

## **ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ**

### **ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT**

УДК 65.011.4

DOI: 10.37890/jwt.vi84.620

#### **Научно-методические подходы к оценке влияния инновационных цифровых технологий и услуг на трансформацию цепей поставок продукции нефтехимических предприятий**

**Д.Д. Бухалкин**

*ORCID: 0009-0005-9661-764X*

**В.Н. Костров**

*ORCID: 0000-0002-8703-6713*

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,  
Россия*

**Аннотация.** Исследование посвящено анализу научно-методических подходов к оценке влияния инновационных цифровых технологий и услуг в трансформации цепей поставок продукции нефтехимических предприятий. Рассматриваются существующие методы оценки эффективности практического использования инновационных цифровых технологий и услуг в управлении цепями поставок, их преимущества и ограничения, предлагаются наиболее эффективные сочетания методов оценки. На основе системного анализа научных публикаций, отраслевых отчетов и реализованных проектов предложена шкала и интегральный критерий оценки, по которым оценены девять ключевых цифровых технологий и услуг, которые оказывают значительное влияние на трансформацию бизнес-процессов, связанных с управлением цепями поставок. Определены ключевые эффекты, возникающие в результате внедрения каждой из цифровых технологий. Выявлено, что инновационные цифровые технологии и услуги сильно взаимосвязаны и наибольшие эффекты достигаются при комплексном внедрении цифровых технологий и услуг в бизнес-процессы предприятий.

**Ключевые слова:** цифровизация логистики, цепи поставок, интернет вещей, IoT, цифровые двойники, логистика как услуга, оценка эффективности, инновации в управлении цепями поставок.

#### **Scientific and methodological approaches to assessing the impact of innovative digital technologies and services on the transformation of petrochemical enterprises' supply chains**

**Danila D. Bukhalkin**

*ORCID: 0009-0005-9661-764X*

**Vladimir N. Kostrov**

*ORCID: 0000-0002-8703-6713*

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** This study is devoted to the analysis of scientific and methodological approaches to assessing the impact of innovative digital technologies and services on the transformation of supply chains in petrochemical enterprises. The paper reviews existing methods for

evaluating the effectiveness of the practical application of innovative digital technologies and services in supply chain management, outlining their advantages and limitations, and identifies the most effective combinations of assessment methods. Based on a systematic analysis of academic literature, industry reports, and implemented projects, the study proposes an evaluation scale and an integrated assessment criterion, which are used to assess nine key digital technologies and services that exert a significant influence on the transformation of supply chain-related business processes. The key effects resulting from the implementation of each technology are identified. The findings reveal a high degree of interdependence among digital technologies and services, with the most substantial effects achieved through their comprehensive integration into enterprise business processes.

**Keywords:** logistics digitalization, supply chains, Internet of Things, IoT, digital twins, Logistics-as-a-Service (LaaS), performance evaluation, innovations in supply chain management.

### **Введение**

Нефтехимическая промышленность является важной частью глобальной экономики, обеспечивая выпуск полимеров, синтетических материалов, удобрений и сырья для смежных отраслей. В последнее десятилетие, предприятия нефтехимического комплекса Российской Федерации всё чаще сталкиваются с вызовами, затрагивающими их цепи поставок. Нарушение традиционных маршрутов поставок, отсутствие доступа к традиционным добавкам и единицам оборудования, конкуренция со стороны зарубежных производителей, а также высокие требования клиентов по срокам поставок и качеству продукции вынуждают компании искать новые подходы в управлении цепями поставок и выстраиванию бизнес-процессов. Адаптируясь к этим вызовам предприятия нефтехимического комплекса трансформируют свои процессы, внедряя передовые цифровые и организационные решения.

На передний план выходят инновационные цифровые технологии и услуги, способные обеспечить не только оперативное реагирование на внешние сбои, но и превентивное управление рисками, адаптивность и устойчивость цепей поставок. Интернет вещей (IoT), цифровые двойники, предиктивная аналитика, цифровые платформы управления мультимодальной логистикой и другие цифровые технологии и услуги позволяют не только повысить эффективность бизнес процессов, но и трансформировать саму архитектуру цепей поставок от линейной и фрагментированной к сетевой, IT-интегрированной и сервисно-ориентированной модели.

Несмотря на активное развитие исследований в области инновационных цифровых технологий и услуг в управлении цепями поставок, системного анализа применимости указанных решений в контексте нефтехимических предприятий недостаточно. Важное значение приобретает комплексная оценка зрелости технологий, степени их внедрения в отрасли, а также их экономической и операционной эффективности.

**Цель данного исследования** - провести анализ влияния инновационных цифровых технологий и услуг на трансформацию цепей поставок в нефтехимической отрасли. В рамках этого исследования поставлены следующие задачи:

- проанализировать существующие методы оценки эффективности практического использования инновационных цифровых технологий и услуг;
- проанализировать современные инновационные цифровые технологии и услуги в области логистики и управления цепями поставок;
- оценить зрелость и степень внедрения инновационных цифровых технологий и услуг в международной практике;
- оценить потенциальные экономические и операционные эффекты от внедрения инновационных цифровых технологий и услуг.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе инновационных цифровых технологий и услуг с акцентом на их применимость в нефтехимии, а также в оценке данных решений по критериям зрелости технологий, степени их внедрения, а также их экономической и операционной эффективности.

### Методы исследования

В рамках данной работы применён междисциплинарный подход, сочетающий методы системного анализа, сравнительного обзора литературы и экспертной оценки.

В ходе исследования был проведен систематизированный обзор научной литературы, включая статьи из международных журналов. Изучены примеры внедрения цифровых логистических решений в деятельности международных и российских нефтехимических компаний (BASF, Shell, NOVA Chemicals, Dow, СИБУР и др.). Проанализированы отчёты отраслевых ассоциаций и консалтинговых агентств (McKinsey, PwC, BCG, Deloitte), содержащие количественные оценки внедрения цифровых технологий в логистике.

В настоящем исследовании рассмотрены восемь категорий инновационных решений, включающих как цифровые инструменты, так и новые виды услуг.

Для оценки зрелости технологий, степени их внедрения в отрасли, а также их экономической и операционной эффективности использовалась экспертная шкала оценки по шкале от 1 до 5, сформированная на основе изучения релевантных источников и интегральная оценка (S), рассчитываемая как средневзвешенное значение оценок по трем критериям. Используемая шкала оценки приведена в Таблице 1. Сравнительный анализ решений проведён с акцентом на международную практику, с последующей интерпретацией применительно к нефтехимическому комплексу.

Таблица 1

### Используемая шкала оценки

| Зрелость технологии (Z)         |                                                                                                                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Балл                            | Описание                                                                                                                           |
| 1                               | Концепта технологии или НИОКР; отсутствуют промышленные прототипы.                                                                 |
| 2                               | Пилотные проекты и ограниченные тестовые внедрения; низкая стандартизация.                                                         |
| 3                               | Технология демонстрирует устойчивые результаты в отдельных компаниях;                                                              |
| 4                               | Технология широко применяется в ведущих отраслях; существуют зрелые программно-аппаратные решения и отраслевые стандарты.          |
| 5                               | Технология полностью зрелая и массово используется в логистике; устоявшаяся инфраструктура, высокая надёжность и масштабируемость. |
| Уровень внедрения (I)           |                                                                                                                                    |
| Балл                            | Описание                                                                                                                           |
| 1                               | Используется единичными компаниями в формате эксперимента.                                                                         |
| 2                               | Внедрена на уровне пилотов или отдельных процессов в крупных компаниях.                                                            |
| 3                               | Внедрена частично в операционную деятельность ведущих игроков отрасли.                                                             |
| 4                               | Используется крупными участниками рынка в нескольких отраслях.                                                                     |
| 5                               | Широко внедрена в логистике и управлении цепями поставок как стандарт.                                                             |
| Экономическая эффективность (E) |                                                                                                                                    |
| Балл                            | Описание                                                                                                                           |
| 1                               | Отсутствуют достоверные данные о снижении издержек или повышении производительности; окупаемость не подтверждена.                  |
| 2                               | Выгоды носят локальный характер; инвестиции часто превышают эффект.                                                                |
| 3                               | Заметные эффекты достигаются при определённых условиях.                                                                            |
| 4                               | Подтверждённая экономия затрат или рост эффективности в различных кейсах; хорошая прогнозируемость возврата инвестиций.            |

|   |                                                                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Демонстрирует стабильные и значительные экономические выгоды; высокое соотношение «затраты–результат», быстрое внедрение оправдано. |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Итоговая интегральная оценка (**S**) рассчитывается как средневзвешенное значение баллов по критериям по формуле (1):

$$S = \omega_Z \times Z + \omega_I \times I + \omega_E \times E \quad (1)$$

где: *Z* - балл по критерию Зрелость технологии;

*I* - балл по критерию Уровень внедрения;

*E* - балл по критерию Экономическая эффективность;

$\omega_Z, \omega_I, \omega_E$  - веса критериев.

С учетом фокуса на экономических показателях, веса критериев были выбраны следующим образом:  $\omega_Z = 0,3$ ;  $\omega_I = 0,3$ ;  $\omega_E = 0,4$ .

Использование предложенной пятибалльной шкалы и итоговой интегральной оценки в контексте сравнения различных цифровых технологий и услуг является оптимальным решением. Такой подход позволяет унифицировать оценку разнородных решений, находящихся на разных стадиях зрелости и реализуемых через разные технологические принципы - от аппаратных до платформенных и организационных. Это также позволяет агрегировать результаты в интегральную оценку, что невозможно сделать напрямую с применением методов анализа окупаемости инвестиций, оценки полной стоимости владения и других, описанных далее в исследовании, поскольку они оперируют разнотипными единицами измерения и логикой интерпретации. Кроме того, шкала устойчива к неполноте данных: даже при отсутствии точных экономических показателей можно сформировать обоснованное суждение.

### Состояние исследований

Современный этап развития транспортно-логистических услуг характеризуется внедрением инновационных подходов и цифровых технологий. Для предприятий нефтехимического комплекса, инновационные цифровые технологии и услуги становятся эффективным инструментом для повышения устойчивости и эффективности цепей поставок [1]. Изучению инновационных цифровых технологий и услуг в управлении цепями поставок посвящен ряд исследований как российских, так и зарубежных авторов.

Владимир Щербаков и Галина Силкина исследуют теоретические и практические аспекты трансформации процесса управления цепями поставок в условиях цифровой экономики и приводят обоснование перехода от традиционных линейных моделей логистики к гибким сетевым структурам, основанным на принципах виртуальной интеграции [2].

В исследовании Наиры Барсегян и соавторов подчёркивается, что повышение конкурентоспособности нефтехимических предприятий требует цифровизации логистики, применения ресурсосберегающих технологий и гибких управленческих подходов [3].

В систематическом обзоре публикаций, посвящённых применению инновационных технологий в логистическом управлении, Александра Лагорио с коллегами выделяют несколько проблемных областей: низкий уровень интеграции ИТ-систем между участниками цепей поставок, изучение различий между входящей и исходящей логистикой, недостаточная вовлеченность малого и среднего бизнеса в цифровую трансформацию логистических процессов [4].

Таким образом, внедрение инновационных технологий Индустрии 4.0 и организационных трансформаций, становится ключевым фактором повышения эффективности и устойчивости цепей поставок в нефтехимической отрасли.

Исследования подчёркивают важность перехода от традиционных линейных моделей к гибким цифровым экосистемам, в которых логистические платформы, виртуальная интеграция и сквозная цифровизация обеспечивают адаптивность и конкурентоспособность предприятий.

### **Методы оценки эффективности практического использования инновационных цифровых технологий и услуг в управлении цепями поставок**

Эффективность практического использования инновационных цифровых технологий и услуг в управлении цепями поставок требует объективной и многоаспектной оценки, позволяющей обосновать целесообразность инвестиций или изменения операционной модели. Ниже представлены основные подходы, используемые в научной и корпоративной практике для оценки эффективности практического применения инновационных цифровых решений.

#### ***1. Анализ окупаемости инвестиций***

Одним из наиболее распространённых методов является расчёт окупаемости инвестиций (Return on Investment, ROI), который позволяет оценить соотношение между полученными выгодами и первоначальными вложениями. Высокое значение коэффициента ROI свидетельствует о быстрой окупаемости и высокой эффективности при внедрении.

Важно учитывать, что в случае с высокотехнологичными решениями эффект может носить отсроченный или интегральный характер, что требует корректного учета горизонта планирования и применения дополнительных методов для повышения точности оценки.

#### ***2. Оценка по ключевым показателям эффективности***

Методика оценки по ключевым показателям эффективности (Key Performance Indicators, KPI) позволяет количественно и качественно фиксировать изменения в цепях поставок от внедрения инновационных решений на основе заранее определённых метрик. Показатели эффективности могут определяться индивидуально для каждого отдельного процесса или технологии. Методика особенно эффективна при оценке инкрементальных инноваций, внедрение которых оказывает непосредственное влияние на операционные процессы.

#### ***3. Модель SCOR***

Модель Supply Chain Operations Reference (SCOR) представляет собой универсальный инструмент анализа, оценки и оптимизации процессов в цепях поставок. В основе модели лежит декомпозиция логистических процессов на пять базовых категорий: планирование, снабжение, производство, доставка и возврат. Применение модели SCOR позволяет не только стандартизировать подход к оценке эффективности логистических операций, но и установить причинно-следственные связи между внедрением технологических инноваций и изменениями в показателях результативности.

#### ***4. Метод оценки совокупной стоимости владения***

Метод оценки совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) основан на комплексном учёте всех категорий затрат, связанных с жизненным циклом технологии. В отличие от методов, акцентирующих внимание исключительно на капитальных вложениях, модель TCO охватывает как первоначальные инвестиции, так и последующие операционные, эксплуатационные и транзакционные издержки, включая затраты на интеграцию, техническую поддержку, обновление, адаптацию и обучение персонала. Такая методология особенно актуальна в условиях

цифровизации логистики, где значительную долю совокупных расходов формируют скрытые и отложенные затраты, возникающие при использовании высокотехнологичных решений.

### **5. Сценарный анализ и имитационное моделирование**

Сценарный анализ и имитационное моделирование являются инструментами оценки эффективности инновационных технологий в условиях высокой неопределённости. Сценарный подход позволяет формализовать различные варианты развития внешней и внутренней среды предприятия, моделируя влияние ключевых факторов на результаты внедрения технологии. Имитационное моделирование обеспечивает возможность количественной оценки поведения сложных логистических систем в условиях изменяющихся параметров и допущений, не прибегая к вмешательству в реальные процессы. Интеграция сценарного анализа и имитационного моделирования в практику оценки способствует более обоснованному принятию решений, позволяя выявить критические зоны риска, оценить диапазон возможных эффектов от внедрения технологии и выбрать наиболее устойчивую траекторию её развития.

### **6. Методика сбалансированной системы показателей**

Сбалансированная система показателей (Balanced Scorecard, BSC) позволяет оценить не только экономические, но и стратегические, операционные эффекты внедрения технологий. Методика охватывает четыре перспективы: финансы, клиенты, внутренние процессы и обучение/рост. Применение BSC особенно эффективно для оценки системных преобразований, таких как переход на модель «логистика как услуга».

Помимо традиционных методик исследователи также предлагают более инновационные и глубокие подходы по оценке эффективности практического использования инновационных технологий.

Представляет интерес методика оценки коммерческого потенциала (КП), разработанная Беатой Белиной с коллегами [5]. Эта методика предусматривает комплексную оценку инновационных решений по четырём ключевым направлениям: технологическая зрелость, рыночный спрос, экономическая целесообразность и правовая защищённость. Внутри каждого направления используются частные критерии, всего 32 критерия, которым присваиваются весовые коэффициенты и экспертные оценки. Итоговый индекс КП рассчитывается как взвешенная сумма значений, что обеспечивает объективную и сопоставимую оценку решений на различных этапах их жизненного цикла.

В статье Ларисы Исмагиловой и Надежды Суховой представлена модель комплексной оценки инновационных технологий, основанная на четырех интегральных критериях: новизне, производственной реализуемости, коммерческом спросе и универсально значимом эффекте [6]. Применение данной модели позволяет сопоставлять альтернативные технологические решения и принимать обоснованные решения о внедрении на основе многомерного сравнительного анализа.

Татьяна Александрова с коллегами в своем исследовании предложили мультикритериальный подход к оценке эффективности инновационных проектов, основанный на совмещении количественных и качественных методов, адаптированных к особенностям инновационной деятельности [7]. Методика разработана с учётом ограничений традиционных финансовых моделей, неспособных охватить широкий спектр эффектов инновационных решений.

Преимущества и ограничения описанных выше методов оценки эффективности инновационных технологий и услуг приведены в Таблице 2.

Таблица 2

**Преимущества и ограничения методов оценки эффективности практического использования инновационных цифровых технологий и услуг**

| Метод                            | Преимущества                                                                                                                                            | Ограничения                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ROI                              | Универсальность и простота применения, однозначность оценки, возможность сравнения альтернатив.                                                         | Не учитывает временной фактор, нематериальные эффекты, риски. Высокая чувствительность к допущениям при расчетах.                                                              |
| KPI                              | Гибкость в подборе метрик, возможность оценки инкрементальных улучшений.                                                                                | Риск подмены целей, ограниченность при оценке долгосрочных последствий, сложность нормализации и сравнения.                                                                    |
| SCOR                             | Системность, стандартизация оценки, возможность проводить сравнение.                                                                                    | Высокая сложность применения, фокус на операционных процессах, без учета нематериальных аспектов.                                                                              |
| TCO                              | Учет всех видов затрат, оценка «долгосрочных решений», сочетаемость с другими методами оценки, актуален для оценки аутсорсинга и платформенных решений. | Сложность сбора и нормализации данных, чувствительность к предположениям, оценивает только затраты и не учитывает выгоды, требует постоянной актуализации, не учитывает риски. |
| Сценарный анализ и моделирование | Оценка при высокой неопределенности, определение критических точек и рисков, анализ «что если?», оценка синергий от внедрения решений.                  | Ресурсоемкость, требует вовлечение экспертов, сложность в интерпретации результатов, риск переусложнения.                                                                      |
| BSC                              | Стратегическая направленность, комплексность оценки, возможность «стратегического управления», учитывает как результаты, так и процессы.                | Сложность построения и настройки, субъективность выбора показателей, сложность количественной интерпретации, ориентирован на долгосрочное планирование.                        |
| Оценка КП                        | Комплексность, балльная оценка, применимость на ранней стадии, адаптируемость под конкретные отраслевые задачи.                                         | Зависимость от качества экспертной оценки, зависимость от методологической проработки, оценка решения «в моменте» без учета динамики развития.                                 |
| Модель Исмагиловой - Суховой     | Многоаспектность оценки, оценка интеграции технологии в реальное производство, наглядность результатов, оценка на уровне предприятия и отрасли.         | Высокая методологическая сложность, субъективность оценки, ограниченная применимость для краткосрочных решений.                                                                |
| Мультикритериальная оценка       | Учет социальных, рыночных и научных эффектов, интеграция количественных и качественных оценок, применимость в условиях высокой неопределенности.        | Высокая субъективность, сложность применения при большом числе проектов, не использует процедуры оценки рисков.                                                                |

Для получения объективной и многогранной оценки, оптимальным является комбинированное применение методов, при котором компенсируются ограничения

одних методов за счёт достоинств других. В Таблице 3 приведены наиболее эффективные сочетания методов оценки.

Таблица 3

**Наиболее эффективные сочетания методов для проведения комплексной оценки**

| Сочетание методов                       | Пояснение                                                                                            | Когда применять                                                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ROI + TCO + KPI                         | ROI - окупаемость;<br>TCO - полные затраты;<br>KPI - операционные эффекты.                           | Обоснование инвестиций в конкретные технологии (IoT, AI, цифровые платформы).                        |
| SCOR + KPI + BSC                        | SCOR - анализ логистической архитектуры;<br>KPI - контроль процессов;<br>BSC - стратегическая связь. | Трансформация логистической сети, внедрение цифровых платформ управления мультимодальной логистикой. |
| BSC + Сценарный анализ + ROI            | BSC - стратегическая рамка;<br>Сценарный анализ - устойчивость;<br>ROI - окупаемость.                | Разработка новой модели логистики, выход на новые рынки, переход на модель LaaS.                     |
| Модель Исмагиловой-Суховой + SCOR + ROI | Модель Исмагиловой-Суховой - новизна, спрос, эффект;<br>SCOR - процессы;<br>ROI - окупаемость.       | Оценка комплексных технологий, затрагивающих производственно-логистическую систему.                  |

В завершение рассмотрения методов оценки эффективности инновационных технологий следует подчеркнуть, что универсального подхода, одинаково подходящего для всех типов инноваций, не существует. Логика выбора метода оценки должна основываться на природе инновации, стадии её жизненного цикла и целях внедрения. Рекомендуется комплексное сочетание количественных и качественных методик при оценке.

**Инновационные технологии и услуги в управлении цепями поставок**

**1. Интернет вещей**

Интернет вещей - это концепция, которая описывает систему взаимосвязанных физических устройств, оснащенных встроенными датчиками, сенсорами и средствами связи [8]. На сегодняшний день IoT широко применяется в логистических и технологических процессах.

Эффекты от использования IoT в логистике хорошо изучены. По данным компании Maersk, внедрение IoT-сенсоров и связанных систем мониторинга позволяет значительно оптимизировать процессы: производительность транспортировки и складирования повышается на 10–20% в краткосрочной перспективе, и на 20–40% в горизонте 2–4 лет.

**Оценка:**

- Зрелость технологии - **5/5**. Базовая IoT-инфраструктура доступна и используется, рынок наполнен предложениями.
- Уровень внедрения - **4/5**. Лидеры отрасли активно внедряют IoT, что подтверждается опросами, однако повсеместного распространения технология еще не получила.
- Экономическая эффективность - **5/5**. Внедрение IoT-решений позволяет существенно снизить издержки и повысить эффективность.

**2. Цифровые двойники цепей поставок**



Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель физической логистической системы. Крупные промышленные холдинги создают цифровые двойники, содержащие в себе параметры всех производств, входящих в холдинг. За счет этого может производиться балансировка и оптимизация материальных потоков как внутри одного предприятия, так и между всеми предприятиями, входящими в холдинг что значительно повышает эффективность. Цифровые двойники также используются для симуляции процессов, связанных с логистикой сырья и готовой продукции.

На сегодняшний день известно о нескольких промышленных референсах среди нефтехимических компаний: BASF использует цифровые двойники для моделирования сценариев морских перевозок, а Dow Chemical в партнерстве с Siemens реализовала пилотный проект по созданию цифровой модели логистической сети, включающей склады, транспорт и производственные площадки.

**Оценка:**

- Зрелость технологии - **3/5**. Инструменты проходят стадию становления, стандартные платформы только формируются, большинство компаний пока не имеют готового цифрового двойника всей цепи поставок.
- Уровень внедрения - **3/5**. Внедрение ограничено пилотными проектами у лидеров и отдельными применениями, широкого распространения в нефтехимическом секторе на данный момент нет, хотя интерес высок и ожидается рост.
- Экономическая эффективность - **4/5**. Внедрение цифровых двойников цепей поставок дает значимые и измеримые результаты, однако требуемые инвестиции и сложность внедрения несколько усложняют достижение экономических выгод [9].

### **3. Искусственный интеллект**

Системы на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) применяются в широком спектре задач, включая оптимизацию запасов, прогнозирование спроса, планирование производства, маршрутизацию транспортных потоков, предиктивное обслуживание оборудования и другие направления логистики и управления цепями поставок [10].

ИИ-решения уже внедрены в бизнес-процессы крупных логистических компаний, например система оптимизации маршрутов ORION позволяет UPS экономить 300–400 миллионов долларов ежегодно. Для нефтехимических компаний ИИ-решения особенно ценны в прогнозировании спроса на нефтехимическую продукцию и в предиктивном обслуживании оборудования. Отмечается, что интегрированные ИИ-платформы, охватывающие всю цепь поставок, обладают уровнем окупаемости в 3,5 раза выше, чем у обособленных, точечных решений.

**Оценка:**

- Зрелость технологии - **4/5**. Методы и алгоритмы доступны и отработаны, распространены решения в коммерческом ПО, крупные игроки массово инвестируют во внедрение ИИ-технологий. Однако при интеграции с существующими системами всегда требуется серьезная доработка.
- Уровень внедрения - **3/5**. Многие компании уже применяют хотя бы отдельные ИИ-решения и в целом это направление считается «обязательным», однако не всем удалось достичь полного внедрения на практике.
- Экономическая эффективность - **5/5**. ИИ-технологии признаны технологиями с наибольшим трансформационным потенциалом в цепях поставок. Проекты с использованием ИИ характеризуются существенными экономическими эффектами.

#### **4. Цифровые платформы управления мультимодальной логистикой**

Инновации в этой области связаны с интеграцией данных и управлением всей мультимодальной цепочкой поставок в реальном времени как единым, координированным процессом. Речь идёт о цифровых платформах и системах мониторинга, обеспечивающих прозрачность логистической цепочки на всех этапах и динамическое управление маршрутом в зависимости от текущей ситуации [11].

Внедрение цифровых платформ управления мультимодальной логистикой (ЦПУМЛ) позволяет существенно повысить операционную эффективность компаний. Во всех отраслях отмечается снижение годовых транспортных расходов на 10-40% и рост уровня использования оборудования на 2-10%, что связано с более точным планированием и управлением ресурсами.

##### **Оценка:**

- Зрелость технологии - **4/5**. Необходимые технологии существуют и активно применяются, однако полная интеграция всех модальностей еще сталкивается с барьерами - не все перевозчики цифровизированы на 100%, требуется согласование стандартов, тем не менее, технически задача решается.
- Уровень внедрения - **4/5**. Среди крупных глобальных компаний и их логистических партнеров практика использования цифровых платформ мониторинга в реальном времени уже стала нормой. Ожидается, что в ближайшие несколько лет ~67% всех компаний достигнут необходимого уровня цифровой интеграции.
- Экономическая эффективность - **4/5**. Внедрение ЦПУМЛ требует значительных инвестиций, архитектурной интеграции, а также квалифицированной команды. Реальный эффект зависит от степени зрелости ИТ-инфраструктуры компании, доступности качественных данных, уровня цифровизации партнёров по цепочке поставок и готовности к организационным изменениям.

#### **5. Электронный обмен данными**

Логистические операции традиционно сопровождаются большим количеством документов - договорные документы, первичные документы, накладные, коносаменты, таможенные декларации, сертификаты и другие виды документов. Автоматизация документооборота позволяет перевести процессы, связанные с оформлением документов в цифровой формат, существенно ускорив и упростив транзакции.

Автоматизация документооборота достигается благодаря применению технологий электронного обмена данными (Electronic Data Interchange, EDI). Концепция EDI это общий подход и набор стандартов для автоматизированного обмена электронными документами между информационными системами компаний без участия человека [12].

Использование электронного обмена данными устраняет задержки при оформлении и устраняет риск потери бумаг. Также, существуют специализированные платформы обмена электронными версиями международной товарно-транспортной накладной e-CMR.

##### **Оценка:**

- Зрелость технологии - **5/5**. Технологии электронного обмена данными обладают высокой степенью зрелости и активно применяются в различных отраслях.
- Уровень внедрения - **4/5**. Распространение EDI остаётся неравномерным: в крупных компаниях технологии EDI активно используются, тогда как в

малом и среднем бизнес их внедрение ограничено из-за стоимости и сложности интеграции с существующими системами.

- Экономическая эффективность - **5/5**. Отказ от бумажного документооборота приносит быструю и доказанную экономию. Срок окупаемости инвестиций в проекты по автоматизации документооборота составляет менее 2 лет.

#### **6. Умные контейнеры**

Концепция умных контейнеров подразумевает оснащение транспортной тары (контейнеров, цистерн) датчиками и средствами связи для непрерывного мониторинга груза. Такие контейнеры сами становятся элементами IoT, передавая информацию об условиях перевозки и местонахождении, что значительно повышает сохранность груза [13].

Умные контейнеры облегчают логистические операции: порт и склад точно знают, где какой контейнер, появляется возможность автоматизировать учет. Кроме того, появляется возможность оптимизировать использование парка контейнеров.

##### **Оценка:**

- Зрелость технологии - **5/5**. Технология умных контейнеров технически зрелая: устройства надёжно отслеживают местоположение, температуру, вибрации и другие параметры в реальном времени.
- Уровень внедрения - **4/5**. Уровень внедрения ограничен, умные контейнеры в основном используются крупными компаниями, например, Нарпак-Lloyd и Maersk и преимущественно в высокочувствительных сегментах.
- Экономическая эффективность - **3/5**. Трудно оценить прямой возврат инвестиций от использования умных контейнеров, однако совокупный эффект от снижения рисков, повышения управляемости и оптимизации затрат может быть достаточно высоким, особенно в чувствительных сегментах таких как фармацевтика и продукты питания.

#### **7. Управление логистическими рисками в реальном времени**

Традиционно риск-менеджмент в цепях поставок (SCRM) носил реактивный характер. Инновационные инструменты позволяют перейти к проактивному и даже предиктивному управлению рисками. За счёт интеграции данных о перемещении грузов, погодных условий, геополитических событий и других факторов, специализированные системы могут в режиме реального времени выявлять угрозы и предлагать альтернативные решения [14].

Исследования показывают, что компании, внедрившие проактивное управление рисками цепи поставок, уменьшили вероятность сбоя в цепи поставок на 20% по сравнению с теми, кто действует реактивно.

##### **Оценка:**

- Зрелость технологии - **4/5**. На рынке существуют готовые ИТ-решения и компании, специализирующиеся на управлении рисками в цепях поставок. Однако технологии развиваются и сейчас происходит активная интеграция новых технологий.
- Уровень внедрения - **3/5**. SCRM в реальном времени, активно используется в цепях поставок крупных компаний в секторах потребительских товаров, фармацевтики, автопрома и высоких

технологий. Однако в малом и среднем бизнесе инструменты SCRM внедрены фрагментарно.

- Экономическая эффективность - **4/5**. Риск-менеджмент не генерирует прибыль непосредственно, но он предотвращает крупные убытки и позволяет оптимизировать цепь поставок, и благодаря этому достигается экономия.

### **8. Логистика как услуга**

Концепция Логистика как услуга (Logistics-as-a-Service, LaaS) это подход, при котором широкий перечень логистических функций передается на аутсорс единому провайдеру, предоставляющему интегрированный сервис [15]. Для бизнеса модель LaaS привлекательна своей гибкостью, снижением капитальных затрат а также доступом к новейшим технологиям без необходимости развивать их внутри компании. Уменьшаются затраты на персонал, обучение.

Для нефтехимических компаний LaaS создает возможность передать логистику профессиональным провайдерам, что способствует снижению управленческой сложности и дает возможность сосредоточиться на основном бизнесе. Необходимо отметить, что LaaS несет в себе риск зависимости от провайдера услуг. Передавая критически важную функцию на сторону, компания должна быть уверена в надежности и компетентности провайдера.

#### **Оценка:**

- Зрелость технологии/модели - **4/5**. Сама идея аутсорсинга логистики не нова, но именно в виде услуги, с цифровой платформой - это относительно новый формат.
- Уровень внедрения - **3/5**. Большинство компаний в той или иной степени используют внешние логистические услуги, однако полностью модель LaaS редко бывает интегрирована в бизнес-процессы крупных предприятий.
- Экономическая эффективность - **5/5**. LaaS приводит к снижению совокупных логистических издержек.
- В Таблице 4 сведены оценки наиболее перспективных инновационных цифровых технологий и услуг по критериям экономической эффективности, зрелости технологии и уровня внедрения. Оценки носят экспертно-аналитический характер на основе рассмотренных источников.

*Таблица 4*

**Сводная таблица с оценками инновационных цифровых технологий и услуг**

| Категория решения                | Зрелость технологии | Уровень внедрения | Экономическая эффективность | Интегральная оценка (S) |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Интернет вещей (IoT)             | 5                   | 4                 | 5                           | 4,7                     |
| Цифровые двойники цепей поставок | 3                   | 3                 | 4                           | 3,4                     |
| ИИ                               | 4                   | 3                 | 5                           | 4,1                     |
| ЦПУМЛ                            | 4                   | 4                 | 4                           | 4                       |
| EDI                              | 5                   | 4                 | 5                           | 4,7                     |
| Умные контейнеры                 | 5                   | 4                 | 3                           | 3,9                     |
| SCRM                             | 4                   | 3                 | 4                           | 3,7                     |
| LaaS                             | 4                   | 3                 | 5                           | 4,1                     |

Перечисленные цифровые технологии и логистические услуги образуют взаимосвязанную экосистему, в которой цифровые инструменты не только обеспечивают инфраструктурную основу, но и радикально трансформируют характер логистических услуг.

Интернет вещей и умные контейнеры служат сенсорной основой, обеспечивая сбор данных в режиме реального времени о состоянии грузов, транспортных средств и инфраструктуры. Эти данные поступают в цифровые платформы управления мультимодальной логистикой, которые с использованием искусственного интеллекта осуществляют динамическую оптимизацию маршрутов, прогнозирование рисков и автоматическое перераспределение ресурсов. Цифровые двойники, в свою очередь, моделируют логистические процессы и объекты в виртуальной среде, предоставляя средства для тестирования сценариев, оценки последствий и стратегического планирования. Электронный обмен данными обеспечивает достоверность, прозрачность и юридическую значимость обмена информацией между участниками логистических операций.

Таким образом, цифровые технологии и услуги выполняют не только вспомогательную, но и функционально-трансформирующую роль: они создают новую архитектуру логистических сервисов, в которой цифровизация становится неотъемлемым условием эффективности, устойчивости и конкурентоспособности.

### **Заключение**

Анализ инновационных цифровых технологий и услуг в области управления цепями поставок нефтехимических предприятий продемонстрировал их стратегически значимую роль в трансформации традиционных цепей поставок в высокотехнологичные, устойчивые и адаптивные цифровые экосистемы.

Все рассмотренные инновации взаимосвязаны и дополняют друг друга, образуя основу цифровой логистической экосистемы. Внедрение одного решения часто требует или стимулирует внедрение другого. Таким образом, трансформация носит комплексный характер. Компании получают наибольший эффект, комбинируя несколько цифровых технологий.

Наиболее высокую интегральную оценку S получили технологии интернета вещей, искусственного интеллекта и электронного обмена данными. Важное значение приобретает модель Logistics-as-a-Service как концептуальное переосмысление роли логистики в бизнесе: переход от капиталоемкой функции к гибкой услуге позволяет нефтехимическим предприятиям снизить транзакционные издержки, повысить масштабируемость операций и сосредоточиться на развитии ключевых компетенций.

Таким образом, поставленные цели исследования достигнуты: проанализированы существующие методы оценки эффективности практического использования инновационных цифровых технологий и услуг, предложены наиболее эффективные сочетания методов оценки, проведена комплексная оценка зрелости, уровня внедрения и экономической целесообразности цифровых логистических решений, выявлены наиболее перспективные направления их применения в нефтехимическом комплексе. Полученные результаты обладают высокой прикладной значимостью и могут быть использованы для разработки корпоративных стратегий цифровизации.

В качестве перспективных направлений дальнейших научных исследований следует рассматривать: разработку интеграционных моделей взаимодействия цифровых решений, а также вопросы обеспечения киберустойчивости и подготовки квалифицированного кадрового резерва.

В будущем успешность нефтехимических предприятий во многом будет зависеть от того, насколько глубоко они интегрируют инновации в свои бизнес процессы. Ключевой вывод и рекомендация - не рассматривать новые цифровые технологии изолированно, а строить целостную цифровую экосистему цепи поставок, в которой решения принимаются на основе аналитики и автоматизации, а устойчивость и адаптивность заложены в саму архитектуру системы.

### **Список литературы**

1. Doulabi H., Khamseh A., Torabi T. Evaluation of Key Factors Influencing Technological Innovation Management in the Petrochemical Industry with a Focus on Chemical Companies // *Pet. Bus. Rev.* - 2022. - Vol. 6, № 3. - С. 1–16.
2. Shcherbakov V., Silkina G. Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System // *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* - 2021. - Vol. 7, № 1. - С. 54.
3. Barsegyan N. V., Salimyanova I. G., Kushaeva E. R. Typology of innovation strategies for petrochemical enterprises // *J. Phys. Conf. Ser.* - 2020. - Vol. 1515, № 4. - С. 042090. DOI: 10.1088/1742-6596/1515/4/042090.
4. Lagorio A. и др. A systematic literature review of innovative technologies adopted in logistics management // *Int. J. Logist. Res. Appl.* - 2022. - Vol. 25, № 7. - С. 1043–1066.
5. Belina B. и др. Setting of criteria in the commercial potential assessment method of innovative technological solutions // *Probl. Eksploat.* - 2013.
6. Ismagilova L. A., Sukhova N. A. Assessment of quality of innovative technologies // *Int. J. Qual. Res.* - 2016. - Vol. 10, № 4.
7. Alexandrova T. V., Zhukovskaya S. L., Voevodkin N. Y. The development of a multi-criteria approach to assess innovative projects efficiency // *Rev. Espac. ISSN.* - 2018. - Vol. 798, № 1015. - С. 22.
8. Бухалкин Д. Д., Костров В. Н., Чеботарев В. С. Роль интернета вещей в цифровой трансформации логистики нефтехимических предприятий // *Экономика: вчера, сегодня, завтра.* - 2024. - Т. 14, № 9А. - С. 459–471.
9. Digital twins: The key to unlocking end-to-end supply chain growth [Электронный ресурс] // McKinsey & Company. - URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/digital-twins-the-key-to-unlocking-end-to-end-supply-chain-growth#/> (дата обращения: 27.05.2025).
10. Boute R. N., Udenio M. AI in Logistics and Supply Chain Management // *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s.* - Cham: Springer International Publishing, 2023. - С. 49–65.
11. Trzuskawska-Grzezińska A. Control towers in supply chain management - past and future // *J. Econ. Manag.* - 2017. - Vol. 27. - С. 114–133.
12. Шалдыбин И. И., Литовченко В. Б., Додорина И. В. Электронный документооборот в логистике // *Наука и образование транспорту.* - 2020. - № 1. - С. 219–222. - EDN YQRKEY.
13. Дергачева В., Попова А. С. Перспективы развития цифровой логистики в России: умные контейнеры и склады, дроны // *Стратегии бизнеса.* - 2022. - Т. 10, № 12. - С. 301–305. DOI: <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-12-301-305>.
14. Aljohani A. Predictive Analytics and Machine Learning for Real-Time Supply Chain Risk Mitigation and Agility // *Sustainability.* - 2023. - Vol. 15, № 20. - С. 15088.
15. Klingebiel K., Wagenitz A. An Introduction to Logistics as a Service. - 2013. - С. 209–216.

#### References

1. Doulabi H., Khamseh A., Torabi T. Evaluation of Key Factors Influencing Technological Innovation Management in the Petrochemical Industry with a Focus on Chemical Companies // *Pet. Bus. Rev.* - 2022. - Vol. 6, № 3. - P. 1–16.
2. Shcherbakov V., Silkina G. Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System // *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* - 2021. - Vol. 7, № 1. - P. 54.
3. Barsegyan N. V., Salimyanova I. G., Kushaeva E. R. Typology of innovation strategies for petrochemical enterprises // *J. Phys. Conf. Ser.* - 2020. - Vol. 1515, № 4. - P. 042090. DOI: 10.1088/1742-6596/1515/4/042090.
4. Lagorio A. et al. A systematic literature review of innovative technologies adopted in logistics management // *Int. J. Logist. Res. Appl.* - 2022. - Vol. 25, № 7. - P. 1043–1066.
5. Belina B. et al. Setting of criteria in the commercial potential assessment method of innovative technological solutions // *Probl. Eksploat.* - 2013.
6. Ismagilova L. A., Sukhova N. A. Assessment of quality of innovative technologies // *Int. J. Qual. Res.* - 2016. - Vol. 10, № 4.

7. Alexandrova T. V., Zhukovskaya S. L., Voevodkin N. Y. The development of a multi-criteria approach to assess innovative projects efficiency // *Rev. Espac. ISSN.* - 2018. - Vol. 798, № 1015. - P. 22.
8. Bukhalkin D. D., Kostrov V. N., Chebotarev V. S. Rol' interneta veshchey v tsifrovoy transformatsii logistiki neftekhimicheskikh predpriyatiy [The role of Internet of Things in the digital transformation of logistics in petrochemical enterprises] // *Ekonomika: Vchera, Segodnya, Zavtra.* - 2024. - Vol. 14, № 9A. - P. 459–471. (In Russ).
9. Digital twins: The key to unlocking end-to-end supply chain growth [Electronic resource] // McKinsey & Company. - Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/digital-twins-the-key-to-unlocking-end-to-end-supply-chain-growth#/> (accessed: 27.05.2025).
10. Boute R. N., Udenio M. AI in Logistics and Supply Chain Management // *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s.* - Cham : Springer International Publishing, 2023. - P. 49–65.
11. Trzuskawska-Grzesińska A. Control towers in supply chain management - past and future // *J. Econ. Manag.* - 2017. - Vol. 27. - P. 114–133.
12. Shal'dybin I. I., Litovchenko V. B., Dodorina I. V. Elektronnyy dokumentooborot v logistike [Electronic document flow in logistics] // *Nauka i obrazovanie transportu.* - 2020. - № 1. - P. 219–222. (In Russ). EDN YQRKEY.
13. Dergacheva V., Popova A. S. Perspektivy razvitiya tsifrovoy logistiki v Rossii: umnye konteynery i sklady, drony [Prospects for the development of digital logistics in Russia: smart containers and warehouses, drones] // *Strategii biznesa.* - 2022. - Vol. 10, № 12. - P. 301–305. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-12-301-305>.
14. Aljohani A. Predictive Analytics and Machine Learning for Real-Time Supply Chain Risk Mitigation and Agility // *Sustainability.* - 2023. - Vol. 15, № 20. - P. 15088.
15. Klingebiel K., Wagenitz A. An Introduction to Logistics as a Service. - 2013. - P. 209–216.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Бухалкин Данила Дмитриевич**, аспирант кафедры Логистики и Маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [danilabukhalkin@yandex.ru](mailto:danilabukhalkin@yandex.ru)

**Danila D. Bukhalkin**, doctoral student of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Костров Владимир Николаевич**, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой Логистики и Маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [vnkostrov@yandex.ru](mailto:vnkostrov@yandex.ru)

**Vladimir N. Kostrov**, doctor of economic sciences, professor, head of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 12.06.2025; опубликована онлайн 20.09.2025.  
Received 12.06.2025; published online 20.09.2025.