

Научная статья
УДК 330.341.1
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-52-58

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Марина Владимировна Шермадини

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия, essmd@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1694-7234>
Язык статьи – русский

Аннотация: В статье предлагается подход к моделированию инновационных процессов наукоемких предприятий с использованием экономико-математических моделей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью точной оценки отдачи от инвестиций в инновации в условиях высокой технологической динамики и нестабильной внешней среды. Предложенная модель учитывает временные задержки (лаги) между финансированием и результатами, а также эффекты памяти, отражающие снижение эффективности без постоянного инновационного развития. Модель описывает динамику доходности как функцию от объема финансирования инновационной и текущей деятельности и внутреннего состояния предприятия. Формализуется понятие конкурентоспособности, вводятся количественные показатели, отражающие чувствительность предприятия к инновационным воздействиям. Также обозначается необходимость учета оптимального распределения ресурсов между инновационными проектами с учетом ограничений и особенностей технологического развития.

Новизна исследования заключается в применении аппарата конечных автоматов для анализа состояния предприятия и построения прогностической модели, интегрированной в систему цифрового управления инновациями. Представленный подход позволяет обеспечить обоснованную поддержку управленческих решений, связанных с выбором и финансированием инновационных направлений развития наукоемких организаций.

Ключевые слова: инвестиции, инновационные процессы, конкурентоспособность, наукоемкое предприятие, экономико-математическое моделирование

Ссылка для цитирования: Шермадини М. В. Моделирование инновационных процессов наукоемких предприятий // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 52–58. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-52-58>.

MODELING OF INNOVATION PROCESSES OF KNOWLEDGE-INTENSIVE ENTERPRISES

Marina V. Shermadini

RUDN University, Moscow, Russia, essmd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1694-7234>
Article in Russian

Abstract: This paper proposes an approach to modeling innovation processes in high-tech enterprises using economic and mathematical models. The relevance of the study stems from the need for a precise evaluation of innovation investment effectiveness under rapid technological changes and external uncertainty. The suggested model accounts for time lags between investments and results, as well as memory effects that describe declining performance in the absence of continuous innovation. The model describes profitability dynamics as a function of investment volumes in both innovation and operational activities, as well as the internal state of the enterprise. The concept of competitiveness is formalized, and quantitative indicators are introduced to reflect the organization's sensitivity to innovation-related impacts. The paper also considers the problem of optimal resource allocation across innovation projects under financial and technological constraints.

The novelty of the research lies in applying finite automata to enterprise state analysis and developing a predictive model integrated into digital innovation management systems. The proposed approach enables informed managerial decision-making concerning the prioritization and funding of innovative activities, thereby enhancing the competitiveness and sustainability of high-tech enterprises.

Keywords: competitiveness, economic and mathematical modeling, innovation processes, investment, high-tech enterprise

For citation: Shermadini M. V. Modeling of Innovation Processes of Knowledge-Intensive Enterprises. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 52–58. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-52-58>.

Введение. При практической реализации инновационных процессов необходимо использовать экономико-математические модели, которые будут описывать взаимосвязь между финансированием инновационных проектов и результатами деятельности предприятий. Для наукоемких предприятий эта взаимосвязь является нелинейной, поскольку отдача от внедрения инновационных технологий может быть не мгновенной, а через определенное время, необходимое предприятию на переход к новым технологиям и адаптацию технологических цепочек.

Кроме того, в инновационных проектах всегда присутствует определенный риск, связанный с недостижением планируемого эффекта от инноваций или существенное удорожание технологий при внедрении инноваций. Поэтому для оценки эффективности инновации необходимо иметь более сложные модели для анализа процессов инноваций на наукоемких предприятиях. В условиях современной экономики наукоемкие предприятия сталкиваются с необходимостью быстрого принятия решений в сфере инвестирования в инновации, что требует более точных моделей оценки эффектов от таких инвестиций.

Традиционные модели, как правило, основываются на предположении о мгновенной отдаче и линейной зависимости между ресурсами и результатами, что не отражает реальную сложность инновационных процессов. Недостаточная адаптивность этих моделей к временным задержкам и кумулятивным эффектам приводит к рискам неэффективного распределения ограниченных ресурсов, особенно в условиях технологической турбулентности.

Литературный обзор. В последние годы активно развиваются подходы к моделированию инновационной деятельности с использованием формальных методов, включая конечные автоматы и смежные концепции теории автоматов. В работе [1] подчеркивается значимость комплексных управленческих моделей, интегрирующих цифровые инструменты для повышения эффективности инновационного менеджмента

Исследование [2] акцентирует внимание на роли накопленных знаний и когнитивных моделей в эволюции инновационных систем,

что прямо соотносится с понятием «памяти» в конечно-автоматных моделях.

В свою очередь, в [3] раскрывают значение цифровых инноваций как ключевого элемента организационной трансформации, поддерживающего принятие решений в условиях высокой неопределенности.

Особое внимание уделяется и формализации механизмов инновационной динамики. Так, Kline и Rosenberg отмечают, что инновации редко происходят в изоляции – они являются частью более широкой цепочки технологических изменений, что оправдывает использование рекурсивных моделей [4].

Эти подходы коррелируют с отечественными исследованиями (Маслова, Шамин, Чурсин и др.), где конечные автоматы рассматриваются как эффективный инструмент для анализа состояний экономических систем с учетом памяти и временных лагов.

Таким образом, предлагаемая модель интегрирует международный и отечественный опыт в области моделирования инновационных процессов, расширяя существующие методологические рамки за счет применения формальных автоматных структур к задачам стратегического управления.

Моделирование на основе конечного автомата. Инновации на предприятии позволяют повышать конкурентоспособность выпускаемой продукции, соответственно, при управлении инновационными процессами необходимо иметь соответствующее моделирование, которое позволит количественно оценить влияние инноваций на наукоемкое предприятие.

Математические модели инновационных процессов на основе конечных автоматов позволяют не только оценивать влияние инновационных процессов на финансовую результативность наукоемких предприятий, но и решать оптимизационные задачи об оптимальном распределении финансирования инновационных проектов для максимизации результативности предприятия.

Рассмотрим общие определения, связанные с конечными автоматами. Конечным автоматом называется абстрактная математическая модель системы, состоящей из конечного числа состояний, которая переходит из одного состояния в другое в ответ на входные воздействия.

Модели на основе конечных автоматов устанавливают связь между входом (финансированием инновационных проектов) и выходом (доходом) предприятия. Классические производственные функции описывают мгновенную связь между факторами производства и объемами выпуска продукции. При этом, при фиксированной производственной функции при одинаковых факторах производства объем выпуска будет тоже одинаковым. В реальности, однако, это не всегда верно.

При моделировании инновационных процессов с помощью конечных автоматов будем рассматривать действительные числа или вектора, состоящие из чисел.

Формально конечный автомат задается пятеркой $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, где Q – множество состояний, Σ – множество входных символов, δ – функция переходов, $q_0 \in Q$ – начальное состояние, $F \subseteq Q$ – множество допустимых (финальных) состояний.

Пусть предприятие находится в одном из трех состояний: $Q = \{\text{низкая эффективность, средняя эффективность, высокая эффективность}\}$. Входной сигнал – уровень инновационного финансирования (например, низкий, средний, высокий). Функция переходов δ описывает, как при разном уровне финансирования предприятие переходит из одного состояния в другое.

Пусть множество состояний предприятия $Q = \{q_1, q_2, q_3\}$, (1)

где q_1 – низкая эффективность, q_2 – средняя эффективность, q_3 – высокая эффективность.

Множество входных сигналов (финансирования):

$$\Sigma = \{x_1, x_2, x_3\}, \quad (2)$$

где x_1 – низкий уровень, x_2 – средний уровень, x_3 – высокий уровень.

Функция перехода δ :

$$\delta(q_1, x_1) = q_1; \delta(q_1, x_2) = q_2; \delta(q_1, x_3) = q_3; \quad (3)$$

$$\delta(q_2, x_1) = q_1; \delta(q_2, x_2) = q_2; \delta(q_2, x_3) = q_3; \quad (4)$$

$$\delta(q_3, x_1) = q_2; \delta(q_3, x_2) = q_2; \delta(q_3, x_3) = q_3. \quad (5)$$

Функция выхода u :

$$u = \lambda(q, x) = w_q \cdot \log(1 + x), \quad (5)$$

где w_q – коэффициент состояния.

Заметим, что при среднем уровне инновационного финансирования предприятие может перейти из низкой эффективности в среднюю, а при высоком – сразу в высокую эффективность. Такая модель позволяет анализи-

ровать сценарии управления инновационной активностью. Следовательно, с помощью методов конечных автоматов возможно оценить эффективность инноваций предприятия.

Оптимизационная задача. Используя модели процессов инноваций предприятий, можно рассматривать оптимизационную задачу распределения финансирования инноваций для моделирования связи между финансированием предприятия и доходом предприятия.

Постановка задачи оптимального распределения ресурсов может быть оформлена следующим образом: необходимо максимизировать суммарный эффект от инновационных проектов при ограничении общего бюджета. Пусть u_1, u_2, \dots, u_n – объемы финансирования n проектов, тогда целевая функция $E = \sum e_i(u_i) \rightarrow \max$, при условии $\sum u_i \leq B$, где B – общий бюджет, а $e_i(u_i)$ – функция отдачи от инвестиций в i -й проект. В качестве метода решения может применяться динамическое программирование, особенно если каждый проект имеет дискретные этапы реализации с пороговыми эффектами. При наличии линейной зависимости между уровнем финансирования и эффектом могут использоваться классические методы линейного программирования или многокритериальной оптимизации.

Для математического описания временной задержки (лага) реакции предприятия на финансирование инновационных проектов подходящим математическим инструментом являются модели на основе конечных автоматов.

Как правило, в течение времени прибыль фиксированного предприятия при одинаковом финансировании будет уменьшаться. Это связано с тем, что без инноваций конкурентоспособность продукции будет снижаться. Поэтому возникает необходимость в математических моделях, обладающих «памятью». Для описания эффекта памяти предлагается применять конечные автоматы [5].

Математическая модель конечного автомата для описания состояния предприятия имеет следующий вид:

$$q(k+1) = \delta(q(k), x(k)), \quad (6)$$

$$y(k) = \lambda(q(k), x(k)), \quad (7)$$

где $q(k)$ – внутреннее состояние предприятия на шаге k , $x(k)$ – входной вектор (например, объем финансирования инноваций и текущей деятельности), δ – функция перехода, описывающая изменение состояния, λ – функция выхода, определяющая, например, уровень доходности или конкурентоспособности предприятия.

Эта система уравнений позволяет учитывать как краткосрочные эффекты (через λ), так и долговременную динамику (через δ).

Таким образом использование экономико-математических моделей на основе конечных автоматов, позволяет учитывать эффекты «памяти» при отдаче от инноваций для предприятий.

Динамическая модель внутренних состояний предприятия. С помощью предложенных моделей рассматриваются динамические процессы инвестирования. На наукоемких предприятиях при моделировании инновационных процессов с помощью методов конечных автоматов необходимо построить модель внутренних состояний предприятия, которая определяет результативность предприятия в зависимости от финансирования этого предприятия [6]. Обычно такая связь может быть описана с помощью какой-либо производственной функции.

Рассмотрим числовой пример: предприятие имеет два возможных проекта. Проект А требует три месяца на разработку и два – на внедрение, общая стоимость — 5 млн руб.,

эффект – переход предприятия из среднего состояния в высокое. Проект В дешевле (3 млн руб.), но его эффект – только повышение внутри текущего состояния (например, увеличение доходности без изменения класса эффективности). Выбор между ними может зависеть от текущего состояния, стратегических целей (быстрый рост или стабильность) и уровня доступных ресурсов. Использование модели конечных автоматов позволяет количественно сравнить такие варианты и обосновать приоритет.

Поскольку мы рассматриваем динамическую модель функционирования предприятия, то необходимо описать механизм, который будет отражать объективные свойства снижения со временем результативности предприятия без использования инноваций.

При описании множества внутренних состояний предприятий с учетом процессов снижения эффективности предприятий без использования инновационных подходов необходимо рассмотреть возможные инновационные проекты в сфере деятельности предприятий. Для каждого инновационного проекта необходимо оценить время, необходимое для разработки и внедрения инноваций, а также необходимое время для реализации инноваций. Кроме того, необходимо оценить влияние инноваций на внутренние состояния предприятия. Для этого можно предложить использовать следующую форму (таблица 1).

Таблица 1

Влияние инноваций на внутренние состояния организации

Источник: составлена автором

№ п/п	Наименование инновации	Время разработки, в месяцах	Стоимость разработки, в млн руб.	Время внедрения, в месяцах	Стоимость внедрения, в млн руб.	Влияние на состояние предприятия
1	Цифровой модуль управления	3	5	2	2	Переход из q_2 в q_3
2	Система мониторинга IoT	4	4	3	1.5	Укрепление состояния q_2
3	Платформа анализа данных	6	6	4	3	Переход из q_1 в q_2

Расчетный пример применения модели. Рассмотрим инновационное предприятие в состоянии q_2 (средняя эффективность), коэффициент $w_{q2} = 1,5$.

При уровне инновационного финансирования $x = 2$ (средний уровень) выход модели:

$$y = w_{q2} \cdot \ln(1 + x) = 1,5 \cdot \ln(3) \approx 1,5 \cdot 1,098 = 1,647 \quad (8).$$

Для сравнения, при состоянии q_1 (низкая эффективность, $w_{q1} = 1$) и том же $x = 2$ получим:

$$y = 1 \cdot \ln(3) \approx 1,098 \quad (9).$$

Применение модели позволяет количественно оценивать отдачу от инноваций и обосновывать увеличение финансирования для перехода в более высокую категорию эффективности.

После описания внутренних состояний предприятия и описания возможных инновационных технологий с указанием времени, стоимости и эффекта этих инноваций, можно построить динамическую модель на основе аппарата конечных автоматов по приведенной выше модели.

Оценка конкурентоспособности наукоемкого предприятия. Модель на основе конечных автоматов позволяет не только моделировать инновационные процессы и решать оптимизационные задачи в части финансирования инновационных проектов, но и оценивать конкурентоспособность наукоемких предприятий [7].

Определение конкурентоспособности наукоемких предприятий является сложной научной проблемой, поскольку для наукоемкого предприятия в понятие конкурентоспособности входит не только качественные характеристики предприятий, но и способность этого предприятия быстро реагировать на внедрение инноваций.

Свойство снижения результативности без применения инноваций является одной из характерных черт наукоемких предприятий, поскольку конкурентоспособность таких предприятий перманентно снижается без использования инновационных технологий. Обострение конкурентоспособности наукоемких предприятий показывает, что в высокотехнологичной сфере необходимы постоян-

ные инновации, которые позволят предприятию поддерживать и увеличивать конкурентоспособность [7].

Рассмотрим динамическую модель внутренних состояний наукоемкого предприятия, которые используются в конечно-автоматной модели, рассмотренной выше. Пусть мы имеем следующую рекуррентную последовательность

$$q(k+\tau) = G(q(k), a(k), u(k)), \quad (10)$$

где $q(k)$ – внутреннее состояние предприятия в момент времени k , $a(k)$ – объем финансирования предприятия в момент времени k без учета финансирования этих процессов, $u(k)$ – объем финансирования инновационных процессов, τ – эффективное время реакции на инновацию.

Полагая, что все коэффициенты являются числовыми, можно ввести показатель конкурентоспособности наукоемкого предприятия по влиянию инноваций следующим образом

$$Q(k) = \frac{q(k + \tau) - q(k)}{\alpha\tau + \beta u(k)}, \quad (11)$$

где коэффициенты α и β удовлетворяют условиям $\alpha \geq 0$, $\beta > 0$ и имеют смысл коэффициентов масштаба, а также важности времени реакции инновации и стоимости инновации в показатель конкурентоспособности предприятия.

Поскольку введенный показатель конкурентоспособности наукоемкого предприятия по реакции на инновации зависит от времени, но при построении картины инновационных процессов можно использовать динамику показателя конкурентоспособности.

Для дальнейшей характеристики предприятия с помощью конкурентоспособности по реакции на инновационные процессы можно также использовать конечные разности показателя конкурентоспособности, которые будут характеризовать не только «мгновенную» конкурентоспособность предприятия, но и тенденции конкурентоспособности предприятия при постоянном финансировании процессов инноваций предприятия. Для этого рассмотрим также следующий показатель тенденции конкурентоспособности предприятия:

$$DQ(k) = \frac{Q(k) - Q(k - \tau)}{\tau}. \quad (12)$$

Этот показатель вместе с основным показателем конкурентоспособности $Q(k)$ является важной количественной характеристикой инновационных процессов и может быть использован в общей схеме процессов инноваций.

Дополнительно можно учитывать интегральный показатель инновационной восприимчивости предприятия, отражающий его способность к освоению новых технологий, адаптации бизнес-процессов и обучению персонала. Этот показатель может быть введен как весовой коэффициент при расчете конкурентоспособности и использоваться для оценки зрелости инновационного управления. В условиях высокой неопределенности такие метрики приобретают особую ценность, поскольку позволяют выявить предприятия с потенциально высокой адаптивностью к изменениям технологической среды.

Практическая реализация. Предложенная модель была применена при анализе инновационной активности предприятия, специализирующемся на разработке и производстве приборов для электроэнергетики. Модель конечных автоматов использовалась для оценки отдачи от инвестиций в НИОКР и выявления периода «инновационного спада» без дополнительных вложений.

Результаты внедрения показали, что регулярная актуализация портфеля проектов и адаптивное распределение бюджета позволяют удерживать предприятие в «высоком» состоянии по шкале эффективности. В частности, корректировка объема финансирования на третьем этапе реализации инновационного проекта «Цифровой модуль управления» позволила ускорить переход к высокой эффективности и снизить потери на адаптацию.

Дополнительно модель тестировалась в рамках симуляционного анализа инновационной деятельности в дочерних структурах компании по внедрению инновационных технологий в магистральном и распределительном электросетевом комплексе, где использовалась для оценки сценариев распределения бюджета между цифровыми проектами различной зрелости.

Выводы. Предложенные модели на основе конечных автоматов позволяют учитывать ключевые особенности наукоемких предприятий: отставание эффектов от инвестиций, снижение эффективности без инноваций и необходимость постоянного развития. Использование конечных автоматов дает возможность описывать динамику внутреннего состояния предприятия, оценивать влияние инноваций и решать задачи оптимального распределения ресурсов.

Модели могут быть интегрированы в цифровые платформы управления инновациями, что делает их полезными в практическом управлении инновационной активностью. Полученные результаты могут использоваться не только в рамках отдельных предприятий, но и в стратегическом планировании на уровне отраслей и регионов. При интеграции в государственные системы поддержки инновационной активности модели на основе конечных автоматов могут стать инструментом для более точного прогнозирования отдачи от программ стимулирования НИОКР и оценки эффективности инновационной политики.

Предложенные модели позволяют оценивать и отслеживать динамику конкурентоспособности предприятия, используя количественные показатели и тенденции их изменения под влиянием инноваций.

Практическая реализация подобных моделей возможна в рамках существующих цифровых платформ управления предприятием, включая ERP- и MES-системы. Интеграция моделей в цифровую среду открывает перспективы автоматизированного планирования инновационной активности, мониторинга отклонений и гибкой перенастройки портфеля проектов в режиме реального времени. Кроме того, предложенный подход может быть полезен в системе поддержки принятия решений для управленцев и инвестиционных комитетов наукоемких организаций.

Конечные автоматы выступают как аналитический и управленческий инструмент цифрового моделирования, предназначенный для повышения обоснованности стратегических решений в инновационно активных организациях, особенно в условиях быстро меняющихся технологических ландшафтов [5].

Список источников

1. Dodgson M., Gann D., Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. – Oxford: Oxford University Press, 2023. – 680 p. (In Eng.).
2. Dosi G., Marengo L., Pasquali C. How knowledge shapes the evolution of innovation systems // *Research Policy*. – 2021. – Т. 50. – №. 9. – С. 104330. (In Eng.).
3. Fichman R. G., Dos Santos B. L., Zheng Z. Digital Innovation as a Fundamental and Powerful Concept in the Information Systems Curriculum // *MIS Quarterly*. – 2022. – Т. 46. – № 1. – С. 223–251. (In Eng.).
4. Kline S. J., Rosenberg N. An Overview of Innovation // In: *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. – Washington: National Academies Press, 2021. – С. 275–305. (In Eng.).
5. Шамин Р. В. Использование конечных автоматов в анализе экономических систем // *Журнал прикладной информатики*. – 2021. – № 4. – С. 22–30.
6. Гуляев В. В. Математическое моделирование в экономике. – М.: Юрайт, 2021. – 312 с.
7. Чурсин А. А. Конкурентоспособность наукоемких предприятий: теория и практика. – М.: Инфра-М, 2020. – 302 с.

References

1. Dodgson M., Gann D., Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. *Oxford: Oxford University Press, 2023*. 680 p.
2. Dosi G., Marengo L., Pasquali C. How knowledge shapes the evolution of innovation systems. *Research Policy*. 2021. Vol. 50. No. 9. P. 104330.
3. Fichman R. G., Dos Santos B. L., Zheng Z. Digital Innovation as a Fundamental and Powerful Concept in the Information Systems Curriculum. *MIS Quarterly*. 2022. Vol. 46. No. 1. pp. 223–251.
4. Kline S. J., Rosenberg N. An Overview of Innovation. *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington: National Academies Press, 2021. P. 275–305.
5. Shamin R. V. Using Finite Automata in the Analysis of Economic Systems. *Zhurnal prikladnoy informatiki*. 2021. No. 4. pp. 22–30. (In Russ.).
6. Gulyaev V. V. Mathematical Modeling in Economics. *M.: Yurait, 2021*. 312 p. (In Russ.).
7. Chursin A. A. Competitiveness of Knowledge-Intensive Enterprises: Theory and Practice. *M.: Infra-M, 2020*. 302 p. (In Russ.).