

Стохастическая модель оценки сроков окупаемости инвестиций в инновационные проекты

Stochastic model for estimating the periods of payment on investments in innovative projects

УДК 338; 519.2
Получено: 15.12.2021 Одобрено: 14.01.2022 Опубликовано: 25.02.2022

Анисимов В.Г.

Д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого

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

Anisimov E.G.

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

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 Customs Department, Peoples' Friendship University of Russia,
e-mail: tanya@saurenko.ru.

Черныш А.Я.

Д-р военных наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заместитель главного конструктора по АСУ, начальник Центра координации и внедрения научно-технических решений АО «РТИ»
e-mail: AChernysh@aorti.ru

Chernysh A.Ya.

Doctor of Military Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Deputy Chief Designer for Automatic Control Systems, Head of the Center for Coordination and Implementation of Scientific and Technical Solutions of JSC "Concern "Radio Engineering and Information Systems"
e-mail: AChernysh@aorti.ru

Аннотация

Важнейшими показателями эффективности инвестиций в инновационные проекты являются сроки их окупаемости. На этапе инициации инновационных проектов оценка этих сроков осуществляется в условиях существенной неопределенности. Учет этой неопределенности может быть обеспечен применением соответствующих стохастических моделей оценки. В статье предложен методический подход к построению такой модели, позволяющий учитывать характерную для этапа инициации проекта ограниченность исходной статистической информации. В основу построения модели положено представление сроков окупаемости инвестиций в виде соответствующих случайных величин, функции распределения которых формируются с использованием принципа максимума энтропии. К параметрам этих функций применяется процедура рандомизации. Это позволяет при построении модели наиболее полно использовать имеющуюся объективную информацию и снизить влияние субъективных факторов.

Ключевые слова: инновационный проект, инвестиции, срок окупаемости, модель оценки.

Abstract

The most important indicators of the effectiveness of investments in innovative projects are the payback periods. At the stage of initiation of innovative projects, the assessment of these terms is carried out under conditions of significant uncertainty. Accounting for this uncertainty can be ensured by using appropriate stochastic valuation models. The article proposes a methodological approach to the construction of such a model, which makes it possible to take into account the limitations of the initial statistical information characteristic of the project initiation stage. The model is based on the representation of the investment payback period in the form of the corresponding random variables, the distribution functions of which are formed using the principle of maximum entropy. The parameters of these functions are randomized. This makes it possible to use the available objective information to the fullest extent when constructing a model and to reduce the influence of subjective factors.

Keywords: innovative project, investments, payback period, assessment model.

1. Введение

Развитие любой социально-экономической системы в значительной степени зависит от организации и претворения в жизнь рациональной инновационной политики. Реализация такой политики объективно нуждается в наличии сформированного механизма привлечения инвестиций в инновационную деятельность [1–5]. При этом привлечение инвестиций, как правило, осуществляется в форме соответствующих инвестиционных проектов. В рыночной экономике цель инвесторов заключается в обеспечении достаточной (а в идеале – максимально возможной) в сложившихся условиях прибыли от использования инвестируемых ценностей (средств). Прибыль от их использования в существенной мере определяется временем окупаемости инвестиций в инновационные проекты [6–13]. В связи с этим имеет место важная практическая задача оценки времени их окупаемости. На этапе инициации инновационных проектов ее решение осуществляется в условиях существенной неопределенности [14–17, 25]. Учет этой неопределенности, в частности, обеспечивается применением соответствующих стохастических моделей оценки сроков окупаемости инвестиций в инновационные проекты. Целью данной статьи является разработка методического подхода к построению стохастической модели оценки сроков окупаемости инвестиций в инновационные проекты в условиях ограниченности исходной статистической информации.

2. Типовая исходная статистическая информация для оценки окупаемости инвестиций

Особенности инновационных проектов состоят в уникальности. Поэтому на этапе их инициации исходная статистическая информация, как правило, исчерпывается знанием

объемов инвестиций и сроков окупаемости достаточно небольшого количества проектов, близких по характеристикам к оцениваемому.

Вариант представления этой информации приведен в табл.

Таблица

Окупаемость инвестиций в инновационные проекты

Идентификатор проекта (n)	1	2	...	N
Объем инвестиций (C_i)	C_1	C_2	...	C_N
Срок окупаемости (T_i)	T_1	T_2	...	T_N
Средний темп окупаемости $v_n = \frac{C_n}{T_n}$	v_1	v_2	...	v_N

Различие инновационных проектов приводит к различию необходимых для их реализации объемов инвестиций, а следовательно, и времени их окупаемости. Поэтому имеющиеся на этапе инициации инновационных проектов аналоги неоднородны по этим показателям. Вместе с тем средние темпы окупаемости близких инновационных проектов являются более устойчивыми [18–20]. Именно они определяют однородность рассматриваемых проектов. Это обусловило целесообразность включения средних темпов окупаемости проектов в таблицу исходных данных.

3. Формализованное представление модели

Срок T окупаемости инвестиций в рассматриваемый инновационный проект определяется соотношением

$$T = \frac{C}{V}, \quad (1)$$

где C – объем инвестиций в инновационный проект;

V – средний темп окупаемости инвестиций в инновационный проект.

В соотношении (1) величина V , а следовательно, и величина T являются случайными. Наиболее полную информацию о случайной величине содержит функция ее распределения. Поскольку каждое значение величины T однозначно определяется значением величины V , то функция распределения случайной величины V содержит полную информацию и о случайной величине T . Следовательно, для оценки срока окупаемости инвестиций в инновационный проект достаточно определить функцию

$$P(v) = P(V < v) \quad (2)$$

распределения случайной величины V .

Исходную статистическую информацию для ее определения составляет приведенная в табл. выборка

$$\{v_1, v_2, \dots, v_N\} \quad (3)$$

из генеральной совокупности распределения случайной величины V .

Особенность этапа инициации инновационного проекта состоит в невозможности формирования достаточно большого объема выборки (3). Это приводит к необходимости определения функции (2) по малой выборке. Если объем выборки (3) позволяет оценить только математическое ожидание случайной величины V темпов окупаемости инвестиций в оцениваемый инновационный проект, то в качестве функции (2) для этой величины в

соответствии с принципом максимума энтропии целесообразно принять экспоненциальное распределение [21–23]

$$P(v) = P(V < v) = 1 - e^{-\lambda v}, \quad (4)$$

где

$$\lambda = \frac{1}{m}, \quad (5)$$

m – оценка математического ожидания случайной величины V .

Оценка m определяется соотношением

$$m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v_n. \quad (6)$$

Она представляет собой выборочное среднее случайной величины V и, в свою очередь, является случайной величиной, распределенной в соответствии с гамма-распределением с параметром формы N , равным объему выборки (3) и параметром масштаба

$$\mu = \lambda N. \quad (7)$$

Для доказательства этого рассмотрим характеристическую функцию распределения (4). Она имеет вид

$$\varphi(\tau) = (1 - i\lambda^{-1}\tau)^{-1}, \quad (8)$$

где $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Так как выборка (3) по определению может рассматриваться как набор независимых случайных величин, имеющих функции распределения, совпадающие с (4), то на основании мультипликативного свойства характеристическая функция распределения случайной величины m выборочного среднего равна

$$\varphi_m(\tau) = (1 - i\lambda^{-1}N^{-1}\tau)^{-N}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что функция $f(m)$ плотности распределения выборочного среднего равна

$$f(m) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-im} (1 - i\tau\lambda^{-1}N^{-1})^{-N} d\tau. \quad (10)$$

Из (10) следует (см. [24]), что

$$f(m) = \frac{(N\lambda)^N m^{N-1} e^{-\lambda Nm}}{\Gamma(N)}, \quad (11)$$

т.е. выборочное среднее является случайной величиной, распределенной в соответствии с гамма-распределением.

С учетом закона (11) распределения параметра m , математическое ожидание $\hat{P}(v)$ значения функции (2) равно

$$\hat{P}(v) = \int_0^{\infty} (1 - e^{-\frac{1}{m}v}) f(m) dm = 1 - \int_0^{\infty} \frac{(N\lambda)^N m^{N-1} e^{-\lambda Nm}}{\Gamma(N)} e^{-\frac{1}{m}v} dm. \quad (12)$$

Обозначим $x = \lambda Nm$. Тогда соотношение (12) примет вид

$$\hat{P}(v) = 1 - \int_0^{\infty} \frac{x^{N-1} e^{-x - \frac{\lambda N v}{x}}}{\Gamma(N)} dx. \quad (13)$$

Интеграл в (13) является табличным (см. [24] с. 354). Поэтому окончательно получим

$$\hat{P}(v) = 1 - \frac{2}{\Gamma(N)} (N\lambda v)^{\frac{N}{2}} K_N(2\sqrt{N\lambda v}), \quad (14)$$

где $K_N(\cdot)$ – цилиндрическая функция (модифицированная функция Бесселя третьего рода) (см. [24] с. 965).

Функция $K_N(2\sqrt{N\lambda v}) = K_N(Z)$ в (14) определяется соотношением

$$\begin{aligned}
 K_N(Z) &= (-1)^{N+1} J_N(Z) \ln\left(\frac{Z}{2}\right) + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^k \left(\frac{Z}{2}\right)^{2k-N} \frac{(N-k-1)!}{k!} + \\
 &+ \frac{(-1)^N}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{Z}{2}\right)^{N+2k} \frac{\psi(N+k+1) + \psi(k+1)}{k!(N+k)!} = \\
 &\frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^k \frac{(N-k-1)!}{k! \left(\frac{Z}{2}\right)^{N-2k}} + (-1)^{k+1} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{Z}{2}\right)^{N+2k}}{k!(N+k)!} \left[\ln\left(\frac{Z}{2}\right) - \frac{1}{2} \psi(k+1) - \frac{1}{2} \psi(N+k+1) \right],
 \end{aligned} \tag{15}$$

где $\psi(\cdot)$ – пси-функция Эйлера.

С учетом (14) вероятность $P^*(v)$ того, что средний темп окупаемости инвестиций в инновационный проект будет не ниже величины v , определяется соотношением

$$P^*(v) = \frac{2}{\Gamma(N)} (N\lambda v)^{\frac{N}{2}} K_N(2\sqrt{N\lambda v}). \tag{16}$$

С учетом (1) для окупаемости за время T инвестиций объема S в рассматриваемый инновационный проект, средний темп v их окупаемости должен быть равен

$$v = \frac{S}{T}. \tag{21}$$

Следовательно, величина $P^*(v)$ отражает и вероятность окупаемости указанных инвестиций за время, не превышающее соответствующее (17) время T .

4. Заключение

Основные задачи экономики решаются с помощью инвестиций. В рыночной экономике цель инвестиций, как правило, состоит в максимизации прибыли от использования инвестируемых ресурсов. Объем прибыли в существенной мере зависит от сроков их окупаемости. Следовательно, имеет место проблема оценки окупаемости инвестиций. Особенно остро она проявляется при обосновании решений по инвестированию инновационных проектов. Предложенный в статье методический подход к построению моделей оценки окупаемости инвестиций в инновационные проекты позволяет учитывать характерную для этапа инициации этих проектов ограниченность исходной статистической информации. Универсальный характер подхода обеспечивает возможность его использования при разработке конкретных моделей для систем поддержки принятия решений при управлении инновационной деятельностью.

Литература

1. Босов Д.Б. Введение в теорию эффективности инвестиционных процессов. – Москва, 2006. – 92 с.
2. Черныш А.Я. Эффективность инвестиций. Методологические и методические основы. – Москва: Военная Ордена Ленина, Краснознаменная, Ордена Суворова Академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации, 2006. – 123 с.
3. 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, 2017, 803(1), 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012006.
4. Анисимов Е.Г. Экономическая политика в системе национальной безопасности Российской Федерации // Вестник академии военных наук. – 2017. – № 1 (58). – С. 137-144.

5. *Трошин А.Н., Черных А.К.* Экономическая роль инноваций в технологии материалов // В книге: Инновационные материалы и технологии в дизайне: всероссийская научно-техническая конференция с участием молодых ученых. – 2015. – С. 80-81.
6. *Ильин И.В.* Математические методы и инструментальные средства оценивания эффективности инвестиций в инновационные проекты. – Санкт-Петербург, 2018. – 289 с.
7. *Гапов М.Р., Сауренко Т.Н.* Модель поддержки принятия решений при формировании товарной стратегии и производственной программы предприятия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2016. – № 2. – С. 62-73.
8. *Тебекин А.В.* Методический подход к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 65-72.
9. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б.* Сетевые модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами. – Москва, 2006. – 117 с.
10. *Тебекин А.В.* Способ формирования комплексных показателей качества инновационных проектов и программ // Журнал исследований по управлению. – 2018. – Т. 4. – № 11. – С. 30-38.
11. *Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я.* Модели и методы решения задач управления инновационными проектами: Монография. – Москва, 2009. – 90 с.
12. *Яковлев А.А., Бабошин В.А., Черных А.К.* Современная экономика. управление в социально-экономических системах // Инновационная железная дорога. новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. проблемы и решения: Сборник статей Международной научно-теоретической конференции. – Санкт-Петербург, Петергоф, 2021. – С. 118-129.
13. *Flegontov A.V., Chernykh A., Klykov P.* The evaluation of the efficiency of control systems for organizational systems // В сборнике: 2015 International Conference "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov (SCP). 2015. С. 558-559.
14. *Ботвин Г.А.* Инвестиционный анализ в условиях неопределенности. – Санкт-Петербург, 2006. – 288 с.
15. *Капитоненко В.В.* Оптимизационно-адаптивный подход к управлению инвестициями в условиях неопределенности. – Москва, 2009. – 173 с.
16. *Сауренко Т.Н.* Модель для формирования оптимальных адаптивных решений при планировании инвестиционных процессов // Экономика и предпринимательство. – 2013. – № 10 (39). – С. 640-642.
17. *Босов Д.Б.* Математические модели и методы управления инновационными проектами. – Москва: Министерство образования и наука РФ, Институт современной экономики. 2009. – 188 с.
18. *Тебекин А.В.* Эволюционная модель прогноза частных показателей инновационных проектов (на примере технических инноваций) // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 6. – С. 55-61.
19. *Чварков С.В.* Методика сравнительной оценки проектов инновационного развития предприятий военно-промышленного комплекса // Актуальные вопросы государственного управления Российской Федерации: Сборник материалов круглого стола. – Москва: Военная академия генерального штаба вооруженных сил Российской Федерации, Военный институт (Управления национальной обороной). – 2018. – С. 59-67.
20. *Тебекин А.В.* Методика сравнительной оценки инновационных проектов по совокупности количественных показателей // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 5. – С. 84 - 90.
21. *Anisimov V.G.* A risk-oriented approach to the control arrangement of security protection subsystems of information systems / *V.G. Anisimov [u др.]* // Automatic Control and Computer Sciences, 2016, 50(8). С. 717-721

22. *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.

23. *Анисимов В.Г.* Анализ и оценивание эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности. – Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации; 2006. – 288 с.

24. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – Москва: Наука, 1971. – 1108 с.

25. *Тебекин А.В.* Методы принятия управленческих решений / А.В. Тебекин. – Москва: Юрайт, 2016. – 571 с.