

# **Методический подход к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий**

## **Methodical approach to modeling the formation of plans for innovative development of enterprises**

### **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, Honored 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, RUDN University,  
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, RUDN University  
e-mail: an-33@rambler.ru

## Аннотация

В статье предложены способы модельного описания процессов обеспечения устойчивости планов инновационного развития предприятий. Для достижения устойчивости в представленной математической модели предлагается использовать условное резервирование выделяемых ресурсов с целью компенсации характерной для реализации планов неопределенности.

**Ключевые слова:** моделирование процессов, планирование, инновационное развитие, предприятие.

## Abstract

The article proposes methods for the model description of the processes for ensuring the sustainability of plans for the innovative development of enterprises. In order to achieve sustainability in the presented mathematical model, it is proposed to use conditional reservation of allocated resources in order to compensate for the uncertainties typical for the implementation of plans.

**Keywords:** process modeling planning, innovative development, enterprise.

### 1. Введение

Устойчивое выполнение планов инновационного развития предприятия является одним из важнейших условий успешности реализации его инновационной политики. При этом одним из ключевых факторов достижения устойчивости является наличие необходимых ресурсов для реализации предусмотренных этими планами мероприятий [1–5, 18]. Их наличие на каждом этапе реализации указанных планов определяется многими факторами, которые на ранних этапах планирования не могут быть точно определены. Поэтому фактическое и запланированное количество ресурсов могут существенно различаться. Следовательно, при реалистическом подходе к формированию элементов каждого из таких планов ориентироваться на полное наличие всех выделенных ресурсов нецелесообразно [6, 7]. Это вызвано значительным риском нереализуемости соответствующих плановых решений. Для уменьшения такого риска планирование целесообразно осуществлять исходя из пониженных уровней располагаемых ресурсов. Например, при использовании в качестве инструмента формирования плановых решений оптимизационных моделей математического программирования это формально выражается в снижении верхних пределов количества выделенных ресурсов в соответствующих балансных ограничениях. Фактически указанное снижение эквивалентно созданию условных резервов соответствующих ресурсов для компенсации неопределенности. При этом как недостаточное, так и излишнее резервирование, в конечном счете, приводит к снижению качества планирования [8, 9]. В этой связи задача определения целесообразных уровней резервирования для обеспечения требуемой надежности получения реализуемых элементов планов инновационного развития предприятия в условиях неопределенности представляется весьма актуальной [10]. Разработка методического подхода к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий является целью данной статьи.

### 2. Описание методических подходов к моделированию процессов формирования планов

При решении задачи определения целесообразных уровней резервирования критерий достижения требуемой надежности соблюдения каждого  $n$ -го балансного условия в оптимизационных моделях, используемых в практике планирования инновационного развития предприятия, можно представить в виде некоторого соотношения

$$K_v = \theta(\alpha_v \leq x_v), \quad v \in G, \quad (1)$$

где  $G$  – множество балансных ограничений на привлекаемые ресурсы;

$v$  – идентификатор типа ресурса;

$\alpha_v$  – используемый при решении задачи оптимизации верхний предел количества

ресурса  $\nu$ -го типа;

$x_\nu$  – фактическое количество ресурса  $\nu$ -го типа.

Величина  $\alpha_\nu$  связана с максимальным количеством  $B_\nu$  соответствующего ресурса следующим соотношением

$$\alpha_\nu = B_\nu - C_\nu, \quad \nu \in G, \quad (2)$$

где  $c_\nu$  – условный резерв ресурса, учитываемого  $\nu$ -м ограничением, выделяемый при решении задачи для компенсации неопределенности.

Обозначим:

$\Delta B_\nu = [B_\nu - x_\nu]$  – наибольшее абсолютное отклонение фактического количества ресурса  $\nu$ -го типа от максимального (абсолютный интервал неопределенности);

$\varphi_\nu = \Delta B_\nu / B_\nu$  – наибольшее возможное относительное отклонение фактического количества ресурса  $\nu$ -го типа от максимального (относительный интервал неопределенности);

$J_\nu$  – фактическое отклонение в ходе реализации плана количества ресурса от центра интервала неопределенности.

При принятых обозначениях фактическое наличие ресурса может быть представлено одной из следующих зависимостей:

$$x_\nu = B_\nu \left( 1 - \frac{\Delta B_\nu}{B_\nu} \right) + \frac{\Delta B_\nu}{2} + J_\nu; \quad -\frac{\Delta B_\nu}{2} \leq J_\nu \leq \frac{\Delta B_\nu}{2}, \quad \nu \in G, \quad (3)$$

$$x_\nu = B_\nu (1 - \varphi_\nu) + \frac{B_\nu \varphi_\nu}{2} + J_\nu; \quad -\frac{B_\nu \varphi_\nu}{2} \leq J_\nu \leq \frac{B_\nu \varphi_\nu}{2}, \quad \nu \in G. \quad (4)$$

Эти зависимости выражают фактическое наличие ресурса через известное отклонение  $J_\nu$  его величины от центра интервала неопределенности. Они представляют собой линейные преобразования, переносящие начало системы координат, в которой измеряется величина ресурса, в центр интервала неопределенности.

Обозначим  $\Delta B_\nu / 2 = B_\nu \varphi_\nu / 2 = \varepsilon_\nu, \quad \nu \in G$ .

Тогда из (2) - (4) имеем

$$x_\nu = B_\nu - \varepsilon_\nu + J_\nu, \quad -\varepsilon_\nu \leq J_\nu \leq \varepsilon_\nu, \quad \nu \in G. \quad (5)$$

При этом критерий (1) может быть представлен в следующем виде

$$K = \theta(c_\nu \geq \varepsilon_\nu - J_\nu), \quad \nu \in G. \quad (6)$$

С учетом конкретного вида критериальной зависимости (1) можно выделить следующие три основных подхода к решению задачи обеспечения реализуемости элементов плана инновационного развития предприятий в условиях неопределенности:

1. Обеспечение абсолютной гарантии реализуемости [19].
2. Обеспечение вероятностной гарантии реализуемости [11, 12].
3. Обеспечение минимальных потерь эффективности, связанных с резервированием ресурсов для компенсации неопределенности [13, 22].

При первом подходе неопределенность моделируется путем фиксации границ возможной области изменения величины параметра. При этом рассматриваемая задача обеспечения реализуемости элементов плана инновационного развития предприятия формулируется следующим образом [14].

Определить вектор  $C = \parallel c_\nu \parallel$  наименьших значений параметров  $c_\nu$ , при которых  $c_\nu \geq \varepsilon_\nu - J_\nu$ , для всех возможных значений  $J_\nu$  из интервала неопределенности  $-\varepsilon_\nu < J_\nu < \varepsilon_\nu, \quad \nu \in G$ .

При этом игнорируется разнообразие возможных сочетаний неопределенных факторов и учитывается только наихудшая их комбинация, приводящая к фактическому отклонению  $J_\nu = -\varepsilon_\nu$ . Компоненты вектора  $C$  в этом случае принимаются равными

$$\min c_\nu = 2\varepsilon_\nu, \quad \nu \in G. \quad (7)$$

Такой прямолинейный подход к обеспечению реализуемости элементов плана нельзя считать удачным, поскольку вероятность реализации неблагоприятного сочетания

параметров может оказаться очень малой [15]. В этом случае определение параметров  $c_v$  по формуле (7) приводит к необоснованному сужению области поиска оптимальных решений и в общем случае к снижению качества планирования.

*Второй подход* основан на введении вероятностной меры неопределенности значений параметров  $J_v$ ,  $v \in G$  и задании гарантии реализуемости через определенное значение этой вероятностной меры [16]. Задача обеспечения реализуемости элементов плана инновационного развития при этом формально состоит в том, чтобы определить вектор

$$C = \|c_v\|, \quad v \in G, \quad (8)$$

такой, что

$$K = P(c_v \geq \varepsilon_v - J_v) \geq \gamma_v, v \in G, \quad (9)$$

где  $\gamma_v$  – требуемая гарантированная вероятность выполнения  $v$ -го балансного ограничения;

$P(\cdot)$  – вероятность выполнения условия  $c_v \geq \varepsilon_v - J_v$ ,  $v \in G$ .

При решении задачи (8) - (9) может быть использована гипотеза о том, что каждая случайная величина  $J_v$ ,  $v \in G$  распределена по соответствующему нормальному закону.

Тогда компоненты вектора  $C$  при заданных значениях  $\gamma$  могут быть определены по формуле

$$\min c_v = \varepsilon_v - \Phi^{-1}(1 - \gamma_v) \sigma(J), v \in G, \quad (10)$$

где

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp(-z^2/2) dz.$$

При проведении расчетов вместо среднеквадратичного отклонения  $\sigma_v(J)$  может быть использована его оценка  $\sigma_v^0(J) = \frac{1}{3} \varepsilon_v$ ,  $v \in G$ .

Тогда

$$c_v = \varepsilon_v \left( 1 - \frac{1}{3} \Phi^{-1}(1 - \gamma_v) \right), \quad v \in G. \quad (11)$$

Сравнение минимальных значений  $c_v$ , полученных по формулам (7) и (11), показывает, что даже при выборе  $\gamma_v$ , близких к единице учет вероятности появления различных значений параметров  $J_v$  позволяет сократить потребность в резервах. Так, например, при  $\gamma_v = 0.98$  этот выигрыш составляет 16%. Для определения целесообразных значений требуемых вероятностей  $\gamma_v$  можно воспользоваться условием

$$\gamma_v = \exp(\ln(\gamma)/n), \quad v \in G, \quad (12)$$

где  $\gamma$  – требуемая гарантированная вероятность выполнения всей совокупности ограничений, включенных в подмножество  $G$ ;

$n$  – количество ограничений, включенных в подмножество  $G$ .

В расчетах целесообразно использовать значения  $\gamma = 0,8 \dots 0,95$ .

В основе *третьего подхода* к обеспечению необходимых гарантий реализуемости плановых решений лежит оценка потерь, связанных с завышением или занижением значений компонент вектора  $C$  относительно некоторых оптимальных уровней [17, 20, 21].

Обозначим:

$\lambda_v$  – удельные потери от завышения величины параметра  $c_v$ ;

$\mu_v$  – удельные потери от занижения величины параметра  $c_v$ .

Тогда функция потерь может быть представлена в следующем виде

$$P_v = \begin{cases} (j_v - c_v) \mu_v, & \text{при } c_v^* < J_v, \\ 0, & \text{при } c_v^* = J_v, \\ (c_v - J_v) \lambda_v, & \text{при } c_v^* > J_v, \end{cases} \quad (13)$$

где  $c_v^* = \varepsilon_v - c_v$ ,  $v \in G$ .

Математическое ожидание потерь при этом равно

$$\bar{P}_v = \int_{-\infty}^{c_v^*} (c_v - J_v) \lambda_v f(J_v) dJ_v + \int_{c_v^*}^{\infty} (J_v - c_v) \mu_v f(J_v) dJ_v, \quad (14)$$

где  $f(J_v)$  – плотность распределения случайной величины  $J_v$ .

В соответствии с (14) математическое ожидание потерь зависит от параметра  $c_v^*$ .

Для того чтобы потери были минимальными, необходимо выполнение условия

$$\frac{d\bar{P}_v}{dc_v^*} = 0, \quad v \in G. \quad (15)$$

Используя правило дифференцирования по параметру, получим

$$\frac{d\bar{P}_v}{dc_v^*} = \int_{-\infty}^{c_v^*} f(J_v) dJ_v + \mu_v \int_{c_v^*}^{\infty} f(J_v) dJ_v = 0, \quad v \in G. \quad (16)$$

Учитывая, что

$$\int_{-\infty}^{c_v^*} f(J_v) dJ_v + \int_{c_v^*}^{\infty} f(J_v) dJ_v = 1, \quad v \in G,$$

из (16) получим, что оптимальная величина  $c_v^*$  должна удовлетворять условию

$$\int_{-\infty}^{c_v^*} f(J_v) dJ_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_v + \mu_v}, \quad v \in G. \quad (17)$$

Можно показать, что при  $c_v^*$ , удовлетворяющих необходимым условиям (17), выполняются и достаточные условия минимума. Таким образом, зная функцию плотности распределения случайной величины  $J_v$  и удельные потери  $\lambda_v$  и  $\mu_v$ , можно получить оптимальные значения  $c_v = c_v^*$ . В частности, при нормальном законе распределения

$$c_v^* = \varepsilon_v - \Phi^{-1}\left(\frac{\lambda_v}{\lambda_v + \mu_v}\right) \sigma(J_v), \quad v \in G, \quad (18)$$

или с учетом оценки  $\sigma_v^0(J) = \frac{1}{3} \varepsilon_v$ ,

$$c_v^* = \varepsilon_v \left[ 1 - \frac{1}{3} \Phi^{-1}\left(\frac{\lambda_v}{\lambda_v + \mu_v}\right) \right], \quad v \in G, \quad (19)$$

где  $\Phi^{-1}$  – обратная функция Лапласа.

### 3. Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны методические подходы к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий. Рассмотренные подходы позволяют в условиях неопределенности получать вполне определенные гарантированно реализуемые варианты элементов планов инновационного развития предприятия. При этом второй подход позволяет существенно снизить уровни резервирования ресурсов и при этом обеспечивает высокую вероятность реализуемости элементов рассматриваемых планов. Третий же подход минимизирует связанные с резервированием потери эффективности использования ресурсов для инновационного развития предприятия.

## Литература

1. Ильин И.В., Широкова С.В., Лёвина А.И. Управление проектами в сложных социально-экономических системах- Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета 2016. – 311 с.
2. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б. Математические модели и методы управления инновационными проектами- Министерство образования и наука РФ, Институт современной экономики. Москва, 2009. – 188 с.
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/- Москва: Российская таможенная академия. 2017. – 452 с.
4. Инновационное развитие промышленного кластера/ А.Б. Анисифоров, И.В. Ильин, Г.Ю. Силкина, В.Н. Юрьев.- Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2012.- 334 с.
5. Выбор структуры производственных функций на основе синтеза безальтернативных статистических гипотез/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Н.М. Коханова, А.Л. Малькова// Вестник Российской таможенной академии. 2008. № 4. С. 74-79.
6. Методы и модели оптимизации в управлении развитием сложных технических систем/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, А.В. Анцигин, А.М. Борисов, В.А. Кежаев, Н.И. Свертилов.- Санкт-Петербург, 2004.- 279 с.
7. Моделирование оптимизационных задач поддержки принятия решений в инновационном менеджменте/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, В.Е. Новиков, В.А. Останин// Вестник Российской таможенной академии. 2016. № 1. С. 90-98.
8. Теоретические основы управления инновациями/ В.Г., Анисимов, Е.Г. Анисимов, В.С. Петров, Е.С. Родионова, Т.Н. Сауренко, А.В. Тебекин, П.А. Тебекин.- Санкт-Петербург. 2016.- 472 с.
9. Экономический и таможенный риск-менеджмент/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Р.Ф. Арсланов [и др.]- Государственное казенное образовательное учреждение высшего образования "Российская таможенная академия". Москва, 2015.- 180 с.
10. Математические методы и модели в экономическом и таможенном риск-менеджменте/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Е.С. Родионова, Т.Н. Сауренко.- Санкт-Петербург, 2016.- 236 с.
11. Основы теории эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, А.С. Воробьев, Д.П. Гасюк, О.В. Сосюра.- Министерство обороны РФ. Москва, 2003.- 168 с.
12. Модели распределения средств поражения в динамике боя/ О.Г. Алексеев, В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов.- Министерство обороны СССР. Ленинград, 1989.– 109 с.
13. Методологические основы построения показателей эффективности контрольной деятельности органов государственной власти/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Е.М. Богоева, Т.Н. Сауренко, А.Ю. Гарькушев// Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 3-4 (81-82). – С. 17-20.
14. Формализация процедуры риск-ориентированного подхода при выполнении государственными органами контрольных функций/ В.Г. Анисимов, Е.Г. Анисимов, Е.М. Богоева// Вестник Российской таможенной академии. – 2014. – № 4. – С. 96–102.
15. Модель причинного анализа на основе использования данных об особых ситуациях/ В.В. Балясников [и др.]// Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 1-2 (79-80). – С. 31–38.
16. Математические методы и инструментальные средства оценивания эффективности инвестиций в инновационные проекты/ И.В. Ильин [и др.] - Санкт-Петербург, 2018. – 289 с.
17. Зегжда П.Д. Модели и метод поддержки принятия решений по обеспечению информационной безопасности информационно-управляющих систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2018. – № 1. – С. 43–47.
18. Тебекин А.В. Тектонические сдвиги в современных взглядах на планирование работы

- корпорации технотструктурой относительно взглядов Дж. К. Гэлбрейта. // Стратегии бизнеса. – 2017. – № 11 (43). – С. 20–24.
19. *Тебекин А.В.* Инновационные ожидания от реализации стратегий развития национальной экономики. // Инновации. – 2017. – № 6 (224). – С. 9–16.
20. *Тебекин А.В.* Принятие управленческих решений на основе методов программирования как подгруппы методов оптимизации показателей эффективности. // Журнал исследований по управлению. – 2018. – Т. 4. – № 9. – С. 34–44.
21. *Тебекин А.В., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Нелинейная модель оптимизации параметрических рядов в системах управления. // Вестник Российской таможенной академии. – 2015. – № 3 (32). – С. 115–122.
22. *Тебекин А.В.* Технологии преодоления барьеров на пути улучшений в управлении проектами. // Журнал исследований по управлению. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 22–39.