

# **Эволюционная модель прогноза частных показателей инновационных проектов (на примере технических инноваций)**

## **The evolutionary forecast model of private indicators of innovation projects (on the example of technical innovation)**

УДК 330

### **Тебекин А.В.**

д-р техн. наук, д-р экон. наук, профессор, почетный работник науки и техники Российской Федерации, профессор кафедры менеджмента Московского государственного института международных отношений (Университета) МИД России  
e-mail: Tebekin@gmail.com

### **Tebekin A.V.**

Doctor of Engineering, Doctor of Economics, professor, honorary worker of science and technology of the Russian Federation, professor of department of management of the Moscow State Institute of International Relations (University) MFA of Russia  
e-mail: Tebekin@gmail.com

### **Сауренко Т.Н.**

д-р экон. наук, заведующий кафедрой таможенного дела Российского университета дружбы народов,  
e-mail: tanya@saurenko.ru.

### **Saurenko T.N.**

Doctor of Economics, Head of the Department of Customs Affairs, Peoples' Friendship,  
e-mail: tanya@saurenko.ru.

### **Анисимов В.Г.**

д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого  
e-mail: an-33@yandex.ru

### **Anisimov V.G.**

Doctor of Engineering, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, professor at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
e-mail: an-33@yandex.ru

### **Анисимов Е.Г.**

д-р техн. наук, д-р военных наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор, Российского университета дружбы народов,  
e-mail: an-33@rambler.ru

### **Anisimov E.G.**

Doctor of Engineering, professor, Doctor of Military Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Peoples' Friendship University of Russia,  
an-33@rambler.ru

## Аннотация

Предложена модель прогнозирования эволюции частных показателей инновационных проектов в технической сфере. В основу модели положено представление технических инноваций как процесса изменения в допустимом диапазоне показателей качества того или иного образца техники. При этом полагается, что улучшение каждого показателя связано с привлечением соответствующих ресурсов. Причем их требуемый объем тем больше, чем ближе текущее значение показателя к его предельно возможному для рассматриваемого образца техники значению. Указанное обстоятельство учтено путем снижения относительных скоростей роста частных показателей по мере приближения их значений к предельно возможным.

**Ключевые слова:** инновационные проекты, технические инновации, частные показатели качества, эволюция, прогнозирование, модель.

## Abstract

A model for predicting the evolution of particular indicators of innovative projects in the technical field is proposed. The model is based on the presentation of technical innovations as a process of change in the allowable range of quality indicators of one or another model of technology. It is believed that the improvement of each indicator is associated with the involvement of appropriate resources. Moreover, their required volume is the greater, the closer the current value of the indicator to its maximum possible value for the considered model of technology.

**Keywords:** innovative projects, technical innovations, private indicators of quality, evolution, forecasting, model.

## 1. Введение

Особенностью современного этапа социально-экономического развития Российской Федерации является настоятельная необходимость ускоренной технологической модернизации. Она реализуется путем разработки и реализации технических инноваций [1–10]. Их результатом являются те или иные образцы техники. При этом инновационные свойства проявляются в улучшении частных и обобщенного показателей качества создаваемых образцов [11–16]. Изменение указанных показателей может происходить в форме эволюционного или скачкообразного процессов [17–21]. Причем скачкам в изменении показателей предшествует достаточно длительный эволюционный период. Следовательно, прогнозирование инновационного процесса в сфере технических инноваций, прежде всего связано с прогнозированием эволюции их частных технических характеристик. Это прогнозирование предполагает наличие соответствующих прогнозных инструментов. В качестве таких инструментов широкое применение могут найти математические модели [22–25]. Разработка одного из возможных вариантов эволюционной модели прогноза частных показателей технических инноваций составляет цель настоящей статьи.

## 2. Формализованное представление модели

С математической точки зрения каждый технический образец может быть представлен в виде вектора  $X(t)$  его показателей качества:

$$X(t) = \|x_i(t)\|, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (1),$$

где  $x_i(t)$  – значение  $i$ -го показателя качества технического образца в момент времени  $t$ ;

$I$  – общее количество частных показателей, характеризующих рассматриваемый образец.

Не снижая общности, можно полагать, что инновационное развитие технического образца проявляется в увеличении значений компонентов вектора (1). Увеличение каждого из них на этапе эволюционного развития образца ограничено соответствующей величиной  $x_i^*$ . В целом же ограничения представляются вектором

$$X^* = \|x_i^*\|, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (2).$$

Естественно предположить, что текущее значение каждого показателя качества инновационного образца техники (компонента вектора  $X(t)$ ) отражает объемы и результативность использования ресурсов, выделенных для его увеличения. При этом, чем ближе значение компонента к его предельному значению, тем больше ресурсов необходимо для его увеличения [26–30].

Приращение  $dx_i(t)$  в период времени  $(t+dt)$  значения каждой  $i$ -й ( $i=1, 2, \dots, I$ ) компоненты вектора (1) зависит от ее значения в момент времени  $t$ , выделенных для ее увеличения ресурсов и результативности их использования. Результатом использования ресурсов является относительная скорость  $g_i(t)$  роста соответствующего показателя  $x_i(t)$  рассматриваемого технического образца. Следовательно, полагая процессы увеличения показателей качества непрерывными, можно записать:

$$dx_i(t) = [x_i^* - x_i(t)]g_i(t)dt, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (3),$$

или

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = [x_i^* - x_i(t)]g_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (4).$$

Системы дифференциальных уравнений (3) и (4) описывают эволюцию показателей качества технических образцов в ходе их инновационного развития. Каждое из уравнений этих систем не зависит от других и представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными. Следовательно, каждое из них можно переписать в виде

$$\frac{dx(t)}{x_i^* - x_i(t)} = g_i(t)dt, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (5).$$

Следовательно,

$$\int \frac{1}{x_i^* - x_i(t)} dx_i = \int g_i(t)dt + C_i, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (6).$$

Откуда при начальных условиях  $x_i(0) = y_i$  ( $i=1, 2, \dots, I$ ) получим

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp\left[-\int_0^t g_i(t)dt\right], \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (7).$$

Соотношение (7) представляет собой обобщенную модель для прогноза частных показателей технических инноваций. Ее дальнейшая конкретизация связана с определением функций  $g_i(t)$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ), отражающих относительные скорости роста соответствующих частных показателей качества рассматриваемого технического образца. Определение этих функций может быть осуществлено постулированием их вида и последующего определения параметров на основе имеющейся информации об относительных скоростях роста частных показателей, путем применения метода наименьших квадратов. При малом горизонте прогноза в качестве искомым функций могут применяться линейные функции, т.е. полагается, что

$$g_i(t) = a_i t + b_i \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (8),$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – определяемые на основе эмпирических данных параметры.

Выбор этих параметров должен обеспечить минимум суммарному отклонению эмпирических данных от данных, полученных на основе соотношений (8), т.е. минимум функции

$$F(a_i, b_i) = \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)]^2, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (9),$$

где  $g_i^*(t_n)$  – эмпирическое значение скорости роста в момент времени  $t_n$ .

$N_i$  – количество эмпирических данных в части значений скорости роста  $i$ -го показателя качества рассматриваемого технического образца.

Необходимым условием экстремума функции (9) является выполнение условий:

$$\frac{\partial F(a_i, b_i)}{\partial a_i} = -2 \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)] t_n = 0, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (10),$$

$$\frac{\partial F(a_i, b_i)}{\partial b_i} = -2 \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)] = 0, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (11).$$

Разрешив систему уравнений (9), (10) относительно искомых параметров  $a_i$  и  $b_i$ , получим:

$$a_i = \frac{N_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n g_i^*(t_n) - \sum_{n=1}^{N_i} t_n \sum_{n=1}^{N_i} g_i^*(t_n)}{N_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n^2 - \left( \sum_{n=1}^{N_i} t_n \right)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (12),$$

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^{N_i} g_i^*(t_n) - a_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n}{N_i}, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (13).$$

Соотношение (7) при выполнении условия (8) принимает вид

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp[-(a_i t^2 - b_i t)] \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (14).$$

Используя метод наименьших квадратов для линейных функций, можно построить практически любые формы и для нелинейных функций  $g_i(t)$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ). Для этого используют линеаризующие преобразования.

Исходя из принятых допущений, что указанные функции убывают по мере приближения показателей качества к их предельным значениям, при большом горизонте прогноза в качестве искомых функций могут применяться экспоненциальные функции, т.е. полагается, что

$$g_i(t) = b_i^* e^{-a_i^* t} \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (15).$$

Линеаризация функций (15) обеспечивается преобразованием

$$\ln[g_i(t)] = \ln(b_i^*) - a_i^* t, \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (16).$$

Положив

$$\ln[g_i^*(t_n)] = g_i^*(t_n), \quad \ln(b_i^*) = b_i, \quad -a_i^* = a \quad (17),$$

соотношение (15) приводим к виду (8). Далее на основе (12), (13) определяем параметры  $a_i$  и  $b_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ). Параметры функций (15) при этом определяются обратными к (17) преобразованиями, т.е.

$$b_i^* = \text{anti} \ln(b_i), \quad a_i^* = -a_i, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (18).$$

Соотношение (7) при выполнении условия (15) принимает вид

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp[-b_i^* e^{-a_i^* t}], \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (19).$$

Допущению о том, что  $g_i(t)$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) убывают по мере приближения показателей качества к их предельным значениям, удовлетворяют и функции

$$g_i(t) = \left( \frac{t}{t_i^*} \right)^{k_i}, \quad t < t_i^*, \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (20),$$

где  $t_i^*$  – горизонт прогноза;

$k_i$  – параметр, характеризующий закон роста  $i$ -го показателя качества технической инновации на рассматриваемом эволюционном этапе.

Линеаризация этих функций в интересах применения метода наименьших квадратов, как и для функций экспоненциального вида, осуществляется путем их логарифмирования.

Соотношение (7) при выполнении условия (20) принимает вид

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp\left[-\frac{1}{t_s} \left(\frac{t^{k_i+1}}{k_i+1}\right)\right], \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (21).$$

В целом полученные соотношения (14), (19) и (21) представляют собой варианты конструктивного представления эволюционной модели прогноза частных показателей технических инноваций. Выбор более предпочтительного из них осуществляется по минимуму среднеквадратичных отклонений эмпирических данных об относительных скоростях роста частных показателей от представления этих скоростей функциональными зависимостями (8), (15) и (20).

### 3. Выводы

В статье предложены варианты конструктивного представления модели прогноза частных показателей технических инноваций для этапа их эволюционного развития. При этом модель, определяемая соотношением (14), применима при относительно небольшом горизонте прогнозирования, а модель, определяемая соотношением (19), позволяет увеличить горизонт прогнозирования. Предложенные модели опираются на представление процесса инновационного развития в форме увеличения значений частных показателей технических инноваций с течением времени. Такое представление хорошо согласуется с целями инновационной деятельности и не снижает общности результатов, поскольку система частных показателей качества любого технического образца может быть приведена к виду, когда более совершенным образцам соответствуют более высокие значения их частных показателей.

Предложенные модели могут найти применение в системах поддержки принятия решений по управлению инновационными процессами. Их применение позволяет повысить обоснованность принимаемых управленческих решений в части технических инноваций.

Поскольку инновационная деятельность связана с затратами разнообразных ресурсов, а их обобщенной характеристикой является стоимость, то направлением дальнейшего развития предложенных моделей представляется их дополнение соотношениями для прогноза стоимости технических инноваций на этапе их эволюционного развития.

### Литература

1. *Тебекин А.В.* Проблемы стратегического развития национальной экономики// Стратегии бизнеса. – 2017. – № 7 (39). – С. 33–41.
2. *Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Сауренко Т.Н., Чварков С.В.* Экономическая политика в системе национальной безопасности российской федерации// Вестник академии военных наук. – 2017. – № 1 (58). – С. 137–144.
3. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Блау С.Л., Мантусов В.Б., Новиков В.Е., Петров В.С., Тебекин А.В., Тебекин П.А.* Управление инновациями.- Российская таможенная академия. Москва, 2017. – 452 с.
4. *Тебекин А.В.* Краткосрочный прогноз развития национальной экономики// Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2018. – № 2. – С. 177–186.
5. *Чварков С.В., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Бажин Д.А., Сауренко Т.Н.* Обоснование путей обеспечения устойчивости планов инновационного развития оборонно-промышленного комплекса // Военная мысль. – 2019. – № 7. – С. 114–119.
6. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Гапов М.Р., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н., Силкина Г.Ю., Тебекин А.В.* Стратегическое управление инновационной деятельностью: анализ, планирование, моделирование, принятия решений, организация, оценка.- Санкт-Петербург, 2017. – 312 с.
7. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Черныш А.Я.* Эффективность инвестиций. методологические и методические основы. – М.: Военная Ордена Ленина,

Краснознамённая, Ордена Суворова Академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации, 2006. – 123 с.

8. Ильин И.В., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Ботвин Г.А., Гапов М.Р., Гасюк Д.П., Ильяшенко О.Ю., Лёвина А.И., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н. Математические методы и инструментальные средства оценивания эффективности инвестиций в инновационные проекты.- Санкт-Петербург, 2018. – 289 с.

9. Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Горбатов М.Ю. Концептуальные положения оценки эффективности инновационного развития компании // В сборнике: Экономические стратегии ЕАЭС: проблемы и инновации. Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. Российский университет дружбы народов. М. – 2019. – С. 217–234.

10. Анисимов В.Г., Горбатов М.Ю., Сауренко Т.Н. Модель динамики показателей экономического развития взаимодействующих государств // Вестник Российской таможенной академии. – 2013. – № 2. – С. 033–044.

11. Тебекин А.В., Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Модель сравнительной оценки инновационных проектов по совокупности качественных показателей // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 77–83.

12. Тебекин А.В., Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Методика сравнительной оценки инновационных проектов по совокупности количественных показателей // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 5. – С. 84–90.

13. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Анцигин А.В., Борисов А.М., Кежаев В.А., Свертилов Н.И. Методы и модели оптимизации в управлении развитием сложных технических систем. – Санкт-Петербург, 2004. – 279 с.

14. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Сазыкин А.М., Сауренко Т.Н. Методологический подход к формализации показателей эффективности комплексного применения разведомственных ресурсов в интересах национальной обороны // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 11-12 (113-114). – С. 3–9.

15. Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Блау С.Л., Новиков В.Е., Тебекин А.В. Модель поддержки принятия решений при формировании инновационной стратегии предприятия // Экономика сельского хозяйства России. – 2016. – № 3. – С. 53–59.

16. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Формальная структура задач стандартизации и унификации при управлении развитием сложных технических систем // Защита и безопасность. – 2004. – № 4 (31). – С. 26–31.

17. Тебекин А.В., Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Модель прогноза стоимости и сроков модернизации промышленных предприятий // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 31–37.

18. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Новиков В.Е., Останин В.А. Моделирование оптимизационных задач поддержки принятия решений в инновационном менеджменте // Вестник Российской таможенной академии. – 2016. – № 1. – С. 90–98.

19. Балясников В.В., Ведерников Ю.В. Модель причинного анализа на основе использования данных об особых ситуациях // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 1-2 (79-80). – С. 31–38.

20. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Петров В.С., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н., Тебекин А.В., Тебекин П.А. Теоретические основы управления инновациями. – Санкт-Петербург, 2016. – 472 с.

21. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Богоева Е.М., Липатова Н.Г. Методика расчета латентного эффекта применения системы управления рисками // Вестник Российской таможенной академии. – 2015. – № 2. – С. 115–123.

22. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н. Математические методы и модели в экономическом и таможенном риск-менеджменте: монография.- Санкт-Петербург, 2016. – 236 с.

23. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Черныш А.Я., Чечеватов А.В.* Оптимизационные модели и методы в управлении инновационными процессами. – М., 2006. – 96 с.
24. Anisimov E.G., Saurenko T.N., Bogoeva E.M., Anisimov V.G. Quantitative evaluation of the direction of the state customs policy // В сборнике: Экономические стратегии ЕАЭС: проблемы и инновации. Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. Российский университет дружбы народов. М., 2019. С. 8–17.
25. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б.* Математические модели и методы управления инновационными проектами.- Министерство образования и наука РФ, Институт современной экономики. М., 2009. – 188 с.
26. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б.* Сетевые модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами. – М., 2006. – 117 с.
27. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Алгоритм ресурсно-временной оптимизации выполнения комплекса взаимосвязанных работ // Вестник Российской таможенной академии. – 2013. – № 1. – С. 080–087.
28. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Оптимизационная модель распределения возобновляемых ресурсов при управлении экономическими системами // Вестник Российской таможенной академии. – 2007. – № 1. – С. 49–54.
29. Anisimov V., Anisimov E., Sonkin M. A resource-and-time method to optimize the performance of several interrelated operations // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 17. С. 38127-38132.
30. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Saurenko T.N., Sonkin M.A. The model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2017. Т. 803. № 1. С. 012006.