

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF ECONOMICS

DOI: 10.18287/2542-0461-2023-14-4-152-165



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 330.42

Дата поступления: 15.06.2023
рецензирования: 18.08.2023
принятия: 30.11.2023

Модель взаимодействия продуктового и процессного инновационных потенциалов производственного предприятия

В.И. Аксинин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Российская Федерация
E-mail: aksininvladimir@mail, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6959-8053>

Л.А. Сараев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Российская Федерация
E-mail: saraev_leo@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3625-5921>

Аннотация: В статье предлагается авторский взгляд на формирование экономико-математической модели, учитывающей влияния инновационного потенциала предприятия на динамику роста объема выпуска производимой продукции с учетом ряда производственных факторов, характерных для производственного предприятия. Предлагаемая экономико-математическая модель позволяет учесть взаимное влияние как продуктового потенциала промышленного предприятия, так и его процессный и инновационный потенциал. По своей структуре предлагаемая авторами экономико-математическая модель представлена в виде системы дифференциальных уравнений, учитывающих объем имеющихся в распоряжении промышленного предприятия ресурсов различных видов, а также функций его инновационных потенциалов и индикаторных функций, характеризующих процесс управления процессами использования, имеющегося у промышленного предприятия инновационного потенциала. В работе отражено несколько вариантов оценки процесса формирования инновационного потенциала промышленного предприятия с учетом различных возможных к использованию продуктовых, процессных технологических инноваций. В предлагаемой авторами экономико-математической модели учета влияния инновационного потенциала предприятия на динамику роста объема выпуска производимой продукции предусматривается альтернативный подход к формированию инновационного потенциала промышленного предприятия: либо инновационный потенциал промышленного предприятия формируется через внедрение продуктовых технологических инноваций, подразумевающих вывод на потребительский рынок новых для покупателя товаров с дополнительным набором характеристик продукции, либо инновационный потенциал образуется на основе использования инноваций в области организационной сферы: организации производства и организации труда. Авторами предложены варианты сценариев развития событий, при которых инновационный потенциал может быть использован как сразу, так и с некоторой отсрочкой по времени.

Ключевые слова: объем выпуска продукции; инновационный потенциал предприятия; промышленное предприятие; производственная функция; производственные ресурсы; смешанные технологические инновации; факторы производства; амортизация; продуктовые технологические инновации; процессные технологические инновации; инвестиции.

Цитирование. Аксинин В.И., Сараев Л.А. Модель взаимодействия продуктового и процессного инновационных потенциалов производственного предприятия // Вестник Самарского университета. Экономика и управление *Vestnik of Samara University. Economics and Management*. 2023. Т. 14, № 4. С. 152–165. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-4-152-165>.

Информация о конфликте интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Аксинин А.А., Сараев Л.А., 2023

Владимир Иванович Аксинин – аспирант кафедры математики и бизнес-информатики, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Леонид Александрович Сараев – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математики и бизнес-информатики, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

SCIENTIFIC ARTICLE

Submitted: 15.06.2023

Revised: 18.08.2023

Accepted: 30.11.2023

Model of interaction between product and process innovative potential of a manufacturing enterprise

V.I. Aksinin

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: aksininvladimir@mail, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6959-8053>

L.A. Saraev

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: saraev_leo@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3625-5921>

Abstract: The article offers the author's view on the formation of an economic and mathematical model that takes into account the influence of the innovative potential of an enterprise on the dynamics of growth in the volume of output, taking into account a number of production factors characteristic of a manufacturing enterprise. The proposed economic and mathematical model allows us to take into account the mutual influence of both the product potential of an industrial enterprise and its process and innovation potential. In its structure, the economic and mathematical model proposed by the authors is presented in the form of a system of differential equations that takes into account the volume of resources of various types available to an industrial enterprise, as well as the functions of its innovative potential and indicator functions that characterize the process of managing the processes of using the innovative potential available to an industrial enterprise. The work displays several options for assessing the process of forming the innovative potential of an industrial enterprise, taking into account different combinations of possible product and process technological innovations. The economic and mathematical model proposed by the authors for taking into account the influence of the innovative potential of an enterprise on the dynamics of growth in the volume of manufactured products provides for an alternative approach to the formation of the innovative potential of an industrial enterprise: either the innovative potential of an industrial enterprise is formed through the introduction of product technological innovations, implying the introduction of new goods to the consumer market with an additional set of product characteristics, or innovative potential is formed on the basis of the use of innovations in the field of organizational sphere: production organization and labor organization. The authors proposed variants of scenarios for the development of events in which the innovative potential can be used both immediately and with some delay in time.

Key words: output volume; innovative potential of the enterprise; industrial enterprise; production function; production resources; mixed technological innovations; factors of production; depreciation; product technological innovations; process technological innovations; investments.

Citation. Aksinin V.I., Saraev L.A. Model of interaction between product and process innovative potential of a manufacturing enterprise. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie Vestnik of Samara*

University. Economics and Management, 2023, vol. 14, no. 4, pp. 152–165. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-4-152-165>. (In Russ.)

Information on the conflict of interest: authors declares no conflict of interest.

© **Aksinin V.I., Saraev L.A., 2023**

Vladimir I. Ivanovich – postgraduate of the Department of Mathematics and Business Informatics, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

Leonid A. Saraev – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Mathematics and Business Informatics, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

Введение

На сегодняшний день одним из наиболее важных направлений развития национальной суверенной экономической системы, по мнению ряда авторитетных экономистов и организаторов бизнес-процессов, является неизбежная трансформация отечественного промышленного производства посредством ориентации на повсеместное использование актуальных инновационных решений [1; 2].

Совокупность подобных решений формирует уникальный инновационный потенциал промышленного предприятия посредством различного сочетания ресурсной, цифровой, финансовой, кадровой, научной, патентной и лицензионной компонент инновационной трансформации предприятия.

Инновационный потенциал может служить базой для дальнейшего развития инновационной деятельности промышленного предприятия, стать основой для организации перспективных технологических процессов по производству и реализации актуальных, востребованных требовательным покупателем новых виды и моделей продукции, что может самым положительным образом сказаться на экономических показателях как данного экономического субъекта, так и экономической системы страны в целом [3–8].

Рассматриваемые авторами в работе технологические инновации в рамках производственного предприятия представляют собой результаты его деятельности в инновационной сфере с ориентацией на следующие направления [9–19]:

- использование комплексной автоматизации в технологических процессах;
- применение инновационных материалов в процессе изготовления продукции;
- использование высококвалифицированного труда;
- робототехники, манипуляторов и гибких производственных систем;
- применение в производстве результатов деятельности искусственного интеллекта;
- использование сетевых логистических технологий;
- цифровизация производственных процессов.

Посредством использования технологических инноваций в условиях промышленного производства, имеющийся у предприятия инновационный потенциал может быть реализован как в виде создания товара с принципиально отличающимися потребительскими свойствами (продуктовая инновация, либо значительное усовершенствование существующего товара), так и через создание принципиально нового бизнес-процесса (технологическая инновация в виде процессной инновации, внедряющей новый или значительно улучшенный производственный способ производства продукции).

В условиях практического осуществления инновационной деятельности в условиях крупного промышленного предприятия продуктовые и процессные инновации сплетаются в рамках организационных, производственных и иных процессов, приводя к созданию новых товаров и новых процессов производства [20–25]. При этом различные сочетания реализации направлений инновационной деятельности формируют потенциал отличных сценариев дальнейшего развития экономической, производственной, технологической, организационной и иных сфер деятельности хозяйствующего субъекта, что, в дальнейшем, может привести к повышению экономических показателей деятельности промышленного предприятия за счет увеличения объемов выпуска, повышения качественных характеристик продукции, увеличения нормы прибыли.

Экономико-математическое моделирование различных сценариев, упомянутых авторами выше, является актуальной задачей, успешное решение которой может быть интересно различным хозяйствующим субъектам (помимо промышленных предприятий), способствовать ускорению

развития экономических систем в осуществлении более рационального выбора вектора инновационного развития, посредством более рационального управления инновационными процессами с ориентацией на свой уникальный инновационный потенциал.

В предлагаемой вниманию работе авторы предлагают оригинальный вариант построения экономико-математической модели формирования и функционирования инновационного потенциала с возможностью дальнейшего его применения в целях разработки сценариев потенциального развития промышленного предприятия.

Постановка задачи

Процесс изготовления промышленной продукции подразумевает задействование в процессе производства ресурсов различных видов, представляющих как основной, так и оборотный капитал. В предлагаемой авторами экономико-математической модели основной упор делается на однофакторную модель, согласно которой все вышеперечисленные факторы производства представляются в денежном выражении и сведены в один общий ресурс объемом Q .

Переменная величина объема этого фактора производства предполагается непрерывной, непрерывно дифференцируемой и ограниченной на числовой полуоси $(0 \leq t < \infty)$ функцией $Q = Q(t)$. Единицей измерения непрерывного аргумента времени t служит соответствующий обстоятельствам рыночный период (месяц, квартал, год).

Промышленное предприятие внедряет технологические инновации, совокупность которых образует продуктовый инновационный потенциал предприятия U и реализует процессный инновационный потенциал предприятия W , модернизирующие его производственные мощности и трансформирующие его бизнес-процессы, соответственно.

Переменные величины объемов этих инновационных потенциалов также предполагаются непрерывными, непрерывно дифференцируемыми и ограниченными на числовой полуоси $(0 \leq t < \infty)$ функциями $U = U(t), W = W(t)$.

Объемы инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$ представляются в денежном выражении и формируются из определенной части выручки предприятия, согласно ранее утвержденным планам руководства на соответствующие периоды деятельности промышленного предприятия. Технологические инновации потенциалов $U = U(t), W = W(t)$ оказывают воздействие на существующие производственные мощности предприятия и на ход реализации его бизнес-процессов. При этом значения заранее определенных ключевых экономических показателей подвергаются непрерывному изменению.

Области изменений функций ресурса $Q = Q(t)$ и потенциалов $U = U(t), W = W(t)$ имеют вид

$$Q^0 < Q(t) < Q^\infty, U^0 < U(t) < U^\infty, W^0 < W(t) < W^\infty.$$

Здесь $Q^0 = Q(0)$ – известное заданное начальное значение фактора производства $Q = Q(t)$, $Q^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} Q(t)$ – его предельное значение, которое подлежит вычислению; $U^0 = U(0)$ – заданное начальное значение продуктового инновационного потенциала, $U^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} U(t)$ – его предельное значение, которое подлежит вычислению; $W^0 = W(0)$ – заданное начальное значение процессного инновационного потенциала, $W^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} W(t)$ – его предельное значение, которое подлежит вычислению.

Производственная функция объема выручки предприятия может быть описана однофакторной функцией Кобба – Дугласа с переменными коэффициентами

$$\begin{cases} V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}, \\ P(t) = P_0 \cdot \left(1 - \frac{H_W(t) \cdot W(t)}{W^\infty}\right) + P_\infty \cdot \frac{H_W(t) \cdot W(t)}{W^\infty}, \\ a(t) = a_0 \cdot \left(1 - \frac{H_U(t) \cdot U(t)}{U^\infty}\right) + a_\infty \cdot \frac{H_U(t) \cdot U(t)}{U^\infty}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь показатели степени a_0, a_∞ – представляют собой начальную и предельную эластичности выпуска продукции по ресурсу $Q = Q(t)$, ($0 \leq a_0 < a_\infty \leq 1$), коэффициенты P_0, P_∞ – представляют собой начальную и предельную стоимости продукции произведенной на единичный объем ресурса $Q = Q(t)$, ($P_0 < P_\infty$).

Индикаторные функции $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$ задают временные интервалы внедрения инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$ в производство. При значениях данных функций, близких к нулю, соответствуют временным интервалам, что характеризуют отсутствие действий по внедрению инновационных потенциалов в производственную деятельность промышленного предприятия. При значениях же функций, близких к единице имеем временные интервалы, в которых внедрение инновационных потенциалов в производство практически завершено. В промежуточных временных интервалах, составляющих большую часть, имеем поэтапное внедрение инновационных потенциалов в рамках деятельности производственного предприятия. Начало и конец указанных временных интервалов процессов внедрения инноваций определяются администрацией соответствующих бизнес-процессов с обязательным согласованием с высшим руководством промышленного предприятия.

Если процессы внедрения инноваций выполняются строго на заданном отрезке времени, то в качестве функций $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$ следует выбрать кусочно-линейные функции [26–31].

$$H_U(t) = \begin{cases} 0, & t < t_U - \sigma_U, \\ \frac{t - t_U + \sigma_U}{2 \cdot \sigma_U}, & t_U - \sigma_U \leq t \leq t_U + \sigma_U, \\ 1, & t > t_U + \sigma_U. \end{cases} \quad (2)$$

$$H_W(t) = \begin{cases} 0, & t < t_W - \sigma_W, \\ \frac{t - t_W + \sigma_W}{2 \cdot \sigma_W}, & t_W - \sigma_W \leq t \leq t_W + \sigma_W, \\ 1, & t > t_W + \sigma_W. \end{cases} \quad (3)$$

Следует отметить, что в центрах отрезков $[t_U - \sigma_U, t_U + \sigma_U]$ и $[t_W - \sigma_W, t_W + \sigma_W]$ функции (9) и (10) принимают значения $H_U(t_U) = H_W(t_W) = \frac{1}{2}$.

Если на предприятии до моментов времени $t_U - \sigma_U$ и $t_W - \sigma_W$ уже имели место элементы внедрения инноваций, а после моментов времени $t_U + \sigma_U$ и $t_W + \sigma_W$ еще оставались фрагменты производства не подверженные инновациям, то в этом случае в качестве функций $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$ следует выбрать логистические функции, являющиеся решениями задач Коши [30].

$$\begin{cases} \frac{dH_U(t)}{dt} = \frac{2}{\sigma_U} \cdot H_U(t) \cdot (1 - H_U(t)), \\ H_U(t_U) = \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \frac{dH_W(t)}{dt} = \frac{2}{\sigma_W} \cdot H_W(t) \cdot (1 - H_W(t)), \\ H_W(t_W) = \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Решения задач Коши (4) и (5) имеют вид

$$H_U(t) = \frac{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_U}{\sigma_U}\right)}{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_U}{\sigma_U}\right) + 1}, H_W(t) = \frac{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_W}{\sigma_W}\right)}{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_W}{\sigma_W}\right) + 1}. \quad (6)$$

На рисунке 1 представлены графики функций $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$, построенные по формулам (6).

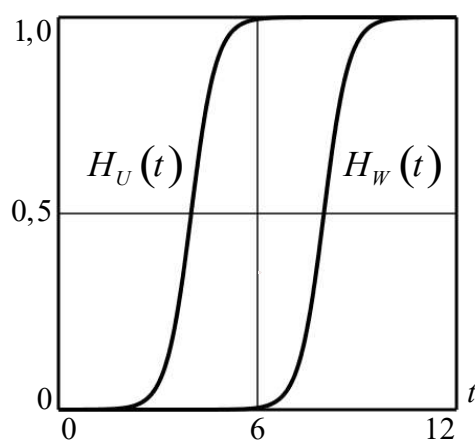


Рисунок 1 – Графики функций $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$, построенные по формулам (6). Расчетные значения: $t_U = 4; \sigma_U = 0,75; t_W = 8; \sigma_W = 0,75$

Figure 1 – Graphs of functions $H_U = H_U(t), H_W = H_W(t)$ based on formulas (6). Calculated values: $t_U = 4; \sigma_U = 0,75; t_W = 8; \sigma_W = 0,75$

Модель развития предприятия, учитывающая взаимодействие продуктового и процессного инновационных потенциалов

Для оценки динамики развития рассматриваемого предприятия необходимо составить уравнения балансов для объемов фактора производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$.

Рассмотрим некоторый малый отрезок времени $[t, t + \Delta t]$. Приращения объемов ресурса $\Delta Q = Q(t + \Delta t) - Q(t)$ и инновационных потенциалов $\Delta U = U(t + \Delta t) - U(t)$ и $\Delta W = W(t + \Delta t) - W(t)$ за время Δt могут быть представлены в виде

$$\begin{cases} \Delta Q(t) = \Delta Q^A(t) + \Delta Q^I(t), \\ \Delta U(t) = \Delta U^A(t) + \Delta U^I(t), \\ \Delta W(t) = \Delta W^A(t) + \Delta W^I(t). \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $\Delta Q^A(t), \Delta U^A(t), \Delta W^A(t)$ – частичные амортизации факторов производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$ за время Δt , $\Delta Q^I(t), \Delta U^I(t), \Delta W^I(t)$ – частичные восстановления факторов производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$ за счет внутренних инвестиций за время Δt .

Приращения частичных амортизаций $\Delta Q^A(t), \Delta U^A(t), \Delta W^A(t)$ за время Δt имеют вид

$$\begin{cases} \Delta Q^A(t) = -\lambda \cdot A_Q \cdot Q(t) \cdot \Delta t, \\ \Delta U^A(t) = -\lambda \cdot H_U \cdot A_U \cdot U(t) \cdot \Delta t, \\ \Delta W^A(t) = -\lambda \cdot H_W \cdot A_W \cdot W(t) \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (8)$$

Приращения частичных восстановлений фактора производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$ за счет внутренних инвестиций за время Δt можно определить соотношениями

$$\begin{cases} \Delta Q^I(t) = \lambda \cdot I_Q(t) \cdot \Delta t, \\ \Delta U^I(t) = \lambda \cdot H_U \cdot I_U(t) \cdot \Delta t, \\ \Delta W^I(t) = \lambda \cdot H_W \cdot I_W(t) \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (9)$$

Здесь A_Q, A_U, A_W – коэффициенты амортизации, доли выбывших за единицу времени объемов фактора производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$; $I_Q(t), I_U(t), I_W(t)$ – инвестиции, восстанавливающие ресурс $Q(t)$ и инновационные потенциалы $U(t), W(t)$

$$\begin{cases} I_Q(t) = B_Q \cdot V(t), \\ I_U(t) = B_U \cdot V(t), \\ I_W(t) = B_W \cdot V(t). \end{cases} \quad (10)$$

Здесь B_Q, B_U, B_W – нормы накопления внутренних инвестиций для фактора производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$, λ – скорость роста объемов фактора производства $Q(t)$ и инновационных потенциалов $U(t), W(t)$, задаваемая в начале процесса развития предприятия его руководством.

Подстановка формул (8) – (10) в уравнения (7) дает

$$\begin{cases} \Delta Q = \lambda \cdot (-A_Q \cdot Q + B_Q \cdot V) \cdot \Delta t, \\ \Delta U = \lambda \cdot H_U \cdot (-A_U \cdot U + B_U \cdot V) \cdot \Delta t, \\ \Delta W = \lambda \cdot H_W \cdot (-A_W \cdot W + B_W \cdot V) \cdot \Delta t \end{cases} \quad (11)$$

Предельный переход в соотношениях (11) при условии $\Delta t \rightarrow 0$, приводит к системе связанных нелинейных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot (-A_Q \cdot Q + B_Q \cdot V), \\ \frac{dU}{dt} = \lambda \cdot H_U \cdot (-A_U \cdot U + B_U \cdot V), \\ \frac{dW}{dt} = \lambda \cdot H_W \cdot (-A_W \cdot W + B_W \cdot V). \end{cases} \quad (12)$$

Начальные условия для системы уравнений (7) имеют вид

$$\begin{cases} Q|_{t=0} = Q(0) = Q_0, \\ U|_{t=0} = U(0) = U_0, \\ W|_{t=0} = W(0) = W_0. \end{cases} \quad (13)$$

Структура уравнений системы (12) показывает, что рассматриваемое промышленное предприятие будет иметь поступательное развитие, пока объем внутренних инвестиций в бизнес-процессы будет превалировать над объемом амортизационных отчислений. Процесс развития предприятия выйдет на свою предельную мощность при возникновении тождества между указанными выше объемами, объемы инновационных потенциалов, при этом, достигнут своих предельных значений.

Таким образом, предельные значения Q_∞ объемов производственных факторов $Q(t)$ и предельные значения инновационных потенциалов $U(t), W(t)$ находятся из уравнений

$$\begin{cases} A_Q \cdot Q_\infty = B_Q \cdot P_\infty \cdot Q_\infty^{a_\infty}, \\ A_U \cdot U_\infty = B_U \cdot P_\infty \cdot Q_\infty^{a_\infty}, \\ A_W \cdot W_\infty = B_W \cdot P_\infty \cdot Q_\infty^{a_\infty}. \end{cases} \quad (14)$$

и равны

$$\begin{cases} Q_\infty = \left(\frac{B_Q \cdot P_\infty}{A_Q} \right)^{\frac{1}{1-a_\infty}}, \\ U_\infty = \frac{B_U \cdot P_\infty}{A_U} \cdot \left(\frac{B_Q \cdot P_\infty}{A_Q} \right)^{\frac{a_\infty}{1-a_\infty}}, \\ W_\infty = \frac{B_W \cdot P_\infty}{A_W} \cdot \left(\frac{B_Q \cdot P_\infty}{A_Q} \right)^{\frac{a_\infty}{1-a_\infty}}. \end{cases} \quad (15)$$

Рассмотрим численные реализации построенной модели внедрения технологических инноваций для объемов инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$, объема производственного фактора $Q(t)$ и объема выручки $V(t)$.

Ограничимся здесь двумя вариантами развития предприятия. В первом варианте все технологические инновации практически внедряются в структуру производства с самого начала на всем временном интервале $(0 \leq t < \infty)$, при этом обе индикаторные функции принимают только единичные

значения $H_U(t) = H_W(t) \equiv 1$. Во втором варианте все продуктовые технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_U - \sigma_U, t_U + \sigma_U)$, все процессные технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_W - \sigma_W, t_W + \sigma_W)$, а функции $H_U(t)$ и $H_W(t)$ описывается формулами (6).

На рисунке 2 представлено сравнение графиков функций объемов инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$, ресурса $Q(t)$ и объема выручки $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, построенных по численному решению задачи Коши (12), (13) и формулам (1) и (16), для случая при котором все технологические инновации практически внедряются в структуру производства с самого начала $H_U(t) = H_W(t) \equiv 1$.

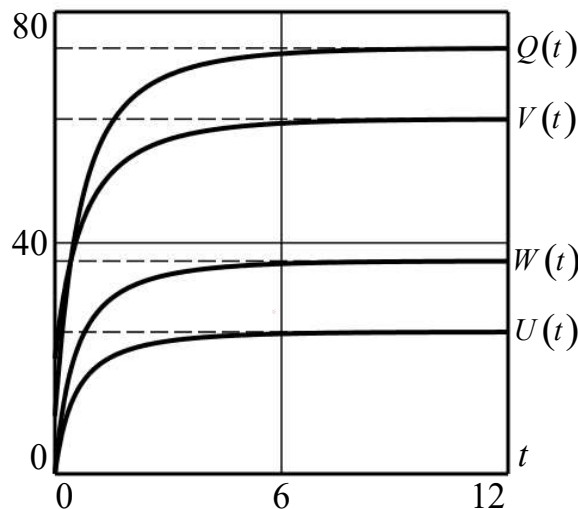


Рисунок 2 – Сравнение графиков функций объемов инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$, ресурса $Q(t)$ и объема выручки $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, построенных по численному решению задачи Коши (12), (13) и формулам (1) и (16), для случая при котором все технологические инновации практически внедряются в структуру производства с самого начала $H_U(t) = H_W(t) \equiv 1$

Figure 2 – Comparison of graphs of the functions of the volumes of innovative potentials $U = U(t), W = W(t)$, resources $Q(t)$ and revenue $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, constructed according to the numerical solution of the Cauchy problem (12), (13) and formulas (1) and (16), for the case in which all technological innovations are practically introduced into the production structure from the very beginning $H_U(t) = H_W(t) \equiv 1$

На рисунке 3 представлено сравнение графиков функций объемов инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$, ресурса $Q(t)$ и объема выручки $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, построенных по численному решению задачи Коши (12), (13) и формулам (1) и (16), для случая при котором все продуктовые технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_U - \sigma_U, t_U + \sigma_U)$, все процессные технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_W - \sigma_W, t_W + \sigma_W)$, а функции $H_U(t)$ и $H_W(t)$ описывается формулами (6).

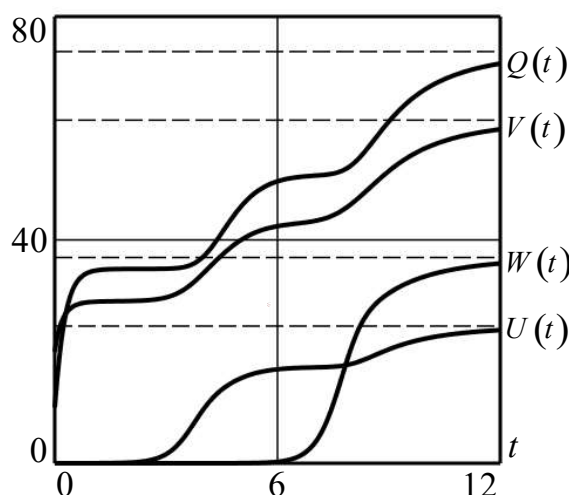


Рисунок 3 – Сравнение графиков функций объемов инновационных потенциалов $U = U(t), W = W(t)$, ресурса $Q(t)$ и объема выручки $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, построенных по численному решению задачи Коши (12), (13) и формулам (1) и (16), для случая при котором все продуктовые технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_U - \sigma_U, t_U + \sigma_U)$, все процессные технологические инновации внедряются в структуру производства во временном интервале $(t_W - \sigma_W, t_W + \sigma_W)$, а функции $H_U(t)$ и $H_W(t)$ описывается формулами (6)

Figure 3 – Comparison of graphs of functions of volumes of innovative potentials $U = U(t), W = W(t)$, resources $Q(t)$ and revenue $V(t) = P(t) \cdot Q(t)^{a(t)}$, constructed according to the numerical solution of the Cauchy problem (12), (13) and formulas (1) and (16), for the case in which all product technological innovations are introduced into the production structure in a time interval $(t_U - \sigma_U, t_U + \sigma_U)$, all process technological innovations are introduced in the structure of production in the time interval $(t_W - \sigma_W, t_W + \sigma_W)$, and the functions $H_U(t)$ and $H_W(t)$ are described by formulas (6)

Расчетные значения параметров: $t_U = 4; \sigma_U = 0,75; t_W = 8; \sigma_W = 0,75; A_Q = 0,1; B_Q = 0,12; A_U = 0,1; B_U = 0,04; A_W = 0,1; B_W = 0,06; P_0 = 10; P_\infty = 11; a_0 = 0,3; a_\infty = 0,4; Q_0 = 10; U_0 = 0,001; W_0 = 0,001; \lambda = 60$

С помощью этих значений по формулам (1) и (15) были вычислены предельные параметры: $Q_\infty = 73,7264; U_\infty = 24,5755; W_\infty = 36,8632; V_\infty = 61,4387$

Заключение

1. Авторами предложена оригинальная обобщенная экономико-математическая модель предприятия, позволяющая учесть влияние инновационного потенциала конкретного промышленного предприятия на динамику роста объема выпуска производимой данным предприятием продукции в совокупности с производственными факторами при формировании продуктового и процессного инновационных потенциалов с последующим их взаимодействием.

2. Предложенная экономико-математическая модель представляют собой систему дифференциальных уравнений. Данные уравнения описывают: ресурсы предприятия, функции его инновационных потенциалов, индикаторные функции, управляющие процессом внедрения инновационных потенциалов.

3. Процесс формирования инновационных потенциалов промышленного предприятия рассмотрен на базе анализа имеющихся в распоряжении и используемых на практике в условиях промышленного производства продуктовых и процессных технологических инноваций.

4. Авторами представлены методики оценки нескольких вариантов сценариев развития промышленного предприятия в условиях непрерывного использования инновационного потенциала и в условиях наличия задержки с использованием инновационного потенциала по времени.

Библиографический список

1. Аксинин В.И., Сараев Л.А. Экономико-математические модели трансформации производственного предприятия, учитывающие динамику его инновационного потенциала // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. Т. 14, № 1. С. 157–171. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-1-157-171>.
2. OECD/Eurostat Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation // 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
3. Гузырь В.В. Инновационная ESG-трансформация фирм как глобальный тренд устойчивого развития // Экономика и управление инновациями. 2022. № 1 (20). С. 33–43.
4. Кулагина Н.А., Михеенко О.В. Инновационная трансформация социально-экономической системы России как условие обеспечения ее экономической безопасности // Проблемы теории и практики управления. 2018. № 6. С. 8–16.
5. Шевченко С.А., Кузьмина Е.В., Кузьмина М.И., Трунина В.Ф. Инновационный потенциал и его влияние на экономику региона // Финансовая экономика. 2019. № 9. С. 210–213.
6. Тарасов Д.О., Дубина И.Н. Инновационный потенциал национальных экономик: сопоставительный анализ // Экономика. Профессия. Бизнес. 2021. № 3. С. 116–124.
7. Леонова М.В., Шинкевич А.И. Совершенствование методов управления инновационным развитием химического комплекса Российской Федерации // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. 2015. Т. 1. С. 397–403.
8. Шевцов В.В., Плотников А.В. Ресурсосберегающие технологии – инновационный потенциал регионов // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2016. № 30. С. 63–67.
9. Хадиуллина Г.Н. Технологические инновации как ключевой фактор конкурентоспособности предприятий высокотехнологичного сектора // Горизонты экономики. 2021. № 3 (62). С. 76–80.
10. Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н. Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть I) // Управленческое консультирование. 2021. № 11 (155). С. 95–108.
11. Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н. Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть II) // Управленческое консультирование. 2021. № 12 (156). С. 111–125.
12. Плеханов Е.А. Состояние и динамика инновационного потенциала региона // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2015. № 3. С. 285–289.
13. Гончарова Е.В. Инновационный потенциал как стратегический фактор экономического развития российских предприятий // Международный журнал экономики и образования. 2018. Т. 4, № 2. С. 29–46.
14. Манукян Л.А. Инновационный потенциал современной России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8, № 6А. С. 113–120.
15. Моргунов Ю.А. Инновационный потенциал и оценка резервов развития наукоемких технологий машиностроения // Экономические стратегии. 2019. Т. 21, № 2 (160). С. 126–136.
16. Алтуфьева Н.В. Теоретические аспекты понятий «инновации» и «инновационный потенциал» в системе социально-экономического развития // Теоретическая экономика. 2020. № 11 (71). С. 67–76.

17. Ивашина Н.С. Инновационный потенциал региона: структура и направления роста // Экономика и предпринимательство. 2019. № 10 (111). С. 563–566.
18. Калитин Б.С., Шелег Е.А. Модель роста дохода предприятия при снижении выпуска продукции и одновременном повышении цены // Экономика, моделирование, прогнозирование. 2022. № 16. С. 168–176.
19. Ануфриева А.П. Технологические инновации как современный целевой ориентир региональных подсистем: текущее состояние и региональная дифференциация // Экономика устойчивого развития. 2019. № 1 (37). С. 88–92.
20. Рахманова А.К. Продуктовые и процессные инновации в деятельности коммерческих банков Кыргызской республики // Экономика и предпринимательство. 2017. № 12–2 (89). С. 1094–1097.
21. Павлова Ю.В., Пахновская Н.М. Производственные инновации как объект оценки // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 14 (175). С. 308–314.
22. Фурсов В.А., Лазарева Н.В. Повышение инновационного потенциала как фактор развития предприятий промышленного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2021. № 8 (133). С. 1278–1282.
23. Легостаева С.А. Инновационный потенциал предприятия: анализ факторов, его определяющих // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. 2018. № 8. С. 64–69.
24. Москальонов С.А. Инновационный потенциал в региональных производственных функциях VES типа // Симбирский научный вестник. 2013. № 4 (14). С. 126–130.
25. Яшин С.Н., Иванов А.Б. Формирование стратегии инновационного развития промышленного предприятия на основе методов портфельного анализа // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 5–2. С. 302–307.
26. Гильмундинов В.М. Оценка производственной функции с переменным использованием основных фондов в экономике России // Проблемы прогнозирования. 2017. № 4 (163). С. 34–43.
27. Химин Е.Б. Инновационный потенциал как инструмент управления инновационным развитием предприятия // Сибирский экономический вестник. 2016. № 3. С. 105–116.
28. Маврина Н.А. Теоретико-методологические аспекты исследования инновационного потенциала промышленного предприятия // Вестник Челябинского государственного университета. 2016. № 6 (388). С. 122–127.
29. Бажанова М.И., Кувшинов М.С. Факторы формирования эффективной инновационной среды промышленного предприятия для INDUSTRY 4.0 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2019. Т. 13, № 1. С. 110–119.
30. Гудкова О.В., Севрюкова С.В. Показатели инновационного развития предприятий регионального уровня в российской экономике // Научное обозрение. Экономические науки. 2018. № 3. С. 16–20.
31. Ilyina E.A. Modeling the dynamics of product output by a manufacturing enterprise due to the digital transformation of its workforce. Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and management, vol. 12, no. 4, pp. 173–181. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2021-12-4-173-181>. (In Russ.)

References

1. Aksinin V.I., Saraev L.A. Economic and mathematical models of transformation manufacturing enterprise, taking into account the dynamics of its innovative potential. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2023, vol. 14, no. 1, pp. 157–171. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-1-157-171>. (In Russ.)
2. OECD/Eurostat, Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, OECD Publishing. Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
3. Guzyr' V.V. Innovative ESG-Transformation of Firms as a Global Trend of Sustainable. *Development. Economics and Innovation Management*, 2022, no. 1 (20), pp. 33–43. (In Russ.)

4. Kulagina N.A., Mikheenko O.V. Innovative transformation of the socio-economic system of Russia as a condition for ensuring its economic security. *Problems of theory and practice of management*, 2018, no. 6, pp. 8–16. (In Russ.)
5. Shevchenko S.A., Kuzmina E.V., Kuzmina M.I., Trunina V.F. Innovative potential and its impact on the regional economy. *Finansovaya ekonomika*, 2019, no. 9, pp. 210–213. (In Russ.)
6. Tarasov D.O., Dubina I.N. Innovative potential of national economies: comparative analysis. *Economics. Profession. Business*, 2021, no. 3, pp. 116–124. (In Russ.)
7. Leonova M.V., Shinkevich A.I. Improving the methods of managing the innovative development of the chemical complex of the Russian Federation, *Current problems of economics and management in mechanical engineering, oil and gas industries in an innovation-oriented economy*, 2015, vol. 1, pp. 397–403. (In Russ.)
8. Shevtsov V.V., Plotnikov A.V. Resource-saving technologies – the innovative potential of regions. *Strategy for Sustainable Development of Russian Regions*, 2016, no. 30, pp. 63–67. (In Russ.)
9. Khadiullina G.N. Technological innovations as a key factor in the competitiveness of high-tech enterprises. *Horizons of the economy*, 2021, no. 3 (62), pp. 76–80. (In Russ.)
10. Geida A.S., Guryeva T.N., Naumov V.N. Conceptual and mathematical models, methods and technologies for studying the digital transformation of economic and social systems: a review of the subject field (part I). *Administrative Consulting*, 2021, no. 11 (155), pp. 95–108. (In Russ.)
11. Geida A.S., Guryeva T.N., Naumov V.N. Conceptual and mathematical models, methods and technologies for studying the digital transformation of economic and social systems: a review of the subject field (part II). *Management consulting*, 2021, no. 12 (156), pp. 111–125. (In Russ.)
12. Plekhanov E.A. State and dynamics of the region's innovative potential. *Bulletin of the Omsk University. Series: Economy*, 2015, no. 3, pp. 285–289. (In Russ.)
13. Goncharova E.V. Innovative potential as a strategic factor in the economic development of Russian enterprises. *International Journal of Economics and Education*, 2018, vol. 4, no. 2, pp. 29–46. (In Russ.)
14. Manukyan L.A. Innovative potential of modern Russia. *Economics: yesterday, today, tomorrow*, 2018, vol. 8, no. 6A, pp. 113–120. (In Russ.)
15. Morgunov Yu.A. Innovative potential and assessment of reserves for the development of high-tech engineering technologies. *Economic strategies*, 2019, vol. 21, no. 2 (160), pp. 126–136. (In Russ.)
16. Altufieva N.V. Theoretical aspects of the concepts of «innovation» and «innovation potential» in the system of socio-economic development. *Teoreticheskaya ekonomika*, 2020, no. 11 (71), pp. 67–76. (In Russ.)
17. Ivashina N.S. Innovative potential of the region: structure and directions of growth. *Economics and Entrepreneurship*, 2019, no. 10 (111), pp. 563–566. (In Russ.)
18. Kalitin B.S., Sheleg E.A. Model of income growth of an enterprise with a decrease in output and a simultaneous increase in prices. *Economics, Modeling, Forecasting*, 2022, no. 16, pp. 168–176. (In Russ.)
19. Anufrieva A.P. Technological innovations as a modern target of regional subsystems: current state and regional differentiation. *Economics of sustainable development*, 2019, no. 1 (37), pp. 88–92. (In Russ.)
20. Rakhmanova A.K. Product and process innovations in the activities of commercial banks of the Kyrgyz Republic. *Economics and Entrepreneurship*, 2017, no. 12–2 (89), pp. 1094–1097. (In Russ.)
21. Pavlova Yu.V., Pakhnovskaya N.M. Industrial innovations as an object of assessment. *Bulletin of the Orenburg State University*, 2014, no. 14 (175), pp. 308–314. (In Russ.)
22. Fursov V.A., Lazareva N.V. Increasing the innovative potential as a factor in the development of industrial complex enterprises. *Economics and Entrepreneurship*, 2021, no. 8 (133), pp. 1278–1282. (In Russ.)
23. Legostaeva S.A. Innovative potential of an enterprise: analysis of factors that determine it. *Education and science without borders: fundamental and applied research*, 2018, no. 8, pp. 64–69. (In Russ.)
24. Moskalionov S.A. Innovation potential in regional production functions of VES type. *Sibirsk Scientific Bulletin*, 2013, no. 4 (14), pp. 126–130. (In Russ.)

25. Yashin S.N., Ivanov A.B. Formation of the strategy of innovative development of an industrial enterprise based on portfolio analysis methods. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2022, no. 5–2, pp. 302–307. (In Russ.)
26. Gilmundinov V.M. Evaluation of the production function with variable use of fixed assets in the Russian economy. *Problems of Forecasting*, 2017, no. 4 (163), pp. 34–43. (In Russ.)
27. Khimin E.B. Innovative potential as a tool for managing the innovative development of an enterprise. *Siberian Economic Bulletin*, 2016, no. 3, pp. 105–116. (In Russ.)
28. Mavrina N.A. Theoretical and methodological aspects of the study of the innovative potential of an industrial enterprise. *Bulletin of the Chelyabinsk State University*, 2016, no. 6 (388), pp. 122–127. (In Russ.)
29. Bazhanova M.I., Kuvshinov M.S. Factors in the Formation of an Effective Innovation Environment of an Industrial Enterprise for INDUSTRY 4.0. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 110–119. (In Russ.)
30. Gudkova O.V., Sevryukova S.V. Indicators of innovative development of enterprises of the regional level in the Russian economy. *Scientific review. Economic sciences*, 2018, no. 3, pp. 16–20. (In Russ.)
31. Ilyina E.A. Modeling the dynamics of product output by a manufacturing enterprise due to the digital transformation of its workforce. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie Vestnik of Samara University. Economics and Management*, vol. 12, no. 4. pp. 173–181. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2021-12-4-173-181>. (In Russ.)