

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-604-619

INVESTIGATION OF SOME ISSUES OF AUTOMATION OF ELEMENTS OF TERMINAL COMPLEXES FOR TRANSSHIPMENT OF LARGE-CAPACITY CONTAINERS

I. V. Zub, Yu. E. Ezhov, V. L. Shchemelev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The topic of the work is the study of the reasons for increasing the efficiency of the use of marine container transportation in the entire supply chain. It is noted that the increase in their efficiency is explained by the possibility of transporting various types of cargo, the speed of handling vehicles, as well as the compactness of storage and safety of cargo. The problem of increasing ship capacity on the terms of shipping companies, which currently exists and is being solved by container terminal operators, has been formulated, which allows minimizing the time of ships parking in the port for processing, which in turn can be achieved by increasing the capacity of ships. Attention is drawn to the fact that reducing costs by increasing the efficiency of lifting and transport equipment stimulates investments in automation systems for almost all terminal operations, and in particular in lifting and transport equipment systems. It is emphasized that the automation process of container terminals differs depending on the task at hand (a new project is being considered or work is being carried out to automate an existing terminal). The implementation of automation at existing terminals is a more difficult task due to the problems of compatibility with the types of activities performed and resistance to ongoing changes, which primarily involve systematic and repetitive technological processes that can be programmed. Attention is drawn to the fact that container terminals use the latest operating systems to control and optimize the movement of containers inside the warehouse area (in particular, they are used at terminals where gantry cranes on a pneumatic (RTG) and on a rail (RMG) are used), and it is also emphasized that when working with RTG technology gantry cranes on a pneumatic vehicle are equipped with sensors connected to satellite positioning systems, which are located on the terminal area and on wheeled carts and are brought to the place of cargo operation by signals from the control room, at the same time, the dock operator controls only when lowering or lifting the container. Such information systems are also used on terminals operating using RMG technology. It is noted that automation of berthing container cranes is currently under development, since the complexity of its implementation lies in the fact that during pitching the vessel has a roll and a deflector, therefore, when moving it, it is difficult to determine the exact location of the container and the alignment of the spreader horizon with the container horizon, as a result, the guidance process? It requires additional time, which leads to a decrease in work productivity.

Keywords: automation of container cranes, lifting and transport equipment, technological processes, automatic control systems, container location, additional time costs.

For citation:

Zub, Igor V., Yurii E. Ezhov, and Viktor L. Shchemelev. "Investigation of some issues of automation of elements of terminal complexes for transshipment of large-capacity containers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.4 (2024): 604–619. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-604-619.

УДК 656.013: 656.073.07:656.615

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРМИНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ПЕРЕГРУЗКЕ КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, В. Л. Щемелев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой работы является исследование причин повышения эффективности использования морских контейнерных перевозок во всей цепочке поставок. Отмечается, что рост их эффективности объясняется возможностью перевозки различных видов груза, скоростью обработки транспортных средств, а также компактностью хранения и сохранности груза. Сформулирована существующая в настоящее время решаемая операторами контейнерных терминалов проблема увеличения судозаходов на условиях судоходных компаний, позволяющая минимизировать время стоянки судов в порту под обработкой, что в свою очередь может быть достигнуто за счет увеличения пропускной способности судов. Обращается внимание на то, что снижение затрат за счет повышения эффективности работы подъемно-транспортного оборудования стимулирует инвестиции в системы автоматизации практически всех процессов терминальной деятельности, и в частности в системы подъемно-транспортного оборудования. Подчеркивается, что процесс автоматизации контейнерных терминалов различается в зависимости от поставленной задачи: рассматривается новый проект или выполняются работы по автоматизации уже действующего терминала. Внедрение автоматизации на действующих терминалах является более сложной задачей из-за проблем совместимости с выполняемыми видами деятельности и устойчивости к происходящим изменениям, которые в первую очередь затрагивают систематические и повторяющиеся технологические процессы, которые могут быть запрограммированы. Обращается внимание на то, что на контейнерных терминалах применяются новейшие операционные системы для контроля и оптимизации перемещения контейнеров внутри складской зоны (в частности, их используют на терминалах, где применяются козловые краны на пневмоходу (RTG) и на рельсовом ходу (RMG)), а также подчеркивается, что при работе по RTG-технологии козловые краны на пневмоходу оснащаются датчиками, связанными со спутниковыми системами позиционирования, которые размещены по площади терминала и на колесных телегах и подводятся к месту грузовой операции по сигналам с диспетчерского пункта, при этом докер-механизатор осуществляет управление только при опускании или подъеме контейнера. Такие информационные системы также используются на терминалах, работающих по RMG-технологии. Отмечается, что автоматизация причальных контейнерных кранов находится в настоящее время в стадии разработки, так как сложность ее реализации заключается в том, что во время качки судно имеет крен и деферент, поэтому при его перемещении затруднено определение точного местоположения контейнера и совмещение горизонта спредера с горизонтом контейнера, в итоге процесс наведения требует дополнительных затрат времени, что приводит к снижению производительности работ.

Keywords: контейнерный терминал, автоматизация контейнерных кранов, подъемно-транспортное оборудование, технологические процессы, автоматические системы управления, местоположение контейнера, дополнительные затраты времени

Для цитирования:

Зуб И. В. Исследование некоторых вопросов автоматизации элементов терминальных комплексов по перегрузки крупнотоннажных контейнеров / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, В. Л. Щемелев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 4. — С. 604–619. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-604-619.

Введение (Introduction)

Морские контейнерные перевозки произвели революцию в области доставки грузов, способствуя изменению и повышению эффективности всей цепочки поставок. Будучи участниками внешнеэкономической деятельности страны морские порты в большинстве случаев не являются единым юридическим лицом, объединяя в своих административных границах несколько стивидорных компаний, конкурирующих как между собой, так и на внешнем рынке. Увеличение объема контейнерных перевозок способствовало развитию терминально-складской инфраструктуры и увеличению заходов в порт судов под обработку. Судовладельцы контейнеровозов создали специализированные терминалы для поддержки своего основного бизнеса в области морских перевозок, что позволило им контролировать затраты, операционную эффективность, рентабельность и возможность определения приоритета заходов судов в порты. Терминальные операторы стремятся повысить пропускную способность контейнерных терминалов (КТ) за счет реконструкции тыловых складов, модернизации и переоснащения подъемно-транспортного оборудования (ПТО). Конкуренция в условиях рыночной экономики побуждает их повышать качество предоставляемых ими услуг, к которым относятся скорость обработки транспортных средств (ТС) и сохранность груза. Сокращение времени обработки ТС можно достичь при помощи совершенствования технологических операций погрузочно-разгрузочных работ (ПРР), автоматизации и обеспечения

бесперебойной работы ПТО. Одним из приоритетных направлений является *совершенствование технологии ПРР КТ посредством автоматизации*. Эффективность технологии ПРР зависит от рациональной организации и эффективного управления эксплуатацией ПТО. Автоматизация должна обеспечить снижение затрат на эксплуатацию без риска снижения надежности ПТО и автоматизации технологических процессов ПРР. ПТО в настоящее время является одним из основных факторов, определяющих эффективность технологии ПРР.

Усиление конкуренции между КТ повышает требования, предъявляемые к транспортным компаниям, которые заключаются в том, чтобы минимизировать время проведения ПРР ($T_{\text{ПРР}} \rightarrow \min$). Это является особенно важным фактором для судоходных компаний, так как сокращение времени стоянки судна в порту позволяет снизить портовые сборы, строго соблюдать график заходов при работе судов на линии. Еще одним не менее важным фактором является автоматизация технологических процессов и ПТО. Автоматизация КТ вызвана постоянно растущим объемом контейнерных перевозок. Количество автоматизированных или полуавтоматизированных КТ по-прежнему остается относительно небольшим по сравнению с масштабами крупных контейнерных судоходных компаний. За последние 10 лет разработаны автоматизированные системы технологии управления ПРР, планировки и размещения контейнеров, управления ПТО и технологическим транспортом [1]. К автоматизированным контейнерным терминалам (АКТ) в работе [2] относят КТ, оснащенные автоматизированным ПТО, которые имеют обмен данными между подсистемами КТ. На таких АКТ используется автоматизированное ПТО (автоматизированные транспортные средства с управлением, различные автоматизированные краны-штабелеры или автоматизированные автопогрузчики), которые [3] выполняют следующие функции:

- перевозят контейнеры с причала на тыловой склад;
- перемещают контейнеры внутри тылового склада;
- перегружают контейнеры на / с ТС.

Автоматизация способствует повышению эффективности работы КТ, снижению себестоимости ПРР и времени обработки ТС [4]. Внедрение автоматизации на КТ требует больших капитальных вложений, но при этом существуют факторы, наличие которых оправдывает произведенные финансовые затраты: во-первых, это сокращение штатного расписания сотрудников КТ ($\text{ШРС} \rightarrow \min$), способствующее снижению фонда заработной платы ФЗП ($\text{ФЗП} \rightarrow \min$); во-вторых, снижение стоимости владения ПТО ($\text{СВ}_{\text{ПТО}} \rightarrow \min$) [5] и увеличение производительности. Распространение автоматизации на КТ обусловлено стандартизацией и периодичностью выполнения технологических операций ПРР. Технологический процесс КТ представляет собой последовательный характер поступления и убытия контейнеров на / с терминала. Так как последовательность событий принято называть *поток*ом, следовательно, в данном случае имеется в виду входной поток контейнеров. Он может быть *регулярным*, когда контейнеры поступают через равные промежутки времени, и *случайным*, когда интервалы являются случайной величиной. Несмотря на различные типы контейнеров они требуют реализации одинаковых технологических операций и в этом смысле поток является однородным. АКТ полностью раскрывает свой потенциал, когда вся цепочка прибытия / убытия контейнеров имеет определенный уровень надежности и эффективности, что делает инвестиции в автоматизацию оправданными [6].

Цель работы — на основе анализа научной литературы, в которой рассмотрены вопросы автоматизации контейнерных терминалов, выявить элементы технологических процессов погрузочно-разгрузочных работ, подлежащих оптимизации.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Внедрение автоматизированных технологических процессов связано не только с детальным проектированием терминала и технологическими процессами ПРР, но и с решением проблем безопасности сотрудников в зоне работы автоматизированного ПТО. Отсутствие сотрудников в зоне работы автоматизированного ПТО избавляет их от негативных воздействий, создаваемых работающим оборудованием (шум, вибрация, выхлопные газы и др.). Автоматизация КТ носит ком-

плексный характер, поэтому внедрение автоматизации в одном из направлений деятельности КТ не даст должного эффекта и зависит от того, рассматривается новый проект или автоматизируется действующий терминал. Внедрение автоматизации на действующих терминалах является более сложной задачей из-за проблем совместимости с выполняемыми видами деятельности и устойчивости к изменениям [5], [6]. Алгоритм автоматизации КТ приведен на рис. 1.

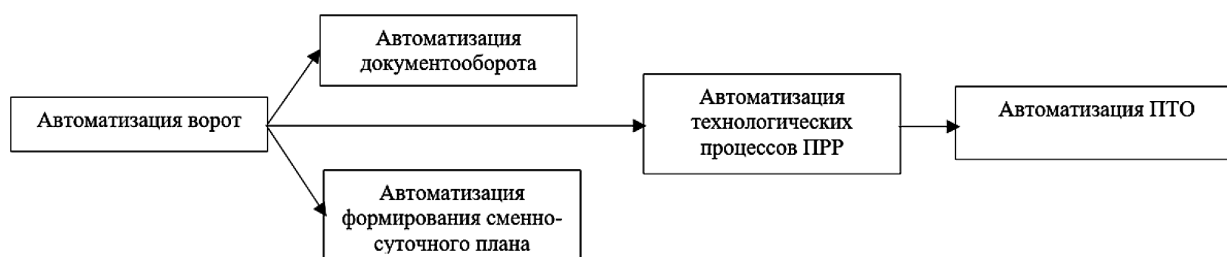


Рис. 1. Алгоритм автоматизации контейнерного терминала

Автоматизация КТ в зависимости от степени ее реализации ПТО и технологии ПРР условно разделена на четыре поколения. АКТ четвертого поколения начали эксплуатировать в 2015 г., они оснащены передовыми технологиями автоматизации и полностью автоматизированы за счет расширения концепции, применяемой к АКТ второго поколения. АКТ третьего поколения используют полуавтоматическую терминальную систему, концепция которой также основана на АКТ второго поколения, которые используют управляемые ТС для горизонтальной транспортировки контейнеров. С развитием АКТ ключевым моментом является сокращение времени ПРР, а также повышение эффективности работы и уровня технического обслуживания ПТО. С учетом фактического режима ПРР на АКТ для оптимизации планирования сменно-суточного плана (ССП) используются различные технологические решения для минимизации времени обработки ТС, интегрирующие работу кранов STS, автоматизированных транспортных тележек (AGV) и кранов, установленных на железнодорожном грузовом фронте (RMG). Движение первых AGV было ограничено стационарными дорожками на терминале. Впоследствии управление AGV выполнялось с помощью технологии GPS [7]–[10]. Результаты, приведенные в работе [6], показывают, что алгоритм с подходами к адаптивной автонастройке с помощью нечеткого управления позволяет эффективно решать проблему интегрированного планирования АКТ для повышения эффективности ПРР.

Рост контейнерных грузопотоков стимулирует распространение процесса автоматизации не только КТ, но и интермодальных транспортных систем с их дальнейшей синхронизацией с логистическими цепочками поставок. Автоматизация КТ снижает эксплуатационные расходы, требуя при этом значительных первоначальных капиталовложений в новые технологии и предполагая использование адаптированных к конкретным условиям мощностей терминалов, что позволяет сохранить конкурентоспособность в долгосрочной перспективе. В то же время эксплуатация АКТ сопряжена с большими рисками по сравнению с традиционными КТ, процесс совершенствования которых происходил на протяжении многих десятилетий. Традиционные КТ обладают определенной гибкостью и способны при необходимости менять конфигурацию расстановки контейнеров в отличие от АКТ, которые таким свойством не обладают, так как после автоматизации конфигурацию КТ трудно изменить. Принятая на АКТ технология ПРР и взаимодействие с другими подразделениями лишает терминал дифференциации, которая имеет большое значение в условиях неопределенности рынка и может выражаться в предоставлении различных терминальных услуг, в возможности принятия судов различных размеров, в сроках хранения контейнеров и др. [11]. В данном случае важны геометрические размеры терминала и его грузооборот.

Проведенные в работах [9], [10] исследования показывают, что грузооборот большинства АКТ составляет 2–3 млн TEUs. По мнению специалистов: Ana María Martín-Soberón [2], Geraldine Knatz [9], [10], Kon W.K [12], Rodrigue J-P [13], для эффективной работы системы автоматизации

не требуется больших объемов грузооборота, необходим как минимум 1 млн TEUs годового грузооборота. В работах [8] и [9] приведены данные о том, что 12 действующих АКТ обрабатывают менее 1 млн TEUs и этого достаточно для того, чтобы окупилась вложенная средства, 11 % автоматизированных терминалов и 22 % полуавтоматических терминалов обслуживают от 250 000 до 1 млн TEUs.

Средний размер автоматизированных терминалов составляет 986 000 м², в то время как средний размер полуавтоматизированных терминалов — 841 000 м². Размеры терминалов различаются как для автоматизированных, так и для полуавтоматизированных терминалов, при этом площадь 24 автоматизированных терминалов составляет менее 50 000 м². Средняя длина причала в 59 из 62 терминалов составляет 1504 м, при этом существенной разницы между автоматизированными и полуавтоматизированными терминалами нет. Все терминалы имеют осадку более 14 м, при этом максимальная осадка автоматизированных КТ составляет 16 м, полуавтоматических КТ — 9 м. Длина причалов на АКТ в большинстве случаев составляет 1000–2000 м.

В работах [9], [10] отмечается, что полуавтоматические операции охватывают только часть КТ, остальная площадь КТ обслуживается обычным ПТО. В то же время не определен конкретный набор необходимых характеристик для создания автоматизированного терминала. При этом ни геометрические размеры, ни объем не определяют, может ли быть автоматизирован терминал. Физические характеристики АКТ могут варьировать в широких пределах, поскольку терминальные операторы перешли к автоматизации в различных условиях. Тем не менее можно определить оптимальные условия для автоматизации, основанные на наиболее общих характеристиках для наибольшего числа терминалов [9], [10]. Таким образом, автоматизация возможна на всех КТ независимо от грузооборота, при этом эффективно автоматизируется строящийся КТ, в проекте которого заложены современные требования [14]. Перевод функционирующего КТ на автоматизированный является довольно трудоемким процессом, поскольку терминальному оператору придется временно отказаться от части пропускной способности терминала ввиду необходимости запуска двух систем (автоматизированной и неавтоматизированной) одновременно в переходный период [13].

АКТ позволяют терминальным операторам оптимизировать свою работу, при этом эффективно используя площадь терминала. В первую очередь необходима автоматизация ворот и технологических процессов терминала. Возможность оптимизации технологических операций в автоматизированной конфигурации терминала показывает, что при заданной проектной мощности АКТ могут быть меньше, чем обычные КТ. АКТ, как правило, занимают площадь на 30 % больше, чем полуавтоматические. Однако большинство АКТ имеют пропускную способность на 25–30 % больше, чем полуавтоматические и простые КТ. Операторам терминалов не следует просто переходить к автоматизации технологических процессов без тщательного учета динамики рынка грузоперевозок. Повышению производительности и возможностей технологического процесса может способствовать постоянство грузопотока, а не автоматизация некоторых или всех сегментов технологического процесса [11], [15].

Используемые методы исследования, в частности анализ научной литературы, в которой проанализированы вопросы автоматизации морских портов и системный анализ, позволил определить основные тенденции развития автоматизации технологических процессов и подъемно-транспортного оборудования на контейнерных терминалах.

Результаты (Results)

Автоматизация терминала начинается с входного контроля контейнера на въездных воротах (см. рис. 1). Объем автоматизации входного контроля состоит из сканирования и регистрации кода контейнера с помощью системы OCR (Optical Character Recognition) номера и префикса контейнера [9], [10], [16], [17]. Информация с входных ворот о поступающих и убывающих с КТ контейнерах, а также контейнерах, приходящих и убывающих автомобильным и железнодорожным видами транспорта, передается в диспетчерский пункт (рис. 2).

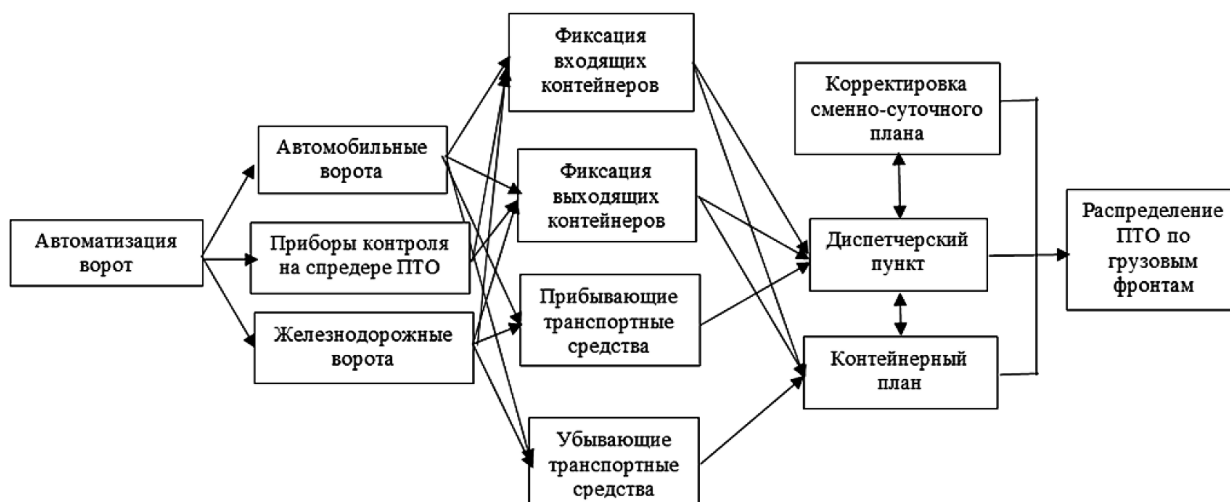


Рис. 2. Влияние автоматизации въездных ворот на работу компьютерного терминала

На морском грузовом фронте данные считываются системами контроля, установленными на спредере ПТО и также передаются в диспетчерский пункт. На основании этой информации формируется ССП судовая партия контейнеров, производится распределение ПТО на приемку или отгрузку контейнеров. При обработке ТС, в зависимости от ССП, ТС могут обслуживаться в порядке очереди по принципу *fifo* (первый пришел, первый ушел) или в зависимости от места положения контейнера. Если контейнер находится в верхнем ярусе, а ТС стоит в очереди, то для того чтобы не производить лишние штивки, данное ТС будет обслуживаться вне очереди. Прибывающие на КТ контейнеры фиксируются и автоматически вносятся в контейнерный план. В зависимости от оперативной ситуации, которая отражается в контейнерном плане, происходит корректировка ССП, и информация автоматически передается на диспетчерский пункт. Во время обработки ТС заполняются транспортные документы, что позволяет сократить время простоя ТС на терминале. При автоматизированной системе информация о прибытии под обработку ТС (автомобильных и железнодорожных) через диспетчерский пункт передается на ПТО. Благодаря постоянно обновляемому контейнерному плану в режиме реального времени возрастает эффективность ПТР, что позволяет в минимальные сроки определить местонахождение контейнера. При разгрузке ТС оператор, управляющий ПТО, ставит контейнер на место хранения, которое отражено в контейнерном плане. При отгрузке убывающий контейнер отмечается в контейнерном плане. Автоматизация технологии обработки контейнеров и расположение порта оказывают влияние на общую эффективность и производительность КТ.

Автоматизация въездных ворот не учитывается при проведении различия между АКТ и полуавтоматизированными КТ. При прохождении въездных ворот используется система оптического распознавания символов (ОСР) [8], глобальная система позиционирования (GPS) и радиочастотная идентификация (RFID) для распознавания ТС и контейнеров, определения местоположения контейнера APDS (Automatic Position Determination System). ОСР преобразует отсканированные изображения в текст, идентифицирующий номер и префикс контейнера и номерной знак ТС на выезде из КТ. ОСР устанавливается на ПТО для обработки контейнеров на тыловом складе для автоматической проверки места установки контейнера на месте хранения в соответствии с контейнерным планом терминала [7], [16]. Выбор системы APDS определяется такими факторами, как географическое расположение терминала, соотношение между размерами терминала и количеством контейнеров на нем, а также тип используемого ПТО. Эксплуатируемое на КТ ПТО определяет технологические решения, при строительстве нового терминала ПТО подбирают под определенную технологию. Оптимизация технологического процесса терминала оказывает влияние на емкость терминала и на коэффициент технического использования объекта ($K_{ТИ}$).

Автоматизация технологического процесса КТ начинается с ПТО, на которое устанавливается оборудование по мониторингу обрабатываемых контейнеров и изменениям контейнерного плана в режиме реального времени. Далее ПТО связывают единым алгоритмом функционирования, что позволяет автоматизировать как отдельные технологические операции, так и весь технологический процесс ППР. Затем все подсистемы объединяют в единую автоматизированную систему управления (АСУ) КТ, что позволяет оптимизировать технологические процессы внутри терминала и вести обмен данными в режиме реального времени со всеми заинтересованными сторонами. Последние позволяют своевременно вносить коррекцию в ССП. АСУ дает возможность согласовать действия всех участников технологического процесса.

ПТО, включенное в технологический процесс, выполняет заданную ему функцию по обработке ТС и при необходимости перестановку контейнеров на определенном участке работы [6]. Актуальными задачами терминального оператора являются рациональное использование площади КТ, снижение количества экономически неоправданных перемещений контейнеров, увеличение коэффициента технического использования ($K_{\text{ти}} \rightarrow \max$) ПТО. Планирование работ в складской зоне терминала влияет на выбор технологических и технических решений. ППР планируются таким образом, чтобы оптимизировать работу ПТО и синхронизировать обработку ТС (судов, автомобильного и железнодорожного транспорта). Наиболее сложным в плане обработки является морской транспорт. Технология обработки морских судов должна быть организована таким образом, чтобы не возникало проблем при последующей разгрузке контейнеров при нескольких портах захода.

Автоматизация ПТО способствует безопасной и быстрой обработке ТС, требуя при этом значительных капиталовложений, что в конечном счете приводит к принятию оптимальных технологических решений. Автоматизированное оборудование работает без простоев на обеды и перерывы для отдыха операторов. Бортовые интеллектуальные системы отражают информацию о текущем техническом состоянии ПТО, предупреждая о предотказном состоянии, что позволяет проводить ремонт ПТО по техническому состоянию [16]. Вывод ПТО из эксплуатации (на техническое обслуживание или ремонт) оказывает негативное влияние на контейнерные перевозки. Отказы в большинстве случаев происходят во время обработки ТС, увеличивая их время простоя. Мониторинг технического состояния ПТО в режиме реального времени дает возможность проводить техническое обслуживание и ремонт в период отсутствия или снижения потока ТС под обработку, что оказывает влияние на коэффициент технического использования объекта $K_{\text{ти}}$.

Автоматизированными ПТО оборудуются тыловые склады КТ, обслуживающие ТС на автомобильном и железнодорожном грузовых фронтах. Автоматизированные ТС перевозят контейнеры между причалом и штабелями контейнерной площадки. Для повышения производительности выполняется разработка компьютерных программ, оптимизирующих технологические решения планировки КТ. Наиболее распространенной среди них в России является программа SOLVO. В дополнение к внедрению автоматизированного ПТО разрабатываются новые стратегии и методы планирования технологии ППР, способствующие повышению эффективности работы КТ [16], [18]. При принятии решения об автоматизации рассматриваются типы и количество ПТО, возможность их автоматизации, а также включение в технологический процесс. Кроме того, ПТО также должно предусматривать возможность изменения технологических решений [19].

Управление работой КТ зависит от поступающей в диспетчерский пункт информации о деятельности КТ. Информация содержит в себе технологическую и управленческую составляющую. Технологическая информация включает текущую информацию функционирования КТ и может быть использована для совершенствования технологических процессов ППР. Управленческая информация способствует своевременному реагированию на возникающие проблемы и рациональную расстановку технических и людских ресурсов. Информационные ресурсы являются экономической ценностью, выступая в качестве одного из факторов управления КТ [20]. Информационная система терминала включает в себя несколько потоков информации, одним из которых является АСУ КТ. В задачи данной системы входит отображение расположения контейнеров на термина-

ле, оптимальные маршруты доставки контейнеров на / со склада и на / с судна, варианты штифов контейнеров и др. Все ПТО современных КТ оснащено бортовыми терминалами, в которые заносятся все произведенные операции с контейнерами. Информация с бортовых терминалов поступает на диспетчерский пункт, где на мониторе отображается расстановка контейнеров на текущий момент времени, а также месторасположение ПТО.

Автоматизированное ПТО и технологии ПРР обеспечивают автоматизированный мониторинг наличия контейнеров на складе и технического состояния ПТО в режиме реального времени. Спутниковые системы DGPS (Differential Global Positioning System) используются на крупных терминалах с большим количеством ПТО. Дополнительно с системой DGPS применяют модулированную информационную систему местоположения контейнера — G-PIS (Container Position Information System). Автоматизированная система управления состоит из датчиков, размещенных по площади терминала и регистрирующих устройств на ПТО, оснащенных компьютерами, соединенными с центральным диспетчерским пунктом. По сигналам с диспетчерского пункта ПТО подводится к месту выполнения ПРР. Оператор подключается к управлению ПТО только при опускании или подъеме контейнера [21]. Автоматизация инфраструктуры КТ и ее влияние на конечный результат приведены на рис. 3.



Рис. 3. Схема влияния автоматизации на работу КТ

Терминалы, ориентированные на использование ричстакеров, характеризуются появлением качественно новых проблем, связанных с многовариантностью перестановки контейнеров. Задача размещения и перемещения контейнеров на таких терминалах слабо структурирована и не формализована. Отсутствие формализованного описания технологического процесса обуславливает особенности алгоритмов управления, заключающихся в сочетании математических и эмпирических методов, затрудняет принятие диспетчером управляющих решений, что обуславливает выполнение дополнительных перемещений контейнеров, тем самым увеличивая себестоимость ПРР. Снижение затрат на обработку контейнеров может быть достигнуто постоянством грузопотока, а также цикличностью и планированием технологических процессов [22].

Основное внимание в исследованиях последних 10 лет по тематике АСУ уделено терминалам, где основной единицей ПТО является козловой кран на пневмоходу (RTG). При работе

по RTG-технологии RTG оборудуются датчиками, связанными со спутниковыми системами позиционирования. Датчики также размещены на площади терминала и на колесных телегах RTG. В кабине оператора RTG расположен компьютер, соединенный с центральным диспетчерским пунктом. RTG по сигналам с диспетчерского пункта подводится к месту грузовой операции, после чего оператор контролирует опускание или подъем контейнера. Такие информационные системы также применяются на КТ, работающих по RMG-технологии.

Проблемой, увеличивающей время цикла и усложняющей обработку контейнеров, является отклонение спредера с контейнером в сторону, противоположную движению грузовой тележки. Причиной увеличения времени цикла является необходимость вручную гасить колебания груза. В настоящее время эта проблема решается с помощью использования автоматизированных систем контроля отклонений контейнера при движении. При ручном управлении оператор задает определенную скорость грузовой тележки для наведения спредера, поскольку он раскачивается в направлении контейнера. Вручную «поймать» или перехватить контейнер сложно и кроме того, этот процесс занимает продолжительное время, поэтому с такой задачей смогут справиться не все операторы кранов. В автоматическом режиме работы отклонения скорость спредера контролируется автоматически. Положение спредера также контролируется автоматически, поэтому он опускается на контейнер за одно отклонение. В результате время рабочей операции по наведению спредера сокращается. Кроме того, операция наведения выполняется быстрее, так как тележка и контейнер останавливаются в одно и то же время без ожидания затухания колебаний контейнера. Выполнение оператором одинаковых механически повторяющихся действий в течение смены вызывает усталость от монотонности, в результате чего снижается контроль над ситуацией и внимательность. Ухудшение психологического состояния оператора может привести к потенциальной аварийной ситуации. Несмотря на то, что такие случаи встречаются довольно редко, разработана схема удаленного управления контейнерными перегружателями. Возрастание потока контейнеров приводит к увеличению информационного потока и эмоциональной перегрузке оператора. Автоматизация технологических процессов способствует исключению производственных ошибок, связанных с психологической утомляемостью человека.

Следует отметить, что автоматизация контейнерных причальных кранов (STS) находится в стадии разработки — автоматизированы только отдельные подпроцессы PPP выполняемые STS. Основная проблема состоит в том, что перемещения судна затрудняют определение точного местоположения контейнера, при совмещении горизонта спредера с горизонтом контейнера процесс наведения занимает определенное время и приводит к снижению производительности труда. В данном случае краны STS соединены с системой управления по оптоволоконным кабелям, которые будучи связанными с оптоволоконным центром, создают информационную сеть. Для контроля и передачи сигналов информационная сеть использует стандартный Internet Protocol (IP), работоспособность сети постоянно проверяется в рамках безопасности и стабильной работы всех кранов. Несмотря на то, что оператор находится в помещении диспетчерского центра терминала и управляет краном дистанционно при обработке судна он не может одновременно обслуживать несколько кранов. Поэтому рассмотренный метод дистанционного управления нельзя считать способом автоматизации, так как он не приводит к сокращению штата обслуживающего персонала [9], [10], [23]. Согласно приведенной в работах [10], [21], [24] информации дистанционное управление кранами STS не увеличивает производительность, но наблюдается увеличение времени работы автоматизированных причальных кранов с операторами, которые находятся в диспетчерском пункте, на 20–30 %, по сравнению с кранами, работающими в ручном режиме [10]. Это можно объяснить тем, что при проведении удаленных операций операторы, дистанционно управляющие краном, не могут оценить воздействие ветра на контейнер, а также и некоторые другие факторы, возникающие в процессе выполнения PPP. Несмотря на существующее мнение специалистов о том, что такие более комфортные условия труда являются преимуществом удаленной работы, часть операторов считает, что удаленная работа снижает степень их удовлетворенности работой.

Многие функции, в том числе скорость обработки контейнеров, зависят от квалификации оператора крана, в частности из-за того, что STS не имеют достаточной степени автоматизации. В настоящее время эта проблема решается производителями данного оборудования. Важным аспектом автоматизации остается совмещение операций между автоматизированными тележками (AVG) и STS, который должен поставить контейнер на AVG, устранив его перекося и раскачивание. В имеющихся системах регулировка спредера происходит с помощью встроенного механизма, который может как увеличивать скорость регулировки, так и замедлять его. В результате это приводит к сокращению времени обработки контейнера. В условиях неопределенности, возникающей на КТ, работающих по принципу *fifo* (первый пришел, первый ушел), или при прибытии под обработку ТС, которые не были включены в сменно-суточный план.

В настоящее время ведутся разработки по предотвращению непроизвольного раскачивания и перекося спредера [2], [10], [21]. При этом не уделяется внимания по наведению спредера на контейнер при дифференте и крене. Наведение спредера на контейнер, находящийся в трюме судна, сопряжено с определенными трудностями. Несмотря на то, что контейнеры группируют в контейнеровозах таким образом, чтобы в каждом порту наиболее удобно отгружались те из них, которые предназначены для конкретного получателя, часто бывает так, что нужные контейнеры находятся не в самом удобном для перегрузки положении. Оператор контейнерного перегружателя должен с высокой точностью опускать спредер в нужную ячейку для захвата определенного контейнера и с такой же точностью выполнять его подъем и перемещение над судном. С использованием интеллектуальных систем выгрузки задача значительно упрощается.

В работах [25]–[29] рассмотрены вопросы наведения спредера на контейнер в условиях крена и дифферента на основе выполненных лабораторных испытаний с использованием ультразвуковых и лазерных датчиков расстояния. В процессе эксперимента было установлено, что в зимний период ультразвуковые датчики будут работать с погрешностью, так как сигнал отражается ото льда (лазерные датчики такой погрешности не имеют). В этих работах также рассмотрено наведение спредера при качке судна. Спредер во время качки при помощи искусственного интеллекта рассчитывает амплитуду качки судна и выравнивает горизонт спредера относительно поверхности контейнера, что сокращает время обработки судна.

Интеллектуальная система погрузки / выгрузки — основанная на лазерных датчиках вспомогательная система, которая повышает производительность крана STS и снижает риск повреждения контейнера. Интеллектуальная система использует лазерный сканер и программные модули для измерения и непрерывного обновления профиля контейнеров и других преград в зоне проведения производства работ. Возможности лазерного сканера позволяют контролировать область работ в диапазоне более 80 м, обеспечивая измерение пространства контейнерных ячеек судов с осадкой более 10 м, что особенно эффективно при оказании помощи оператору во время погрузки / выгрузки контейнеров в глубоких ячейках судна. Профиль обновляется непрерывно без необходимости в дополнительных передвижениях грузовой тележки. При этом программные модули снижают скорость спредера до оптимальной для мягкой посадки и захвата контейнера без повреждения его металлоконструкции.

Технологический процесс обработки контейнеров является сложной технологической процедурой, включающей множество подпроцессов, большинство которых уже автоматизированы, что позволяет исключить вмешательство человека и повысить эффективность ППР. Погрузка / выгрузка контейнеров из / на суда кранами STS представляет собой ключевую технологическую операцию, включающую подпроцесс установки / снятия крепежного устройства твистлоков. Снятие / установку твистлоков выполняют докеры-механизаторы, эта операция занимает много времени. Снятие / установка твистлоков является «самым слабым звеном в автоматизации портов и наиболее сложной частью в области автоматизации портов». В настоящее время осуществляется проведение работ по автоматизации твистлоков. В общей сложности во всем мире используется более тридцати различных типов твистлоков.

Процесс автоматизации твистлоков можно разделить на три этапа [30]:

- 1) установка вручную и снятие перед выгрузкой или закреплением контейнеров ручных поворотных замков;
- 2) автоматическое закрытие при установке контейнера на судно полуавтоматических поворотных замков;
- 3) автоматическая блокировка под действием собственного веса контейнера и автоматическая разблокировка при отрыве контейнера краном полностью автоматических поворотных замков.

Разблокированные твистлоки присоединены к контейнеру и остаются в его фитингах, когда контейнер снимается с судна. Перед дальнейшей транспортировкой контейнеров твистлоки должны быть извлечены из контейнера. Целью автоматизации твистлоков служит повышение безопасности, замыкание цепочки автоматизации, снижение затрат на рабочую силу и снижение рисков. Технологический операции, выполняемые в автоматизированном и ручном режимах работы, приведены на рис. 4.



Рис. 4. Технологические процессы КТ, выполняемые в автоматизированном и ручном режимах работы:
 —————> — автоматизированный режим работы; - - - - -> — ручной режим работы

При выборе технологии обработки контейнеров в первую очередь принимается решение о том, какое ПТО будет использоваться: *классическое*, управляемое оператором, или *автоматизированное*. Последнее требует больших инвестиционных затрат, а также снижает затраты на рабочую силу и техническое обслуживание и ремонт. Автоматизация повышает производительность КТ за счет сокращения времени оборота судов и времени ожидания контейнеровозов у причальных кранов, так как ПТО может эксплуатироваться 24 ч в сутки. Автоматизированная планировка тылового склада увеличивает его емкость и пропускную способность, что имеет важное значение для терминалов, расположенных в крупных городах и имеющих ограниченную площадь. Улучшения в работе КТ положительно скажутся на его конкурентоспособности на рынке контейнерных перевозок и сделают терминал более привлекательным для грузоотправителей и грузополучателей [31].

Обсуждение (Discussion)

Автоматизация морских портов и КТ оказывает положительное влияние на ряд факторов: производительность ПТО, сокращение времени простоя ТС под обработкой, технологию ПРР,

охрану труда. Автоматизация находящихся в эксплуатации КТ может происходить последовательно в зависимости от имеющейся инфраструктуры порта: ПТО, контроль на въездных воротах, мониторинг загруженности ПТО и мест хранения контейнеров. Наиболее эффективной является автоматизация строящегося КТ, где в проекте закладываются современные требования.

Частичная или поэтапная автоматизация эксплуатирующихся КТ должна влиять на увеличение производительности порта, а не на локальный элемент. Внедряющие автоматизацию КТ начинают этот процесс с автоматизации входных ворот, что позволяет отслеживать прибытие-убытие контейнеров, ТС. Вместе с данными в реальном режиме времени терминальный оператор получает информацию о загруженности КТ, количестве ТС находящихся под обработкой, что позволяет планировать загруженность ПТО.

Основной мотивацией к автоматизации КТ и используемого ими ПТО является обеспечение минимизация эксплуатационных затрат, рост пропускной способности и конкурентоспособности как на региональном, так и международном уровнях.

Заключение (Conclusion)

Анализ научной литературы показал, что от степени автоматизации технологий ПРР и ПТО зависит конкурентоспособность терминала. Внедрение автоматизации дает положительные результаты и информацию для размышления тем терминальным операторам, которые пока еще не занимаются решением вопроса автоматизации, тем более, что на этот процесс не оказывают значительного влияния грузооборот, геометрические размеры и емкость терминала.

Автоматизация одного из направлений деятельности КТ не даст должного эффекта. На действующем КТ процесс автоматизации начинается с въездных ворот и систем управления. Полученная с въездных ворот информация способствует оптимальному распределению ПТО и сотрудников терминала, а также рациональной обработке ТС (быстрый поиск требуемого контейнера, оформление документов, подготовка судовой партии и др.). При отсутствии ТС образуются промежутки, во время которых ПТО можно вывести на техническое обслуживание и ремонт. Технологические процессы ПРР представляет собой повторяющуюся процедуру, осуществляемую по определенным правилам, которую проще автоматизировать, чем терминалы, специализирующиеся на обработке различных грузов. Автоматизация технологических процессов ПРР позволяет отслеживать время и место хранения контейнера, что сокращает количество перестановок и снижает себестоимость ПРР.

В автоматизированном режиме на КТ в настоящее время могут эксплуатироваться:

- причальные краны STS, управление которыми осуществляется с диспетчерского пункта;
- складские краны RTG;
- типовые технологические процессы по перегрузки крупнотоннажных контейнеров и генеральных грузов;
- автоматизированные транспортные тележки (AGV).

Выполненный анализ специальной тематической литературы свидетельствует о существующих проблемах в процессах автоматизации ПТО, а следовательно, технологических процессах. Следует отметить, что не автоматизирован процесс наведения спредера на контейнер при обработке судна с креном или дифферентом, а также процесс открытия / закрытия твистлоков при качке судна.

Автоматизация как таковая не может гарантировать увеличение прибыли терминала, для снижения себестоимости и увеличения прибыли важен постоянный грузооборот. В то же время автоматизация снижает затраты на рабочую силу, техническое обслуживание и ремонт. Системы автоматического контроля позволяют проводить ремонт по техническому состоянию при отсутствии или снижении потока ТС, что существенно повышает коэффициент технического использования объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ghiara H.* Port activity and technical efficiency: determinants and external factors / H. Ghiara, A. Tei // *Maritime Policy & Management*. — 2021. — Vol. 48. — Is. 5. — Pp. 711–724. DOI: 10.1080/03088839.2021.1872807.
2. *Martín-Soberón A. M.* Automation in port container terminals / A. M. Martín-Soberón, A. Monfort, R. Sapiña, N. Monterde, D. Calduch // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. — 2014. — Vol. 160. — Pp. 195–204. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.12.131.
3. *Петрова Е. Е.* Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала / Е. Е. Петрова, В. В. Ганнесен // *Научные проблемы водного транспорта*. — 2024. — № 78. — С. 178–190. DOI: 10.37890/jwt.vi78.439.
4. *Zhao Q.* Research on cooperative scheduling of automated quayside cranes and automatic guided vehicles in automated container terminal / Q. Zhao, S. Ji, D. Guo, X. Du, H. Wang // *Mathematical Problems in Engineering*. — 2019. — Vol. 2019. — Is. 1. — Pp. 6574582. DOI: 10.1155/2019/6574582.
5. *Малышев Н. В.* К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов / Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский // *Бюллетень результатов научных исследований*. — 2020. — № 1. — С. 15–25. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25.
6. *Chu F.* The future of automated ports. — 2018 [Электронный ресурс] / F. Chu, S. Gailus, L. Liu, L. Ni. — Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-future-of-automated-ports> (дата обращения: 01.07.2024).
7. *Homayouni S. M.* Optimization of integrated scheduling of handling and storage operations at automated container terminals / S. M. Homayouni, S. H. Tang // *WMU Journal of Maritime Affairs*. — 2016. — Vol. 15. — Pp. 17–39. DOI: 10.1007/s13437-015-0089-x
8. *Homayouni S. M.* A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals / S. M. Homayouni, S. H. Tang, O. Motlagh // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. — 2014. — Vol. 270. — Pp. 545–556. DOI: 10.1016/j.cam.2013.11.021.
9. *Knatz G.* Container terminal automation: revealing distinctive terminal characteristics and operating parameters / G. Knatz, T. Notteboom, A. A. Pallis // *Maritime Economics & Logistics*. — 2022. — Vol. 24. — Is. 3. — Pp. 537. DOI: 10.1057/s41278-022-00240-y.
10. *Knatz G.* Container Terminal Automation. A global analysis and survey on decision-making drivers, benefits realized, and stakeholder support / G. Knatz, T. Notteboom, T. Pallis. — University of Southern California, 2022. — 90 p.
11. *Wang P.* Alignments between strategic content and process structure: the case of container terminal service process automation / P. Wang, J. P. Mileski, Q. Zeng // *Maritime Economics & Logistics*. — 2019. — Vol. 21. — Pp. 543–558. DOI: 10.1057/s41278-017-0070-z.
12. *Kon W. K.* The global trends of automated container terminal: a systematic literature review / W. K. Kon, N. S., F. A. Rahman, R. M. Hanafiah, and S. A. Hamid // *Maritime Business Review*. — 2020. — Vol. 6(3). — Pp. 206–233. DOI: 10.1108/MABR-03-2020-0016.
13. *Rodrigue J. P.* Automation in container port systems and management / J. P. Rodrigue, T. Notteboom // *TR news*. — 2021. — Vol. 334. — Pp. 20–25.
14. *Зуб И. В.* Анализ нормативной документации по проектированию морских портов в части автоматизации технологических процессов на контейнерных терминалах / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Г. Д. Касаткин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 262–271. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-262-271.
15. *Davidson N.* Container terminal automation: pros, cons & misconceptions / N. Davidson // *Port Technology*. — 2016. — Vol. 70. — Pp. 30–31.
16. *Hughes A.* Automate the date? / A. Hughes // *Port Strategy*. — 2005. — November. — Pp. 32–35.
17. *Zehendner E.* Operations management at container terminals using advanced information technologies: Thèse. / E. Zehendner. — Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2013. — 211 p.
18. *David A.* Automation of Handling Systems in the Container Terminals of Maritime Ports / A. David // *Transport and Communications*. — 2019. — Vol. I. — Pp. 6–9. DOI: 10.26552/tac.C.2019.1.2.
19. *Sha M.* Simulation model to determine ratios between quay, yard and intra-terminal transfer equipment in an integrated container handling system / M. Sha, T. Notteboom, T. Zhang, X. Zhou, T. Qin // *Journal of International Logistics and Trade*. — 2021. — Vol. 19. — Is. 1. — Pp. 1–18. DOI: 10.24006/jilt.2021.19.1.001.

20. Кац И. С. Анализ информационных потребностей предприятия / И. С. Кац, Е. В. Попов // Информационная экономика и управление динамикой сложных систем: Сб. научных трудов / Под ред. Е. Ю. Иванова, Р. М. Нижегородцева. — Москва-Барнаул: Изд-во «Бизнес-Юнитек», 2004. — С. 220–230.

21. All systems go! // Gargo Systems Int. — 1994. — Vol. 21. — № 5. — Pp. 49–51.

22. Oliveira H. Automation in Ports and Labour Relations in XXI Century [Электронный ресурс] / H. Oliveira, R. Varela. — Режим доступа: <https://ocvt.unl.pt/images/relatorios/studyautomation-2.pdf> (дата обращения: 01.07.2024).

23. Watkins E. Automation remains (quietly) on the US agenda // Lloyd's List. — 2020 [Электронный ресурс] / E. Watkins. — Режим доступа: <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1132528/Automation-remains-quietly-on-the-USagenda> (дата обращения: 01.07.2024).

24. Baptista E. Hong Kong's port grapples with slow shift to automation // Nikkei Asia. — 2020 [Электронный ресурс] / E. Baptista. — Режим доступа: <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Hong-Kong-s-port-grapples-with-slow-shift-to-automation> (дата обращения: 01.07.2024).

25. Зуб И. В. Позиционирование спредера относительно контейнера с применением ультразвуковых датчиков / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, В. Л. Щемелёв // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 30–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-30-38.

26. Yezhov Y. E. The use of digital technology when positioning the spreader relative to the plane of the container / Y. E. Yezhov, I. V. Zub, V. L. Shchemelev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2020. — Vol. 539. — Is. 1. — Pp. 012167. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012167.

27. Ezhov Y. Ultrasonic and laser sensors measurement errors detection / Y. Ezhov, I. Zub, A. Zhuravlev, V. Schemelev // AIP Conference Proceedings. — AIP Publishing, 2022. — Vol. 2647. — Is. 1. DOI: 10.1063/5.0104049.

28. Щемелев В. Л. Автоматизация работы спредера при обработке крупнотоннажных контейнеров в условиях крена и дифферента судна / В. Л. Щемелев, И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2023. — № 2. — С. 101–107. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-101-107.

29. Щемелев В. Л. Алгоритм обучения спредера с возможностью стабилизации для совершенствования технологии перегрузки контейнеров в условиях крена и дифферента судна / В. Л. Щемелев, И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Транспортное дело России. — 2023. — № 4. — С. 223–227. DOI: 10.52375/20728689_2023_4_223.

30. Kugler M. Automizing the manual link in maritime supply chains? An analysis of twistlock handling automation in container terminals / M. Kugler, M. Brandenburg, S. Limant // Maritime Transport Research. — 2021. — Vol. 2. — Pp. 100017. DOI: 10.1016/j.martra.2021.100017.

31. Jobran Y. Examining the Efficiency of Automation in Container Terminals / Y. Jobran, G. Kara // Journal of Transportation and Logistics. — 2022. — Vol. 7. — Is. 1. — Pp. 137–155. DOI: 10.26650/JTL.2022.1039692.

REFERENCES

1. Ghiara, Hilda, and Alessio Tei. "Port activity and technical efficiency: determinants and external factors." *Maritime Policy & Management* 48.5 (2021): 711–724. DOI: 10.1080/03088839.2021.1872807.

2. Martín-Soberón, Ana María, Arturo Monfort, Rafael Sapiña, Noemí Monterde, and David Calduch. "Automation in port container terminals." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 160 (2014): 195–204. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.12.131.

3. Petrova, E.E., and V. V. Gannesen. "Experience analysis of automation and robotization of the container terminal operation." *Russian Journal of Water Transport* 78 (2024): 178–190. DOI: 10.37890/jwt.vi78.439.

4. Zhao, Qianru, Shouwen Ji, Dong Guo, Xuemin Du, and Hongxuan Wang. "Research on cooperative scheduling of automated quayside cranes and automatic guided vehicles in automated container terminal." *Mathematical Problems in Engineering* 2019.1 (2019): 6574582. DOI: 10.1155/2019/6574582.

5. Malyshev, N. V., and E. K. Korovyakovskiy. "Robotic automation of logistic container terminals." *Bulletin of scientific research results* 1 (2020): 15–25. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25.

6. Chu, Fox, Sven Gailus, Lisa Liu, and Liumin Ni. "The future of automated ports." (2018). Web. 1, July 2024 <<https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-future-of-automated-ports>>.

7. Homayouni, Seyed Mahdi, and Sai Hong Tang. "Optimization of integrated scheduling of handling and storage operations at automated container terminals." *WMU Journal of Maritime Affairs* 15 (2016): 17–39. DOI: 10.1007/s13437-015-0089-x.
8. Homayouni, Seyed Mahdi, Sai Hong Tang, and Omid Motlagh. "A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals." *Journal of Computational and Applied Mathematics* 270 (2014): 545–556. DOI: 10.1016/j.cam.2013.11.021.
9. Knatz, Geraldine, Theo Notteboom, and Athanasios A. Pallis. "Container terminal automation: revealing distinctive terminal characteristics and operating parameters." *Maritime Economics & Logistics* 24.3 (2022): 537. DOI: 10.1057/s41278-022-00240-y.
10. Knatz, Geraldine, Theo Notteboom, and Thanos Pallis. *Container Terminal Automation. A global analysis and survey on decision-making drivers, benefits realized, and stakeholder support*. University of Southern California, 2022.
11. Wang, Ping, Joan P. Mileski, and Qingcheng Zeng. "Alignments between strategic content and process structure: the case of container terminal service process automation." *Maritime Economics & Logistics* 21 (2019): 543–558. DOI: 10.1057/s41278-017-0070-z.
12. Kon, W.K., Rahman, N. S. F. A., Hanafiah, R. M. and Hamid, S. A. The global trends of automated container terminal: a systematic literature review, *Maritime Business Review*, 2020. Vol. 6(3), pp. 206–233. DOI:10.1108/MABR-03-2020-0016.
13. Rodrigue, Jean-Paul, and Theo Notteboom. "Automation in container port systems and management." *TR news* 334 (2021): 20–25.
14. Zub, Igor V., Yurii E. Ezhov, and Gleb D. Kasatkin. "Analysis of regulatory documentation on seaports design in terms of technological processes automation at container terminals." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 262–271. DOI: 10.21821/2309–5180–2023-15-2-262-271.
15. Davidson, N. "Container terminal automation: pros, cons & misconceptions." *Port Technology* 70 (2016): 30–31.
16. Hughes, Alex. "Automate the date?." *Port Strategy* November (2005): 32–35.
17. Zehendner, Elisabeth. *Operations management at container terminals using advanced information technologies*. Diss. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2013.
18. David, Andrej. "Automation of Handling Systems in the Container Terminals of Maritime Ports." *Transport and Communications I* (2019): 6–9. DOI: 10.26552/tac.C.2019.1.2.
19. Sha, Mei, Theo Notteboom, Tao Zhang, Xin Zhou, and Tianbao Qin. "Simulation model to determine ratios between quay, yard and intra-terminal transfer equipment in an integrated container handling system." *Journal of International Logistics and Trade* 19.1 (2021): 1–18. DOI: 10.24006/jilt.2021.19.1.001.
20. Kats, I.S., and E. V. Popov. "Analiz informatsionnykh potrebnosti predpriyatiya." *Informatsionnaya ekonomika i upravlenie dinamikoï slozhnykh sistem: Sb. nauchnykh trudov*. Moskva-Barnaul: Izd-vo «Biznes-Yunitek», 2004. 220–230.
21. "All systems go!." *Gargo Systems Int.* 21.5 (1994): 49–51.
22. Oliveira, H., and R. Varela. Automation in Ports and Labour Relations in XXI Century. Web. 1 July 2024 <<https://ocvt.unl.pt/images/relatorios/studyautomation-2.pdf>>.
23. Watkins, Eric. "Automation remains (quietly) on the US agenda." *Lloyd's List* (2020). Web. 1 July 2024 <<https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1132528/Automation-remains-quietly-on-the-USagenda>>.
24. Baptista, Eduardo. "Hong Kong's port grapples with slow shift to automation." *Nikkei Asia* (2020). Web. 1 July 2024 <<https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Hong-Kong-s-port-grapples-with-slow-shift-to-automation>>.
25. Zub, Igor V., Yurii E. Ezhov, and Viktor L. Shchemelev. "The positioning of the spreader relative to the container using ultrasonic sensors." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 30–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-30-38.
26. Yezhov, Yu E., I. V. Zub, and V. L. Shchemelev. "The use of digital technology when positioning the spreader relative to the plane of the container." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 539. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012167.
27. Ezhov, Yuri, Igor Zub, Anton Zhuravlev, and Victor Schemelev. "Ultrasonic and laser sensors measurement errors detection." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2647. No. 1. AIP Publishing, 2022. DOI: 10.1063/5.0104049.

28. Shchemelev, V. L., I. V. Zub, and Yu. E. Ezhov. "Automation of spreader operation in handling large size containers at ship's list and trim." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 2 (2023): 101–107. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-101-107.

29. Shchemelev, V., I. Zub, and Y. Ezhov. "Spreader learning algorithm with the possibility of stabilization to improve the technology of container handling in conditions of roll and trim of the ship." *Transport business of Russia* 4 (2023): 223–227. DOI: 10.52375/20728689_2023_4_223.

30. Kugler, Michael, Marcus Brandenburg, and Sander Limant. "Automizing the manual link in maritime supply chains? An analysis of twistlock handling automation in container terminals." *Maritime Transport Research* 2 (2021): 100017. DOI: 10.1016/j.martra.2021.100017.

31. Jobran, Yaser, and Gökhan Kara. "Examining the Efficiency of Automation in Container Terminals." *Journal of Transportation and Logistics* 7.1 (2022): 137–155. DOI: 10.26650/JTL.2022.1039692.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зуб Игорь Васильевич —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: zubiv@mail.ru, zubiv@gumrf.ru

Ежов Юрий Евгеньевич —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ezhovye@gumrf.ru

Щемелев Виктор Леонидович — аспирант *Научный руководитель:*

Ежов Юрий Евгеньевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_texp@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zub, Igor V. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: zubiv@mail.ru, zubiv@gumrf.ru

Ezhov, Yurii E. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: ezhovye@gumrf.ru

Shchemelev, Viktor L. — Postgraduate *Supervisor:*

Ezhov, Yurii E. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_texp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 8 июля 2024 г.

Received: July 8, 2024.