Мировой опыт развития интеллектуальных систем управления объектами терминально-логистической инфраструктуры

Цаликова Карина Ражидиновна
Заместитель начальника отдела контейнерных перевозок и развития терминально-складских комплексов, АО «Институт экономики и развития транспорта», TSalikovaKR@iedt.ru,

Шумовский Даниил Валентинович
Ведущий инженер отдела контейнерных перевозок и развития терминально-складских комплексов, АО «Институт экономики и развития транспорта», shumovskydv@iedt.ru,

Бабичев Евгений Сергеевич
Эксперт отдела контейнерных перевозок и развития терминально-складских комплексов, АО «Институт экономики и развития транспорта», BabichevES@iedt.ru

В статье рассматриваются примеры внедрения интеллектуальных систем управления объектами терминально-логистической инфраструктуры, а также приводятся результаты проектов по внедрению таких систем. В ходе исследования использовались данные, полученные в результате кабинетного исследования и посещения отраслевых конференций. Из результатов исследования можно делать выводы о том, что применение интеллектуальных систем на грузовых терминалах становится необходимостью для эффективной организации бизнес-процессов и конкурирования на рынке транспортных услуг.
Ключевые слова. Грузовые терминалы, склады, роботизация, автоматизация, WMS, TOS, YMS, цифровизация, цифровые двойники.

Темпы роста глобальной контейнерной торговли свидетельствуют о том, что, несмотря на логистические кризисы последних лет, контейнеризация грузов укрепляется, как мировой тренд в транспортно-логистической отрасли. 2025 год характеризовался приростом объема мировой контейнерной торговли на 4% относительно аналогичного показателя 2024 года даже в условиях экономической нестабильности [1].

Глобальная интеграция логистических процессов требует универсальности и единообразия на всех этапах перевозочного процесса, из-за чего контейнерные перевозки становятся наиболее привлекательными для транспортного рынка. Контейнеризация грузов на железнодорожном транспорте отдельных стран может достигать 58%, вместе с тем, аналогичный показатель для железнодорожных перевозок в России по итогам 2025 года составил 7%. Такая разница может быть обусловлена тем, что в странах с наиболее высоким уровнем контейнеризации сконцентрированы основные мировые объекты портовой инфраструктуры, через которые осуществляется развоз грузов с морских контейнерных линий. Растущая значимость контейнерных перевозок придает особую стратегическую роль контейнерным терминалам в глобальной цепочке поставок [2]. Учитывая эту роль, на контейнерных терминалах предъявляются особые требования к оптимизации и эффективности производственных процессов. В этом контексте значимыми становятся задачи по внедрению и развитию интеллектуальных систем управления объектами терминально-логистической инфраструктуры.

Актуальным вектором развития является переход от автоматизации рутинных операций к когнитивному управлению объектами терминально-логистической инфраструктуры. Данный процесс предполагает внедрение гибридных киберфизических систем, интегрирующих цифровые двойники динамических процессов с мультиагентными алгоритмами оптимизации. Особый научный интерес представляет апробация методов нейросетевого прогнозирования и нечеткой логики для нивелирования энтропии в цепях поставок, а также разработка механизмов адаптивного ситуационного управления, обеспечивающих устойчивость функционирования терминалов в условиях стохастической неопределенности внешней среды.

Кибернетическая парадигма [3], выступающая методологическим фундаментом развития интеллектуальных систем управления объектами терминально-логистической инфраструктуры, трактует терминал не как пассивную совокупность технических средств, а как целенаправленную динамическую систему с активной обратной связью. В рамках этой парадигмы, управленческий цикл замыкается на принципах гомеостазиса – то есть, поддержания равновесия между входящим и исходящим грузопотоком и складскими/терминальными мощностями в условиях постоянных внешних возмущений [4]. Главным тут выступает переход от классической линейной регуляции к адаптивному ситуационному управлению, который реализуется через инструменты прецедентного анализа (извлечение уроков из прошлых пиковых нагрузок) и прогнозирующего контроля.

Стоит отметить, что одним из ключевых теоретических достижений в этой области является применение теории активных систем, где каждый агент (оператор крана, водитель, кладовщик) рассматривается как элемент, обладающий собственной мотивацией, а задача интеллектуальной надстройки сводится не к директивному управлению, а к координации и стимулированию их действий через единое информационное поле, обеспечивая тем самым синергетический эффект [5].

Цифровое моделирование в терминально-логистической инфраструктуре представляет собой киберфизический мост, создающий виртуальную копию физического объекта, процесса или системы с высокой детализацией, которая в реальном времени воспроизводит его характеристики и поведение [6]. Сама технология берет свое начало из космической программы NASA, но в портовой логистике она нашла свое развитие как инструмент сквозного управления – от причала до склада и выхода на магистрали, объединяя в единую живую виртуальную среду данные с камер, трекеров, IoT (Интернет вещей)-сенсоров и терминальной операционной системы (TOS) [7]. Современные системы, такие как THE TWINBRIDGE от Campo Technologies, обеспечивают обновление информации до 10 раз в секунду, позволяя оператору видеть не координаты, а траектории движения средств механизации и полную хронологию обработки каждого контейнера, что переводит управление на уровень ситуационной осознанности.

На стратегическом уровне цифровые двойники мультимодальных узлов (например, Хасанского транспортного узла в Приморье [6]) позволяют проигрывать сотни сценариев развития, обосновывать инвестиции и сокращать риски перерасхода средств, выявляя «узкие места» еще до начала строительства. На операционном уровне агентно-ориентированные модели (например, система муравьиных колоний) оптимизируют расписания разгрузки вагонов, складирования и швартовки судов в реальном времени, что в пилотных проектах повысило среднесуточные объемы перевалки на 4% при потенциале увеличения объемов переработки до 10% [8]. При этом, в контексте Индустрии 5.0 цифровое моделирование интегрируется с «умными контрактами»,

повышая отказоустойчивость сети на 45% [9]. Расчеты российских разработчиков показывают, что внедрение таких экосистем снижает логистические издержки на 18-30%, а время доставки до 25%, что подтверждает переход от точечной автоматизации к созданию самообучающихся интеллектуальных систем управления терминальной инфраструктурой [10].

Переход от пассивной автоматизации к интеллектуальному, адаптирующемуся управлению, в том числе, в терминально-складской логистике, был бы невозможен без применения искусственного интеллекта. Изменилась парадигма: если автоматизация следует жестким правилам, то ИИ позволяет системе непрерывно анализировать текущую ситуацию и выбирать оптимальные решения в реальном времени [11]. Это реализуется через предиктивную аналитику, где алгоритмы машинного обучения позволяют с высокой точностью прогнозировать потоки грузов, что дает возможность оптимизировать распределение трудовых ресурсов и складских мощностей, предотвращая простои и дефицит. Впечатляющие результаты внедрения подтверждаются статистикой: в «умных» складах точность инвентаризации достигает 99,9% (против 65–85% при штрихкодах), время комплектации заказа сокращается с 45 до 12 минут, а операционные издержки снижаются на 30% [12]. Согласно исследованию MIT CTL and Mecalux «The State of AI in Warehousing», 9 из 10 организаций уже используют ИИ или машинное обучение, добиваясь окупаемости инвестиций за 2-3 года [13]. Примером комплексного подхода служат внедрения мультиагентных ИИ-систем, которые автономно управляют всем складским двором — от планирования прибытия транспорта до его маршрутизации — минимизируя влияние человеческого фактора и повышая предсказуемость операций.

Трансформация бизнес-процессов на организационном уровне терминально-складской инфраструктуры - это комплексный процесс пересмотра управленческой культуры, операционных моделей и ролевых структур, направленный на создание единой, прозрачной и адаптивной экосистемы, где ключевым вектором остается централизация управления. Отказ от децентрализованной модели, где каждый терминал или склад работал в своей локальной логике и ИТ-системах, позволяет крупным игрокам выстроить единый логистический контур. Это критически важно для масштабирования и контроля: унифицированные бизнес-процессы по всем площадкам снижают издержки на сопровождение, исключают дублирование данных и обеспечивают единую картину для принятия стратегических решений [14].

Одним из примеров служит проект в группе компаний Global Ports, где был создан единый модуль управления техникой на базе 1С:ERP, унифицировавший процессы выдачи, обслуживания и контроля допусков на всех терминалах группы и исключивший ручной ввод данных [15]. Аналогичная логика прослеживается в проекте группы компаний «Смарт», где объединение разрозненных систем в «1С:ERP» позволило создать единое цифровое пространство, снизив трудозатраты на 25% и повысив скорость обработки заказов на 50% [16].

При этом, успешные проекты показывают, что технологии должны позиционироваться не как замена логиста, а как инструмент, снимающий рутину и позволяющий сосредоточиться на аналитике и стратегии. Критически важны вовлечение ключевых сотрудников в тестирование, обучение и формирование амбассадоров изменений внутри команды. Ведь техническая интеграция невозможна без преодоления человеческого фактора.

На уровне терминалов это дополняется внедрением принципов бережливого производства для оптимизации операций. Например, в АРМ Terminals Moin [17] анализ и перестройка процесса позволили сократить время инспекции порожних рефрижераторных контейнеров с 40 до 4 минут, практически устранив время ожидания для водителей. Научные исследования также подтверждают, что сочетание практик Agile и бережливого производства позволяет увеличить пропускную способность терминала без капитальных вложений, что особенно актуально, например, для портов с ограниченной территорией.

В том числе, меняется и роль руководителя логистики: управление становится глубоко экономически обоснованным, в том числе, модели расчета себестоимости по операциям позволяют детально видеть затраты на уровне отдельной единицы груза или клиента, переводя логистику в разряд управляемого элемента прибылей и убытков [18]. Это смещает фокус с выполнения операций на управление экономикой всей цепи поставок. Таким образом, организационная трансформация терминально-складской инфраструктуры — это переход к новой управленческой культуре, где централизация, человеческий капитал и экономическая аналитика являются основой для построения устойчивых и масштабируемых бизнес-моделей.

Внедрение автоматизированных и интеллектуальных систем на объектах терминально-складской инфраструктуры воспринимается многими специалистами отрасли, как «панацея» для повышения операционной эффективности. Считается, что цифровые сервисы обеспечивают снижение операционных затрат в долгосрочной перспективе, повышают надежность и предсказуемость процессов, а также способствует оптимизации в управлении площадями на грузовых терминалах. Кроме того, драйвером цифровизации терминально-логистической инфраструктуры выступает динамичное развитие смежных отраслей: увеличение размера и вместимости судов, повышение скорости обработки грузов, а также потребность рынка в прозрачности перевозочного процесса. Важно понимать, что под реализацией интеллектуальных систем и автоматизацией терминально-логистических объектов подразумевается, как комплексное внедрение инноваций, так и развитие отдельных составляющих процесса обработки грузов. Независимо от масштаба инновационных проектов, все они предъявляют жесткие требования к универсальности, отлаженности бизнес-процессов и инфраструктуре. Исходя из этого, грузовые терминалы, осуществляющие переработку контейнерных грузов, оказываются наиболее приспособленными под инновации, за счет единообразия базовых операций на большинстве таких терминалов.

Условно, автоматизацию терминально-логистических процессов можно разделить на 3 уровня [19]:

1 уровень – это автоматизация отдельных технологических действий, которые выполняются при помощи грузоподъемных механизмов (контейнерными перегружателями, крановым оборудованием и т.д.). Автоматизации могут быть подвергнуты как отдельные операции, например, изменение скорости движения техники, захват груза, изменение положения груза, так и полная автоматизация управления грузоподъемными механизмами.

2 уровень – это автоматизация групп технологических единиц, объединенных в общий технологический процесс. На этом уровне совершенствуются уже не только отдельные производственные операции, но и весь процесс комплексно.

3 уровень – это создание единой интеллектуальной среды, в которой консолидируются все автоматизированные решения на терминале, формируя мастер-систему управления объектами терминально-логистической инфраструктуры. Такими системами, как правило, выступают WMS и TOS (Warehouse Management System и Terminal Operating System), а также их различные подсистемы.

Развитие интеллектуальных систем управления объектами терминально-логистической инфраструктуры подразумевает формирование единого цифрового пространства, которое объединяет в себе информацию о состоянии технических средств и механизмов, составе и параметрах грузов, а также прозрачные и достоверные сведения об операционных процессах на терминале. Так, например, порт Лос-Анджелеса на постоянной основе инвестирует в комплекс технологических решений, которые помогают оптимизировать процессы при взаимодействии с портовой инфраструктурой. Порт Лос-Анджелеса находится в заливе Сан-Педро и считается самым загруженным контейнерным портом в Северной Америке. В порту используются современные технологии, повышающие эффективность, предсказуемость и надежность перевозок в сообщении с портом [20]. Вместе с соседним портом Лонг-Бич они образуют единый комплекс залива Сан-Педро, совместно обрабатывая около трети всех контейнерных импортных грузов, поступающих в США.

Интеллектуальная система Port Optimizer – одна из таких технологий. Система представляет собой динамичный облачный сервис, который консолидирует как ретроспективные, так и прогнозные данные о морских перевозках. Она позволяет грузоотправителям, грузовладельцам, операторам терминалов и другим участникам перевозочного процесса наиболее эффективно планировать перевозки в одном из самых загруженных портов США. Port Optimizer предоставляет пользователю возможность получать актуальные сведения о наборе грузов в порту и отслеживать прогнозные объемы грузовой работы на перспективу до трех недель. Кроме того, в систему интегрированы данные о времени оборота грузового автотранспорта в заливе Сан-Педро, которые обновляются в режиме реального времени. Port Optimizer также информирует водителей автотранспорта о том, когда и куда следует осуществлять возврат порожних контейнеров по всему портовому комплексу [21].

Компания Maersk совместно с IMB в 2019 году запустила проект разработки цифрового двойника порта. Целью проекта стало создание системы, которая в режиме реального времени позволяет проводить моделирование, оптимизацию и прогнозирование транспортно-логистических процессов портовой инфраструктуры. Проект был разделен на 4 этапа. На первом этапе проводился анализ ретроспективных данных за 2 года по 10 портам. Эти данные позволили определить типовые узкие места в процессах работы портовой инфраструктуры. Второй этап состоял в пилотном внедрении проекта на инфраструктуре порта Роттердам. Для пилотного внедрения были установлены более 5 тысяч IoT-датчиков, которые позволили отслеживать весогабаритные характеристики и положение грузов на терминале, а также состояние техники и погодные условия. Данные с датчиков поступали в виртуальную модель, включающую в себя объемную карту инфраструктуры, агрегирование и визуализацию транспортных потоков, расписание движения транспорта на терминале. Третьим этапом в систему были внедрены элементы машинного обучения. Система получила возможность без участия человека назначать фронты проведения погрузочно-разгрузочных работ, а также отслеживать маршруты судна посредствам судовых датчиков и определять время его фактического прибытия. Это сократило время перемещения контейнеров на 25%. Кроме того, был реализован модуль прогнозирования сбоев в работе механизмов. Искусственный интеллект предупреждал о повреждениях с точностью до 89% (в среднем за 5 часов до их возникновения). Финальным этапом проекта стало масштабирование системы на инфраструктуре других портов под оперированием компании Maersk в Сингапуре, Лос-Анджелесе и Шанхае. Адаптация системы на каждом из портов заняла от 4 до 6 месяцев [22].

Внедрение автоматизированных технологий в портах Филиппин обеспечило увеличение эффективности обработки контейнеров на 30-50% [23]. Ав-

томатизация позволила организовать круглосуточную работу портовой инфраструктуры, а также интегрировать порты в глобальную систему морских перевозок. Развитие получил Манильский международный контейнерный терминал, порты Себу, Даво-Саса, международный терминал в заливе Субик, а также второстепенные порты, межостровные контейнерные хабы и промышленные порты.

На современных терминалах Филиппин обработка контейнеров производится при помощи автоматизированных и роботизированных механизмов. Они оснащены системами точного позиционирования, обеспечивающими наиболее плотное размещение контейнеров на площадках. Кроме того, интеллектуальные алгоритмы оптимизируют перемещение техники для повышения операционной эффективности и экономии топливо-энергетических ресурсов. Управление работой автономных механизмов на таких терминалах осуществляется при помощи комплексных платформ, которые совершенствуют и связывают между собой все транспортно-логистические процессы в порту. Алгоритмы, интегрированные в такие платформы, как и в аналогичных системах западных стран, позволяют прогнозировать прибытие судов, автоматически распределять фронты погрузки и выгрузки грузов, планировать перемещение контейнеров, а также распределять ресурсы портовой инфраструктуры исходя из изменяющихся условий. Вместе с тем, интеллектуальные системы портов интегрируется с судоходными линиями для автоматизации таможенных процедур и увязки процессов в глобальной цепочке поставок.

Помимо портовой инфраструктуры, интеллектуальные системы активно внедряются в складском сегменте транспортно-логистического рынка. Условно «идеальным» результатом автоматизации производственных процессов в складской логистике можно назвать концепцию «темного склада». «Темный склад» – это складской комплекс, все производственные процессы на котором автоматизированы и выполняются без участия человека. Заинтересованность отрасли в реализации этой концепции продиктована рядом параметров, в числе которых кадровый голод, а также повышающиеся требования к продукту транспортных услуг не только со стороны конечного потребителя, но и смежных участников. Эти факторы заставляют обращать особое внимание на потери, возникающие при перевозочной деятельности. Такие потери особенно явно могут проявляться при влиянии человеческого фактора. Полная автоматизация склада же дает возможность свести к минимуму потери при избыточных операциях, снизить риски возникновения нештатных ситуаций и минимизировать затраты, что, в свою очередь, приводит к значительному повышению показателей эффективности работы и конечной прибыли.

Примером, наиболее близким к концепции «темного склада» может считаться автономный склад компании Suning Logistics в городе Нанкин в Китайской провинции Цзянсу. На складе осуществляется обработка грузов с помощью набора технологических решений: роботизированные механизмы, использование сетей 5G, а также интеллектуальные системы управления терминально-складской инфраструктурой. Склад занимает площадь более 200 тысяч квадратных метров и способен обрабатывать около 20 миллионов единиц товаров. Система управления складом осуществляет полный цикл переработки груза: прием, размещение и хранение, комплектация и упаковка, а также сортировка и нанесение маркировки без непосредственного участия человека. В концепции склада задача человека, преимущественно, состоит в мониторинге состояния программно-аппаратного комплекса. Suning Logistics сообщает, что автономная модель управления повысила эффективность сбора продукции в 5 раз относительно аналогичного процесса с участием человека [24].

Исходя из вышесказанного, интеллектуальные системы управления объектами терминально-логистической инфраструктурой получают повсеместное распространение. Внедрение таких систем демонстрирует достаточно высокую целесообразность, что подтверждается мировой практикой. Вместе с тем, согласно опросу, проведенному McKinsey & Company [25], фактические производственные показатели работы портов после автоматизации не показывают ожидаемых результатов. Результаты внедрения современных автоматизированных систем свидетельствуют о повышении безопасности, снижении нарушений, в связи с влиянием человеческого фактора, а также росте прозрачности производственных процессов. В то же время, скорость обработки грузов автоматизированными системами не всегда превышает аналогичные операции, выполняемые человеком. Так, например, складские мобильные вилочные погрузчики (FMR) показывают свою эффективность на длинных плечах перемещения грузов, в то время, как короткие плечи эффективнее обрабатывать ручным трудом. Таким образом, роботы становятся эффективными на крупных объектах терминально-логистической инфраструктуры с отлаженными бизнес-процессами. Кроме того, процесс внедрения и развития интеллектуальных систем, как и реализация автоматизированных систем требует значительных инвестиций. По словам Джина Серока (Gene Seroka) – директора порта Лос-Анджелес, капиталовложения в проект автоматизации могут составлять до 2 млн долларов США на 4 тыс. кв. м. (в ценах 2018 года). Остается неочевидным вопрос окупаемости инвестиций. Так, грузовой терминал APM в Роттердаме начал приносить дивиденды спустя более чем 25 лет. При этом, полуавтоматизированный порт в Венгрии той же самой компании был продан из-за низкой доходности.

Литература

1. Аналитические материалы. — Текст: электронный // АО "ИЭРТ": [сайт]. — URL: http://iedt.ru/analitika (дата обращения: 10.06.2026).
2. Joan, P. M. Alignments between strategic content and process structure: the case of container terminal service process automation / P. M. Joan, Wang Ping, Zeng Qingchen.
URL: https://www.researchgate.net/publication/316328185_Alignments_between_strategic_content_and_process_structure_the_case_of_container_terminal_service_process_automation
3. Закон необходимого разнообразия и кибернетик у. Эшби. — Текст: электронный // Studfile: [сайт]. — URL: https://studfile.net/preview/9581682/page:13/ (дата обращения: 22.06.2026).
4. Винер, Н. Машина умнее своего создателя / Н. Винер. — Текст: непосредственный // Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. — 1983. — № 2. — С. 308-314.
5. Кулжабаев, Н. М. Разработка и исследование методов критериального управления активной системы производственно-транспортного типа: специальность 05.13.10: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кулжабаев Насанбадрядден Мубаракович; Институт проблем упр. РАН. — М., 1998. — 260 с. — Текст: непосредственный.
6. Simetra и МГУ им. Невельского разработали цифровой двойник Хасанского транспортного узла Приморского края. — Текст: электронный // www.cnews.ru: [сайт]. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-10-23_simetra_i_mgu_imnevelskogo (дата обращения: 18.06.2026).
7. Introducing The TwinBridge: Seeing the Terminal Come to Life – From Truck to Vessel. — Текст: электронный // www.worldcargonews.com: [сайт]. — URL: https://www.worldcargonews.com/ict-automation/2025/12/introducing-the-twinbridge-seeing-the-terminal-come-to-life-from-truck-to-vessel/ (дата обращения: 18.06.2026).
8. Optimization of Operations in Solid Bulk Port Terminals Using Digital Twin / J. Neyra, L. Silva, J. Netto, A. Medina. — Текст: непосредственный // Winter Simulation Conference (WSC). — Seattle: IEEE, 2025.
9. Shabnam, Rekabi Digital Twin-integrated circular Dry Port-Seaport network with smart contract and viability Dimensions: A case study / Rekabi Shabnam, Sazvar Zeinab. — Текст: непосредственный // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2026. — № 210.
10. ИТ в логистике: от цифровых двойников до роботизации складов. — Текст: электронный // РБК Компании: [сайт]. — URL: https://companies.rbc.ru/news/edLvmFdIWQ/it-v-logistike-ot-tsifrovyih-dvojnikov-do-robotizatsii-skladov/ (дата обращения: 19.06.2026).
11. Почему в логистике уже недостаточно одной автоматизации: роль искусственного интеллекта. — Текст: электронный // LeverX : [сайт]. — URL: https://leverx.com/ru/newsroom/ai-driven-logistics-decision-making (дата обращения: 22.06.2026).
12. Intelligent Warehousing: A Machine Learning and IoT Framework for Precision Inventory Optimization / Raju Arvind V, R. M. Shrinidhi, T. Deepa, M. Maheedhar. URL: https://www.researchgate.net/publication/395914380_Intelligent_Warehousing_A_Machine_Learning_and_IoT_Framework_for_Precision_Inventory_Optimization
13. MIT CTL-Mecalux Report: The State of AI in Warehousing and its Impact in Global Media. — Текст: электронный // ctl.mit.edu: [сайт]. — URL: https://ctl.mit.edu/news/mit-ctl-mecalux-report-state-ai-warehousing-and-its-impact-global-media (дата обращения: 22.06.2026).
14. В систему управления KONCRIT|YMS внедрили пять ИИ-агентов. — Текст: электронный // Компьютерра: [сайт]. — URL: https://www.computerra.ru/325555/v-sistemu-upravleniya-koncrit-yms-vnedrili-pyat-ii-agentov/ (дата обращения: 22.06.2026).
15. На морских грузовых терминалах группы Global Ports внедрили модуль управления техникой. — Текст: электронный // 1С Консалтинг: [сайт]. — URL: https://consulting.1c.ru/cases/181366.html (дата обращения: 19.06.2026).
16. От разрозненных систем к единой платформе: цифровая трансформация группы компаний «Смарт» при поддержке Sensu. — Текст: электронный // Cnews: [сайт]. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-11-10_ot_razroznennyh_sistem_k (дата обращения: 19.06.2026).
17. Lean principles reduce empty reefer inspections. — Текст: электронный // 2.apmterminals: [сайт]. — URL: https://www2.apmterminals.com/en/news/news-releases/2024/240701-lean-principles-reduce-empty-reefer-inspections (дата обращения: 22.06.2026).
18. Новые модели управления, ИТ и не только: небанальные тренды логистики 2026. — Текст: электронный // КОРУС Логистика: [сайт]. — URL: https://wms.korusconsulting.ru/expertise/novye-modeli-upravleniya-it-nebanalnye-trendy-logistiki-2026/ (дата обращения: 21.06.2026).
19. Петрова, Е. Е. Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала / Е. Е. Петрова, В. В. Ганнесен. — Текст: непосредственный // Научные проблемы водного транспорта — 2024. — № 78. — С. 178-190.
20. Port of los angeles: key information and useful stats. — Текст: электронный // gocemet.com: [сайт]. — URL: https://www.gocomet.com/blog/port-of-los-angeles-all-key-information/#Management (дата обращения: 20.06.2026).
21. Port of Los Angeles Rolls Out New Components to Port Optimizer Digital Platform. — Текст: электронный // Hellenic Shipping News: [сайт]. — URL: https://www.hellenicshippingnews.com/port-of-los-angeles-rolls-out-new-components-to-port-optimizer-digital-platform/ (дата обращения: 20.06.2026).

22. Цифровой двойник порта ускоряет погрузку судов на 20%. Подробный разбор проекта. — Текст: электронный // upperator : [сайт]. — URL: https://upperator.ru/twin-optimise-port-activities (дата обращения: 19.06.2026).
23. Automated Container Handling: Revolutionary Technology for Philippine Port Operations. — Текст: электронный // premier: [сайт]. — URL: https://premier-heavyequipment.com/automated-container-handling-port-guide/ (дата обращения: 19.06.2026).
24. В Китае разработали автоматизированный склад, работающий без людей. — Текст: электронный // ATI.SU: [сайт]. — URL: https://news.ati.su/news/2020/08/17/v-kitae-razrabotali-avtomatizirovannyj-sklad-rabotajuschij-bez-ljudej-video-231497/ (дата обращения: 20.06.2026).
25. Кузичева, Д. Автоматизация портов делает их менее производительными и рентабельными - McKinsey / Кузичева Дарья. — Текст : электронный // iot.ru : [сайт]. — URL: https://iot.ru/promyshlennost/avtomatizatsiya-portov-delaet-ikh-menee-proizvoditelnymi-i-rentabelnymi-mckinsey (дата обращения: 20.06.2026).

Global Experience in the Development of Intelligent Management Systems for Terminal and Logistics Infrastructure Facilities

Tsalikova K.R., Shumovsky D.V., Babichev E.S.
JSC "Institute for the Economy and Development of Transport"

JEL classification: H87, F02, F15, F29, F40, F42, F49

This article examines examples of the implementation of intelligent management systems for terminal and logistics infrastructure facilities and presents the outcomes of projects involving such systems. The study draws upon data gathered through desk research and participation in industry conferences. The findings suggest that the deployment of intelligent systems at freight terminals is becoming essential for the efficient organization of business processes and for maintaining competitiveness in the transport services market.

Keywords: Freight terminals, warehouses, robotization, automation, WMS, TOS, YMS, digitalization, digital twins.

References

1. Analytical Materials. — Text: electronic // JSC "IEDT": [website]. — URL: http://iedt.ru/analitika (accessed: 10.06.2026).
2. Joan, P. M. Alignments between strategic content and process structure: the case of container terminal service process automation / P. M. Joan, Wang Ping, Zeng Qingchen. URL: https://www.researchgate.net/publication/316328185_Alignments_between_strategic_content_and_process_structure_the_case_of_container_terminal_service_process_automation
3. The Law of Requisite Variety and the Cyberneticist W. R. Ashby. — Text: electronic // Studfile: [website]. — URL: https://studfile.net/preview/9581682/page:13/ (accessed: 22.06.2026).
4. Wiener, N. A Machine Smarter Than Its Creator / N. Wiener. — Text: direct // Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. — 1983. — No. 2. — pp. 308–314.
5. Kulzhabayev, N. M. Development and Investigation of Methods for Criterion-Based Control of an Active System of the Production-Transport Type: Specialty 05.13.10: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Kulzhabayev Nasanbadryadden Mubarakovich; Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences. — Moscow, 1998. — 260 p. — Text: direct.
6. Simetra and Lomonosov Moscow State University A digital twin of the Khasansky transport hub in Primorsky Krai has been developed [by the Nevelskoy Maritime State University]. — Text: electronic // www.cnews.ru: [website]. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-10-23_simetra_i_mgu_imnevelskogo (accessed: 18.06.2026).
7. Introducing The TwinBridge: Seeing the Terminal Come to Life – From Truck to Vessel. — Text: electronic // www.worldcargonews.com: [website]. — URL: https://www.worldcargonews.com/ict-automation/2025/12/introducing-the-twinbridge-seeing-the-terminal-come-to-life-from-truck-to-vessel/ (accessed: 18.06.2026).
8. Optimization of Operations in Solid Bulk Port Terminals Using Digital Twin / J. Neyra, L. Silva, J. Netto, A. Medina. — Text: direct // Winter Simulation Conference (WSC). — Seattle: IEEE, 2025.
9. Shabnam, Rekabi. Digital Twin-integrated circular Dry Port-Seaport network with smart contract and viability dimensions: A case study / Rekabi Shabnam, Sazvar Zeinab. — Text: direct // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2026. — No. 210.
10. IT in Logistics: From Digital Twins to Warehouse Robotization. — Text: electronic // RBC Companies: [website]. — URL: https://companies.rbc.ru/news/edLvmFdIWQ/it-v-logistike-ot-tsifrovyih-dvojnikov-do-robotizatsii-skladov/ (accessed: 19.06.2026).
11. Why Automation Alone Is No Longer Enough in Logistics: The Role of Artificial Intelligence. — Text: electronic // LeverX: [website]. — URL: https://leverx.com/ru/newsroom/ai-driven-logistics-decision-making (accessed: 22.06.2026). 12. Intelligent Warehousing: A Machine Learning and IoT Framework for Precision Inventory Optimization / Raju Arvind V, R. M. Shrinidhi, T. Deepa, M. Maheedhar. URL: https://www.researchgate.net/publication/395914380_Intelligent_Warehousing_A_Machine_Learning_and_IoT_Framework_for_Precision_Inventory_Optimization
13. MIT CTL-Mecalux Report: The State of AI in Warehousing and its Impact in Global Media. — Electronic resource // ctl.mit.edu: [website]. — URL: https://ctl.mit.edu/news/mit-ctl-mecalux-report-state-ai-warehousing-and-its-impact-global-media (accessed: 22.06.2026).
14. Five AI agents integrated into the KONCRIT|YMS management system. — Electronic resource // Computerra: [website]. — URL: https://www.computerra.ru/325555/v-sistemu-upravleniya-koncrit-yms-vnedrili-pyat-ii-agentov/ (accessed: 22.06.2026).
15. Equipment management module implemented at Global Ports Group's marine cargo terminals. — Electronic resource // 1C Consulting: [website]. — URL: https://consulting.1c.ru/cases/181366.html (accessed: 19.06.2026).
16. From disparate systems to a unified platform: digital transformation of the Smart Group of Companies with support from Sensu. — Electronic resource // CNews: [website]. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-11-10_ot_razroznennyh_sistem_k (accessed: 19.06.2026).
17. Lean principles reduce empty reefer inspections. — Text: electronic // 2.apmterminals: [website]. — URL: https://www2.apmterminals.com/en/news/news-releases/2024/240701-lean-principles-reduce-empty-reefer-inspections (accessed: 22.06.2026).
18. New management models, IT, and more: unconventional logistics trends for 2026. — Text: electronic // KORUS Logistics: [website]. — URL: https://wms.korusconsulting.ru/expertise/novye-modeli-upravleniya-it-nebanalnye-trendy-logistiki-2026/ (accessed: 21.06.2026).
19. Petrova, E. E. Analysis of the experience in automating and robotizing operational processes at a container terminal / E. E. Petrova, V. V. Gannesen. — Text: direct // Scientific Problems of Water Transport — 2024. — No. 78. — pp. 178–190.
20. Port of Los Angeles: key information and useful stats. — Text: electronic // gocemet.com: [website]. — URL: https://www.gocomet.com/blog/port-of-los-angeles-all-key-information/#Management (accessed: 20.06.2026). 21. Port of Los Angeles Rolls Out New Components to Port Optimizer Digital Platform. — Text: electronic // Hellenic Shipping News: [website]. — URL: https://www.hellenicshippingnews.com/port-of-los-angeles-rolls-out-new-components-to-port-optimizer-digital-platform/ (accessed: 20.06.2026).
22. Digital Twin of a Port Accelerates Vessel Loading by 20%. A Detailed Analysis of the Project. — Text: electronic // upperator: [website]. — URL: https://upperator.ru/twin-optimise-port-activities (accessed: 19.06.2026).
23. Automated Container Handling: Revolutionary Technology for Philippine Port Operations. — Text: electronic // premier: [website]. — URL: https://premier-heavyequipment.com/automated-container-handling-port-guide/ (accessed: 19.06.2026).
24. An Automated, Unmanned Warehouse Developed in China. — Text: electronic // ATI.SU: [website]. — URL: https://news.ati.su/news/2020/08/17/v-kitae-razrabotali-avtomatizirovannyj-sklad-rabotajuschij-bez-ljudej-video-231497/ (accessed: 20.06.2026).
25. Kuzicheva, D. Port Automation Makes Ports Less Productive and Profitable — McKinsey / Darya Kuzicheva. — Text: electronic // iot.ru: [website]. — URL: https://iot.ru/promyshlennost/avtomatizatsiya-portov-delaet-ikh-menee-proizvoditelnymi-i-rentabelnymi-mckinsey (accessed: 20.06.2026).