

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ  
ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ**

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ  
УДК: 332.05  
JEL: O32  
EDN: BJOXWU

**Научно-методический аппарат описания  
динамики развития цифровых технологий****И.О. Жаринов<sup>1</sup>, О.О. Жаринов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Акционерное общество «Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: mpbva@mail.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: zharinov73@inbox.ru

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена недавно принятой на государственном уровне серией институциональных документов, предусматривающих цифровизацию национальной экономики России, и отсутствием научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, которым в этих институциональных документах отведена приоритетная роль в достижении национальной цели технологического лидерства России. Цель исследования заключается в создании специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, релевантного экономической науке и ее направлению «экономика технологий». Используются методы теории устойчивого развития экономики и промышленности, теории вероятностей и математической статистики, методы системного анализа, а также дифференциального исчисления. В качестве результата исследования предлагается новый научно-методический аппарат, адекватный экономическому содержанию процессов динамики развития цифровых технологий, обусловленной движением цифровых технологий по возрастающим уровням их готовности (зрелости). Показано, что динамика развития цифровых технологий имеет две самостоятельные составляющие, а именно: поступательную и вероятностную. Поступательная часть развития цифровых технологий описывает снижение затрат по фактору труда и по фактору капитала, образующееся в результате повышения уровня готовности каждой технологии. Вероятностная часть развития цифровых технологий отражает случайные задержки процесса развития, зависящие от внешних условий. Совокупный учет влияния обеих составляющих развития цифровых технологий способствует повышению организационно-экономической управляемости процессами разработки технологических инноваций и совершенствованию экономико-математического инструментария прогнозирования научно-технического прогресса.

**Ключевые слова:** экономика технологий, цифровые технологии, уровень готовности, динамика, научно-технологическое развитие, научно-технический прогресс

**Информация о финансировании:** Данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

**Для цитирования:** Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2026). Научно-методический аппарат описания динамики развития цифровых технологий. *Экономика науки*, 12(1), 106-121. EDN: BJOXWU

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES,  
ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT**

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE  
JEL: O32  
EDN: BJOXWU

**Scientific and methodological apparatus for describing  
the dynamics of digital technology development****I.O. Zharinov<sup>1</sup>, O.O. Zharinov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Stock company «Experimental design bureau «Electroavtomatika» named after P.A. Yefimov», St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: mpbva@mail.ru

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: zharinov73@inbox.ru

**Abstract.** The relevance of the research is due to the recently adopted series of institutional documents at the state level providing for the digitalization of the Russian national economy, and the lack of a scientific and methodological framework for describing the dynamics of digital technologies, which in these institutional documents are given a priority role in achieving the national goal of technological leadership in Russia. The purpose of the research is to create a special scientific and methodological apparatus for describing the dynamics of digital technology development, relevant to economics and its field of technology economics. The methods of the theory of sustainable economic and industrial development, probability theory and mathematical statistics, methods of system analysis, and differential calculus are used. As a result of the research, a new scientific and methodological framework is proposed that is adequate to the economic content of the processes of digital technology development dynamics caused by the movement of digital technologies at increasing levels of their readiness (maturity). It is shown that the dynamics of digital technology development has two independent components, namely: translational and probabilistic. The progressive part of the development of digital technologies describes the reduction in labor and capital costs resulting from an increase in the availability of each technology. The probabilistic part of the development of digital technologies reflects random delays in the development process, depending on external conditions. The combined consideration of the impact of both components of the development of digital technologies contributes to improving the organizational and economic manageability of technological innovation development processes and improving the economic and mathematical tools for forecasting scientific and technological progress.

**Keywords:** technology economics, digital technologies, readiness level, dynamics, scientific and technological development, scientific and technological progress

**Funding:** This research received no external funding.

**For citation:** Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2026). Scientific and methodological apparatus for describing the dynamics of digital technology development. *Economics of Science*, 12(1), 106-121. EDN: BJOXWU

## Введение

Экономика технологий является сформировавшимся направлением научных исследований, результаты которых позволяют устанавливать экономические закономерности научно-технического прогресса в технологической системе национальной экономики государства.

В проблемном поле экономики технологий традиционно оказываются:

а) научные категории, которые рассматриваются исследователями в контексте описания структуры частных технологических платформ экономических агентов и общих технологических укладов национальных экономик, в которых наблюдаются эволюционные и революционные формы реализации научно-технического прогресса;

б) научно-практические задачи выявления постоянных и переменных факторов и условий, влияющих на изменения технологических потребностей рынка и поведение технологий в их жизненном цикле, представляющем собой совокупность последовательно сменяющих друг друга этапов инновационного процесса, в течение которых технологии проходят фазы от зарождения до замены качественно новыми;

в) микро-, мезо- и макроэкономические эффекты, возникающие в национальной экономике от распространения технологий в масштабах национальной инновационной системы и от перевода промышленной инфраструктуры экономических агентов на новые технологии, то есть от замещения ранее используемых и морально устаревших технологий новыми в технологических системах разных уровней, и так далее (Бурлов & Багинов, 2024; Коробушин и др., 2024; Мызрова и др., 2024).

Малоизученной в экономической науке является *динамика* развития цифровых технологий, которым согласно национальному проекту «Экономика данных и цифровая трансформация государства»<sup>1</sup> на государственном уровне отведена приоритетная роль в достижении национальной цели технологического лидерства России (Славин, 2025).

Актуальность научного интереса к исследованию динамики развития цифровых технологий обусловлена следующими обстоятельствами:

<sup>1</sup> Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» утвержден протоколом Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 20 декабря 2024 г. № 12пр. в рамках реализации Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

а) наблюдаемыми сегодня процессами цифровизации технологической системы отечественной национальной экономики и ее трансформации<sup>2</sup> в комплементарную форму взаимодействия физического и информационного (цифрового, виртуального) пространств;

б) отсутствием в экономической науке специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, имеющих двуединое практическое применение как в физическом, так и в информационном пространствах технологической системы национальной экономики государства (Жаринов, 2023; Агафонцев, 2025; Иванова & Шепелева, 2025).

Целью исследования является создание специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, релевантного экономической науке и ее направлению «экономика технологий». В статье рассматриваются цифровые технологии производственного назначения (Жаринов & Жаринов, 2024; Жаринов & Жаринов, 2025), имеющие перспективы широкого практического применения в различных отраслях российской промышленности.

## Методы и методология исследования

Под динамикой развития цифровых технологий следует понимать процесс целенаправленного изменения уровней готовности цифровых технологий на дискретной шкале TRL (Technology Readiness Levels). В отечественной системе стандартов шкала TRL определена в ГОСТ Р 71726–2024<sup>3</sup>, согласно методическим рекомендациям которого каждому качественному состоянию развития некоторой

технологии соответствует количественный уровень ее развития (зрелости).

Шкала TRL является универсальной, то есть не специфична конкретно к цифровым технологиям, и содержит  $n = 9$  уровней готовности технологий любой практической направленности (сферы применения). Шкала формализует представление этапов развития технологий от начальной фазы TRL1 зарождения идеи или концепции создания новой технологии до финальной фазы TRL9 конечного состояния развития новой технологии, отвечающего возможности ее широкого практического применения по назначению в одной или нескольких отраслях промышленности.

Любая новая технология в процессе своего развития осуществляет стандартизованное движение по возрастающим уровням готовности, соответствующее схеме: TRL1→TRL9. Именно такое движение цифровой технологии и формирует ее динамику в контексте рассмотрения проблематики развития (Матерова и др., 2024; Шумкова и др., 2025). Это первый базовый методический принцип исследования, согласно которому динамика развития каждой цифровой технологии определена единообразной схемой движения по траектории: TRL1→TRL9.

В процессе своего развития внутреннее содержание цифровых технологий трансформируется. Релевантными экономической науке параметрами изменения интересующих нас цифровых технологий будем считать:  $m(t), s(t), v(t), z(t)$  – параметры фазового пространства некоторой развиваемой цифровой технологии, определяющие соответственно материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость и транзакционоемкость технологии, зависящие от времени. Время в данном случае выступает самостоятельной мерой изменения цифровой технологии, достигаемого в процессе развития:

$$t_{\text{кон}} > \dots > t_{n-i-1} > t_{n-i} > \dots > t_{\text{нач}},$$

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}} = \sum_{i=0}^{n-2} (t_{n-i-1} - t_{n-i}), n = 9. \quad (1)$$

Это второй базовый методический принцип настоящего исследования, согласно которому учитываются не только изменения параметров

<sup>2</sup> Интегрированное физическое и информационное пространство технологической системы национальной экономики определено в исследовании как совокупность экономических систем макро-, мезо- и микроуровней экономики промышленного назначения, а также совокупность способов, механизмов и инструментов, определяющих виды и формы внутрифирменного и межфирменного взаимодействия, подлежащие в эпоху цифровизации национальной экономики России кардинальному изменению посредством их масштабного замещения на новые, использующие цифровые технологии.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 71726-2024. *Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня готовности технологий (TRL)*. Российский институт стандартизации.

$m(t), s(t), v(t), z(t)$  цифровой технологии, но и время, затраченное разработчиками на достижение этих изменений.

Параметры материалоемкости  $m(t)$  и трудоемкости  $v(t)$  фазового пространства развиваемых цифровых технологий будем условно относить к экономическому фактору труда, причем:  $m(t)$  в физическом пространстве технологической системы, а  $v(t)$  – в информационном пространстве технологической системы; а параметры энергоемкости  $s(t)$  и транзакционоемкости  $z(t)$  фазового пространства развиваемых цифровых технологий будем условно относить к экономическому фактору капитала, причем:  $s(t)$  в физическом пространстве технологической системы, а  $z(t)$  – в информационном пространстве технологической системы.

Таким образом, цифровые технологии имеют двуединое применение как в физическом, так и в информационном пространствах, но в пределах каждого пространства характеризуются своей парой параметров: соответственно  $m(t), v(t)$  в одном пространстве и  $s(t), z(t)$  в другом пространстве. Это третий базовый методический принцип исследования, согласно которому разделение вторичных факторов производства установлено во взаимосвязи с теоретической целью и практическим акцентом исследования.

Методическим допущением процесса развития цифровой технологии является неизменное и параллельное снижение параметров  $m(t), s(t), v(t), z(t)$  в каждой фазе развития в течение времени. Такое допущение обосновывается целью развития, согласно которой использование более совершенной по уровню готовности цифровой технологии приводит к общему снижению объемов потребления факторов производства, как по фактору труда, так и по фактору капитала. Это методическое допущение распространяется на обе современные составляющие технологической системы национальной экономики: физическую и информационную.

Представленная методология развития цифровых технологий, а также параметризация динамики их развития по своему содержанию согласуются с общепринятыми

принципами развития, закрепленными как в российских национальных стандартах, так и в международных стандартах в рассматриваемой предметной области (Трофимова, 2025). В этом смысле полученные новые научные результаты, оформленные в виде специального научно-методического аппарата описания *динамики* развития цифровых технологий, претендуют в экономической науке в целом и в экономике технологий в частности на обоснованную фундаментальность.

Авторская идея описания динамики развития цифровых технологий заключается в учете как детерминированных, так и стохастических компонентов развития, наблюдаемых во времени. Оригинальность идеи состоит в двуедином моделировании динамики развития цифровых технологий:

- а) поступательная часть развития каждой цифровой технологии описывает снижение затрат по фактору труда и по фактору капитала, достигаемое в результате повышения уровней готовности технологий, и поддается дифференциальной формализации (применяется математический аппарат дифференциальных исчислений) в рамках предлагаемого авторами настоящего исследования научно-методического аппарата;
- б) вероятностная часть развития каждой цифровой технологии отражает случайные задержки процесса развития, зависящие от внешних условий (например, от объема инвестиционных вложений в развитие цифровой технологии, от графика поступления платежей, от результатов развития «смежных» цифровых технологий и так далее), и описывается инструментарием теории вероятностей и математической статистики.

С методической точки зрения научная ценность авторской идеи двуединого моделирования динамики развития заключается в возможности более точного прогнозирования длительности прохождения каждой цифровой технологией своих уровней готовности и обеспечивает повышение организационно-экономической управляемости процессами разработки технологических инноваций.

## Результаты исследования

Развитие цифровых технологий по своей сути является целенаправленным процессом и, следовательно, научная задача такого развития должна быть четко формализована. Будем полагать, что двуединая задача развития некоторой  $i$ -ой цифровой технологии в аналитическом виде имеет вид:

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \max_{m \in \mathbf{M}, s \in \mathbf{S}} \left\{ w_n^{i,p}(t, m, s) \right\} \right\}, \\ w_n^{i,p}(t, m, s) = 1/W_n^{i,p}(t, m, s) \\ \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \max_{v \in \mathbf{V}, z \in \mathbf{Tr}} \left\{ w_n^{i,c}(t, v, z) \right\} \right\}, \\ w_n^{i,c}(t, v, z) = 1/W_n^{i,c}(t, v, z) \end{array} \right\} \Rightarrow \\ & \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \min_{m \in \mathbf{M}, s \in \mathbf{S}} \left\{ W_n^{i,p}(t, m, s) \right\} \right\}, \\ \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \min_{v \in \mathbf{V}, z \in \mathbf{Tr}} \left\{ W_n^{i,c}(t, v, z) \right\} \right\} \end{array} \right\}, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $W^{i,p}(t, m, s), W^{i,c}(t, v, z)$  – двухфакторные функции развития во времени  $i$ -ой цифровой технологии для соответственно физического ( $p$ ) и информационного ( $c$ ) пространств, имеющей текущий  $n$ -ый уровень  $w_n^{i,p}(t, m, s), w_n^{i,c}(t, v, z)$ , готовности;  $\mathbf{M}, \mathbf{S}, \mathbf{V}, \mathbf{Tr}$  – множества, на которых определены изменяющиеся во времени параметры  $m(t), s(t), v(t), z(t)$  фазового пространства цифровой технологии. Для упрощения записей математических выражений далее зависимости параметров  $m(t), s(t), v(t), z(t)$  от времени, а также зависимости уровней готовности  $w_n^{i,p}(t, m, s), w_n^{i,c}(t, v, z)$ , от аргументов и не всегда будут указываться, но везде сохраняются.

По своей структуре впервые введенные О.С. Сухаревым (Сухарев, 2014) функции развития  $W^{i,p}(t, m, s), W^{i,c}(t, v, z)$ , соответствуют двухфакторной производственной функции Cobb Ch.W. – Douglas P.H., то есть:

$$\begin{aligned} W_n^p(t, m, s) &= Q_n m_n^{\gamma_n}(t) s_n^{\beta_n}(t), \\ W_n^c(t, v, z) &= L_n v_n^{\alpha_n}(t) z_n^{\chi_n}(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $L, Q$  – общие факторные производительности;  $\gamma, \beta, \alpha, \chi$  – коэффициенты эластичности выпуска, определяющие степенные показатели параметров затрат факторов производства

в физическом и информационном пространствах технологической системы экономического агента при изготовлении единицы продукции. Выбор функций развития, обусловленный теоретическими соображениями, согласуется с представлениями об экономическом смысле процессов развития цифровых технологий, а математические свойства функций развития соответствуют экономическому содержанию этих процессов.

Здесь и далее предполагается, что результаты развития получены при фиксированном объеме производства и в условиях технологической системы некоторого экономического агента, осуществляющего промышленный выпуск продукции. Это необходимо, чтобы обеспечивалась возможность объективной оценки изменений объемов потребления факторов производства, достигаемых в процессе развития цифровых технологий, т.к. для разных технологических систем параметры  $m, s, v, z$  отличаются и анализ результатов развития опирается на сравнения параметров  $m, s, v, z$  до начала процесса развития и по его окончании в фиксированных условиях.

В рамках принятых ранее методических принципов и допущений (см. раздел «Методы и методология исследования»), а также введенных символьных обозначений для функций  $W^{i,p}(t, m, s), W^{i,c}(t, v, z)$ , развития цифровых технологий, справедливо следующее:

$$\begin{aligned} W_n^p(t, \lambda m, \lambda s) &> \lambda W_n^p(t, m, s), \\ W_n^c(t, \lambda v, \lambda z) &> \lambda W_n^c(t, v, z), \quad \lambda > 1, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} W_1^p(t, m, s) &= Q_1 m^{\gamma_1} s^{\beta_1}, \\ W_2^p(t, m, s) &= Q_2 m^{\gamma_2} s^{\beta_2}, \dots, \\ W_n^p(t, m, s) &= Q_n m^{\gamma_n} s^{\beta_n}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} W_1^c(t, v, z) &= L_1 v^{\alpha_1} z^{\chi_1}, \\ W_2^c(t, v, z) &= L_2 v^{\alpha_2} z^{\chi_2}, \dots, \\ W_n^c(t, v, z) &= L_n v^{\alpha_n} z^{\chi_n}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \gamma_1 < \gamma_2 < \dots < \gamma_n, \quad \beta_1 < \beta_2 < \dots < \beta_n, \\ Q_1 < Q_2 < \dots < Q_n, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_n, \quad \chi_1 < \chi_2 < \dots < \chi_n, \\ L_1 < L_2 < \dots < L_n, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\langle \gamma, \beta, Q \rangle = \begin{cases} \gamma = \gamma_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}} \\ \beta = \beta_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}}, i = 1, 2, \dots, 8, \\ Q = Q_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}} \end{cases} \quad (9)$$

$$m_{TRL9} < m_{TRL8} < \dots < m_{TRL1}, s_{TRL9} < s_{TRL8} < \dots < s_{TRL1}, \quad (10)$$

$$\langle \alpha, \chi, L \rangle = \begin{cases} \alpha = \alpha_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}} \\ \chi = \chi_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}}, i = 1, 2, \dots, 8, \\ L = L_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}} \end{cases} \quad (11)$$

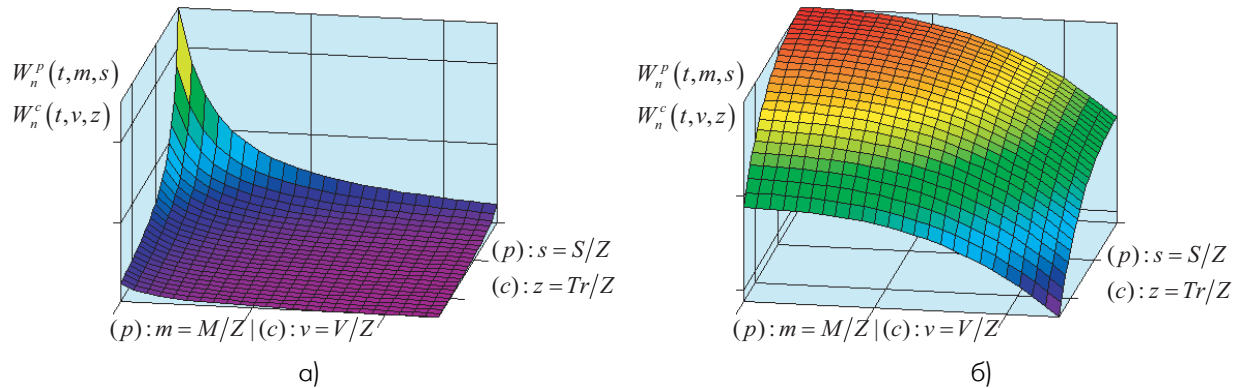
$$v_{TRL9} < v_{TRL8} < \dots < v_{TRL1}, z_{TRL9} < z_{TRL8} < \dots < z_{TRL1}. \quad (12)$$

Графики функций развития  $W^{i,p}(t, m, s)$ ,  $W^{i,c}(t, v, z)$ , цифровых технологий с описанными свойствами (4)–(12) для наглядности представлены на рисунке 1.

На рисунке 1 введены следующие символные обозначения:  $m = M/Z$  – материалоемкость;  $s = S/Z$  – энергоемкость;  $z = Tr/Z$  – транзакционоемкость;  $v = V/Z$  – трудоемкость цифровой технологии;  $M$  – затраты материалов;  $S$  – затраты энергии;  $Z$  – продукт (выручка);  $V$  – затраты труда;  $Tr$  – транзакционные издержки, свойственные цифровой технологии  $n$ -го уровня развития (готовности) при ее практическом применении по назначению в условиях технологической системы экономического агента, имеющей физическую и информационную составляющие.

Как следует из анализа рисунка 1, характер движения цифровой технологии по траектории повышения уровня своей готовности может быть различным и определяется знаками первых и вторых производных изменения материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости и транзакционоемкости, имеющего место в процессах развития, то есть при движении цифровой технологии по траектории  $TRL1 \rightarrow TRL9$ . В первом случае (см. рисунок 1а) наблюдается резкое снижение объемов потребления факторов производства на начальном этапе развития цифровой технологии, а во втором случае (см. рисунок 1б) наоборот – резкое снижение приходится на финальные этапы процесса развития.

С теоретической точки зрения все возможные варианты развития цифровых технологий образуются комбинаторным образом путем рассмотрения различных, в том числе и разнонаправленных, динамик параметров. Результаты исследования получены и представлены применительно к динамикам параметров, попадающим по своим совместным



**Рисунок 1.** Графики функций развития  $W^{i,p}(t, m, s)$ ,  $W^{i,c}(t, v, z)$ , отдельной цифровой технологии:

а)  $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0, ds_n^{\beta_n}/dt < 0, dv_n^{\alpha_n}/dt < 0, dz_n^{\zeta_n}/dt < 0, d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 > 0,$

$$d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 > 0, d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 > 0, d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 > 0$$

б)  $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0, ds_n^{\beta_n}/dt < 0, dv_n^{\alpha_n}/dt < 0, dz_n^{\zeta_n}/dt < 0, d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 < 0,$

$$d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 < 0, d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 < 0, d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 < 0$$

**Figure 1.** Graphs of the development functions, of a particular digital technology:

а)  $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0, ds_n^{\beta_n}/dt < 0, dv_n^{\alpha_n}/dt < 0, dz_n^{\zeta_n}/dt < 0, d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 > 0,$

$$d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 > 0, d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 > 0, d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 > 0$$

б)  $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0, ds_n^{\beta_n}/dt < 0, dv_n^{\alpha_n}/dt < 0, dz_n^{\zeta_n}/dt < 0, d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 < 0,$

$$d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 < 0, d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 < 0, d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 < 0$$

Источник: составлено авторами  
Source: compiled by the authors

понижаемым свойствам под методическое допущение процесса развития цифровых технологий, сформулированное в разделе «Методы и методология исследования».

С практической точки зрения более очевидным вариантом реализации сценария развития представляется случай, показанный на рисунке 1, а, так как начальные этапы развития цифровой технологии приходятся на научно-исследовательские фазы TRL1-TRL3, на которых максимально реализуется интеллектуальный потенциал технологических инноваторов. Финальные фазы TRL7-TRL9 соответствуют экспериментальным этапам практической отработки цифровой технологии в составе целевого изделия или технологической системы экономического агента, где прирост эффективности снижения параметров  $m(t), s(t), v(t), z(t)$  обычно уже не так значителен.

Пошаговые изменения функции развития, сопровождающие ступенчатую траекторию движения цифровой технологии по схеме TRL1→TRL9, где:

$$\lim_{(t_{n-1}-t_n) \rightarrow 0} W_{n-1}^p(t, m, s) \rightarrow W_n^p(t, m, s), \quad (13)$$

описываются (на примере функции  $W_n^p(t, m, s)$ ) дифференциальными уравнениями вида:

$$\begin{aligned} & \frac{W_{n-1}^p(t, m, s) - W_n^p(t, m, s)}{t_{n-1} - t_n} = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow W_{n-1}^p(t, m, s) - W_n^p(t, m, s) = \\ & = W_n^p(t, m, s) (t_{n-1} - t_n) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow W_{n-1}^p(t, m, s) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left( 1 + (t_{n-1} - t_n) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right), \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & W_{n-2}^p(t, m, s) = \\ & = W_{n-1}^p(t, m, s) \left( 1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left( \gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left( 1 + (t_{n-1} - t_n) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left( 1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left( \gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right), \quad (15) \end{aligned}$$

$$W_{n-3}^p(t, m, s) =$$

$$\begin{aligned} & = W_{n-2}^p(t, m, s) \left( 1 + (t_{n-3} - t_{n-2}) \left( \gamma_{n-2} \frac{1}{m_{n-2}} \frac{dm_{n-2}^{\gamma_{n-2}}}{dt} + \beta_{n-2} \frac{1}{s_{n-2}} \frac{ds_{n-2}^{\beta_{n-2}}}{dt} \right) \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left( 1 + (t_{n-1} - t_n) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left( 1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left( \gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left( 1 + (t_{n-3} - t_{n-2}) \left( \gamma_{n-2} \frac{1}{m_{n-2}} \frac{dm_{n-2}^{\gamma_{n-2}}}{dt} + \beta_{n-2} \frac{1}{s_{n-2}} \frac{ds_{n-2}^{\beta_{n-2}}}{dt} \right) \right), \quad (16) \end{aligned}$$

и так далее.

Тогда детерминированная составляющая динамики развития цифровой технологии, описывающая ее поступательное развитие из начального состояния TRL1 в конечное состояние TRL9, будет определяться следующими выражениями:

а) в физическом пространстве технологической системы экономического агента:

$$\begin{aligned} & \frac{dW_n^p(t, m, s)}{dt} = \\ & = \frac{\partial W_n^p(t, m, s)}{\partial m} \frac{dm(t)}{dt} + \frac{\partial W_n^p(t, m, s)}{\partial s} \frac{ds(t)}{dt} = \\ & = Q_n \left( \gamma_n m_n^{\gamma_n-1} s_n^{\beta_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n m_n^{\gamma_n} s_n^{\beta_n-1} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = Q_n m_n^{\gamma_n} s_n^{\beta_n} \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = \frac{1}{w_n^p} \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \frac{d(1/w_n^p)}{dt} = \frac{1}{w_n^p} \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \frac{d(1/w_n^p)}{1/w_n^p} = \left( \gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) dt, \quad (17) \end{aligned}$$

или:

$$\begin{aligned} & W_{кон}^p(t, m, s) = W_{нач}^p(t, m, s) \times \\ & \times \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right), \quad (18) \end{aligned}$$

следовательно:

$$\frac{1}{W_{кон}^p} = \frac{1}{W_{нач}^p} \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{кон}^p = W_{нач}^p \left( \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (19)$$

$$\frac{W_{кон}^p}{W_{нач}^p} = \left( \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (20)$$

$$W_{кон}^p - W_{нач}^p = W_{нач}^p \frac{1 - \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right)}{\prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right)}; \quad (21)$$

б) в информационном пространстве технологической системы экономического агента:

$$\frac{dW_n^c(t, v, z)}{dt} = \frac{\partial W_n^c(t, v, z)}{\partial v} \frac{dv(t)}{dt} + \frac{\partial W_n^c(t, v, z)}{\partial z} \frac{dz(t)}{dt} =$$

$$= L_n \left( \alpha_n v_n^{\alpha_n - 1} z_n^{\chi_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n v_n^{\alpha_n} z_n^{\chi_n - 1} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) = L_n v_n^{\alpha_n} z_n^{\chi_n} \left( \alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) =$$

$$= W_n^c(t, v, z) \left( \alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) = \frac{1}{w_n^c} \left( \alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{d(1/w_n^c)}{dt} = \frac{1}{w_n^c} \left( \alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) \Rightarrow \frac{d(1/w_n^c)}{1/w_n^c} = \left( \alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) dt, \quad (22)$$

или:

$$W_{кон}^c(t, v, z) = W_{нач}^c(t, v, z) \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right), \quad (23)$$

следовательно:

$$\frac{1}{W_{кон}^c} = \frac{1}{W_{нач}^c} \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{кон}^c = W_{нач}^c \left( \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (24)$$

$$\frac{W_{кон}^c}{W_{нач}^c} = \left( \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (25)$$

$$W_{кон}^c - W_{нач}^c = W_{нач}^c \frac{1 - \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right)}{\prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right)}, \quad (26)$$

где отношения  $W_{кон}^p/W_{нач}^p$ ,  $W_{кон}^c/W_{нач}^c$  и разности  $(W_{кон}^p - W_{нач}^p)$ ,  $(W_{кон}^c - W_{нач}^c)$  определяют соответственно абсолютную и относительную результативности процесса развития цифровой технологии в физическом ( $p$ ) и информационном ( $c$ ) пространствах.

Выражения (19)-(21) и (24)-(26) справедливы для следующего набора условий:

$$1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \neq 0, \quad \forall i, n; \quad (27)$$

$$1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \neq 0, \quad \forall i, n; \quad (28)$$

$$0 < \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) < 1, \quad \forall i, n; \quad (29)$$

$$0 < \prod_{i=0}^{n-2} \left( 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) < 1, \quad \forall i, n; \quad (30)$$

$$i = \overline{0, n-2} : 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) < 0, \\ n \in \mathbf{M} \{ m \mid \forall m \in \mathbf{M} \exists! q \in \mathbf{N} (m = 2q) \}; \quad (31)$$

$$i = \overline{0, n-2} : 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left( \gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) < 0, \\ n \in \mathbf{M} \{ m \mid \forall m \in \mathbf{M} \exists! q \in \mathbf{N} (m = 2q) \}, \quad (32)$$

связанных с положительной определенностью временной оси, а также с конечным числом состояний каждой цифровой технологии, достигаемых в процессе развития.

В фазовом пространстве параметров отдельной цифровой технологии результаты ее развития имеют вид:

$$\Delta m = m(t_{нач}) - m(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (m_{n-i-1} - m_{n-i}), \\ \Delta s = s(t_{нач}) - s(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (s_{n-i-1} - s_{n-i}), \quad (33)$$

$$\Delta v = v(t_{нач}) - v(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (v_{n-i-1} - v_{n-i}), \\ \Delta z = z(t_{нач}) - z(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (z_{n-i-1} - z_{n-i}), \quad (34)$$

справедливый для оценки при фиксированном объеме производства в условиях технологической системы рассматриваемого экономического агента.

Совместное развитие нескольких цифровых технологий, например, в рамках развития так называемых сквозных цифровых технологий, уже требует формализации, учитывающей процессы взаимодействия и смены состояний цифровых технологий в группе, где оказывается взаимное влияние  $i$ -ой и  $j$ -ой цифровых

технологий, обладающих разными, соответственно  $n$ -ым и  $m$ -ым уровнями готовности, и связанных отношением функций развития:

$$W_n^{ip}(t) = F_1^{ijp}(W_m^{jp}(t)), \\ W_n^{ic}(t) = F_1^{ijc}(W_m^{jc}(t)), \quad (35)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_2^{ijpc}(W_m^{jc}(t)), \\ W_n^{ic}(t) = F_2^{ijcp}(W_m^{jp}(t)), \quad (36)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_3^{ijp}(W_{m_1}^{1p}(t), W_{m_2}^{2p}(t), \dots, W_{m_j}^{jp}(t)) = \\ = F_3^{ijp}(W_{m_j}^{j=1, \dots, j}^{jp}(t)), i \notin \overline{1, J}, \quad (37)$$

$$W_n^{ic}(t) = F_4^{ijc}(W_{m_1}^{1c}(t), W_{m_2}^{2c}(t), \dots, W_{m_j}^{jc}(t)) = \\ = F_4^{ijc}(W_{m_j}^{j=1, \dots, j}^{jc}(t)), i \notin \overline{1, J}, \quad (38)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_5^{ijHpc}(W_{m_j}^{j=1, \dots, j}^{jp}(t), W_{m_h}^{h=1, \dots, h}^{hc}(t)), \\ i \notin \overline{1, J}, i \notin \overline{1, H}, \quad (39)$$

$$W_n^{ic}(t) = F_6^{ijHcp}(W_{m_j}^{j=1, \dots, j}^{jc}(t), W_{m_h}^{h=1, \dots, h}^{hp}(t)), \\ i \notin \overline{1, J}, i \notin \overline{1, H}, \quad (40)$$

где  $F_1^{ijp}, F_1^{ijc}, F_2^{ijpc}, F_2^{ijcp}, F_3^{ijp}, F_4^{ijc}, F_5^{ijHpc}, F_6^{ijHcp}$  – совокупность «сложных» функций.

Тогда для группы развиваемых цифровых технологий справедливо следующее:

$$\begin{aligned}
 & dW_n^{ip}(t)/dt = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - W_n^{ip}) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))) = \\
 & = dF_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot W_m^{jp}(t)/dt = dF_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jp} (W_{m-1}^{jp} - W_m^{jp}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left( W_{n-1}^{ip} - F_1^{ijp} \left( W_{m-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jp}} dW_m^{jp}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))) = \\
 & = dF_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot W_m^{jc}(t)/dt = dF_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jc} (W_{m-1}^{jc} - W_m^{jc}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left( W_{n-1}^{ip} - F_2^{ijpc} \left( W_{m-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jc}} dW_m^{jc}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_3^{ijp} (W_{m_j}^{j=1,\bar{J}p}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left( W_{n-1}^{ip} - F_3^{ijp} \left( W_{m_j-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jp}} dW_{m_j}^{jp}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{j=\bar{1},\bar{J}} = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_5^{iJHpc} (W_{m_j}^{j=1,\bar{J}p}(t), W_{m_h}^{h=1,\bar{H}c}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left( W_{n-1}^{ip} - F_5^{iJHpc} \left( W_{m_j-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jp}} dW_{m_j}^{jp}(t)/dt, W_{m_h-1}^{hc} - \frac{1}{k_{m_h-1,m_h}^{hc}} dW_{m_h}^{hc}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{\substack{j=\bar{1},\bar{J} \\ h=\bar{1},\bar{H}}} \Bigg); \quad (41)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & dW_n^{ic}(t)/dt = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - W_n^{ic}) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))) = \\
 & = dF_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot dW_m^{jc}(t)/dt = dF_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jc} (W_{m-1}^{jc} - W_m^{jc}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left( W_{n-1}^{ic} - F_1^{ijc} \left( W_{m-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jc}} dW_m^{jc}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))) = \\
 & = dF_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot dW_m^{jp}(t)/dt = dF_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jp} (W_{m-1}^{jp} - W_m^{jp}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left( W_{n-1}^{ic} - F_2^{ijcp} \left( W_{m-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jp}} dW_m^{jp}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_4^{iJc} (W_{m_j}^{j=1,\bar{J}c}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left( W_{n-1}^{ic} - F_4^{iJc} \left( W_{m_j-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jc}} dW_{m_j}^{jc}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{j=\bar{1},\bar{J}} = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_6^{iJHcp} (W_{m_j}^{j=1,\bar{J}c}(t), W_{m_h}^{h=1,\bar{H}p}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left( W_{n-1}^{ic} - F_6^{iJHcp} \left( W_{m_j-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jc}} dW_{m_j}^{jc}(t)/dt, W_{m_h-1}^{hp} - \frac{1}{k_{m_h-1,m_h}^{hp}} dW_{m_h}^{hp}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{\substack{j=\bar{1},\bar{J} \\ h=\bar{1},\bar{H}}} \Bigg), \quad (42)
 \end{aligned}$$

Таким образом, в составе группы цифровых технологий состояния развития одной цифровой технологии являются в общем случае функциями состояний развития сопряженных (одной или нескольких  $J$ -физических и  $H$ -виртуальных) цифровых технологий, реализуемыми на практике за счет взаимопроникновения малыми приращениями научных знаний в смежных научных областях экономики технологий. Здесь фиксируется важный переход от процесса развития отдельной цифровой технологии, то есть одномерного

процесса, к многомерному случаю, для которого характерно рассмотрение суперпозиции множества процессов развития, наблюдаемых во времени совместно.

Вероятностная составляющая динамики развития цифровой технологии в статистическом смысле определяется плотностью распределения времени достижения технологией финального (потенциально достижимого) состояния, соответствующего  $W_{TRL9}^{i,p}, W_{TRL9}^{i,c}$ . Для отдельно взятой  $i$ -ой цифровой технологии плотность распределения времени имеет вид:

$$f_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} f_{\text{TRL}_1, \text{TRL}_2}^k(t) f_{\text{TRL}_2, \text{TRL}_3}^k(t) \cdots f_{\text{TRL}_8, \text{TRL}_9}^k(t) \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}, \quad (43)$$

$$T_i = \int_0^{\infty} t f_i(t) dt = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k) \sum_{d=1}^8 T_{\text{TRL}_d, \text{TRL}_{d+1}}^k}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}, \quad (44)$$

$$D_i = \int_0^{\infty} (t - T_i)^2 f_i(t) dt = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} \left( \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k) \right) \left( \sum_{j=1}^8 D_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k + \left( \sum_{d=1}^8 T_{\text{TRL}_d, \text{TRL}_{d+1}}^k \right)^2 \right)}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)} - T_i^2, \quad (45)$$

и границами ненулевых значений области определения:

$$T_i^{\min} = \min_k \left\{ \sum_{j=1}^8 T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \min} \right\},$$

$$T_i^{\max} = \max_k \left\{ \sum_{j=1}^8 T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \max} \right\}, \quad (46)$$

где  $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$ ,  $D_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$  – соответственно математическое ожидание и дисперсия от функции  $f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(t)$ ,  $k = 1, 2, \dots, H + J$ ,  $j = 1, 2, \dots, 8$  плотности распределения времени пребывания отдельной цифровой технологии в состоянии  $w_{\text{TRL}_j}^k$  заданной в области ненулевых значений с левой и правой границами времени  $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \min}$ ,  $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \max}$ ,  $P_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i)$  – вероятность перехода цифровой технологии между качественными состояниями своего развития, зависящая от внешних условий, в частности, от объема инвестиций  $I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$  государственно-частного партнерства:

$$w_{\text{TRL}_1}^{i, p} \xrightarrow{p_1^{i, p}(I_1^{i, p})} w_{\text{TRL}_2}^{i, p} \xrightarrow{p_2^{i, p}(I_2^{i, p})} w_{\text{TRL}_3}^{i, p} \xrightarrow{p_3^{i, p}(I_3^{i, p})} \dots$$

$$\dots \xrightarrow{p_8^{i, p}(I_8^{i, p})} w_{\text{TRL}_9}^{i, p}, \quad (47)$$

$$w_{\text{TRL}_1}^{i, c} \xrightarrow{p_1^{i, c}(I_1^{i, c})} w_{\text{TRL}_2}^{i, c} \xrightarrow{p_2^{i, c}(I_2^{i, c})} w_{\text{TRL}_3}^{i, c} \xrightarrow{p_3^{i, c}(I_3^{i, c})} \dots$$

$$\dots \xrightarrow{p_8^{i, c}(I_8^{i, c})} w_{\text{TRL}_9}^{i, c}, \quad (48)$$

вложенных в конкретный этап развития  $\text{TRL}_j \rightarrow \text{TRL}_{j+1}$ , где  $H+J$  – общее число параллельно развиваемых в государстве цифровых технологий физического и информационно-пространства технологической системы

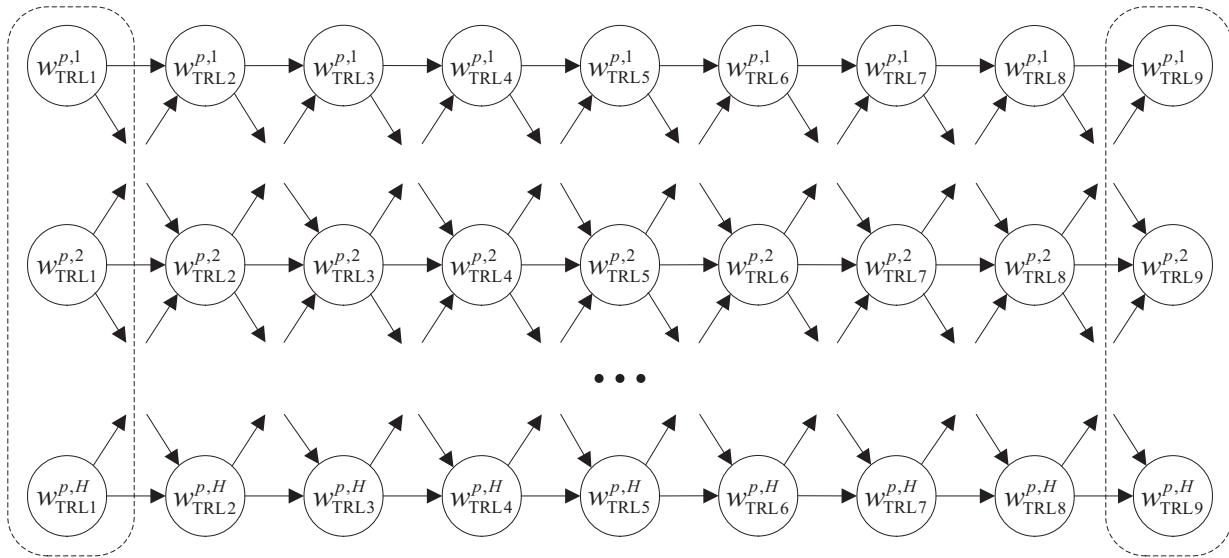
национальной экономики, перекрестно влияющих друг на друга в процессах развития,  $T_i$  и  $D_i$  – соответственно математическое ожидание и дисперсия (наиболее важные моментные характеристики) функции  $f_i(t)$  для отдельно взятой цифровой технологии. Формулы (43)–(46) получены с использованием научных результатов работы (Ларкин & Сабо, 2004).

В известном смысле совокупное развитие группы перекрестно влияющих друг на друга цифровых технологий, каждая из которых проходит 9 фиксированных фаз своего развития, соответствует идее и закономерностям, присущим сети Петри-Маркова, что проиллюстрировано схемой на рис. 2 (Ларкин & Сабо, 2004). На схеме показана потенциально возможная взаимосвязь состояний развития цифровых технологий и их взаимовлияние друг на друга по принципу «каждый с каждым» в процессах развития.

Функция плотности вероятности получена в предположении о наличии достаточной статистики, позволяющей сформировать частные функции плотности вероятности:

$$\begin{cases} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) \neq 0, t \in [T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}, T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}] \\ f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) = 0, t \notin [T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}, T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}] \end{cases}, \quad (49)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) dt = \int_{T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}}^{T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) dt = 1, \quad (50)$$



**Рисунок 2.** Схема развития группы из  $H$  цифровых технологий физической среды технологической системы с их взаимным перекрестным влиянием на каждом уровне готовности

**Figure 2.** Scheme of development of a group of  $H$  digital technologies of the physical environment of a technological system with their mutual cross-impact at each level of readiness

*Источник:* составлено авторами с использованием (Ларкин & Сабо, 2004)

*Source:* compiled by the authors using (Larkin & Sabo, 2004)

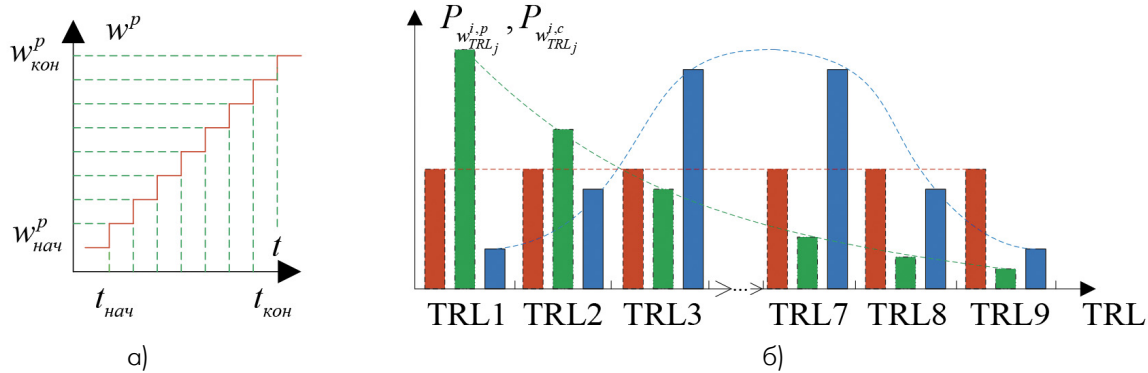
в статистическом смысле описывающие пребывание цифровой технологии на уровне готовности  $w_{TRL_j}^{i,p}$  или  $w_{TRL_j}^{i,c}$ , который она с вероятностью  $P_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i)$  преодолевает, то есть:  $w_{TRL_j}^{i,p} \xrightarrow{P_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i)} w_{TRL_{j+1}}^{i,p}$ , и это происходит на ограниченном временном промежутке  $[T_{TRL_j,TRL_{j+1}}^{i,min}, T_{TRL_j,TRL_{j+1}}^{i,max}]$ , в области ненулевых значений. По существу, этот временной промежуток определяет время пребывания (время жизни) цифровой технологии на уровне  $w_{TRL_j}^{i,p}$  или  $w_{TRL_j}^{i,c}$  своего развития (готовности).

Предположение о наличии достаточной статистики в отношении частных функций плотности вероятности  $f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(t)$  является ключевым для определения вероятностной составляющей динамики развития цифровых технологий. Следует отметить, что практика развития цифровых технологий не предполагает сбор и публикацию статистических данных о сроках развития технологий и объемах выделенного для этого финансирования, а также о времени пребывания цифровых технологий на каждом из этапов их развития. Между тем, только на основе такого статистического материала, полученного

в условиях экономической конкуренции, когда одну цифровую технологию параллельно развивают несколько инноваторов, можно достоверно (на основе математического аппарата проверки статистических гипотез) оценить вид и математические свойства функций  $f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(t)$ .

### Обсуждение результатов

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что динамика развития каждой цифровой технологии, осуществляемая по траектории  $TRL_j \rightarrow TR_{L_{j+1}}$ ,  $TRL_j \in [TRL_1, TR_{L_9}]$  имеет на практике две составляющие. Первая составляющая детерминированная (поступательная), обусловлена существованием ступенчатых уровней готовности и скачкообразными переходами цифровой технологии между этими уровнями вверх по «лестнице» развития (см. рис. 3а), а вторая составляющая – вероятностная, определяющая случайное время, в течение которого цифровая технология пребывает (задерживается) на каждом конкретном уровне (каждой «ступеньке лестницы») своего развития (см. рис. 3б).



**Рисунок 3.** Графики динамики развития цифровых технологий: а) поступательная составляющая динамики со ступенчатообразной формой траектории движения цифровой технологии по уровням готовности; б) вероятностная составляющая динамики, соответствующая различным законам распределения времени пребывания цифровой технологии на каждом из уровней готовности (зрелости)

**Figure 3.** Graphs of the dynamics of digital technology development: a) the progressive component of the dynamics with a step-like trajectory of the digital technology's movement through the levels of readiness; b) the probabilistic component of the dynamics, corresponding to various laws of distribution of the time spent by the digital technology at each level of readiness (maturity)

*Источник: составлено авторами*  
*Source: compiled by the authors*

В связи с этим особый научный интерес представляет сбор и систематизация статистических данных о процессах развития каждой цифровой технологии, на основе которых могут быть получены оценки параметров функций развития, релевантных экономической деятельности микро-, мезо- и макроуровневых экономических агентов, разрабатывающих и внедряющих технологические инновации в промышленное производство.

Такие данные позволят количественно обосновать корреляции затрат факторов производства по фактору труда и по фактору капитала в условиях конкретных технологических систем и определить относительные доли изменений материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости и транзакционоемкости промышленного производства, возникающих при повышении уровней готовности цифровых технологий, а также оценить суммарный вклад таких изменений в валовый внутренний продукт России при переходе экономических агентов на цифровые технологии.

### Заключение

Основой выполненного исследования является научная идея, заключающаяся в возможности повышения уровней готовности

развиваемых цифровых технологий за счет масштабного использования передовых интеллектуальных достижений экономических агентов, специализирующихся на технологических инновациях.

Применение полученных новых научных результатов целесообразно осуществлять вдоль линии «наука-технологии-производство», что окажет существенное влияние на качественное изменение существующей технологической системы национальной экономики, а также на темпы экономического роста и развития ключевых отраслей отечественной промышленности (Нигматов, 2024; Левшов & Сердечная, 2025).

Предлагаемый научно-методический аппарат и его потенциал использования согласуются с наблюдаемым сегодня повышением экономической роли своевременного обновления техники и технологий в современном промышленном производстве, а также соответствуют текущей благоприятной конъюнктуре инновационной деятельности экономических агентов в рамках реализации национальных проектов технологического лидерства России (Хамраева & Равшанова, 2024; Торжевский, 2024; Сураева, 2025).

Дополнительными стимулами, ускоряющими проведение экономическими агентами

научно-технологических исследований, необходимых для обновления технологической системы национальной экономики, являются внешние вызовы (лимит на привнесение извне технологий с новым цифровым качеством), обусловленные санкционными действиями группы недружественных стран коллективного Запада, формирующими вокруг России режим технологического и инвестиционного изоляционизма, затрудняющий приток передовых цифровых технологий и средств труда нового «цифрового» поколения.

Реализация идеи исследования на практике, очевидно, сопряжена со следующими изменениями промышленной инфраструктуры:

- а) кратное повышение значений коэффициентов обновления и выбытия основных средств, обусловленное ускоренными темпами замещения техники и технологий в технологической структуре национальной экономики в связи с наступлением «переломного момента» в научно-техническом прогрессе по большинству областей средств труда и технологий в ключевых отраслях промышленности;
- б) обучение и переобучение персонала производственных комплексов, необходимое для обеспечения повышенной готовности человеческого ресурса к выполнению трудовых функций и трудовых действий с «цифровыми» средствами производства;
- в) институциональное создание системы инвестиционных стимулов, мотивирующих топ-менеджмент экономических агентов к переходу на принципы и философию хозяйствования, соответствующие цифровой экономике и шестому технологическому

укладу, имеющим свое отражение в изменении принципов построения контуров совокупностей технологически сопряженных производств государственных корпораций.

Такие изменения технологической системы национальной экономики рекомендуется проводить в форсированном режиме, что обусловлено обострением политических и экономических противоречий между Россией и недружественными странами коллективного Запада, а также накопленными различиями в технологических возможностях зарубежных и отечественных экономических агентов.

### **Вклад участников научного исследования**

*Жаринов, И.О.: Разработка концепции, Формальный анализ, Проведение исследования, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.*

*Жаринов, О.О.: Разработка концепции, Формальный анализ, Проведение исследования, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.*

### **Contributorship**

*Zharinov, I.O.: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing – review & editing.*

*Zharinov, O.O.: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing – review & editing.*

### **Конкурирующие интересы**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Competing Interests**

The authors declare no conflict of interest.

---

## **Список источников / References**

1. Агафонцев, С.А. (2025). Цифровое государство как технология управления в Российской Федерации: проблемы и перспективы развития. *Человек. Социум. Общество*, 1, 99–102. EDN: DIKFLS  
Agafontsev, S.A. (2025). The digital state as a management technology in the Russian Federation: problems and prospects of development. *Human. Society. Community*, 1, 99–102. EDN: DIKFLS (in Russian)
2. Бурлов, Д.Ю., & Багинов, И.П. (2024). Влияние цифровых технологий на разработку программ стратегического развития предприятий малого и среднего бизнеса. *Инновации и инвестиции*, 7, 125–127. EDN: VBKXPW  
Burlov, D.Yu., & Baginov, I.P. (2024). Influence of digital technologies on the development of strategic development programs for small and medium businesses. *Innovations and Investments*, 7, 125–127. EDN: VBKXPW (in Russian)

- 3.** Жаринов, И.О. (2023). Экономическая стратегия управляемой трансформации оборонно-промышленного комплекса на основе динамики суверенного стека сквозных цифровых технологий. *Вооружение и экономика*, 4(66), 69–82. EDN: WKSHSU  
Zharinov, I.O. (2023). Economic strategy of the military-industrial complex managed transformation based on the sovereign stack dynamics of end-to-end digital technologies. *Armament and Economics*, 4(66), 69–82. EDN: WKSHSU (in Russian)
- 4.** Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2025). Оценка экономической безопасности России на основе анализа технологического платежного баланса. *Петербургский экономический журнал*, 1, 54–66. EDN: SOWYJE, <https://doi.org/10.32603/2307-5368-2025-1-54-66>  
Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2025). Assessment of Russia's economic security based on the analysis of the technological balance of payments. *St. Petersburg Economic Journal*, 1, 54–66. EDN: SOWYJE (in Russian) <https://doi.org/10.32603/2307-5368-2025-1-54-66>
- 5.** Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2024). Экономика технологий в системе государственного статистического учета Российской Федерации. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 4(148), 49–59. EDN: EZBWXD  
Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2024). The economics of technology in the system of State statistical accounting of the Russian Federation. *Proceedings of the Saint Petersburg State University of Economics*, 4(148), 49–59. EDN: EZBWXD (in Russian)
- 6.** Иванова, И.П., & Шепелева, О.П. (2025). Особенности развития института цифровой трансформации в условиях информационно-коммуникационных технологий. *Экономические науки*, 245, 263–266. EDN: WCWERL, <https://doi.org/10.14451/1.245.263>  
Ivanova, I.P., & Shepeleva, O.P. (2025). Features of the development of the Institute of digital transformation in the context of information and communication technologies. *Economic Sciences*, 245, 263–266. EDN: WCWERL (in Russian) <https://doi.org/10.14451/1.245.263>
- 7.** Коробушин, Д.В., Макаров, В.М., Макаров С.М., Меньшиков В.В., & Уваров Р.И. (2024). Влияние глобальных экономических трендов на развитие инновационных технологий в условиях цифровой трансформации. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 14(9–1), 150–162. EDN: DGURAD  
Korobushin, D.V., Makarov, V.M., Makarov, S.M. Men'shikov, V.V., & Uvarov, R.I. (2024). The impact of global economic trends on the development of innovative technologies in the context of digital transformation. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 14(9A), 150–162. EDN: DGURAD (in Russian)
- 8.** Ларкин, Е.В., & Сабо, Ю.И. (2004). *Сети Петри-Маркова и отказоустойчивость авионики*. Тульский государственный университет.  
Larkin, E.V., & Sabo, Yu.I. (2004). *Petri-Markov networks and avionics fault tolerance*. Tula State University.
- 9.** Левшов, И.В., & Сердечная, Ю.Н. (2025). Перспективы использования инновационной инфраструктуры для развития цифровых технологий в России. *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*, 4, 232–239. EDN: NKMLXI, <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2025-4-13>  
Levshov, I.V., & Serdechnaya, Yu.N. (2025). Prospects for using innovative infrastructure for the development of digital technologies in Russia. *Humanities, Socio-economic and Social Sciences*, 4, 232–239. EDN: NKMLXI (in Russian) <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2025-4-13>
- 10.** Матерова, Е.С., Дедин, А.В., & Шарафуллина, Р.Р. (2024). Формирование и развитие цифровых технологий в экономике России. *Вопросы экономики и права*, 196, 65–70. EDN: YZFGLG  
Materova E.S., Dedin A.V., & Sharafullina R.R. (2024). Formation and development of digital technologies in the Russian economy. *Economics and Law Issues*, 196, 65–70. EDN: YZFGLG (in Russian)
- 11.** Мызрова, К.А., Мьялина, Н.Ж., Захарова, Ю.Н., & Заводцков, А.С. (2024). Цифровые технологии как фактор устойчивого развития малого бизнеса. *Креативная экономика*, 18(9), 2193–2210. EDN: URNKUH, <https://doi.org/10.18334/ce.18.9.121528>  
Myzrova, K.A., Myavlina, N.Zh., Zakharova, Yu.N., Zavodtsov, A.S. (2024). Digital technologies as a factor of sustainable development of small business. *Creative Economy*, 18(9), 2193–2210. EDN: URNKUH (in Russian) <https://doi.org/10.18334/ce.18.9.121528>
- 12.** Нигматов, Р.Р. (2024). Аналитические аспекты распространения цифровых технологий в развитии высокотехнологичных отраслей промышленности. *Экономика и управление в машиностроении*, 1, 22–26. EDN: MZJRZR  
Nigmatov, R.R. (2024). Analytical aspects of distribution of digital technologies in the development of high-tech industries. *Economics and Management in Mechanical Engineering*, 1, 22–26. EDN: MZJRZR (in Russian)
- 13.** Славин, Б.Б. (2025). Приоритетные направления развития цифровых технологий при реализации проекта «экономика данных». *Инновации и инвестиции*, 7, 242–245. EDN: XTYGVD  
Slavin, B.B. (2025). Priority areas for the digital technologies development in the implementation of the data economy project. *Innovation & Investment*, 7, 242–245. EDN: XTYGVD (in Russian)

- 14.** Сураева, М.О. (2025). Инновационные технологии цифровой трансформации экономики: управление региональным развитием внутренних систем. *Актуальные проблемы экономики и управления*, 2(46), 115–120. EDN: BNEZZK  
Suraeva, M.O. (2025). Innovation technologies of digital transformation of the economy: regional development management of internal systems. *Actual Problems of Economics and Management*, 2(46), 115–120. EDN: BNEZZK (in Russian)
- 15.** Сухарев, О.С. (2014). Институциональная теория технологических изменений: определения, классификация, модели. *Журнал институциональных исследований*, 6(1), 84–106. EDN: SCSEEX  
Sukharev, O.S. (2014). Institutional theory of technological change: definition, classification, models. *Journal of Institutional Studies*, 6(1), 84–106. EDN: SCSEEX (in Russian)
- 16.** Торжевский, К.А. (2024). Системный подход к оценке роли инфраструктуры цифровых технологий на современном этапе общественного развития. *Управленческий учет*, 7, 347–353. EDN: CPJDIA  
Torzhevsky, K.A. (2024). A systematic approach to assessing the role of digital technology infrastructure at the current stage of social development. *Management Accounting*, 7, 347–353. EDN: CPJDIA (in Russian)
- 17.** Трофимова, Н.Н. (2025) Инновации и устойчивое развитие: влияние цифровых технологий на бизнес-модели российских предприятий в условиях кризиса. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 1(1(154)). 70–77. EDN: UZQSXA, <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.01.01.007>  
Trofimova, N.N. (2025) Innovation and sustainable development: the impact of digital technologies on business models of Russian enterprises in times of crisis. *Economics and Management: problems, solutions*, 1(1(154)). 70–77. EDN: UZQSXA (in Russian) <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.01.01.007>
- 18.** Хамраева, С., & Равшанова, Н. (2024). Приоритетные направления развития национального рынка цифровых технологий. *Экономика и социум*, 10–2(125), 991–997. EDN: FZKPKO  
Khamraeva, S., & Ravshanova, N. (2024). Features of digital economy development. *Economics and Society*, 10–2(125), 991–997. EDN: FZKPKO (in Russian)
- 19.** Шумкова, К.Г., Сахнюк, Т.И., & Сахнюк, П.А. (2025). Развитие цифровых технологий для экономики России. *Финансовая экономика*, 4, 282–286. EDN: JWHOWE  
Shumkova, K.G., Sakhnyuk, T.I., & Sakhnyuk, P.A. (2025). Development of digital technologies for the Russian economy. *Financial Economics*, 4, 282–286. EDN: JWHOWE (in Russian)

## Информация об авторах

**Жаринов Игорь Олегович** – доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, Заслуженный машиностроитель Российской Федерации, руководитель учебно-научного центра – ученый секретарь Научно-технического совета, Акционерное общество «Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова»; SPIN-код РИНЦ: 9355–5800, Scopus ID: 57212047827, ORCID: 0000-0003-2508-5939. (198095, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 40; e-mail: mpbva@mail.ru).

**Жаринов Олег Олегович** – кандидат технических наук, доцент, кафедра Прикладной информатики, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; SPIN-код РИНЦ: 9052–3378, Scopus ID: 56607172800, ORCID: 0000-0003-1219-8205. (190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67; e-mail: zharinov73@inbox.ru).

## Authors

**Igor O. Zharinov** – Head of the Educational and Scientific Center – Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council, Stock company «Experimental Design Bureau «Electroavtomatika» Named After P.A. Yefimov»; Scopus ID: 57212047827, ORCID: 0000-0003-2508-5939 (40, Marshal Govorov str., St. Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: mpbva@mail.ru).

**Oleg O. Zharinov** – Associate Professor of the Applied Informatics Department, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Scopus ID: 56607172800, ORCID: 0000-0003-1219-8205 (67, Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: zharinov73@inbox.ru).

Поступила в редакцию (Received) 16.11.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 27.01.2026

Принята к публикации (Accepted) 18.02.2026