. По формулам (2) рассчитывают текущие значения коэффициентов $a_0(1), a_1(1), a_2(1)$.

4. Повторяются вторая и третья процедуры для точки 2 исходного ряда, затем для точки 3 и

так до последней n -й точки ряда, соответствующей t_0 -му моменту поступления последних данных.

5. Формируется описание полинома по последним значениям коэффициентов $a_0(t_0), a_1(t_0), a_2(t_0)$:

$$y(t_0 + t) = a_0(t_0) + a_1(t_0)t + \frac{a_2(t_0)}{2}t^2,$$

подставляется заданное время упреждения прогноза t и получается результат прогнозирования $y(t_0 + t)$.

Применение предложенной методики прогнозирования параметров функционирования РОС, на основе метода движущейся средней и экспоненциального сглаживания, обеспечивает удовлетворительные результаты при относительно небольших случайных колебаниях исходного ряда. Данная особенность позволяет более точно прогнозировать значения параметров функционирования РОС в условиях частого изменения противником тактики действий. Однако стоит учитывать, что при значительных случайных помехах доверительные интервалы прогнозов в этих процедурах существенно расширяются [9, 10].

Список источников

1. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетецентрическая война — принципы, технологии, примеры и перспективы: монография. СПб.: Научно-емкие технологии, 2018. 898 с.

2. Паршин С., Кожанов Ю. Современные тенденции в совершенствовании системы управления вооруженными силами ведущих зарубежных стран в информационную эпоху // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 7. С. 3–9.

3. Чимаров С.Ю. К вопросу о сетецентрическом формате гибридной войны XXI века // Управленческое консультирование. 2016. № 2. С. 97–102.

4. Берикашвили В.Ш., Оськин С.П. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2021. 163 с.

5. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 184 с.

6. Воробьев И.Н., Киселев В.А. От современной тактики к тактике сетецентрических действий // Военная мысль. 2020. № 13. С. 365–399.

7. Чернышев А.А., Тыщенко А.И. Проблемы и перспективы, современное состояние и развитие ракетных войск и артиллерии // Военная мысль. 2020. № 7. С. 85–89.

8. Саркисян С.А., Каспин В.И., Лисичкин В.А. и др. Теория прогнозирования и принятия решений: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1977. 351 с.

9. Энддоус М., Стэнсфилд Р. Методы принятия решений. М.: Аудит ЮНИТИ, 1997. 590 с.

10. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. М.: Советское радио, 1975. 398 с.

References

1. Makarenko S.I., Ivanov M.S. Network Centric Warfare — Principles, Technologies, Examples and Perspectives: monograph. SPb.: Naukoymkie tochnologii, 2018. 898 p.

2. Parshin S., Kozanov U. Current trends in improving the management system of the armed forces of leading foreign countries in the information era // Zarubeznoe voennoe obozrenie. 2009. No 7. Pp. 3–9.

3. Chimarov S.U. On the question of the network-centric format of the hybrid war of the XXI century // Upravlencheskoe konsultirovanie. 2016. No 2. Pp. 97–102.

4. Berikashvili V.Sh., Oskin S.P. Statistical data processing, experiment planning and random processes: a textbook for universities. M.: Uraight, 2021. 163 p.

5. Truhaev R.I. Decision models under uncertainty. M.: Nauka, 1981. 184 p.

6. Vorobyov I.N., Kiselev V.A. From modern tactics to tactics of network-centric actions // Voennaya mysl. 2020. No 13. Pp. 365–399.

7. Chernyshev A.A., Tyshenko A.I. Problems and prospects, current state and development of missile forces and artillery // Voennaya mysl. 2020. No 7. Pp. 85–89.

8. Sarkisyan S.A., Kaspin V.I., Lisichkin V.A. et al. Prediction and decision theory: a tutorial. M.: Vysshaya shkola, 1977. 351 p.

9. Enddous M., Stansfild R. Decision-making methods. M.: Audit UNITY, 1997. 590 p.

10. Chuev U.V., Mikhailov U.B., Kuzmin V.I. Process Quantity Prediction. M.: Sovetskoe radio, 1975. 398 p.