

ПРИМЕНЕНИЙ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Доктор техн. наук, профессор **Резер С.М.**
(Всероссийский институт научной и технической информации РАН)

Доктор техн. наук, профессор **Ларин О.Н.**,
аспирант **Оюунгарав А.**
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

Кандидат техн. наук, доцент **Альметова З.В.**
(Южно-Уральский государственный университет)

APPLICATIONS OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE OPERATION OF CONTAINER TERMINALS

Doctor (Tech.), Professor **Rezer S.M.**
(All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of RAS)

Doctor (Tech.), Professor **Larin O.N.**,
Post-graduate **Oyungarav A.**
(Russian University of Transport. RUT - MIIT)

Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Almetova Z.V.**
(South Ural State University)

Терминально-складские комплексы, контейнерные перевозки, интернет вещей, 5G, интеллектуальные системы управления, автоматизация процессов.

Terminal and warehouse complexes, container transportation, internet of things, 5G, intelligent control systems, process automation.

В статье рассмотрены особенности применения цифровых технологий для совершенствования работы контейнерных терминалов. Применение цифровых технологий позволяет автоматизировать технологические процессы, организовать непрерывный мониторинг за движением подвижного состава и расположением грузов, внедрить системы интеллектуального управления производственными процессами в терминально-складских комплексах.

The article discusses the features of the use of digital technologies to improve the operation of container terminals. The use of digital technologies makes it possible to automate technological processes, organize continuous monitoring for movement of vehicles and the location of goods, and to introduce systems of intelligent control of production processes in terminal and warehouse complexes.

Цифровизация производственных процессов являются приоритетным направлением развития транспортной отрасли. В управлении движением транспортных средств уже достигнут высокий уровень автоматизации процессов, но на терминально-складских комплексах (ТСК) только начинается активное внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) производственными процессами. В основе создания таких систем лежат цифровые технологии. Значительный эффект может быть получен при цифровизации контейнерных терминалов [1, 2].

Несмотря на общее снижение объемов перевозок по российским железным дорогам в связи с коронавирусной пандемией, объемы контейнерных перевозок продолжили расти. В течение первых трех кварталов 2020 года ОАО «РЖД» перевезло по сети во всех видах сообщения более 4,2 млн. грузных и порожних контейнеров ДФЭ (ТЕУ), что на 16,1% больше, чем за аналогичный период 2019 года. Во внутреннем сообщении России отправлено более 1,7 млн. ДФЭ (+12,8%), в экспортном – порядка 1,1 млн. ДФЭ (+14,7%), в импортном – 888 тыс. ДФЭ (+13,9%). Наибольший прирост

объема приходится на транзитные перевозки – 558 тыс. ДФЭ (+35,3%), что является результатом слаженной работы отечественных и зарубежных транспортно-логистических компаний.

Транзитные перевозки являются разновидностью экспорта транспортных услуг и обеспечивают значительные доходы крупным транспортно-логистическим холдингам и налоговые поступления в бюджеты всех уровней [3]. В соответствии со «Стратегией развития экспорта услуг до 2025 года» для дальнейшего увеличения объемов экспорта транспортных услуг необходимо обеспечить решение комплекса задач, в том числе, снизить логистические издержки за счёт модернизации инфраструктуры ТСК, повышения оснащенности железнодорожных станций перегрузочным оборудованием и автоматизации технологических процессов. Реализация данных мероприятий будет способствовать сокращению времени простоя вагонов под грузовыми операциями, которое в отдельных случаях достигает 50% от общей продолжительности времени оборота вагона по сети.

Автоматизация процессов в ТСК. В последнее время в зарубежной практике для повышения эффективности работы контейнерных терминалов ведется активная работа по автоматизации производственных процессов. По оценкам консалтинговой компании Verified Market Research, мировой рынок автоматизированных контейнерных терминалов к 2027 году достигнет 10,7 млрд. долл. США. Крупнейшие доли из этого объема придутся на США (2,5 млрд. долл.) и Китай (2,1 млрд. долл.) [4].

Основными технологическими компонентами автоматизированных контейнерных терминалов являются:

1. Интегрированные платформы интеллектуальной автоматизации (Intelligent Automation Platform):

– технологии автоматизации информационных процессов предприятия (IT Process Automation)

– автоматизация роботизированных процессов предприятия (robotic process automation);

– технологии искусственного интеллекта (ИИ), сочетающие алгоритмы, основанные на знаниях, математической оптимизации и аналитике;

– технологии 5G в организации и автоматизации технологических процессов.

2. Операционные системы управления терминальными комплексами (Terminal Operating System - TOS):

– контроль движения и хранения грузов в процессе доставки;

– управление движением транспорта внутри терминала и на прилегающих территориях;

– оптимизация использования перегрузочных средств и подвижного состава.

3. Технологии дополненной и виртуальной реальности (AR / VR):

– использование AR / VR для оптимизации внутрипроизводственных процессов компании;

– применение AR / VR для повышения производительности и безопасности технологических процессов.

В отечественной практике при оптимизации грузовых операций на ТСК пока еще преобладают подходы частичной автоматизации технологических процессов, преимущественно на базе модулей «Операционные системы управления ТСК» (Terminal Operating System - TOS). Перед TOS, как правило, ставятся задачи по автоматизации процессов разработки производственных программ и распределения рабочих заданий (составление сменно-суточных планов, распределение работ по участкам, конкретным исполнителям и т.п.). Системы автоматизации также применяются для контроля рабочих процессов и предоставления оперативной информации персоналу для реагирования на отклонения в выполняемых операциях. Например, в продуктах компании «СОЛВО», которая является одним из ведущих отечественных поставщиков систем автоматизации для ТСК, автоматизированы функции планирования и контроля, а исполнение операций ведется преимущественно под руководством персонала. Для подтверждения фактов получения и выполнения заданий требуются своевременные действия исполнителей.

Работа модулей TOS основана на следующих принципах:

– синхронизация рабочих заданий персоналу и пропускных возможностей погрузочно-разгрузочной техники;

– осуществление диспетчеризации рабочих процессов в режиме реального времени;

– гибкая стратегия распределения заданий, при необходимости диспетчер может изменять рабочие задания для техники, назначать приоритеты для терминальных процессов;

– автоматическое формирование плана размещения грузов на судне, складских площадках с оптимизацией по распределению веса и другим параметрам.

Значительная часть отечественных систем TOS способна осуществлять мониторинг местоположения грузов, перегрузочной техники и технологического транспорта при помощи устройств системы глобальной спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС). Данные устройства могут быть интегрированы с датчиками грузозахватных механизмов и другими бортовыми системами оборудования, что позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации технологических процессов. Однако применяемые средства передачи данных ограничивают возможности модулей TOS для создания ИСУ, так как точность позиционирования управляемых объектов может снижаться из-за влияния планировочных особенностей терминалов, расположения капитальных объектов, помех и пр. Поэтому многие отечественные ТСК ведут разработку стратегий по полной автоматизации технологических процессов на основе применения цифровых технологий.

Автоматизация перегрузочных процессов на контейнерном терминале нацелена на минимизацию участия человека в технологических процессах. Растущий спрос на контейнерные перевозки стимулировал строительство новых крупных судов-контейнеровозов с вместимостью свыше 20 TEU, расширение портовой инфраструктуры и наращивание производительности погрузочно-разгрузочной техники. При значительных объемах перевалки для снижения времени простоя подвижного состава как внутреннего транспорта (относительно территории государства – речного, автомобильного и железнодорожного), так и внешнего (морского) под грузовыми операциями необходимо обеспечить работу терминального оборудования на максимально возможном пределе его производительности.

Участие человека в технологических операциях, выполняемых с высокой скоростью и в непрерывном режиме, сопряжено с рисками снижения надежности, эффективности и безопасности производственных процессов из-за влияния человеческого фактора. Поэтому распространенной является тенденция по автоматизации работы современных терминальных комплексов, что кроме повышения производительности выполняемых на них грузовых операций также обеспечивает снижение затрат на рабочую силу. Несмотря на то что автоматизация контейнерных терминалов требует значительных капиталовложений, достигаемый от автоматизации эффект обеспечивает окупаемость инвестиций за счёт снижения эксплуатационных затрат и затрат на рабочую силу.

Потенциал полной автоматизации процессов и интеллектуализации управления контейнерными терминалами основывается на несложном уровне требуемых у персонала профессиональных навыков, небольшими капиталовложениями в модернизацию оборудования и программное обеспечение по сравнению с вложениями в модернизацию терминальной инфраструктуры. По оценкам исследовательской группы Tractica, наибольшими перспективами для использования в логистическом секторе для автоматизации процессов обработки

складских запасов и управления грузовыми операциями обладает технология «ИИ». Так как большинство процессов в данных областях логистики представляют собой однотипные повторяющиеся задачи, это позволяет их не только автоматизировать, но и «подчинить» машине, которая необязательно должна обладать «высокоразвитыми» интеллектуальными способностями. Автоматизация и использование «ИИ» создают возможности для значительного снижения логистических издержек в цепочках поставок. В связи с этим эксперты Tractica прогнозируют почти пятикратное увеличение продаж по всему миру роботизированной логистической техники в ближайшие три года. Лидером автоматизированных контейнерных терминалов, как ожидается, будет Азиатско-Тихоокеанский регион.

Применение цифровых технологий в ТСК. Автономные транспортные средства, дроны и другие самоуправляемые устройства уже стали нормой в логистике. Например, в 2016 году компания Amazon провела первое испытание дронов для доставки грузов на расстоянии «последней мили». На сегодняшний день дроны уже активно используются в логистике не только как средство доставки грузов. Эти устройства часто незаменимы в качестве основного или вспомогательного средства мониторинга (наблюдения) выполнения технологических операций, проверки активов. Поступающая с дронов информация распознается, передается в цифровую модель наблюдаемого объекта для построения динамической картины в виртуальной реальности. В зависимости от данных анализа состояния объекта применяются меры реагирования.

В ноябре 2020 года с норвежской верфи сошел первый в мире автономный фидерный контейнеровоз «YARA Birkeland», который работает на электроприводе с нулевыми выбросами. В течение периода тестовой эксплуатации судно будет работать преимущественно в режиме дистанционного пилотирования. За ним и его окружением будет вестись постоянное наблюдение из специальных центров мониторинга, обработки данных и поддержки принятия решений. В 2022 году контейнеровоз перейдет от пилотируемой эксплуатации к полностью автономной.

Применимость автономных устройств в технологических процессах во многом зависит от навигационных возможностей оборудования и скорости передачи данных о местоположении объекта и выполняемых им операциях. На современном этапе развития технологий наилучшие показатели по приведенным выше характеристикам обеспечиваются при использовании сетей передачи данных по сетям пятого поколения (5G, fifth-generation). Использование беспроводных сетей передачи данных по технологии 5G позволяет повысить производительность и безопасность технологических процессов.

Вместе с тем, применение стандарта 5G для дистанционного и полностью автономного управления подвижными объектами на ТСК не является основной целью внедрения сетей пятого поколения в отрасли. Данная технология необходима для обеспечения полной автоматизации традиционных терминалов, что послужит триггером для кардинального изменения технологических процессов и трансформации моделей управления данными объектами. Главная ценность технологии 5G состоит в том, что она позволит максимально использовать потенциал других «сквозных» цифровых

технологий, прежде всего, так называемой технологии «Интернет вещей» (ИВ, internet of things, IoT), которая организует внутреннее и межсетевое информационное взаимодействие различных устройств.

Технология ИВ связывает людей, потребительские вещи и промышленные объекты в единую многоуровневую систему. Инфраструктуру данной системы составляют различные датчики и контроллеры, которые могут быть установлены в мобильные устройства, производственное оборудование и т.д. В свою очередь, технология 5G обеспечивает двунаправленную передачу собираемых данных – от датчиков в управляющий центр, из центра к исполняющим устройствам (рабочим органам) управляющие команды [5].

Использование технологии 5G в системах автоматизации ТСК откроет качественно новые возможности. В частности, может быть организован высокоточный мониторинг системы в режиме реального времени. Технология передачи данных стандарта 5G может поддерживать миллион сенсорных устройств на квадратный километр, в то время как стандарт 4G - только 100 тыс. устройств. Кроме того, стандарт 5G обеспечивает передачу данных между устройствами с возможными задержками не более одной миллисекунды, в технологии 4G величина таких задержек может достигать 50 миллисекунд. Технология 5G позволяет ежедневно собирать данные со 100 млн. датчиков, которые могут быть расположены не только на территории терминала, но и в подвижном составе, контейнерах и т.п. [6].

При такой интенсивности обмена информацией удаленное управление подвижными средствами практически не отличается от фактического присутствия оператора на рабочем месте. Сети 5G позволяют получать актуальную информацию о местонахождении, температуре, влажности и других параметрах состояния грузов или выполняемых операциях с транспортными средствами. Эти сведения используются логистическими операторами для оптимизации цепочки поставок. Тестовые испытания систем автоматизации грузовых операций в китайских портах показали снижение затрат на рабочую силу на 70% за счет использования модели централизации. Согласно данным [7] внедрение технологии 5G в итальянском порту Ливорно обеспечило повышение производительности работы портового оборудования (козловых и причальных кранов с дистанционным управлением 5G) на 25%, что дало экономию в 2,5 млн. евро в год за счет сокращения простоя судов в порту.

Современные системы управления технологическими операциями на терминалах имеют ограниченную автоматизацию, так как по существующим каналам связи данные передаются с большими задержками. Поэтому на рабочем месте присутствует оператор, который осуществляет оперативный контроль текущих процессов и реагирование на возможные отклонения, обусловленные воздействием различных факторов, например, смещение контейнера относительно платформы из-за усиления ветра. При поступлении по каналам 5G актуальных данных с датчиков и изображений с камер с высоким разрешением ИСУ может принимать более быстрые и оптимальные решения, как следует перегружать контейнер, используя математические модели и алгоритмы самообучения [8].

Применение ИСУ обеспечивает сокращение времени обработки контейнеровозов почти в два раза. Более короткие операционные циклы также создают условия

для получения дополнительных эффектов от снижения потребностей в инвестициях на покупку дорогостоящего портового оборудования (например, кранов «судно – берег»), увеличения выработки морских судов, что, как следствие, может снизить потребности в контейнеро-зах большой вместимости, которым требуются дорогостоящие терминалы с большой глубиной у причальной стенки.

Крупнейший европейский порт Роттердам начал в 2018 году разворачивать инфраструктуру для сети 5G на портовой территории. В использовании технологии 5G заинтересованы многие партнёры порта из различных отраслей. Порт стал полевой лабораторией для тестирования 5G-приложений для промышленных производств. Например, компания Shell Pernis успешно протестировала применение технологии 5G для профилактического обслуживания многокилометровой сети трубопроводов с использованием мобильных роботов-инспекторов, оснащенных датчиками и камерами сверхвысокой четкости (UHD). Дистанционное управление роботами и передача больших объемов данных с камер и считывающих устройств в диспетчерский центр стабильно обеспечивались по сети 5G.

В 2019 году China Merchants Port (CMPort), дочерняя компания China Merchants Group (CMG), подписала соглашение с China Mobile и Huawei о сотрудничестве в использовании технологии 5G в морских портах. Для проведения совместных исследований партнёры открыли лабораторию интеллектуальных портовых инноваций на основе технологии 5G (intelligentportinnovationlab) на базе контейнерного терминала в порту Шэньчжэнь (Shenzhen).

В феврале 2020 года крупнейшая бельгийская телекоммуникационная компания Proximus и порт Антверпен приступили к реализации проекта по развертыванию в порту сети 5G. На начальном этапе планируется протестировать работу сети 5G для навигации буксиров, видеонаблюдения, управления беспилотным транспортом, контроля безопасности процессов на территории порта.

Один из крупнейших в мире китайский оператор контейнерных терминалов Cosco Shipping Ports в сотрудничестве с Dongfeng Commercial Vehicle и China Mobile (Shanghai) Information Communication Technology тестируют применение технологии 5G для создания «интеллектуальных (smart) терминалов». На таких терминалах кроме 5G будут использоваться и другие инновационные цифровые технологии, в том числе, высокоточное позиционирование, «ИИ», компьютерное зрение и др. В мае 2020 года партнёры провели успешное испытание автономной работы системы взаимосвязанных подвижных объектов на терминальном комплексе Xiamen Ocean Gate Container Terminal в Сямыне. В частности, была испытана работа автоматизированной контейнерной платформы, которая осуществляла сложные маневры по территории терминала, точно становилась под кран для загрузки и выгрузки контейнеров. Для обмена данными между «умными устройствами» (подвижным составом, портовой инфраструктурой и погрузочно-разгрузочным оборудованием) использовалась технология 5G. Компания Cosco Shipping Ports планирует к 2025 году внедрить комплексную интеллектуальную систему централизованного удаленного управления терминалом, которая будет основана на всеобъемлющем восприятии окру-

жающей действительности, а все элементы терминального объекта (инфраструктура, оборудование, транспортные средства и пр.) будут взаимосвязаны и взаимодействовать между собой без участия человека. Это создаст основу для полной автоматизации работы всех систем контейнерных терминалов под интеллектуальным контролем из единого центра.

В течение 2020 года CMPort и ряд других компаний холдинга CMG заключили несколько соглашений с ИТ-компаниями (в частности, с Tencent, Shekou Assets Management) о совместных исследованиях и разработке ИСУ портовыми терминалами. Партнёры планируют к концу 2021 года разработать технологический стандарт «умных портов» на основе 5G.

По мнению многих экспертов, по состоянию на 2019 год Китай стал мировым лидером в создании автоматизированных контейнерных терминалов в портах Сямынь (провинция Фуцзянь), Циндао (провинция Шаньдун) и Яншань (Шанхай). Стратегия автоматизации отрасли предусматривает формирование к 2025 году на базе национальных исследовательских центров глобального инновационного хаба развития интеллектуального судоходства, к 2035 году китайский хаб должен стать лидирующим разработчиком технологий интеллектуального судоходства, а к 2050 году в стране должна быть сформирована самая эффективная интеллектуальная система доставки грузов.

Переведённые примеры характеризуют важнейшие тренды в совершенствовании технологий обработки грузов, которые выполняются в рамках перевозочного процесса. К ним следует отнести, прежде всего, выполнение грузовых операций автономными устройствами; применение технологии «ИВ» для сбора данных о состоянии производственной системы (операциях, оборудовании и пр.) и передача данных с применением технологии 5G; осуществление контроля и регулирования производственных процессов под управлением «ИИ».

В стратегии разработки ИСУ портами в стандарте 5G допускают переход в недалеком будущем на более прогрессивную технологию передачи данных на основе стандарта 6G. В исследовании [9] отмечается, что технология 5G только заложит основу для создания модулей ИСУ отдельными структурами ТСК, в которых «ИИ» будет применяться для выполнения некоторых операций. Полностью ИСУ для ТСК в целом будут реализованы только в сетях следующего поколения - B5G (Beyond 5G) и 6G. Стандарт сетей B5G представляет собой переходную модель от технологии 5G к 6G. На этапе такого перехода стандарт 5G перестанет добавлять существенную ценность потребителям и выступит катализатором формирующегося рынка технологий 6G. Стандарт 6G пока существует в виде многомерной модели комплексных сетей с массовым подключением, поддержкой квантовых вычислений и квантового машинного обучения.

Выводы

Одна из ключевых тенденций совершенствования технологических процессов ТСК состоит в создании систем управления подвижными и стационарными терминальными объектами на основе беспроводных технологий обмена данными на базе стандарта 5G, а в перспективе – стандарта 6G. Проведенные исследования, анализ научных работ и отчетных данных показывают, что ориентировочно к 2025 году большинство круп-

нейших контейнерных терминальных комплексов в КНР и странах ЕС, прежде всего базирующихся в морских портах, будет использовать ИСУ технологическими процессами. Данные системы должны обеспечить полную автоматизацию производственных операций и поддерживать автономное взаимодействие стационарных и подвижных объектов, находящихся на терминалах и подходах к ним. Работа таких систем управления будет основана на использовании различных цифровых технологий: беспроводные сети стандарта 5G, объединение средств сбора данных в единую систему «ИВ», компьютерное зрение, высокоточное позиционирование объектов, «ИИ» и др.

Ожидается, что создание «интеллектуальных терминалов» значительно повысит производительность данных объектов, обеспечит существенное сокращение материальных ресурсов, денежных средств и времени на выполнение технологических процессов. Это обеспечит прирост конкурентоспособности **морских маршрутов** доставки контейнерных грузов в сообщении «Европа – Азия», однако негативно отразится на транзитном потенциале **наземных маршрутов** (трансконтинентальных), значительная часть которых проходит по российским железным дорогам. В связи с этим представляется целесообразным в проектах по модернизации и развитию ТСК, которые обслуживают преимущественно транзитные контейнерные грузы и, как правило, располагаются в отечественных морских портах или в пунктах пропуска через государственную границу, предусматривать создание ИСУ на базе цифровых технологий.

Литература

1. Ларин О.Н. Логистические методы управления грузопотоками в материально-техническом обеспечении железных дорог / С.М. Резер, О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. Сб. науч. инф. ВИНТИ РАН. – 2015. – № 9. – С. 3–6.

2. Vladimir Shepelev, Zlata Almetova, Oleg Larin, Sergey Shepelev, Olga Issenova. Optimization of the Operating Parameters of Transport and Warehouse Complexes. Transportation Research Procedia. №30 (2018). P. 236–244.

3. Резер С.М. Об институциональных мерах поддержки транзитных перевозок / С.М. Резер, О.Н. Ларин, З.В. Альметова // Транспорт: наука, техника, управление. Сб. науч. инф. ВИНТИ РАН. – 2018. – № 5. – С. 3-7.

4. Global Automated Container Terminal Market Size By Degree of Automation, By Project Type, By Offering, By Geographic Scope And Forecast. Verified Market Research. 2018. 117 p.

5. Pre-emptive logistics – the road ahead. Ericsson IndustryLab. July 2020. 16p.

6. 5G Smart Port White Paper. Huawei Technologies. 2019. 27 p.

7. Port of the future. Ericsson IndustryLab. June 2020. 16p.

8. Transportation and logistics trends 2019. Part of PwC's 22nd CEO Survey trend series. 2019. 11 p.

9. Nawaz S.J., Sharma S.K., Wyne S., Patwary M. N. and Asaduzzaman M. Quantum Machine Learning for 6G Communication Networks: State-of-the-Art and Vision for the Future. IEEE, 2019, vol. 7, pp. 46317-46350, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2909490.

Сведения об авторах

Резер Семён Моисеевич, доктор техн. наук, профессор, заведующий ОНИ по транспорту ВИНТИ РАН, заведующий кафедрой «Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы» Московского университета транспорта (РУТ - МИИТ).

125190, Россия, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНТИ РАН

Тел. моб. 8(495) 764 26 78

E-mail: semenrezer@mail.ru.

Ларин Олег Николаевич, доктор техн. наук, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии», Российский университет транспорта (РУТ - МИИТ).

127994, Россия, Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9,

E-mail: larin_on@mail.ru.

Оюунгарав Амарсанаа, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии», Российский университет транспорта (РУТ - МИИТ).

127994, Россия, Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9,

E-mail: amarsanaa.mtz@gmail.com.

Альметова Злата Викторовна, кандидат техн. наук, доцент Южно-Уральского государственного университета,

454080, г. Челябинск, Россия, прю. Ленина, 76

E-mail: zlata.almetova@yandex.ru.