

УДК 346.543.2:311.214

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ РАДИОТЕХНИКИ МЕТОДОМ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

А.В. ГРИНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 1 октября 2015*

Разработка перспективных образцов радиотехники связана со значительным расходом материальных и денежных ресурсов, в связи с этим необходим методический аппарат прогнозирования потенциальных характеристик разрабатываемого изделия и оценки его перспективности. Полученные результаты могут использоваться при выработке решений по разработке, производству и эксплуатации сложных радиотехнических систем

*Ключевые слова:* радиотехническая система, прогнозирование характеристик, технический уровень образца.

### Введение

В настоящее время в Республике Беларусь сохранилась и продолжает активно развиваться производственная база по проектированию и производству сложных радиотехнических систем. Обеспечение выпуска современной и конкурентоспособной продукции – одна из главных задач производства. В ее решении важная роль отводится обоснованию тактико-технических характеристик создаваемого образца техники на этапе разработки тактико-технического задания и возможностей технической реализации его характеристик при производстве. Так, на этапе согласования тактико-технического задания, часто возникает проблема несоответствия требований, предъявляемых к характеристикам разрабатываемой радиотехнической системы, и возможностей их технической реализации. В результате возможны следующие ошибки:

- предъявляются требования к тактико-техническим характеристикам образца, превышающие существующие возможности их технической реализации;
- разрабатывается неконкурентоспособный образец, по своим характеристикам не соответствующий мировым аналогам.

Решение указанной проблемы возможно разработкой методического аппарата позволяющего выполнять прогноз реально достижимых значений тактико-технических характеристик (ТТХ) разрабатываемого изделия на установленный период.

### Методика прогнозирования характеристик перспективного образца радиотехники

Основываясь на международном стандарте [1], где под перспективным образцом продукции понимается образец, характеризуемый прогнозируемой совокупностью реально достижимых значений показателей качества и соответствующий передовым научно-техническим достижениям на установленный период. Выполним прогнозирование потенциально достижимых уровней ТТХ перспективной радиотехнической системы на основе анализа развития науки и техники и данных о предыстории его аналогов.

Для определения потенциально достижимых уровней ТТХ целесообразно применять статистические методы прогнозирования (экстраполяции, регрессивного и корреляционного анализа). Основой данных методов являются данные о состоянии объекта прогнозирования в прошлом и определение его состояния в будущем при определенных условиях. Для

прогнозирования уровней развития основных характеристик образца техники предложен метод экстраполяции, в котором неизвестные параметры аппроксимирующей функции определяются методом средних [2].

В качестве исходных данных для прогнозирования выберем основные характеристики образца техники, оказывающие непосредственное влияние на выполнение поставленных задач. Рассмотрим изменение ТТХ на примере миноискателей (табл. 1). Представленные образцы сортируются по годам выпуска, из каждой группы выбираются наиболее эффективные из них [3, 4].

Таблица 1. Изменение тактико-технических характеристик миноискателей с 1940 по 2010 гг.

Технические характеристики	ТТХ миноискателей по годам							
	ВИМ-625	УМИВ	ИМП	ИМП-2	ММП	АН-19/2	«Уайт»	VMR3
Год выпуска	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Глубина обнаружения противотанковой мины, см:	35	40	40	45	50	50	80	120
Глубина обнаружения противопехотной мины, см:	3	4	8	8	10	10	14	20
Производительность поиска, м <sup>2</sup> /ч:								
В положении «лежа»	100	100	120	150	140	150	180	180
В положении «стоя»	200	200	250	300	180	300	400	400
Количество ложных срабатываний на одну обнаруженную мину	–	–	–	до 1000	–	до 500	до 200	до 5
Вероятность обнаружения мины	–	–	–	более 0,8	–	более 0,9	–	более 0,95

Для снижения влияния случайной составляющей в числовом ряду исходных данных применим их сглаживание методом скользящей средней по трем точкам с помощью многочленов первой степени:

$$\tilde{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_{+1}), \quad (1)$$

$$\tilde{y}_{-1} = \frac{1}{6}(5y_{-1} + 2y_0 - y_{+1}), \quad (2)$$

$$\tilde{y}_{+1} = \frac{1}{6}(-y_{-1} + 2y_0 + 5y_{+1}), \quad (3)$$

где  $y_0$ ,  $\tilde{y}_0$  – значение исходной и сглаженной функции в средней точке;  $y_{-1}$ ,  $\tilde{y}_{-1}$  – значение исходной и сглаженной функции левее средней точки;  $y_{+1}$ ,  $\tilde{y}_{+1}$  – значение исходной и сглаженной функции правее средней точки.

Формулы (2), (3) применяются на краях интервала. При необходимости цикл сглаживания повторяется. Расчетные сглаженные характеристики представлены в соответствующих строках табл. 2.

Следующим этапом прогнозирования является подбор аппроксимирующей функции, с достаточной точностью описывающей исследуемый процесс развития ТТХ образца техники во времени. При осуществлении выбора аппроксимирующей функции для  $i$ -й характеристики определено, что наиболее близкой к искомой функции является кубическая парабола вида:

$$y(t) = a_1 + a_2 t + a_3 t^2 + a_4 t^3, \quad (4)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – неизвестные параметры функции, подлежащие определению;  $t$  – переменная (в нашем случае это время, в течение которого происходит изменение ТТХ). При проведении расчетов переменной  $t$  присваивались значения в виде натуральных чисел от 1 до 8 соответственно рассматриваемому году с 1940 по 2010 гг. (табл. 1). Для определения неизвестных параметров аппроксимирующей функции использовался метод средних, основанный на минимизации алгебраической суммы отклонения точек от аппроксимирующей кривой. Критерий оптимальности записывался в виде:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a_1, a_2, \dots, a_m)] \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $y_i$ ,  $x_i$  – ордината и абсцисса  $i$ -й точки ряда;  $a_1, a_2, \dots, a_m$  – параметры аппроксимирующей кривой.

Для определения неизвестных параметров функции, согласно указанному методу, составлена система уравнений (4) для четырех точек ( $t_1 = 1, t_2 = 3, t_3 = 6, t_4 = 8$ ) [5]:

$$\begin{cases} a_1 + a_2 + a_3 + a_4 - 36 = 0, \\ a_1 + 3a_2 + 9a_3 + 27a_4 - 42 = 0, \\ a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 - 60 = 0, \\ a_1 + 8a_2 + 64a_3 + 512a_4 - 118 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

В результате решения системы уравнений (6) получены значения искомых параметров:  $a_1 = 25$ ;  $a_2 = 16,03$ ;  $a_3 = -5,114$ ;  $a_4 = 0,571$ . Соответственно, аппроксимирующая функция записывается в виде

$$y_{\text{ПМ}}^*(t) = 25 + 16,03t - 5,114t^2 + 0,571t^3. \quad (7)$$

Точность приближения аппроксимирующей функции к реальному процессу можно оценить по величине вариации, вычисляемой согласно выражению:

$$\delta = \frac{\overline{(y_i - y_i^*)^2}}{y_i^2 - y_i^{*2}} \times 100\%, \quad (8)$$

где  $y_i$  – значение реальной функции, взятое из табл. 1;  $y_i^*$  – значение аппроксимирующей функции, вычисленной по (7).

Коэффициент вариации  $\delta$  измеряется в % и показывает расхождение между аппроксимирующей и реальной функциями, описывающими исследуемый процесс. Чем меньше значение  $\delta$ , тем меньше расхождение между указанными функциями. Коэффициент вариации порядка нескольких процентов говорит о достаточном сходстве между аппроксимирующей и реальной функциями. По результатам расчетов  $\delta \approx 2,6\%$ , что говорит о приемлемости полученного результата. Для рассматриваемых характеристик значения аппроксимирующей функции в соответствующие интервалы времени, вычисленные в соответствии с (7), представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики миноискателей, вычисленные по аппроксимирующим функциям

Технические характеристики	Расчетные значения ТТХ миноискателей по годам								
	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Глубина обнаружения ПТМ, см	36	41	42	44	49	60	82	118	<b>171</b>
Глубина обнаружения ППМ, см	3	5	6,6	8	9,7	12	15,4	20,1	<b>27</b>
Производительность поиска, м <sup>2</sup> /ч: лежа стоя	97	110	123	136	149	162	175	188	<b>201</b>
	189	217	236	254	275	306	352	419	<b>513</b>
Количество ложных срабатываний на одну обнаруженную мину	–	–	–	1000	698	432	202	8	<b>0,001</b>
Вероятность обнаружения мины	–	–	–	0,802	0,84	0,878	0,916	0,954	<b>0,992</b>

Анализ полученных значений (табл. 2) показывает, что к 2020 году прогнозируется улучшение характеристик миноискателей. Увеличивается производительность поиска взрывоопасных объектов, возрастает максимальная глубина их обнаружения, которая на примере противопехотной мины составляет до 27 см. Прогнозируется существенное снижение количества ложных срабатываний до  $10^{-3}$  на одну обнаруженную мину и повышение вероятности их обнаружения до 0,992.

### Заключение

Предложенный метод прогнозирования характеристик перспективных образцов радиотехники использован для оценки перспектив использования миноискателей [3, 6, 7].

Натурные испытания с использованием макета перспективной системы подповерхностного зондирования, выполненные в [3, 7, 8], подтвердили полученные расчетные значения (табл. 2). Установлено, что глубина обнаружения малоразмерной противопехотной мины (ППМ) составляет порядка 30 см. Вероятность обнаружения мины увеличивается (стремится к величине 0,99), а количество ложных срабатываний снижается (стремится к величине  $10^{-3}$ ). Такие результаты стали возможны за счет разработки современных алгоритмов обнаружения, измерения и распознавания заглубленных объектов [3, 6–8].

## PREDICTION OF RADIO SYSTEM CHARACTERISTICS BY EXTRAPOLATION

A.V. HRUNKEVICH

### Abstract

The development of modern technique sample associated with a significant consumption of material and financial resources. In this regard methodological apparatus for forecasting potential characteristics of developed sample and assess its prospects is necessary. The results can be used by making decisions on the design, manufacture and operation of complex radio technical systems.

*Keywords:* radio technical system, characteristics prediction, technical level of the sample.

### Список литературы

1. ГОСТ 2.116-84: Карта технического уровня и качества продукции.
2. *Тумащук В.А., Гринкевич А.В., Гуринович А.Н.* // Наука и военная безопасность. 2015. № 1. С. 44–51.
3. Обоснование возможностей применения радиолокационного способа обнаружения взрывоопасных объектов на основе адаптивных методов обработки сигналов и экспериментальные исследования системы подповерхностного зондирования. Разработка рекомендаций по применению радиолокационного способа обнаружения взрывоопасных объектов (шифр «Грунт»): отчет о НИР (промежуточный) / ГУ «НИИ ВС РБ»; рук. темы С.А. Савенко. Минск. 2013.
4. *Гринкевич А.В., Брызгин Е.Ю., Савенко С.А.* // Наука и военная безопасность. 2012. № 3 С. 31–36.
5. ГОСТ Р 54500.1–2011/ Руководство ИСО/МЭК 98–162009. Неопределенность измерения. Введение в руководство по неопределенности измерения.
6. *Брызгин Е.Ю., Гринкевич А.В.* // Докл. БГУИР. 2014. № 7 (85). С. 14–20.
7. Перспективные направления развития системы подповерхностного зондирования // Обоснование возможностей применения радиолокационного способа обнаружения взрывоопасных объектов на основе адаптивных методов обработки сигналов и экспериментальные исследования системы подповерхностного зондирования. Разработка проекта технического задания на проведение ОКР по изготовлению опытного образца системы подповерхностного обнаружения взрывоопасных объектов (шифр «Грунт»): отчет о НИР (заключительный) / ГУ «НИИ ВС РБ»; рук. темы С.А. Савенко. Минск, 2014.
8. *Савенко С.А., Малевич И.Ю., Чугай К.Н. и др.* // Наука и военная безопасность. 2013. № 3. С. 20–27.