

УДК 656.073.28

DOI: 10.37890/jwt.vi78.439

Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала

Е.Е. Петрова

ORCID: 0000-0003-4219-8177

В.В. Ганнесен

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация: В работе выполнен обзор существующих подходов к автоматизации, как самой перегрузочной техники, так и выполняемых с ее помощью технологических операций на контейнерных терминалах. Отмечено, что автоматизация и роботизация складских и портовых операционных процессов является одним из современных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и временного хранения грузов на причалах морских портов. Поэтому поиск, накопление и систематизация большого потока информации о практических разработках в данной области развития транспортной отрасли является одной из частных научных задач при выборе направления диссертационного исследования «Технология, организация и управление перегрузочными процессами в портах». На основе изученного отечественного и зарубежного опыта в области организации системы управления морским контейнерным терминалом была выполнена классификация операционных процессов, в которых объектом автоматизации являлась перегрузочная техника. Объединение отдельных способов автоматизации операционных процессов в группы (уровни автоматизации) выполнено на основании классификационного признака «количество единиц автоматизированной техники». Источниками информационного потока для научного исследования послужили неструктурированные данные, представленные в виде первичной исходной информации на сайтах производителей перегрузочной техники, а также вторичные открытые научные данные.

Ключевые слова: порт, технологический процесс, цифровизация, грузопотоки, терминальные операции, имитационное моделирование.

Experience analysis of automation and robotization of the container terminal operation

Ekaterina E. Petrova

ORCID: 0000-0003-4219-8177

Vitaliy V. Gannesen

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper reviews the existing approaches to automation of both transshipment equipment and technological operations performed at container terminals. It is pointed out that automation and robotization of warehousing and port operational processes is one of the current global trends in the development of cargo transshipment and temporary storage technologies at seaport berths. Therefore, the search, accumulation and systematization of a lot of information about practical developments in this area of transport industry is one of the scientific tasks in choosing the direction of the dissertation research "Technology, arrangement and management of transshipment processes in ports". On the basis of the studied domestic and foreign experience in the field of arrangement of the management system of the sea container terminal the operational processes in which the object of automation was transshipment technology were classified. The unification of individual methods of automation of operational processes into groups (levels of automation) was made on the basis of the classification criteria "the number of automated equipment units".

Unstructured data presented as primary source information on the websites of manufacturers of transshipment equipment, as well as secondary open scientific data were the sources of information for the scientific research.

Keywords: port, technological process, digitalization, flow of cargo, terminal operations, simulation modeling.

Введение

Сбалансированное развитие инфраструктуры транспорта является одной из приоритетных государственных задач Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. В документе отмечено, что необходимым условием достижения поставленной задачи в части грузоперевозок, является сквозная цифровизация транспортной цепочки и роботизация логистических операций, внедрение автономного транспорта на основе компонентов робототехники и сенсорики, а также автоматизация и роботизация складских и портовых операционных процессов. Относительно транспортных грузопотоков цифровизация предусматривает развитие системы отслеживания перемещения грузов, внедрение в работу транспортных узлов и логистических терминалов инфраструктурных элементов для считывания и мониторинга проходящих через них грузов. По отношению к транспортным средствам цифровизация коснется внедрения в их работу продвинутых систем помощи водителю; высокоавтоматизированных и беспилотных технологий для всех видов транспорта, а также для перегрузочной техники (автономные транспортные средства и погрузчики для терминалов) транспортных узлов. Исходя из целей и задач стратегии развития транспортной отрасли на ближайшую перспективу следует вывод, что переход от механизированных систем грузопереработки к автоматизированным является одним из главных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и хранения грузов на терминалах морских портов.

В переходный период важно изучить и обобщить мировой опыт в области полной или частичной замены обслуживаемых персоналом операций на терминале автоматизированным оборудованием и процессами. Поэтому поиск, накопление и систематизация большого потока информации о практических разработках в данной области и является целью данного исследования.

Методы и материалы

Источниками информационного потока для научного исследования послужили неструктурированные данные, представленные в виде первичной исходной информации на сайтах производителей перегрузочной техники таких как Linde Material Handling, Kalmar, Siemens, DSD Steel Group GmbH, Konecranes и Axelot, а также вторичные открытые научные данные. Метод конкретизации общего представления о существующих подходах к автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала – анализ и синтез собранной информации. Синтез отдельных способов автоматизации операционных процессов в группы выполнен на основании классификационного признака «количество единиц автоматизированной техники». В результате перехода от менее общего понятия к более общему была предложена классификация операционных процессов, в которых объектом автоматизации являлась перегрузочная техника.

Результаты

В существующей практике управления морским транспортом [1, 2], степень автоматизации технологического процесса контейнерного терминала, как правило,

исследуется на трех уровнях (рис. 1). На первом уровне объектом автоматизации являются технологические операции, осуществляемые грузоподъемными машинами, такими как погрузчики, самоходные стреловые и башенные краны и др. При этом автоматизации могут быть подвергнуты как отдельные операции, например, процессы разгона и торможения механизмов, регулирование скоростей рабочих движений, остановка механизмов в заданном месте, так и полная автоматизация технологического процесса управления грузоподъемной машиной. На втором уровне объектом автоматизации является группа единиц техники, связанных единым алгоритмом функционирования, где также автоматизации подвергаются как отдельные операции, так и весь технологический процесс. На третьем уровне происходит объединение всех подсистем нижних уровней в единую систему управления объектом (контейнерным терминалом) в целом. При этом независимо от того для какого уровня управления разработана конкретная автоматизированная система управления перегрузочным процессом целью автоматизации является обеспечение безаварийной работы погрузочного устройства, сохранность перемещаемого груза, эффективность технологического процесса обработки груза.

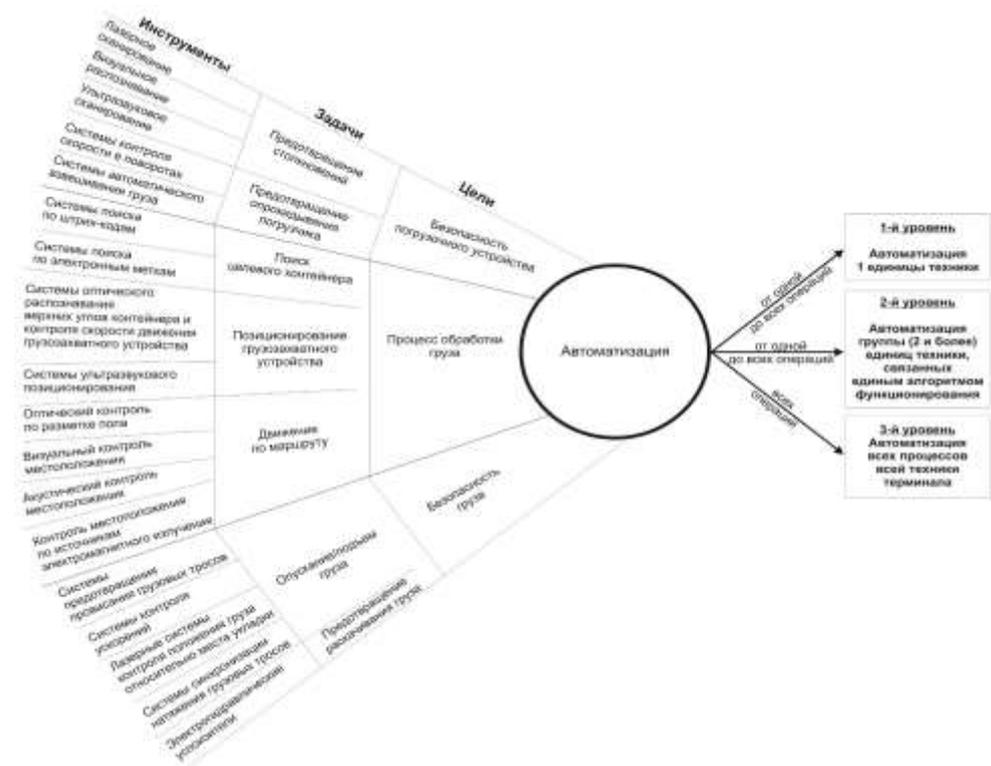


Рис. 1. Классификация способов автоматизации грузовых терминалов

Обеспечение безаварийной работы погрузочного устройства предполагает решение таких задач как, предотвращение столкновений и предотвращение опрокидывания погрузчика. Одним из способов их решения является использование дополнительного оборудования, устанавливаемого на грузоподъемные машины [3]. Такое оборудование может работать на основе различных физических принципов таких как лазерное и ультразвуковое сканирование, визуальное распознавание и другие.

С целью предотвращения столкновений, используются системы контроля, размещаемые на самих перегружателях - системы бортового размещения. Системы бортового размещения комплектуются 3D-камерами, позволяющими осуществить распознавание препятствий и грузов спереди и сзади машины, а также радарным датчиком и световым индикатором с встроенным звуковым сигналом. При неожиданном появлении объекта на траектории движения перегружателя система либо включает предупредительный сигнал, либо вмешивается в управление во избежание столкновения. Примером использования такой системы, является разработка компании Linde Material Handling – система Linde Motion Detection. [4]. Данная система может в реальном времени на 360 ° определять расстояние между погрузчиком и препятствием, включать сирену, замедлять или останавливать погрузчик при превышении допустимой скорости или приближении к другому погрузчику с целью предотвращения столкновений. Таким образом, оператор получает предупреждение об опасности столкновения за счет световых и звуковых сигналов. Глубина и ширина контролируемой зоны могут настраиваться.

Предотвращение опрокидывания погрузчика осуществляется за счет использования систем контроля скорости и систем автоматического взвешивания контейнеров. Например, компания Linde является разработчиком системы Linde Curve Control – которая автоматически снижает скорость погрузчика при прохождении поворотов, предотвращая опрокидывание погрузчика. В свою очередь фирма Kalmar [5] решает задачу предотвращения опрокидывания погрузчика с закрепленным на спредере контейнером за счет применения системы автоматического взвешивания контейнеров непосредственно в процессе его подъема. В случае превышения запаса грузоподъемности генерируется предупреждающий сигнал, спредер автоматически отцепляет контейнер, технологический процесс останавливается. Технический результат применения этой системы – безопасность выполнения технологических операций погрузчиком, а также ускорение выполнения операции сортировки контейнеров в штабеле.

Автоматизация процесса обработки груза предполагает решение задач таких как, позиционирование грузозахватного устройства относительно верхних углов контейнера, перемещение погрузчика к объекту грузопереработки, поиск целевого контейнера в штабеле временного хранения. Способы решения данных задач также предусматривают использование дополнительного оборудования.

Обеспечение позиционирования грузозахватного устройства, осуществляется за счет их оснащения различными оптическими и измерительными системами. Например, компания Siemens [6] комплектует краны собственной разработки системой SIMOCRANE Final Landing System (FLS). Данная система позволяет оператору использовать всю грузоподъемность крана, обеспечивая при этом безопасность и точность операции грузозахвата. Высокая точность позиционирования грузозахватного устройства достигается за счёт использования камер для распознавания верхних углов контейнера, а также датчиков управления и контроля приземления с шестью степенями свободы, что позволяет точно совмещать движения в трехмерном пространстве в зависимости от заданного уклона земли. Датчики в автоматическом режиме измеряют скорость опускания спредера и его высоту для определения взаимного положения всех объектов (спредера, контейнера и самого крана). Фирма DSD Hilgers Stahlbau GmbH [7] свои козловые краны с телескопическими канговыми спредерами оснащает системой измерения пути, которая позволяет посадить пустой спредер с высокой точностью на верхние углы контейнера. Точность позиционирования системы ± 2 см при движении тележки и менее чем ± 10 см при движении крана.

Обеспечение безопасности движения по маршруту осуществляется за счет использования систем визуального и акустического местоположения, а также системы оптического контроля, в виде специальной разметки технологических проездов

(системы напольного размещения). Системы напольного размещения, выполненные в виде светодиодных полос, в сочетании с навигационными лазерами, закреплёнными на борту перегружателя, обеспечивают безопасность движения. Примером использования напольных систем навигации является разработка фирмы Linde - светодиодные полосы Linde LED Stripes, собственной разработки. Отличительной особенностью этих светодиодных полос от традиционных, использование разных цветов в подсветке на пути следования погрузчика. Прямолинейные участки пути следования машины подсвечены зелёным цветом, а повороты подсвечены красным.

Автоматизация процесса поиска целевого контейнера предполагает использование дополнительного оборудования в виде систем поиска по штрих кодам и электронным меткам. Примером использования такой системы для крановых перегружателей является разработка компании Siemens система SIMOCRANE Container Number Recognition System (CNRS). Данная система автоматически распознает номера контейнеров, которые расположены на крыше и боковых стенках контейнера с помощью нескольких камер [8]. Аналогом подобной системы, но уже для ричстакера, является опция Container Locator (разработчик фирма Kalmar [5]). Опция позволяет в процессе обработки контейнерного штабеля, с помощью камер высокой чёткости, установленными на спредере, автоматически сканировать и запоминать идентификаторы контейнеров. Изображения, снятые камерами, обрабатываются в специализированных программах для оптического распознавания символов, в результате обработки формируется гиперссылка, при переходе на которую открывается доступ ко всей имеющейся на компьютере информации как о самом контейнере, так и грузе находящемся в нём [9,10], а также о текущей технологической операции совершаемой с ним (контейнером) в данный момент времени. Применение штрих кодов и электронных меток при транспортировании и складировании контейнеров снижает количество ошибок, связанных с определением текущего местоположения контейнеров в штабеле.

Автоматизация процесса сохранности груза при его обработке обеспечивается решением задач таких как, опускание/подъём груза и предотвращение раскачивания груза. Данные задачи решаются путём применения электрогидравлических успокоителей, систем предотвращения провисания грузовых тросов, систем контроля ускорений, лазерных систем контроля положения груза относительно места укладки, систем синхронизации натяжения грузовых тросов. Так с целью обеспечения безопасности и точности опускания/подъема груза компания Siemens разработала систему Truck Positioning System - интеллектуальная измерительная система, основанная на лазерной технологии, для определения взаимного положения контейнеров и транспортных средств, для высокоточного позиционирования в процессе погрузки. В свою очередь компания Konecranes разработала систему Smart Features – которая позволяет подвести груз в требуемое положение с высочайшей точностью, а также, предотвращает ударные нагрузки и раскачивание груза [11].

Полная автоматизация технологического процесса управления грузоподъемной машиной предполагает применение различного программного обеспечения. Компьютерные программы разрабатываются как правило фирмами производителями перегрузочной техники и предназначены для реализации дополнительных интеллектуальных функций производимого ими оборудования. Но наряду с явными преимуществами полной автоматизации применяемого в технологическом процессе оборудования, есть существенный недостаток – высокая стоимость автоматических грузоподъемных машин. Для снижения стоимости портовых перегружателей компании производители предлагают маркетинговый подход к вопросу автоматизации технологических операций. В данном случае корректно использовать не термины «частичная» или «полная» автоматизация, а «степень» автоматизации оборудования. Решение до какой степени автоматизировать перегрузочное

оборудование решает покупатель исходя из своих целей и задач при его дальнейшем использовании, а также своих финансовых возможностей.

Компания же производитель предоставляет покупателю или только базовую комплектацию оборудования, или базовую комплектацию с произвольным набором дополнительных возможностей. Какими дополнительными функциями будет обладать произведённое оборудование в конечном итоге зависит только от потребностей конкретного покупателя. Покупатель может заказать поставку как полного набора дополнительных возможностей, так и выбрать часть из них. В качестве примера такого подхода к вопросу автоматизации технологических операций показателен опыт компании Siemens. Она предлагает покупателям технологическую платформу SIMOCRANE, которая обеспечивает загрузку и разгрузку контейнеров, режим погрузки и режим захвата. Краны, имеющие наиболее низкий уровень автоматизации, управляются системой SIMOCRANE Basic Technology (базовая технология). В данном случае в автоматическом режиме осуществляется управление движением всех основных систем крана, таких как подъемное устройство, портал, тележка, механизм поворота, механизм подъема вылета стрелы, подъемник стрелы, удерживающее и замыкающее устройство. Она позволяет оптимизировать управление движением различных осей крана, в том числе в интерактивном режиме, а также является общей платформой, позволяющей по желанию заказчика добавлять дополнительные крановые технологии. Более подробную информацию о предлагаемых дополнительных функциях автоматизации можно найти на сайтах ведущих производителей в области подъемно-транспортных машин.

Внедрение технологий беспилотного вождения, систем цифровизации и автоматизации является одним из основных современных трендов повышения транспортной безопасности. Использование искусственного интеллекта в сочетании с робототехникой способствует интеллектуальному и автоматизированному управлению портовым терминалом. Это позволяет максимально эффективно сортировать, упорядочивать и перемещать большое количество контейнеров и других товаров. Примером внедрения безлюдных технологий на первом уровне автоматизации являются погрузчики Automated loaders (ALT), которые в режиме «обучения» узнают маршруты и задачи от оператора, а затем переключаются в автоматический режим и управляют автомобилем самостоятельно. Автоматизированные управляемые транспортные средства - Automated Guided Vehicles (AGV) не требуют оператора, и для навигации используют камеры, лазеры и разметку пола. Автономные мобильные роботы – Autonomous mobile robots (AMR) — используют искусственный интеллект (ИИ), чтобы узнавать об окружающей среде и вносить соответствующие коррективы.

При автоматизации процессов управления группой или комплексом технологических операций важно не только согласовать работу отдельных машин в определенной последовательности, обусловленной технологией процесса [12,13], но и осуществить контроль и блокировку на случай всевозможных аварийных ситуаций [14,15]. В таких системах управляющие воздействия вырабатываются в решающих элементах, которых может быть несколько и каждый из которых имеет собственные цели. Эти цели не обязательно конфликтны, но если между решения элементами возникают конфликты, то для их решения требуется вмешательство более высокого уровня управления. Часто этот более высокий уровень управления пока вынужден осуществлять человек - оператор.

В качестве примера управления группой отдельных машин одним оператором можно привести опыт компании Kalmar [5]. Козловые краны на пневмоколесном ходу производства этой компании оснащены системой контроля за положением контейнера, интеллектуальной системой автоматического рулевого управления Smarttrail, в которой используется передовая лазерная технология для предотвращения столкновений, а также электрогидравлической системой противораскачивания груза.

В совокупности эти три системы позволяют одновременно безопасно управлять группой из трех автоматизированных кранов при выполнении в том числе и сложных операций погрузки-разгрузки. В рассмотренном примере взаимодействие нескольких козловых кранов организовано с использованием интеллектуальных систем управления, разработанных для единицы техники, а элементом, объединяющим их для взаимодействия, является человек. В данном случае следует говорить о способе управления группой единиц техники на основе человеко-машинной автоматической системы как объединяющего элемента.

Возможен и такой способ автоматизации работы группы единиц техники, когда их работой управляет автономная роботизированная транспортная система внутри-терминального перемещения контейнеров, например, Automatic Guided Vehicle Systems, AGVS, AGV-системы [16]. Перемещение контейнеров осуществляется автоматизированными транспортными платформами (AGV) или автоматизированными транспортёрами-погрузчиками (ALV), или Shuttle Carriers (ShCs). Отличительными особенностями этого класса оборудования является то, что оно не используется как самостоятельная транспортная единица, а только в группе; относится к беспилотным, транспортным средствам; наиболее эффективно на терминалах с высокой плотностью штабелирования, где необходимо оперативное горизонтальное перемещение контейнеров посредством транспорта между штабелями и причальными перегружателями [17].

Процесс грузовых операций с AGV организован следующим образом. Разгрузка прибывшего судна осуществляется несколькими кранами (до четырех штук) в соответствии с планом выгрузки. Все задействованные в технологической-схеме AGV движутся по строго определенному маршруту, обычно по схеме петли от группы кранов в зоне выгрузки судна к группе штабелирующих кранов в зоне хранения. Изъятый с палубы или трюма судна контейнер устанавливается на ближайшую к нему (крану) свободную от груза транспортную платформу. Штабелирующие краны выполняют операцию по постановке прибывших в зону хранения на AGV контейнеров в стеки штабелей, согласно плана размещения последних для хранения. По истечению технологически обоснованного срока хранения контейнер с помощью того же штабелирующего крана извлекается из штабеля и затем транспортируется для погрузки на транспортные средства смежных видов транспорта. Для загрузки судна указанные технологические операции выполняются в обратном порядке. В случае применения ALV, так называемых автоматизированных челночных перевозчиков, для перевалки контейнеров не требуется дополнительное перегрузочное оборудование. Они работают автономно и могут как разгружать и загружать судно, так и перемещать контейнеры по терминалу. В отличие от AGV челночные перевозчики не привязаны к определенному маршруту могут двигаться на терминале по произвольной траектории. Их маршруты движения регламентируются заранее определенным для каждого контейнера расписанием выполнения технологических операций.

Известен и такой способ выполнения грузовых операций, когда в технологическом процессе используются не только автоматизированные транспортные платформы, но и специальные краны, Manned Quay Cranes (QC) для выгрузки контейнеров с борта судна, а также автоматизированные штабелирующие краны (ASCs – Automated Stacking Cranes) [17]. В этом случае следует говорить об автоматизации совокупности всех операций технологического процесса перевалки контейнеров на терминале, что по классификационному признаку также относится ко второму уровню.

Роботизированные транспортные системы внутри-терминального перемещения контейнеров Automatic Guided Vehicle Systems, AGVS, AGV-системы предназначены для управления роботами перегружателями. Очевидно, что использование AGV и ALV в качестве перегрузочного оборудования имеет большие перспективы, однако с

учетом высокой цены внедрения, их покупка для конкретного терминала должна быть экономически обоснована.

Если же применение роботизированной системы грузопереработки экономические не выгодно терминалу, то внедряют более дешевые компьютеризированные аналоги организации работы группы единиц техники. Отличительной особенностью таких систем является то, что взаимодействует между собой механизированная перегрузочная техника, а принципы этого взаимодействия предварительно отрабатываются на имитационных или сетевых моделях [18,19]. На основе анализа данных, полученных в результате сетевого или имитационного моделирования, под каждую технологическую схему погрузо-разгрузочных работ осуществляется выбор оптимального набора погрузо-разгрузочного оборудования.

Компьютеризированная система управления погрузо-разгрузочным оборудованием разрабатывается под конкретный технологический процесс, так как имитационная модель, закладываемая в основание системы управления, отражает индивидуальные особенности каждой технологической линии конкретного терминала (свой набор операций и своя последовательность их выполнения) [20]. По своей сути имитационная модель является цифровым двойником, на котором выполняется отладка системы взаимодействия структурных элементов (операций) конкретной технологической линии [21,22]. Математической моделью цифрового двойника в данном случае является структурно-логическая схема функционирования технологической линии выгрузки судна. Для построения схемы может использоваться различный математический аппарат со своими правилами формализации элементов (событий) и существующих между ними причинно-следственных связей (выполняемых работ). Например, в работе [23] структурно-логическая схема функционирования технологической линии перевалки контейнеров на терминале представлена в виде сети Петри.

Анализ систем посредством имитационного моделирования является перспективным направлением в развитии технологий перегрузки и хранения грузов на терминалах морских портов, так как на основании созданных моделей возможно написание специализированных программ для автоматизированной системы синхронного управления работой перегрузочной техники при выполнении погрузо-разгрузочных работ на технологической линии.

При комплексной автоматизации всех технологических процессов порта используют автоматизированные системы управления (АСУ). Интеграция АСУ в работу контейнерного терминала позволяет выполнять дистанционное комплексное управление причальными кранами и кранами-штабелерами, погрузчиками и другим техническим оборудованием, например, открывание ворот без вмешательства человека, если вывоз контейнера с территории порта разрешен.

Интересен опыт использования в различных проектах комплексной автоматизации портовых терминалов программного обеспечения «AXELOT TOS», разработчиком которого является компания AXELOT. [24]. Особенностью данного программного продукта является его модульная архитектура, которая позволяет по желанию пользователя составить индивидуальный набор элементов из списка предложенных в библиотеке подпрограмм, а также предусматривает возможность пополнения данного набора программными модулями, разрабатываемыми в рамках сотрудничества с компаниями стейкхолдерами. Для проекта автоматизации контейнерных перевозок на участке транспортировки контейнерных грузов компания AXELOT разработала модуль управления перевозками и транспортным парком, получивший название AXELOT TMS X4. Данный модуль прошел апробацию в компаниях ООО «ФескоТранс» и ГК «Доброфлот» и успешно используется в производственной деятельности этих компаний. Еще один успешно реализованный проект компании совместно с логистическим центром завода HAVAL, расположенном в Тульской области, это внедрение «цифрового дуэта» систем,

AXELOT WMS X5 для автоматизации склада и AXELOT TOS для управления контейнерным терминалом. Если рассматривать возможности АСУ от различных производителей, то можно сделать вывод, что объектами автоматизации являются самые трудоемкие операционные и информационные процессы терминала. Программное обеспечение отвечает за целостную работу системы, обеспечивает бесконтактную идентификацию товарных групп и партий; отслеживает перемещение транспортных средств и грузов в режиме онлайн; координирует своевременную доставку грузов получателю; контролирует соблюдение режима и безопасность процесса транспортировки; координирует процесс сортировки и комплектования сборных грузов.

Обсуждение

Предложенная в результате исследования информации из первичных источников и из вторичных открытых научных данных классификация фиксирует закономерные связи между способом автоматизации процесса управления грузоподъемными механизмами контейнерного терминала и тремя уровнями управления перегрузочным процессом. Она по своей сути является сеткой классификационных ячеек – таксонов различного ранга по степени родства, в которой находит свое место любой из существующих способов автоматизации контейнерных терминалов. Её основное предназначение – ориентировка в многообразии существующих подходов и методов полной или частичной замены обслуживаемых персоналом операций на терминале автоматизированным оборудованием и процессами.

Заключение

Выполненный в ходе научного поиска обзор принадлежности способов автоматизации к определенному уровню управления перегрузочного процесса позволяет сделать следующие выводы.

1. На первом уровне управления основным способом автоматизации является оснащение перегрузочной техники дополнительным оборудованием, работающим на основе различных физических принципов таких как лазерное и ультразвуковое сканирование, визуальное распознавание и т.д., с целью обеспечения безопасности и точности выполняемых человеком операции. Основной объект автоматизации – крановые перегружатели и выполняемые ими технологические операции. Что касается мобильной перегрузочной техники, работающей в зоне хранения и тыловых зонах, то основные направления автоматизации для этой техники – безопасность движения по маршруту с использованием систем визуального и акустического местоположения, а также организация процесса поиска целевого контейнера с использованием штрих кодов и электронных меток. При этом способы автоматизации наиболее трудоемких операции таких как реформирование штабеля временного хранения и формирование сборных партий грузов для контейнерной отправки в ходе научного поиска не выявлены. При полной автоматизация технологического процесса управления грузоподъемной машиной используется различное программное обеспечение, разрабатываемое фирмами производителями перегрузочной техники с целью реализации дополнительных интеллектуальных функций выпускаемого ими оборудования.

2. Для второго уровня управления выявлены два способа автоматизации. Первый способ – создание человеко-машинной автоматической системы управления как объединяющего элемента для слаженной работы перегрузочного оборудования в технологическом процессе. В данном случае взаимодействие осуществляется и контролируется оператором с помощью интеллектуальных систем управления, разработанных для отдельных единиц техники. Во втором

способе используются различные роботизированные механизмы с программным управлением, разработчиком которого являются фирмы производители роботов перегружателей. Если же применение роботизированной системы грузопереработки экономически не выгодно терминалу, то внедряют более дешевые компьютеризированные аналоги организации работы группы единиц техники. Отличительной особенностью таких систем является то, что взаимодействует между собой механизированная перегрузочная техника, а принципы этого взаимодействия предварительно отрабатываются на имитационных или сетевых моделях.

3. При комплексной автоматизации всех технологических процессов порта разрабатываются и используют различные автоматизированные системы управления (АСУ). Интеграция АСУ в работу контейнерного терминала позволяет выполнять комплексное управление без вмешательства человека не только всей перегрузочной техникой порта, но и другим оборудованием не относящимся на прямую к технологическому процессу.

Список литературы

1. Методические аспекты оценки эффективности механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ в морских портах / Г. В. Деружинский, В. Е. Деружинский, А. В. Игнатенко, К. А. Аблязов // Эксплуатация морского транспорта. – 2022. – № 3(104). – С. 3-16. – DOI 10.34046/aumsuomt104/1. – EDN SHYZCP.
2. Тимошек, Е. С. Аналитический обзор моделей и методов в управлении работой флота / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – № 4 (101). – С. 38-51. – DOI 10.34046/aumsuomt101/7. – EDN GJAWXI.
3. Морохова, Н. А. Автоматизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ / Н. А. Морохова, В. М. Перепелкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 133. – EDN SYZLMT.
4. Официальный сайт компании Linde Material Handling [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.linde-mh.com/en/> (дата обращения: 15.06.2023 г.).
5. Официальный сайт компании Kalmar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kalmarglobal.ru/> (дата обращения: 23.06.2023 г.).
6. Официальный сайт компании Siemens [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.siemens.com/global/en.html> (дата обращения: 22.06.2023 г.).
7. Официальный сайт компании DSD Steel Group GmbH [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.dsd-hilgers.de/de/> (дата обращения: 23.06.2023 г.).
8. Маликова, Т. Е. Разработка системы слежения за импортными грузопотоками, оформляемыми по технологии предварительного информирования в морском пункте пропуска / Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 4-2(34). – С. 32-36. – EDN VZZVZG.
9. Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании / А. И. Азовцев, Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова, А. А. Янченко // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3-1(33). – С. 327-332. – EDN YLOGQN.
10. Маликова, Т. Е. Применение технологии предварительного информирования таможенных органов при морских внеплановых грузоперевозках / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 3 (37). – С. 33-45. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45. – EDN WBKBYL.
11. Официальный сайт компании Koncranes [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.koncranes.com/discover/smart-features> (дата обращения: 22.06.2023 г.).
12. Янченко, А. А. Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, А. В. Кузьмин // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток : сборник научных трудов X Региональной научной конференции, посвященной 25-летию

- ФТС России, Владивосток, 05–06 октября 2016 года. – Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. – С. 257-262. – EDN YGMSNB.
13. Королева, Е. А. Интегрированный технологический процесс перевалки контейнерного грузопотока в морском порту / Е. А. Королева, М. Н. Коробкова, С. Л. Котляров // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 286-288. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_286. – EDN NWRUMY.
 14. Wróbel K. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety / K. Wróbel, J. Montewka, P. Kujala // Reliability Engineering & System Safety. — 2017. — Vol. 165. — Pp. 155–169. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.029.
 15. Выявление аварийных ситуаций при использовании портового перегрузочного оборудования с помощью заданного алгоритма / Я. Я. Эглит, А. А. Ковтун, А. А. Дмитриев, Е. Р. Денисова // Транспортное дело России. – 2018. – № 3. – С. 125-127. – EDN XRCUIP.
 16. Хлебородов, В. С. Анализ эффективности существующих систем организации контейнерных терминалов при использовании различного транспортно-грузового оборудования / В. С. Хлебородов, С. Н. Корнилов // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 238-251. – EDN PBGDFJ.
 17. Свистунова, А. С. Возможности автоматических транспортеров-погрузчиков и их использование при создании имитационной модели развития контейнерного терминала / А. С. Свистунова, Д. С. Хасанов // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-1 (50). – С. 169-174. – DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.023. – EDN RRNBYR.
 18. Malikova, T. E. Simulation model for controlling loader actions at formation and unloading of the operational stack of a container terminal / T. E. Malikova, E. E. Soloveva // 7th International scientific-practical conference «Simulation and complex modelling in marine engineering and marine transporting systems» (SCM MEMTS-2023): Труды конференции, Санкт-Петербург; Кронштадт, 22 июня 2023 года. – Санкт-Петербург, : НП-Принт, 2023. – P. 25-30. – EDN ESECJS.
 19. Маликова, Т. Е. Автоматизация рабочего цикла погрузчика на механизированном контейнерном терминале / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, А. Ж. Радочинская // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Четвертая Международная научная конференция, Санкт-Петербург, 04–21 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 220-224. – DOI 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224. – EDN RZEOGS.
 20. Янченко, А. А. Методика анализа технологического процесса обработки груза на контейнерном терминале / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 2 (95). – С. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3. – EDN OTCLEF.
 21. Янченко, А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 57-67. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67. – EDN ZDUVZR.
 22. Соловьева, Е. Е. Выбор оптимальной последовательности сигналов блока управления при обработке штабеля контейнеров на морском терминале / Е. Е. Соловьева, Т. Е. Маликова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 426-436. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436. – EDN JTWBZS.
 23. Зуб, И. В. Моделирование функционирования транспортного терминала вложенными сетями Петри / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 2(36). – С. 41-48. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48. – EDN VTNPYR.
 24. Официальный сайт компании Axelot [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.axelot.ru> (дата обращения: 23.07.2023 г.).

References

1. Deruzhinskii G. V., Deruzhinskii V. E., Ignatenko A. V., Abliazov K. A. Metodicheskie aspekty otsenki effektivnosti mekhanizatsii i avtomatizatsii pogruzochno-razgruzochnykh rabot v morskikh portakh [Methodological aspects of evaluating effectiveness of

- mechanization and automation of loading and unloading operations in seaports].
Ekspluatatsiia morskogo transporta, 2022, no. 3, pp. 3-17.
2. Timoshek, E. S., and Malikova, T. E. (2021). Analytical review of models and methods in fleet management. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 5 (101), 38-51.
 3. Morohova, N. A. Avtomatizacija pogruzochno-razgruzochnyh, transportnyh i skladskih rabot / N. A. Morohova, V. M. Perepelkin // *Sovremennye problem nauki io brazovanija*. – 2014. – № 3. – S. 133.
 4. Oficial'nyj sajt kompanii Linde Material Handling <https://www.linde-mh.com/en/> (accessed: 15.06.2023).
 5. Oficial'nyj sajt kompanii Siemens <https://www.siemens.com/global/en.html> (accessed: 22.06.2023).
 6. Oficial'nyj sajt kompanii DSD Steel Group GmbH <https://www.dsd-hilgers.de/de/>(accessed: 23.06.2023).
 7. Malikova, T. E. and A. I. Filippova. “Development of tracking flow of import goods, cleared through advance notification technology at a sea border entry point.” *Marine Intellectual Technologies T2.4(34)* (2016): 32-36.
 8. Azovtsev, A. I., Malikova T. E., Filippova A. I., and Yanchenko A. A. “The development of infological customs preliminary informing data base model for shipping company.” *Marine Intellectual Technologies 3.1(33)* (2016): 327-332.
 9. Malikova T. E., and A. A. Yanchenko. “The implementation of preliminary informing technology of customs authorities in sea spot cargo transportation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova 3(37)* (2016): 33-45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
 10. Oficial'nyj sajt kompanii Konecranes <https://www.konecranes.com/discover/smart-features> (accessed: 22.06.2023).
 11. Janchenko, A. A. Algoritm oformlenija sudna v portu po tehnologii predvaritel'nogo informirovanija tamozhennyh organov v uslovijah svobodnogo porta Vladivostok / A. A. Janchenko, T. E. Malikova, A. V. Kuz'min // *Territorii operezhajushhego social'no-jekonomicheskogo razvitija v Rossijskoj Federacii svobodnyj port Vladivostok : sbornik nauchnyh trudov X Regional'noj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 25-letiju FTS Rossii, Vladivostok, 05–06 oktjabrja 2016 goda*. – Vladivostok: Vladivostokskij filial Rossijskoj tamozhennoj akademii, 2016. – S. 257-262.
 12. Koroleva, E. A., Korobkova M. N. and Kotljarov S. L. Integrirovannyj tehnologicheskij process perevalki kontejnernogo gruzopotoka v morskome portu. *Transportnoe delo Rossii*. – 2023. – № 1. – S. 286-288. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_286.
 13. Wróbel K. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety / K. Wróbel, J. Montewka, P. Kujala // *Reliability Engineering & System Safety*. — 2017. — Vol. 165. — Pp. 155–169. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.029.
 14. Jeglit Ja. Ja., Kovtun A. A., Dmitriev A. A., and Denisova E. R. Vyjavlenie avarijnyh situacij pri ispol'zovanii portovogo peregruzochnogo oborudovanija s pomoshh'ju zadannogo algoritma // *Transportnoe delo Rossii*. – 2018. – № 3. – S. 125-127.
 15. Oficial'nyj sajt kompanii Kalmar <https://www.kalmarglobal.ru/> (accessed: 23.06.2023).
 16. Hleborodov, V. S. and S. N. Kornilov / Analiz jeffektivnosti sushhestvujushhih system organizacii kontejnernih terminalov pri ispol'zovanii razlichnogo transportno-gruzovogo oborudovanija // *Sovremennye problem transportnogo kompleksa Rossii*. – 2012. – T. 2, № 1. – S. 238-251.
 17. Svistunova, A. S. and D. S. Hasanov / *Vozmozhnosti avtomaticheskikh transporterov-pogruzchikov i ih ispol'zovanie pri sozdanii imitacionnoj modeli razvitija kontejnernogo terminala / Morskie intellektual'nye tehnologii*. – 2020. – № 4-1(50). – S. 169-174. – DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.023.
 18. Malikova, T. E. and E. E. Soloveva / Simulation model for controlling loader actions at formation and unloading of the operational stack of a container terminal / 7th International scientific-practical conference «Simulation and complex modelling in marine engineering and marine transporting systems» (SCM MEMTS-2023): *Trudy konferencii, Sankt-Peterburg; Kronshtadt, 22 ijunja 2023 goda*. – Sankt-Peterburg.: NP-Print, 2023. – P. 25-30.
 19. Malikova, T. E., Solov'eva E. E. and A. Zh. Radochinskaja/ Avtomatizacija rabocheho cikla pogruzchika na mehanizirovannom kontejnernom terminala/Ajerokosmicheskoe priborostroenie i jekspluatacionnye tehnologii: Chetvertaja Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija, Sankt-Peterburg, 04–21 aprelja 2023 goda. *Tom Chast' 1*. – Sankt-Peterburg:

- Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet ajerokosmicheskogo priborostroenija, 2023. – S. 220-224. – DOI 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224.
20. Janchenko, A. A. and T. E. Malikova /Metodika analiza tehnologicheskogo processa obrabotki gruzha na kontejnornom terminale // Jekspluatacija morskogo transporta. – 2020. – № 2(95). – S. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3.
21. Janchenko, A. A. Malikova T. E. and D. A. Os'kin / Jeksperimental'nye issledovanija vlijanija zonirovanija kontejnornogo terminalana j effektivnost' ego raboty v uslovijah svobodnogo porta Vladivostok // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2019. – T. 11, № 1. – S. 57-67. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
22. Solov'eva, E. E. Vybor optimal'noj posledovatel'nosti signalov bloka upravlenija pri obrabotke shtabelja kontejnerov na morskome terminale / E. E. Solov'eva, T. E. Malikova // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2023. – T. 15, № 3. – S. 426-436. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-426-436.
23. Zub, Igor Vasilevich, and Yyri Evgenevich Ezhov. “Modeling of functioning of the transport terminal nested petri nets.” Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 2(36) (2016): 41–48. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48.
24. Oficial'nyj sajt kompanii Axelot <https://www.axelot.ru/> (accessed: 23.07.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Петрова Екатерина Евгеньевна, соискатель, старший преподаватель кафедры Судовождение, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52-Б, e-mail: pillers@mail.ru

Ekaterina E. Petrova, applicant, Senior Lecturer of Navigation Department, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B, Lugovaya street, Vladivostok, 690087, Russian Federation, e-mail: pillers@mail.ru.

Ганнесен Виталий Витальевич, доцент кафедры судовождение, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52-Б, e-mail: v_gannesen@mail.ru.

Vitaliy V. Gannesen, associate professor of Department Navigation Department, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B, Lugovaya street, Vladivostok, 690087, Russian Federation, e-mail: v_gannesen@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.09.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 19.09.2023; published online 20.03.2024