

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТИ / ECONOMICS, MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF THE RADIO INDUSTRY

DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-4-76-84
УДК 338.245:623.62

Прогнозирование стоимости средств измерений

Р. С. Аносов¹, Д. М. Бывших¹, С. Г. Зеленская¹

¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Россия

На стоимость электронных средств измерений влияют их технические характеристики и конструктивные факторы. Причем эта зависимость зачастую носит сложный нелинейный характер, что значительно усложняет построение адекватного прогноза стоимости. При обосновании состава сложных измерительных комплексов ошибка может быть значительной и привести к выбору неоптимального решения. Поэтому повышение качества прогнозов стоимости средств измерений, входящих в состав системы испытаний радиоэлектронной техники специального назначения, является актуальной задачей. При рассмотрении основных подходов к прогнозированию стоимости средств измерений применен аппарат из различных экономико-математических методов: математическая статистика, качественный анализ основных характеристик и факторов, определяющих стоимость средств измерений, сравнительный анализ технического уровня образцов радиоэлектронной техники, метод аналога. В качестве примера рассматриваются аддитивные и мультипликативные модели для практических расчетов стоимости генераторов высокочастотных сигналов и анализаторов спектра как функции технических характеристик этих приборов. Определены корректирующие функции, применение которых значительно повышает точность прогнозирования, что доказывает целесообразность использования таких функций в прогнозных моделях стоимости измерительной техники.

Ключевые слова: система испытаний, измерительная техника, стоимость, прогнозирование, метод аналога, корректирующая функция

Для цитирования:

Аносов Р. С., Бывших Д. М., Зеленская С. Г. Прогнозирование стоимости средств измерений // Радиопромышленность. 2018. Т. 28, № 4. С. 76–84. DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-4-76-84

© Аносов Р. С., Бывших Д. М., Зеленская С. Г., 2018



Forecasting the cost of the means of measuring

R. S. Anosov¹, D. M. Byvshikh¹, S. G. Zelenskaya¹

¹ Military Educational and Scientific Center of air force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia

The cost of electronic measuring instruments is influenced by their technical characteristics and design factors. Moreover, this influence is often complex non-linear in nature, which greatly complicates the construction of an adequate cost forecast. When justifying the composition of complex measuring systems, the error can be significant and lead to a non-optimal solution. Therefore, improving the quality of forecasts of measuring instruments cost, that are part of the system for testing special-purpose electronic equipment is an urgent task, which is considered in the presented article. When considering the main approaches to forecasting measuring instruments cost, the apparatus of economic and mathematical methods is applied: mathematical statistics, qualitative analysis of the main characteristics and factors determining the measuring instruments cost, comparative analysis of the technical level of radio-electronic equipment samples, and the analog method. As an example, additive and multiplicative models are considered for practical calculations of the cost of high-frequency signal generators and spectrum analyzers as a function of the technical characteristics of these devices. Corrective functions have been identified, the use of which significantly improves the accuracy of forecast, which proves the feasibility of using such functions in forecast models of the measuring equipment cost.

Keywords: test system, measuring equipment, cost, forecasting, analog method, correction function

For citation:

Anosov R. S., Byvshikh D. M., Zelenskaya S. G. Forecasting the cost of the means of measuring. Radiopromyshlennost, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 76–84. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-4-76-84

Введение

Для современной системы испытаний [1] радиоэлектронной техники специального назначения (РТСН) прослеживается устойчивая тенденция динамичного расширения функциональных возможностей, повышения тактико-технических характеристик, конструктивной и технологической сложности [2]. Это влечет за собой существенный рост стоимости входящих в состав такой системы средств измерений. В этих условиях одной из важнейших задач при выборе рационального варианта построения системы испытаний РТСН является оценка затрат при заключении контрактов на закупку компонентов, включая и измерительные приборы. Следует отметить, что отмечаются как «недостаток финансовых средств» для формирования эффективной системы испытаний, так и «слабо контролируемый рост цен» на средства измерений [2]. Такое положение частично обусловлено тем, что производители зачастую необоснованно завышают стоимость, а используемые для контроля цен существующие модели не позволяют строить адекватные прогнозы стоимости серийного производства средств измерений.

С учетом требований сокращения ресурсных затрат на проведение испытаний [2] сказанное обуславливает актуальность совершенствования методологии технико-экономического анализа [3–5] в части разработки моделей оценки стоимости

серийных образцов средств измерений, что и является целью работы.

Модели прогнозирования стоимости

Все методы прогнозирования стоимости изделий можно условно разбить на две группы [6]:

1. фактографические (формализованные);
2. экспертные (интуитивные).

В свою очередь формализованные методы подразделяют на статистические и метод аналога. Рассмотрим статистический подход.

Стоимость серийного производства технических систем, в том числе и средств измерений C , характеризуется как внутрисистемными параметрами ζ (техническим и технологическим уровнем [7–9] – тактико-техническими характеристиками изделия, его конструктивными особенностями, ремонтнопригодностью, надежностью, модернизационной пригодностью [10], уровнем унификации [11]), так и внешнесистемными ξ (производственными технологиями, уровнем межпроектной унификации, микро- и макроэкономическими условиями, выраженными в региональных поправочных коэффициентах, дефляторах, коэффициентах нормативной прибыли предприятия, показателях объема серии или поправках на осваиваемое производство и т.п.) [3, 4]:

$$C = C(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m), \quad (1)$$

где индексы n, m – число рассматриваемых соответственно внутрисистемных и внешнесистемных параметров.

В рамках настоящей статьи разбираются внутрисистемные параметры. Основными внешнесистемными параметрами являются техническая оснащенность предприятия, принятые нормативы ценообразования на продукцию (нормативная прибыль, НДС, уровень накладных расходов, уровень инфляции), использование импортных материалов и комплектующих.

Рассмотрим, например, традиционную линейную регрессию для цены генераторов высокочастотных сигналов C :

$$C = \sum_i b_i \zeta_i + const, \quad (2)$$

где b_i – коэффициент регрессии; ζ_i – характеристика или конструктивная особенность (внутрисистемный параметр) генератора; $const$ – постоянная величина, отражающая часть стоимости, слабо зависящей от технических характеристик.

Исходные данные для построения регрессии приведены в табл. 1. Поскольку рассматриваемые в таблице изделия являются продукцией одного и того же предприятия, то будем считать, что внешнесистемные параметры неизменны и не влияют на уровень цены. Применяя метод наименьших квадратов для линейной зависимости, построим систему нормальных уравнений и определим значения b_i по формуле

$$\mathbf{b} = (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{c}. \quad (3)$$

Таблица 1. Характеристики генераторов высокочастотных сигналов*
Table 1. Characteristics of high-frequency signal generators

Наименование / Name	Цена C , р. (по состоянию на 21.01.2017) / Price C , r. (as of 21.01.2017)	Частотный диапазон ζ_1 , МГц / Frequency range ζ_1 , MHz	Число типов модуляции ζ_2 / Number of modulation types ζ_2	Число стандартных форм сигналов ζ_3 / Number of standard waveforms ζ_3	Вес ζ_4 , кг / Weight ζ_4 , kg
ADG-4302	103 722,00	300	4	2	3,8
ADG-4351	107 734,00	350	5	1	3,0
ADG-4401	119 947,00	450	5	1	3,0
AHP-4115	78 411,00	110	4	5	4,0
AHP-4305	234 348,00	160	6	5	4,0
AWG-4082	59 177,00	80	8	5	2,8
AWG-4083	66 434,00	80	8	5	3,0
AWG-4105	28 668,00	5	6	5	2,8
AWG-4110	28 910,00	10	6	5	2,8
AWG-4112	25 960,00	10	4	5	3,0
AWG-4122	88 559,00	120	8	5	2,8
AWG-4123	93 397,00	120	8	5	3,0
AWG-4124	28 320,00	25	4	5	3,0
AWG-4150	46 079,00	50	6	5	2,8
AWG-4151	69 561,00	150	5	6	3,0
AWG-4152	35 990,00	50	5	5	3,0
AWG-4162	105 551,00	160	8	5	2,8
AWG-4162	99 238,00	160	8	5	2,8
AWG-4163	112 867,00	160	8	5	3,0
AWG-4164	39 990,00	60	5	5	3,0

* URL: https://market.yandex.ru/catalog/54576/list?text=AWG-4083&hid=3465066&rt=9&was_redir=1&srnum=3&rs=eJwzUjZS5JLn4uX4flZVgFGCQXXytEZbLj6OV_suMwowSDCrCj5PtAMaouQJbQ%2C%2C&local-offers-first=0 (дата обращения: 22.10.2018).

Здесь \mathbf{b} – вектор-столбец коэффициентов регрессии; \mathbf{Z} – матрица реализаций параметров-характеристик ζ_i ; \mathbf{c} – вектор-столбец реализаций стоимости.

На основе исходных данных, приведенных в табл. 1, построена регрессия, имеющая вид

$$C = 277,47\zeta_1 + 7557,35\zeta_2 + 3282,31\zeta_3 - 9070,77\zeta_4. \quad (4)$$

Так, для ADG-4351 рассчитанная по (4) стоимость составит 110971,3 р. при реальной – 107734,0 р.

Наряду с аддитивной моделью (формула (2)) часто используют мультипликативную. Рассмотрим зависимость стоимости изделия C от его параметров как нелинейную множественную регрессию:

$$C = const \prod_{i=1}^n \zeta_i^{b_i^\zeta} \prod_{j=1}^m \xi_j^{b_j^\xi}, \quad (5)$$

где $const$ – масштабный (корректирующий) коэффициент; n, m – число рассматриваемых соответственно внутрисистемных и внешнесистемных параметров; ζ_i – i -я характеристика или конструктивная особенность изделия; ξ_j – j -е условие производства изделия; b_i^ζ, b_j^ξ – коэффициент регрессии, отражающий вес соответственно i -й характеристики и j -го условия производства изделия.

Входящие в уравнение регрессии (5) коэффициенты приближенно определяют с использованием метода наименьших квадратов, так же как и в случае линейной, однако для использования указанного метода предварительно приводят нелинейную зависимость к линейной посредством логарифмирования:

$$\ln(C) = \ln(const) + \sum_{i=1}^n b_i^\zeta \ln(\zeta_i). \quad (6)$$

Одним из часто используемых в прогнозировании средств измерений для испытательных комплексов является метод аналога [4]. Формулы для прогнозирования стоимости изделия C с использованием аналога для аддитивной модели в общем случае имеют следующий вид:

$$C = C^a + \sum_{i=1}^n b_i^\zeta (\zeta_i - \zeta_i^a) + \sum_{j=1}^m b_j^\xi (\xi_j - \xi_j^a), \quad (7)$$

а для мультипликативной модели [12, 13]

$$C = C^a \prod_{i=1}^n \left(\frac{\zeta_i}{\zeta_i^a} \right)^{b_i^\zeta} \prod_{j=1}^m K_j^{b_j^\xi} (\xi_j, \xi_j^a), \quad (8)$$

где C^a – стоимость аналога изделия; n, m – общее число рассматриваемых соответственно характеристик и условий; ζ_i, ζ_i^a – значение i -й характеристики соответственно изделия и аналога; b_i^ζ, b_j^ξ – вес соответственно i -й характеристики и j -го условия; ξ_j, ξ_j^a – значение j -го условия соответственно для изделия и аналога; $K_j(\xi_j, \xi_j^a)$ – функция (коэффициент), учитывающий различия условий производства изделия и его аналога.

В качестве примера прогнозирования стоимости средств измерений рассмотрим стоимость анализаторов спектра. Исходные данные для регрессионного анализа представлены в табл. 2, а также в табл. 3 (после логарифмирования).

Выражение для регрессии после потенцирования имеет следующий вид:

$$C = 0,59D^{0,44} N^{0,76} N_F^{1,82} M^{-0,06} A^{0,68}. \quad (9)$$

Рассчитанное фактическое значение F -критерия Фишера [12] составляет 18,6, что говорит о статистической значимости модели (9).

То есть для прогнозирования стоимости анализатора спектра методом аналога с учетом (4) и (8) можно рекомендовать выражение

$$C = C^a \left(\frac{D}{D^a} \right)^{0,44} \left(\frac{N}{N^a} \right)^{0,76} \left(\frac{N_F}{N_F^a} \right)^{1,82} \left(\frac{M}{M^a} \right)^{-0,06} \left(\frac{A}{A^a} \right)^{0,68} \times \prod_{j=1}^m K_j(\xi_j, \xi_j^a), \quad (10)$$

где индекс a относится к аналогу.

Использование корректирующих функций

Отметим, что базой для оценки стоимости образца через стоимость аналога является сопоставление характеристик образца ζ_i и аналога ζ_i^a как в аддитивных моделях, так и в мультипликативных [3, 4, 13, 14]. Однако особенностью средств измерений является наличие технических характеристик, влияние которых на стоимость изделия носит нелинейный характер. Это связано прежде всего с тем, что приращение значений технических характеристик при уровнях, близких к технологически (или даже физически) достижимым в настоящее время уровням, связано со значительными затратами. Кроме того, влияют и особенности определения технической характеристики. Например, при вероятности определения параметров сигналов в заданных пределах с ошибкой, равной 0,7, любое повышение стоимости изделия не позволит увеличить значение этого параметра более чем в $1/0,7 \approx 1,43$ раза. Поэтому вместо отношений технических характеристик изделия и его аналога при прогнозировании стоимости средств измерений целесообразно использовать для каждой характеристики свою функцию:

$$C = C^a \prod_{i=1}^n \left(\frac{f^i(\zeta_i)}{f^i(\zeta_i^a)} \right)^{w_i} \prod_{j=1}^m K_j(\xi_j, \xi_j^a), \quad (11)$$

где $f^i(\zeta_i), f^i(\zeta_i^a)$ – функция, определяющая характер влияния на стоимость i -й характеристики соответственно образца и аналога.

На основе качественного анализа стоимостных данных и технических характеристик средств измерений, а также работ по сравнительному анализу

технического уровня радиоэлектронной аппаратуры [13–16] предложены корректирующие функции, представленные в табл. 4.

В качестве иллюстрации применим корректирующую функцию к переменной функциональности \sqrt{A}

(см. примечание к табл. 2). Отметим, что корректирующая функция частотного диапазона уже применена в табл. 3. Таблица исходных данных будет отличаться от табл. 3 последним столбцом (табл. 5), значения других характеристик равны значениям из табл. 3.

Таблица 2. Характеристики анализаторов спектра*
Table 2. Characteristics of spectrum analyzers

Наименование / Name	Цена C , р. (по состоянию на 27.01. 2017) / Price C , r. (as of 27.01. 2017)	Диапазон D / Range D	Средний уровень собственного шума N , –дБм / Average inherent noise level N , –dBm	Фазовый шум N_F , –дБн/Гц (при отстройке частоты 10 кГц) / Phase noise N_F , –dBn/Hz (at frequency offset 10kHz)	Погрешность измерения уровня M , дБ / Level measurement error M , dB	Функциональность (дополнительные функции, комплектация) A^{**} / Functionality (additional functions, equipment) A^{**}
DSA815	58750	9 кГц – 1,5 ГГц	135	80	1,5	+
DSA815-TG	67550	9 кГц – 1,5 ГГц	135	80	1,5	+
DSA1020	156000	9 кГц – 2 ГГц	120	80	1,5	++
DSA1030	195000	9 кГц – 3 ГГц	138	80	0,4	++
DSA1030A	242000	9 кГц – 3 ГГц	148	88	0,4	+++
DSA1030A-TG	242000	9 кГц – 3 ГГц	148	88	0,4	+++
E4408B	712711	9 кГц – 26,5 ГГц	130	94	1,1	+++
GA4063	202285	9 кГц – 3 ГГц	148	95	1,0	+++
GA4063-TG	224814	9 кГц – 3 ГГц	148	95	1,0	+++
GSP-7830	189329	9 кГц – 3 ГГц	152	75	1,5	++
GSP-7930	218304	9 кГц – 3 ГГц	139	113	1,5	++
MS2692A	1809780	50 Гц – 26,5 ГГц	155	113	0,5	+++++
N1996A-506	592970	100 кГц – 6 ГГц	156	80	0,5	++++
N9000A-507	620350	9 кГц – 7,5 ГГц	157	88	0,5	++++
N9010A-507	1236540	9 кГц – 7 ГГц	162	105	0,3	+++++
N9020A-503	1317672	20 Гц – 3,6 ГГц	166	114	0,3	+++++
N9038A	1325400	20 Гц – 8,4 ГГц	167	106	0,75	+++++
N9320A	282800	9 кГц – 3 ГГц	148	88	2,0	++
N9340A	375672	100 кГц – 3 ГГц	144	87	1,5	++
N9340B	329307	100 кГц – 3 ГГц	124	87	1,5	+
N9342C	497134	100 Гц – 7 ГГц	152	86	0,6	+++
N9343C	577079	1 МГц – 13,6 ГГц	152	86	0,6	+++
RSA5103A	1298448	1 Гц – 3 ГГц	154	113	0,5	+++++

** Приведены экспертные оценки функциональных возможностей изделия, его конструктивных преимуществ (наличие трекинг-генератора, вид интерфейса, качество монитора, программное обеспечение и т.д.) и комплектации. Характеристика оценивается в баллах, количество баллов соответствует количеству знаков «+».

* Анализаторы спектра Rigol [Электронный ресурс]. URL: http://www.irit.ru/products/index.php?SECTION_ID=1298&SHOWALL_1=1&referer1=search&referer2=yandex&yclid=6242565611947825168 (дата обращения: 22.10.2018).

Таблица 3. Данные для регрессионного анализа
Table 3. Data for regression analysis

Наименование / Name	Цена lnC / Price lnC	Диапазон lnD / Range lnD	Средний уровень собственного шума lnN / Average inherent noise level lnN	Фазовый шум lnNF / Phase noise lnNF	Погрешность измерения lnM / Measuring error lnM	Функциональность (дополнительные функции, комплектация) lnA / Functionality (additional functions, equipment) lnA
DSA815	10,9810	0,4055	4,9053	4,3820	-0,4055	0,0000
DSA815-TG	11,1206	0,4055	4,9053	4,3820	-0,4055	0,0000
DSA1020	11,9576	0,6931	4,7875	4,3820	-0,4055	0,6931
DSA1030	12,1808	1,0986	4,9273	4,3820	0,9163	0,6931
DSA1030A	12,3967	1,0986	4,9972	4,4773	0,9163	1,0986
DSA1030A-TG	12,3967	1,0986	4,9972	4,4773	0,9163	1,0986
E4408B	13,4768	3,2771	4,8675	4,5433	-0,0953	1,0986
GA4063	12,2174	1,0986	4,9972	4,5539	0,0000	1,0986
GA4063-TG	12,3230	1,0986	4,9972	4,5539	0,0000	1,0986
GSP-7830	12,1512	1,0986	5,0239	4,3175	-0,4055	0,6931
GSP-7930	12,2936	1,0986	4,9345	4,7274	-0,4055	0,6931
MS2692A	14,4087	3,2771	5,0434	4,7274	0,6931	1,7918
N1996A-506	13,2929	1,7918	5,0499	4,3820	0,6931	1,3863
N9000A-507	13,3380	2,0149	5,0562	4,4773	0,6931	1,3863
N9010A-507	14,0278	1,9459	5,0876	4,6540	1,2040	1,6094
N9020A-503	14,0914	1,2809	5,1120	4,7362	1,2040	1,6094
N9038A	14,0972	2,1282	5,1180	4,6634	0,2877	1,6094
N9320A	12,5525	1,0986	4,9972	4,4773	-0,6931	0,6931
N9340A	12,8365	1,0986	4,9698	4,4659	-0,4055	0,6931
N9340B	12,7047	1,0986	4,8203	4,4659	-0,4055	0,0000
N9342C	13,1166	1,9459	5,0239	4,4543	0,5108	1,0986
N9343C	13,2657	2,6101	5,0239	4,4543	0,5108	1,0986
RSA5103A	14,0767	1,0986	5,0370	4,7274	0,6931	1,7918

Рассчитанные коэффициенты w_i в (11) составили 0,42; 0,605; 1,75; -0,093; 1,42 при $const = 1,82$.

При этом регрессионная статистика показывает снижение стандартной ошибки с 0,42 до 0,40 и повышение значимости по критерию Фишера с 18,6 до 19,6 относительно модели (9). Выражение (11) запишем в виде

$$C = C^a \left(\frac{D}{D^a}\right)^{0,42} \left(\frac{N}{N^a}\right)^{0,605} \left(\frac{N_F}{N_F^a}\right)^{1,75} \left(\frac{M}{M^a}\right)^{-0,093} \left(\frac{\sqrt{A}}{\sqrt{A^a}}\right)^{1,42} \times \prod_{j=1}^m K_j(\xi_j, \xi_j^a) \quad (12)$$

В качестве примера рассчитаем прогнозную стоимость изделия с характеристиками, соответствующими анализатору RSA5103A. За базовое изделие-аналог примем N9320A. Внешнесистемные параметры для рассматриваемого изделия ξ_j и аналога, ξ_j^a полагаем равнозначными. В соответствии с (10)

$$C = 282800 \left(\frac{3}{3}\right)^{0,44} \left(\frac{154}{148}\right)^{0,76} \left(\frac{113}{88}\right)^{1,82} \left(\frac{0,5}{2,0}\right)^{-0,06} \left(\frac{6}{2}\right)^{0,68} \approx 1053917,5 \text{ р.}$$

Ошибка прогнозирования составляет 23%.

Таблица 4. Корректирующие функции для характеристик средств измерений
Table 4. Corrective functions for measuring instruments characteristics

Параметр / Parameter	Корректирующая функция $f(\zeta_i)$ / Correction function $f(\zeta_i)$	Характеристика ζ_i / Characteristic ζ_i
Производительность	$1/B$	B – скорость измерений (время измерения, анализа и пересылки данных)
Универсальность	\sqrt{N}	N – количество одновременно оцениваемых характеристик сигналов или количество классов формируемых сигналов
Функциональность	\sqrt{A}	A – количество выполняемых функций или конструктивные преимущества (наличие специальных подсистем, вид интерфейса, качество монитора, программное обеспечение и т.д., а также комплектация)
Точность измерений	$\ln(1 - Q)$	Q – вероятность измерения с заданным пределом допустимой ошибки
Дальность	L^2	L – дальность действия
Надежность	$\ln(1 - \eta)$	η – вероятность безотказной работы
Чувствительность приемника	\sqrt{m}	m – чувствительность
Излучаемая мощность	\sqrt{w}	w – излучаемая мощность
Частотный диапазон	$\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$	F_{\max}, F_{\min} – верхняя и нижняя границы частотного диапазона

Таблица 5. Данные при использовании корректирующей функции
Table 5. Data at the use the corrective function

Наименование / Name	...	Функциональность $\ln\sqrt{A}$ / Functionality $\ln\sqrt{A}$
DSA815	...	0
DSA815-TG	...	0
DSA1020	...	0,3465
DSA1030	...	0,3465
DSA1030A	...	0,3465
DSA1030A-TG	...	0,5493
E4408B	...	0,5493
GA4063	...	0,5493
GA4063-TG	...	0,5493
GSP-7830	...	0,3465
GSP-7930	...	0,3465
MS2692A	...	0,8958
N1996A-506	...	0,6931
N9000A-507	...	0,6931
N9010A-507	...	0,8047
N9020A-503	...	0,8047
N9038A	...	0,8047
N9320A	...	0,3465
N9340A	...	0,3465
N9340B	...	0
N9342C	...	0,5493
N9343C	...	0,5493
RSA5103A	...	0,8958

В соответствии с (12), т.е. при использовании корректирующей функции, стоимость изделия составит

$$C = 282800 \left(\frac{3}{3}\right)^{0,42} \left(\frac{154}{148}\right)^{0,605} \left(\frac{113}{88}\right)^{1,75} \left(\frac{0,5}{2,0}\right)^{-0,093} \left(\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{2}}\right)^{1,42} \approx 1129976,2 \text{ р.}$$

Ошибка прогнозирования составляет 15%. Таким образом, использование корректирующей функции обеспечивает результат с меньшей погрешностью. Сходные результаты по применению предлагаемых корректирующих функций получены и для других типов средств измерений.

Выводы

Показано, что стоимость как функция технических характеристик измерительной техники имеет более сложную зависимость, чем линейная. Это отчасти отражает тот факт, что приближение к предельным значениям технических характеристик требует значительного повышения усилий и, в конечном итоге, увеличения стоимости. Предельность значений может быть обусловлена либо конструктивными причинами (на данном отрезке

технического и технологического развития достижение таких значений невозможно), либо физическими (достижение таких значений характеристик невозможно в принципе). В общем случае для каждой характеристики эта зависимость имеет свой вид. Поэтому при построении моделей стоимости необходимо использовать корректирующие функции, что позволяет повысить точность прогноза. Для доказательства этого положения на основе одних и тех же исходных данных построены модели стоимости, включающие корректирующие функции и нет. Модели стоимости с использованием корректирующих функций показали более высокую точность прогнозирования.

Зависимости носят упрощенный характер и приведены для иллюстрации целесообразности применения корректирующих функций. Для построения моделей с целью практического использования необходим более тщательный учет функциональных возможностей, характеристик, конструктивных особенностей и комплектации средств измерений. Предложенный подход может быть полезным при технико-экономическом обосновании создания и совершенствования системы испытаний специального назначения [1].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Формализованный* подход к генерации рациональных вариантов развития системы испытаний техники радиоэлектронной борьбы / С.Н. Панычев, Д.М. Бывших, С.В. Суровцев, Н.А. Самоцвет // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 3–1. С. 71–75.
2. *Буренок В.М., Стахлич Л.В.* Совершенствование испытательного комплекса Министерства обороны Российской Федерации // Военная мысль. 2007. № 12. С. 16–19.
3. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Оценка затрат на создание высокотехнологичной продукции // Компетентность. 2015. № 6. С. 32–37.
4. *Лавринов Г.А., Хрусталева Е.Ю.* Методы прогнозирования цен на продукцию военного назначения // Проблемы прогнозирования. 2006. № 1. С. 87–96.
5. *Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З.* К оптимальному управлению показателями эффективности парка контрольно-измерительной техники // Вестник МГСУ. 2017. № 5 (104). С. 564–571.
6. *Льюис К.Д.* Методы прогнозирования экономических показателей. М.: Финансы и статистика, 1986. 318 с.
7. *Emblemsvag J.* Activity based life cycle costing. Managerial Auditing Journal, 2001, vol. 16, iss. 1, pp. 17–27. DOI: 10.1108/02686900110363447.
8. *Korpi E., Ala-Risku T.* Life cycle costing: a review of published case studies. Managerial Auditing Journal, 2008, vol. 23, no. 3, pp. 240–261.
9. *Батьковский А.М.* Оценка технического и технологического уровня продукции специального назначения // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: сборник статей Международной научно-практической конференции. Ч. 2. Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. С. 17–19.
10. *Бывших Д.М., Дмитриев А.В., Жуков А.М.* Экономико-математические модели оценки военно-экономической целесообразности создания образцов техники радиоэлектронной борьбы с высокой модернизационной пригодностью // Вооружение и экономика. 2013. № 2. С. 80–90.
11. *Эффективность* мероприятий по унификации и импортозамещению высокотехнологичной продукции / А.М. Батьковский, А.В. Леонов, А.Ю. Пронин, А.В. Фомина // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 6. С. 132–142.
12. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
13. *Арепин Ю.И., Зосиев В.В., Домира Р.В.* Тактические особенности обоснования стоимости жизненного цикла образцов вооружения и военной техники // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 123–126.
14. *Акиншин О.Н., Старожук Е.А.* Методика определения базисной цены на НИОКР образцов вооружения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 1. С. 348–356.
15. *Авдонин Б.Н., Батьковский А.М., Хрусталева Е.Ю.* Методический подход к определению контрактных цен на продукцию военного назначения // Электронная промышленность. 2014. № 3. С. 59–68.
16. *Гольдштейн Г.Я.* Стратегические аспекты управления НИОКР. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 244 с.

REFERENCES

1. Panychev S. N., Byvshikh D. M., Surovtsev S. V., Samotzvet N. A. Formalized approach to the generation of rational options for the development of the system of testing of electronic warfare. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, vol. 10, no. 3–1, pp. 71–75. (In Russian).
2. Burenok V. M., Stahlich L. V. Improvement of the test facility about the Ministry of defense of the Russian Federation. *Voennaya mysl*, 2007, no. 12, pp. 16–19. (In Russian).
3. Leonov A. V., Pronin, A. Yu. Evaluation of the cost of creating high-tech products. *Kompetentnost*, 2015, no. 6, pp. 32–37. (In Russian).
4. Lavrinov G. A., Khrustalev E. Yu. Methods of forecasting of prices for military products. *Problemy prognozirovaniya*, 2006, no. 1, pp. 87–96. (In Russian).
5. Marichev P. A., Kornev, S. A., Khayrullin R. Z. To optimal management performance indicators park test and measurement equipment. *Vestnik MGSU*, 2017, no. 5 (104), pp. 564–571. (In Russian).
6. Lewis K. D. *Metody prognozirovaniya ekonomicheskikh pokazatelei* [Methods of forecasting economic indicators]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1986, 318 p. (In Russian).
7. Emblemsvag J. Activity based life cycle costing. *Managerial Auditing Journal*, 2001, vol. 16, iss. 1, pp. 17–27. DOI: 10.1108/02686900110363447.
8. Korpi E., Ala-Risku T. Life cycle costing: a review of published case studies. *Managerial Auditing Journal*, 2008, vol. 23, no. 3, pp. 240–261.
9. Batkovskii A. M. Otsenka tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo urovnya produktsii spetsialnogo na-znacheniya. *Sintez nauki i obshchestva v reshenii globalnykh problem sovremennosti: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The synthesis of science and society in the solution of global problems of the modern world: collected articles of International scientific-practical conference]. P. 2. Ufa, MTsII OMEGA SAINS Publ., 2016, pp. 17–19. (In Russian).
10. Byvshikh D. M., Dmitriev A. V., Zhukov A. M. Economic-mathematical assessment model of military-economic expediency of creation of samples of electronic warfare equipment with high modernization suitability. *Vooruzhenie i ekonomika*, 2013, no. 2, pp. 80–90. (In Russian).
11. Batkovskiy M. A., Leonov A. V., Pronin A. Yu., Fomina A. V. Effectiveness of measures for the unification and import substitution of high-tech products. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 6, pp. 132–142. (In Russian).
12. Kobzar A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (In Russian).
13. Arepin Y. I., Sociev V. V., Dopira R. V. Tactical features of a substantiation of life cycle cost models of weapons and military equipment. *Programmnye produkty i sistemy*, 2013, no. 2, pp. 123–126. (In Russian).
14. Akinshin O. N., Staroghuk A. E. Methodology of price formation for armament specimens research and development. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskoe nauki*, 2013, no. 1, pp. 348–356. (In Russian).
15. Avdonin B. N., Batkovskii A. M., Khrustalev E. Yu. Methodological approach to determination of contract prices on military products. *Elektronnaya promyshlennost*, 2014, no. 3, pp. 59–68. (In Russian).
16. Goldshtein G. Ya. *Strategicheskie aspekty upravleniya NIOKR* [Strategic aspects of R & d management]. Taganrog, Izdatelstvo TRTU Publ., 2000, 244 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аносов Роман Сергеевич, к.т.н., доцент, начальник отдела, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а, тел.: +7 (919) 243-53-84, e-mail: an_rs@list.ru.

Бывших Дмитрий Михайлович, к.т.н., старший научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а, тел.: +7 (919) 189-57-99, e-mail: biwshih2013@yandex.ru.

Зеленская Светлана Геннадьевна, к.э.н., старший научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а, тел.: +7 (920) 401-87-36, e-mail: zelenskaya8@list.ru.

AUTHORS

Roman S. Anosov, Ph.D. (Engineering), associate professor, head of division, professor, Military Educational and Scientific Center of air force «N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy», 54a, ulitsa Starykh Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, tel.: +7 (919) 243-53-84, e-mail: an_rs@list.ru.

Dmitrij M. Byvshikh, Ph.D. (Engineering), senior researcher, professor, Military Educational and Scientific Center of air force «N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy», 54a, ulitsa Starykh Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, tel.: +7 (919) 189-57-99, e-mail: biwshih2013@yandex.ru.

Svetlana G. Zelenskaya, Ph.D. (Economics), senior researcher, professor, Military Educational and Scientific Center of air force «N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy», 54a, ulitsa Starykh Bolshevikov, Voronezh, 394064, Russia, tel.: +7 (920) 401-87-36, e-mail: zelenskaya8@list.ru.

Поступила 01.10.2018; принята к публикации 19.10.2018; опубликована онлайн 23.11.2018.
Submitted 01.10.2018; revised 19.10.2018; published online 23.11.2018.