

## МНОГОФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ ИННОВАЦИЙ В ОРУЖИИ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

*В статье рассмотрен основанный на методах корреляционного и регрессионного анализа подход к прогнозированию числа включенных в государственный оборонный заказ научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию образцов (составных частей, элементов) ВВСТ на основе инноваций в зависимости от объема рассмотренных предложений (технических решений) и количества проведенных практических апробаций (демонстрационных испытаний).*

**Ключевые слова:** вооружение; военная и специальная техника; инновация; практическая апробация; государственный оборонный заказ; регрессионная модель.

Реализуемый Минобороны России инновационный путь развития системы вооружения Вооруженных Сил РФ<sup>1</sup> предполагает внедрение принципиально новых научно-технических решений, инновационных технологий, элементов электронной компонентной базы, материалов, обеспечивающих существенное улучшение тактико-технических характеристик образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и создаваемых организациями РАН, высшей школы, предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и государственными научными центрами в рамках различных, в том числе инициативных, научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (НИОКР) [1].

В Минобороны России с 2013 года проводится системная работа в рамках НИР, включенных в государственный оборонный заказ (ГОЗ), по поиску, военно-технической оценке, практической апробации инновационных решений в приближенных к реальным условиям [2; 5].

Однако до настоящего момента отсутствуют формализованные механизмы прогнозирования заказывающими органами военного управления потенциальных результатов данной деятельности в зависимости от затраченных на поиск, военно-техническую оценку и практическую апробацию усилий и ресурсов. В настоящей статье представлен подход к решению данной задачи на основе методов корреляционного и регрессионного анализа [3; 4], использование которых стало возможным с учетом накопленной с 2014 года статистической информации.

В качестве целевого показателя в статье рассматривается количество включенных в ГОЗ НИОКР по созданию образцов (составных частей, элементов) ВВСТ на основе инноваций. К числу факторов, влияющих на целевой показатель, отнесены количество рассмотренных предложений (технических решений, эффектов, методов, технологий), годовой объем выделенных на проведение демонстрационных испытаний ассигнований и число проведенных практических апробаций. Ориентировочные значения указанных выше показателя и факторов за период с 2014 по 2021 гг. приведены в таблице 1.

В интересах оценки степени корреляции целевого показателя и управляющих факторов был произведен расчет коэффициентов корреляции по классической модели Пирсона<sup>2</sup>:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{средн}})(y_i - y_{\text{средн}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{средн}})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - y_{\text{средн}})^2}}, \quad (1)$$

где  $r_{xy}$  – коэффициент корреляции рядов  $X$  и  $Y$ ;  $x_i$  –  $i$ -е значение ряда  $X$ ;  $y_i$  –  $i$ -е значение ряда  $Y$ ;  $N$  – количество значений в рядах  $X$  и  $Y$ ;  $x_{\text{средн}}$  – среднее значение ряда  $X$ ;  $y_{\text{средн}}$  – среднее значение ряда  $Y$ .

<sup>1</sup> Борисов Ю.И. Особый задел // Военно-промышленный курьер. 2017. №9(673). – С. 4.

<sup>2</sup> Методы моделирования и прогнозирования в экономике: учеб. пособие / Под ред. С.И. Макарова. М.: КноРус, 2021. – 180 с.

Результаты проведенных расчетов коэффициентов корреляции приведены в таблице 2. Анализ значений, представленных в таблице 2, показал, что с учетом имеющихся данных все управляющие факторы в значительной степени коррелируют с целевым показателем. Минимальный коэффициент корреляции с целевым показателем имеет фактор  $X_2$  «Выделенный объем ассигнований». При этом значения коэффициентов корреляции управляющих факторов между собой показывают, что факторы  $X_1$  «Количество рассмотренных предложений» и  $X_2$  «Выделенный объем ассигнований» весьма сильно взаимосвязаны (коэффициент корреляции 0,952554). В этой связи рассмотрение управляющего фактора  $X_2$  «Выделенный объем ассигнований» в дальнейших расчетах не представляется целесообразным.

В таблице 3 представлены значения принятых к рассмотрению целевого показателя и управляющих факторов  $X_1$  «Количество рассмотренных предложений» и  $X_2$  «Число проведенных практических апробаций».

Таблица 1 – Значения целевого показателя и управляющих факторов за период с 2014 по 2021 гг.

№ п/п	Год	Количество включенных в ГОЗ НИОКР, $Y$	Количество рассмотренных предложений, $X_1$	Выделенный объем ассигнований, млн. руб., $X_2$	Число проведенных практических апробаций, $X_3$
1	2014	3	134	120	9
2	2015	1	79	80	5
3	2016	2	110	105	6
4	2017	2	96	95	6
5	2018	1	84	75	5
6	2019	4	145	140	9
7	2020	1	68	55	6
8	2021	2	112	125	7

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции целевого показателя и управляющих факторов

		Показатели и факторы			
		$Y$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Показатели и факторы	$Y$		0,958883	0,888054	0,919866
	$X_1$			0,952554	0,892431
	$X_2$				0,791485
	$X_3$				

Таблица 3 – Значения принятых к рассмотрению целевого показателя и управляющих факторов за период с 2014 по 2021 гг.

№ п/п	Год	Количество включенных в ГОЗ НИОКР, $Y$	Количество рассмотренных предложений, $X_1$	Число проведенных практических апробаций, $X_2$
1	2014	3	134	9
2	2015	1	79	5
3	2016	2	110	6
4	2017	2	96	6
5	2018	1	84	5
6	2019	4	145	9
7	2020	1	68	6
8	2021	2	112	7

С учетом полученных в таблице 3 исходных данных может быть построена модель множественной линейной регрессии, описывающая зависимость целевого показателя  $Y$  от управляющих факторов  $X_1$  и  $X_2$  [3]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2$  – значения управляющих факторов «Количество рассмотренных предложений» и «Число проведенных практических апробаций»;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  – коэффициенты модели, которые необходимо определить;  $\varepsilon$  – случайная ошибка наблюдений (регрессионные остатки).

На следующем шаге определяется вектор-столбец коэффициентов  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  в соответствии с методом наименьших квадратов<sup>3</sup> по формуле:

$$B = (X'X)^{-1}X'Y, \quad (3)$$

при этом

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 134 & 9 \\ 1 & 79 & 5 \\ 1 & 110 & 6 \\ 1 & 96 & 6 \\ 1 & 84 & 5 \\ 1 & 145 & 9 \\ 1 & 68 & 6 \\ 1 & 112 & 7 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 4 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Рассчитанные по формуле (3) коэффициенты  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  принимают следующие значения:  $\beta_0 = -2,1843$ ,  $\beta_1 = 0,026938$ ,  $\beta_2 = 0,210753$ .

Значения коэффициентов  $\beta_1, \beta_2$  являются положительными, что свидетельствует о прямо пропорциональной зависимости выделенных управляющих факторов  $X_1$  и  $X_2$  с целевым показателем  $Y$ . Причем фактор «Число проведенных практических апробаций» оказывает несколько большее влияние на результат, так как  $\beta_1 < \beta_2$ .

Таким образом модель (2) принимает вид:

$$y = -2,1843 + 0,026938x_1 + 0,210753x_2. \quad (4)$$

Полученные с помощью модели (4) расчетные значения целевого показателя «Количество включенных в ГОЗ НИОКР»  $Y_{\text{расчет}}$  приведены в таблице 4.

График статистических и расчетных значений целевого показателя приведен на рисунке 1.

Далее в интересах статистического анализа построенной модели осуществляется оценка ее значимости и адекватности.

Оценка значимости традиционно проводится по критерию Фишера, характеризующему наличие регрессии предполагаемого вида по множеству включенных в модель факторов [3] и рассчитываемому по формуле:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{i \text{ расч}} - y_{\text{расч}}^{\text{средн}})^2}{M} \frac{N-M-1}{\sum_{i=1}^N (y_i - y_{i \text{ расч}})^2}, \quad (5)$$

где  $F$  – значение критерия Фишера;  $y_i$  –  $i$ -е значение целевого показателя;  $y_{i \text{ расч}}$  –  $i$ -е расчетное значение целевого показателя;  $y_{\text{расч}}^{\text{средн}}$  – среднее расчетное значение целевого показателя;  $N$  – количество значений в рядах целевого показателя и управляющих факторов;  $M$  – количество управляющих факторов.

Для рассматриваемого примера значение критерия Фишера составляет 38,93, что существенно превышает критическое значение  $F_{\text{табл}} = 13,75$ , определяемого по таблице  $F$ -распределения для уровня значимости 0,01 (ошибка в 1%), что показывает значимость разработанной модели (4).

<sup>3</sup> Методы моделирования и прогнозирования в экономике... Указ. соч.

Таблица 4 – Расчетные значения целевого показателя

№ п/п	Год	Количество включенных в ГОЗ НИОКР, $Y$	Количество рассмотренных предложений, $X_1$	Число проведенных практических апробаций, $X_2$	Расчетные значения целевого показателя, $Y_{расчет}$
1	2014	3	134	9	3,32
2	2015	1	79	5	1,00
3	2016	2	110	6	2,04
4	2017	2	96	6	1,67
5	2018	1	84	5	1,13
6	2019	4	145	9	3,62
7	2020	1	68	6	0,91
8	2021	2	112	7	2,31

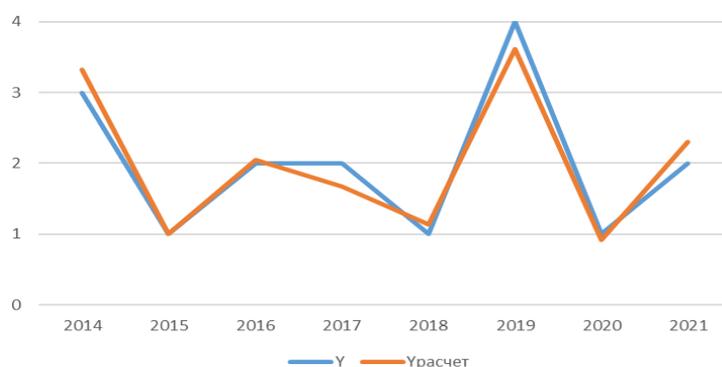


Рисунок 1 – Статистические и расчетные значения целевого показателя

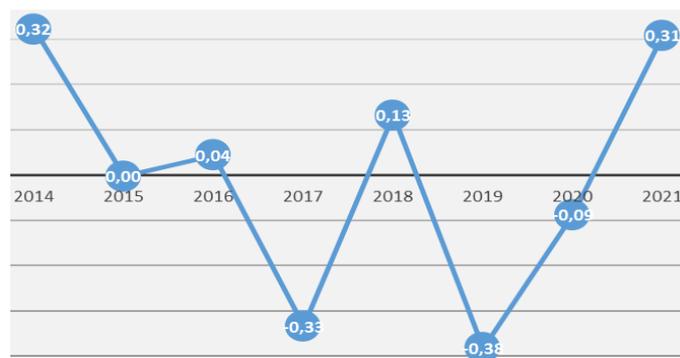


Рисунок 2 – График остатков (отклонений наблюдаемых значений целевого показателя от расчетных)

Для оценки адекватности модели в настоящей статье использован метод анализа остатков или отклонений наблюдаемых значений целевого показателя от расчетных<sup>4</sup>. Анализ графика остатков для рассматриваемого примера, упорядоченных по моментам наблюдений (рисунок 2), показывает, что он не содержит скоплений (серий) положительных и отрицательных остатков. Это позволяет сделать вывод об адекватности построенной многофакторной регрессионной модели оценки эффективности практической апробации инноваций в ВВСТ.

<sup>4</sup> Методы моделирования и прогнозирования в экономике... Указ. соч.

Результаты прогноза значений целевого показателя на глубину в несколько интервалов, полученные на основе построенной модели, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты прогноза значений целевого показателя на глубину в 3 интервала

№ п/п	Год	Количество включенных в ГОЗ НИОКР, $Y$	Количество рассмотренных предложений, $X_1$	Число проведенных практических апробаций, $X_2$
1	2014	3	134	9
2	2015	1	79	5
3	2016	2	110	6
4	2017	2	96	6
5	2018	1	84	5
6	2019	4	145	9
7	2020	1	68	6
8	2021	2	112	7
9	2022	5	168	11
10	2023	0	51	4
11	2024	3	112	9

Анализ прогнозных значений целевого показателя при различных значениях управляющих факторов подтверждает высказанный ранее тезис о несколько большем влиянии фактора «Число проведенных практических апробаций» по сравнению с «Количество рассмотренных предложений». В строках 3 и 11 таблицы 5 указано, что при практически равном числе рассмотренных предложений (110 и 112 соответственно) проведение на треть большего числа практических апробаций приводит к увеличению целевого показателя более, чем на 25%.

Таким образом, применение на практике предложенного в статье подхода, основывающегося на методах корреляционного и регрессионного анализа, позволит заказывающим органам военного управления с учетом значительного объема накопленных статистических данных прогнозировать с достаточной точностью количество включенных в государственный оборонный заказ научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию образцов (составных частей, элементов) ВВСТ на основе инноваций в зависимости от количества рассмотренных предложений (технических решений) и числа проведенных практических апробаций (демонстрационных испытаний). При необходимости состав управляющих факторов, рассматриваемых в модели, может изменяться и дополняться.

#### Список использованных источников

1. Буренок В.М. Принципы обеспечения инновационного развития Вооруженных Сил Российской Федерации // Вооружение и экономика. 2016. №1(34). – С.3-8.
2. Реулов Р.В., Смирнов С.С., Стукалин С.В. Современные подходы к разработке нетрадиционных образцов вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2022. №4(62). – С. 70-81.
3. Рахаев В.А., Кузина Е.Л., Василенко М.А. Планирование пассажирских перевозок дальнего следования. Эконометрическое моделирование // Компетентность. 2022. №3. – С. 30-34.
4. Фиров Н.В., Фиров А.Н. Методические положения построения многофакторных экономико-математических моделей при ограниченном объеме исходных данных // Вооружение и экономика. 2022. №1(59). – С.111-118.
5. Лясковский В.Л., Панков С.Е. Основные положения научно-методического аппарата поиска, военно-технической оценки и отбора инноваций с целью их внедрения в перспективные образцы вооружения // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2022. № 2. – С. 22-28.