

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-603-616

JUSTIFICATION OF THE CONTAINER STACK UNPACKING TECHNOLOGICAL OPERATION SCHEME IN THE AUTOMATION OF THE LOADER WORK CYCLE

V. V. Gannesen¹, T. E. Malikova², E. E. Petrova¹

¹ — Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

² — Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoi,
Vladivostok, Russian Federation

Due to the new concept of the country transport logistics development “Turning to the East”, it is becoming the more important to increase the processing capacity of container terminals in the Far East. This research work is to study the possibilities of increasing the throughput capacity of container terminal areas by making the technical and technological management decisions. The opportunity of introducing automation elements into the terminal operation through the creation of a technological cyclic automatic machine on the basis of mobile container transporters is investigated as an idea to increase the processing capacity of the terminal equipment. In the context of developing the concept of the loader operation as a technological machine, the “working cycle” term is defined as a sequence of actions during performing the technological operation of picking up the target container from the stack, and then the transition diagram of the machine is an analogue of the technological scheme of this operation. Based on the foregoing, the purpose of the study is defined as the rationale for choosing a unified scheme for the technological operation of dismantling the container stack as part of automating the working cycle of a loader. To achieve this purpose, the following tasks are solved: the technical capabilities of loaders such as a reach stacker and a loader with an upper grip spreader are studied when working with a stack depending on the location of the target container in the latter; technological schemes for the execution of the operation of picking up target containers from a stack, differing in the type of equipment used and the method of disbanding blocking stacks, are considered; the positive and negative aspects of using each of the technological schemes as an analogue of the transition diagram of the technological machine control unit are revealed. The result of the research work is the technological scheme “the use of a reach stacker or a loader with a top grip spreader with complete disassembly of blocking stacks and picking up containers only from the near row”, which is the most preferable in terms of such important indicators for automating the technological process as versatility, “trouble-free” execution technology, insensitivity to stack capacity.

Keywords: cargo handling, terminal throughput, transshipment process control, automation, equipment operating cycle, technological automaton, mechanized cargo handling.

For citation:

Gannesen, Vitalii V., Tatiana E. Malikova, and Ekaterina E. Petrova. “Justification of the container stack unpacking technological operation scheme in the automation of the loader work cycle.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.4 (2023): 603–616. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-603-616.

УДК 004.8: 656.073.28

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ РАСФОРМИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРНОГО ШТАБЕЛЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА АВТОПОГРУЗЧИКА

В. В. Ганнесен¹, Т. Е. Маликова², Е. Е. Петрова¹

¹ — Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток, Российская Федерация

² — Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, Российская Федерация

Темой работы является актуальная в связи с новой концепцией развития транспортной логистики страны «Поворот на Восток» проблема повышения перерабатывающей способности контейнерных терминалов

Дальневосточного бассейна. В рамках данного исследования была поставлена задача изучения возможности увеличения пропускной способности зон контейнерных терминалов с технической и технологической сторон принятия управленческих решений. В качестве идеи увеличения перерабатывающей способности оборудования терминала исследована перспектива внедрения в его работу элементов автоматизации через создание на базе мобильных контейнерных перегружателей технологического автомата циклического действия. В контексте разработки концепции работы перегружателя как технологического автомата термин «рабочий цикл» был определен как последовательность действий при выполнении технологической операции выемки целевого контейнера из штабеля, тогда диаграмма переходов автомата является аналогом технологической схемы данной операции. Исходя из этого цель исследования определяется как обоснование выбора унифицированной схемы технологической операции расформирования контейнерного штабеля в рамках автоматизации рабочего цикла автопогрузчика. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: изучены технические возможности перегружателей типа ричстакер и автопогрузчик со спредером верхнего захвата при работе со штабелем в зависимости от местоположения в данном случае целевого контейнера; рассмотрены технологические схемы выполнения операции выемки целевых контейнеров из штабеля, различающиеся типом используемого оборудования и способом расформирования блокирующих стеков; выявлены положительные и отрицательные стороны использования каждой из технологических схем как аналога диаграммы переходов блока управления технологического автомата. Результатом исследования является технологическая схема «применение ричстакера или погрузчика со спредером верхнего захвата с полным разбором блокирующих стеков и выемкой контейнеров только из ближнего ряда» как наиболее предпочтительная по таким важным показателям для автоматизации технологического процесса, как универсальность, «безотладочная» технология исполнения, а также нечувствительность к емкости штабеля.

Ключевые слова: грузопереработка, пропускная способность терминала, управление перегрузочным процессом, автоматизация, рабочий цикл оборудования, технологический автомат, безлюдные технологии.

Для цитирования:

Ганнесен В. В. Обоснование схемы технологической операции расформирования контейнерного штабеля при автоматизации рабочего цикла автопогрузчика / В. В. Ганнесен, Т. Е. Маликова, Е. Е. Петрова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 4. — С. 603–616. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-603-616.

Введение (Introduction)

Введение санкций против России оказало значительное влияние на деятельность многих транспортных компаний. Отказ крупнейших Европейских контейнерных линий и хабов от перевозки и перевалки российских грузов в 2022 г. оказал существенное влияние на перераспределение грузооборота между портами Северо-Западной части страны и портами Дальневосточного региона. По данным источника [1], в северо-западных портах в 2022 г. было заблокировано до 50 % импортного и до 60 % экспортного грузопотоков, что автоматически привело к трансформации цепей поставок, изменению маршрутов и объемов контейнерных перевозок морским и железнодорожным видами транспорта с переориентацией на азиатские рынки морских перевозок. Так, только за первое полугодие 2022 г. экспортные потоки из портов Дальнего Востока увеличились на 21 % по сравнению с аналогичным периодом 2021 г., а к октябрю рост контейнерного потока через Дальневосточные терминалы достиг отметки в 29 %.

На основе анализа статистических данных, приведенных в открытых источниках [2], [3], сделан вывод о том, что после возникновения геополитических и экономических конфликтов с западными странами в Российской Федерации сформировалась устойчивая концепция развития ее международной логистики — «Поворот на Восток», реализация которой явилась одной из причин увеличения объемов импортных и экспортных, а также внутрироссийских контейнерных грузоперевозок через порты Дальнего Востока в 2022 г. Опыт работы российских транспортных компаний за 2022 г. убедительно доказал, что основным ограничением в реализации сценария «Поворот на Восток» явилась малая пропускная способность Дальневосточных морских и железнодорожных контейнерных терминалов [4].

Оперативно увеличить пропускную способность контейнерных терминалов в очень короткий срок можно только с технической и / или технологической стороны принятия управленческого

решения [5], [6]. С технической точки зрения задача решается за счет преобразований инфраструктуры терминала с использованием мобильного перегрузочного оборудования в качестве доминирующих механизмов складской грузопереработки [7]–[9]. С технологической точки зрения видоизменяются процессы выполнения погрузочно-разгрузочных операций и операций, связанных с необходимостью перемещения контейнерных потоков между технологическими зонами терминала [10]–[12]. В первом случае поиск оптимального решения задачи увеличения пропускной способности терминала находится в области обеспечения плотного складирования контейнеров, рационального размещения штабелей на складской площадке с удобным доступом штабелирующих машин к целевым контейнерам при выдаче их с терминала на железнодорожный, морской или автомобильный транспорт; обоснованного прежде всего объемом и структурой перерабатываемого грузопотока, выбора перегрузочного оборудования (кранов мостового типа, автопогрузчиков и т. п.) [13]. Во втором случае исследуются и разрабатываются технологии, позволяющие ускорить работу с контейнерами за счет применения различных стратегий управления контейнерными потоками (например, стратегия усиления приоритетных операций за счет перераспределения численности технологического оборудования в моменты возникновения пиковых нагрузок, стратегия зонирования контейнерной площадки по видам транспорта и т. п.) или перемещений контейнеров между ярусами одного и того же штабеля (контейнеры, которые понадобятся в ближайшее время поднимают в верхний ярус) во время отсутствия пиковых нагрузок на оборудование терминала [14]–[16].

Исходя из ранее изложенного, рассматриваемая задача, которая является в своей многовариантной постановке многофакторной, по-прежнему остается актуальной в рамках развития научного направления «Технология, организация и управление перегрузочными процессами порта», и прорабатывается с использованием как традиционных, давно зарекомендовавших себя научных подходов [17], [18], так и принципиально новых направлений, например, так называемых *безлюдных технологий* [19]–[21].

Возрастающий интерес к созданию безлюдных технологий на контейнерных терминалах обусловлен тем, что операция перемещения контейнера отличается однотипностью (захват – перенос – установка), перемещаемый при этом объект (контейнер) унифицирован, а сам технологический процесс отличается строгой организацией и сравнительно низкой требуемой точностью размещения контейнера в стеке. Эти условия в совокупности существенно облегчают задачу автоматизации отдельных технологических процессов на контейнерных терминалах с механизированной системой грузопереработки [22], позволяя активно использовать относительно простых роботов со сравнительно невысокой маневренностью и точностью позиционирования [23]–[25]. Два последних критерия: маневренность и точность позиционирования, свидетельствуют о наличии возможности использования мобильных перегружателей типа ричстакера как составного элемента технологического оборудования структуры технологического автомата (ТА) циклического действия [26], выполняющего селективную выемку части контейнеров из основного штабеля для определенных целей (погрузка на транспортное средство, выдача контейнеров грузовладельцам, взвешивание и т. п.).

Под *рабочим циклом перегружателя* традиционно понимают последовательность выполнения операции перемещения контейнера: захват контейнера, его перенос и установку. В контексте данного исследования (использование на терминале мобильного перегружателя как ТА) было дано другое определение рабочего цикла: последовательность рабочих и холостых ходов технологического оборудования при выемке целевых контейнеров [26]. Вообще, под рабочим ходом погрузчика понимают производительные операции, связанные с выемкой из штабеля целевых контейнеров, т. е. тех, на которые поступили заявки в данный момент времени, а под холостыми — непроизводительные операции, связанные со снятием контейнеров, блокирующих целевой контейнер в стеке, и возврат последних (блокирующих контейнеров) в их стек после вывоза целевого контейнера во вспомогательный штабель. Таким образом, понятие рабочего цикла становится напрямую связанным с «рисунком» схемы технологической операции расформирования контейнерного штабеля, которая, в свою очередь, зависит от технических возможностей конкретного используемого оборудования.

Целью данного исследования является обоснование выбора унифицированной схемы технологической операции расформирования контейнерного штабеля в рамках автоматизации рабочего цикла автопогрузчика, а его объектом служат технические характеристики перегружателей типа ричстакер и автопогрузчик со спредером верхнего захвата [27] по отношению к технологической операции расформирования операционного штабеля.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Проанализируем технические возможности ричстакера при работе со штабелем в зависимости от местоположения в последнем целевого контейнера. Положение контейнера, с которым может работать ричстакер, определяется двумя параметрами: геометрической досягаемостью и весовым ограничением. Геометрическая досягаемость контейнера характеризуется доступной удаленностью по горизонтали $X_{\text{дост}}$ и доступной удаленностью по вертикали $h_{\text{дост}}$ (рис. 1).

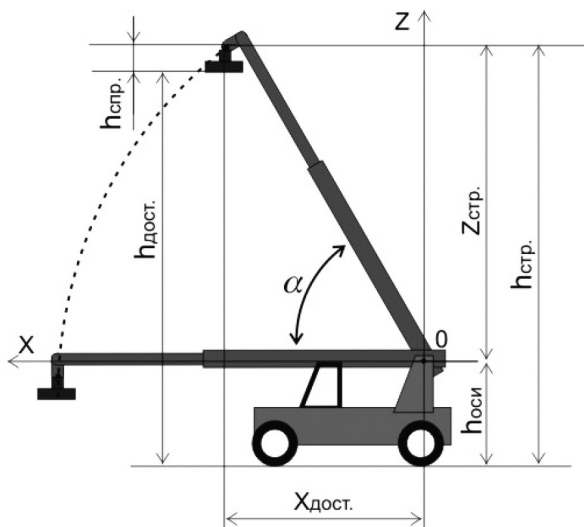


Рис. 1. Геометрическая досягаемость контейнера для ричстакера

Доступная удаленность по горизонтали $X_{\text{дост}}$ в общем случае может быть выражена в виде

$$X_{\text{дост}} = l_{\text{стр}} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

где $l_{\text{стр}}$ — максимальная длина стрелы от оси опоры до оси подвеса спреdera.

Доступная удаленность по вертикали $h_{\text{дост}}$ в общем случае может быть выражена в виде

$$h_{\text{дост}} = h_{\text{оси}} + l_{\text{стр}} \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где $h_{\text{оси}}$ — возвышение оси опоры стрелы над поверхностью площадки.

Наиболее актуальным является вопрос: с каким ярусом контейнеров может работать ричстакер в заданном ряду (при работе через ряды). В этом случае доступная высота может быть выражена следующим образом:

$$h_{\text{дост}} = h_{\text{оси}} + l_{\text{стр}} \cdot \arccos \left(\frac{x_i}{l_{\text{стр}}} \right) - h_{\text{спр}} - h_{\text{зап}}, \quad (3)$$

где x_i — горизонтальное расстояние от оси опоры стрелы до центра тяжести контейнера;

$h_{\text{спр}}$ — высота спреdera от оси подвеса до его нижней кромки;

$h_{\text{зап}}$ — запас высоты для перемещения контейнера над нижерасположенным ярусом.

Для условного ричстакера с колесной базой 8,5 м и приближительными размерами, используемыми в выражениях (1)–(3), оборудованного стрелами разной длины, диаграмма досягаемости контейнеров при работе через ряды приведена на рис. 2.

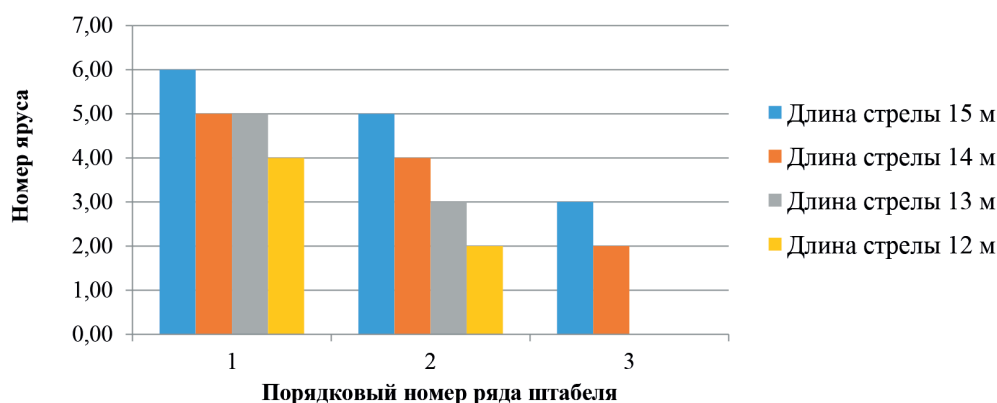


Рис. 2. Достигаемость контейнера для условного ричстакера

При этом геометрическая достигаемость еще не гарантирует возможность обработки контейнера, поскольку превышение допустимого веса теоретически приведет к опрокидыванию ричстакера. На практике при попытке подъема сработает механизм защиты от опрокидывания, по сигналу которого спредер отпустит «тяжелый» контейнер и подъем аварийно будет прекращен.

Условие неустойчивого равновесия определяется равенством моментов (рис. 3):

$$M_{\text{опр}} = M_{\text{в}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{опр}}$ — момент опрокидывающий;
 $M_{\text{в}}$ — момент восстанавливающий.

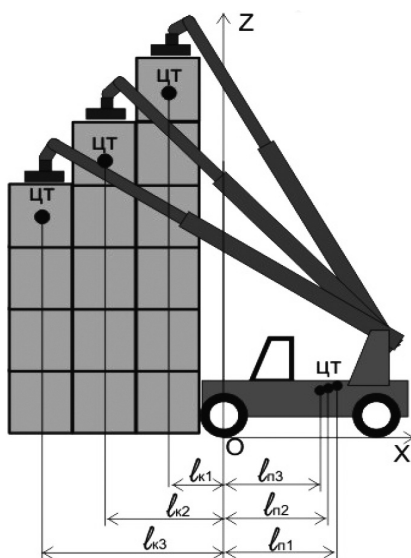


Рис. 3. Изменение восстанавливающего момента ричстакера в зависимости от ряда контейнеров

Момент опрокидывающий при подъеме контейнера определяется в виде

$$M_{\text{опр}} = m_{\text{к}} l_{\text{к}} + m_{\text{р.опр}} l_{\text{р.опр}},$$

где $m_{\text{к}}$ — масса контейнера;

$l_{\text{к}}$ — плечо контейнера — горизонтальное расстояние между точкой передней опоры ричстакера и вертикалью центра тяжести контейнера;

$m_{\text{р.опр}}$ — масса ричстакера, находящаяся на стороне груза относительно вертикали точки опоры;

$l_{\text{р.опр}}$ — плечо массы ричстакера, находящейся на стороне груза относительно вертикали точки опоры.

Момент восстанавливающий:

$$M_B = m_{p.B} l_{p.B},$$

где $m_{p.B}$ — масса ричстакера, находящаяся на стороне, противоположной положению груза относительно вертикали точки опоры;

$l_{p.B}$ — плечо массы ричстакера, находящаяся на стороне, противоположной положению груза относительно вертикали точки опоры.

Координаты центра тяжести ричстакера с различным положением стрелы получить невозможно без подробной технической документации, однако очевидно, что перемещение части массы со стороны восстанавливающего момента на сторону момента опрокидывающего по мере увеличения вылета стрелы (рис. 3) имеет характер степенной функции:

$$m_{p.опр} = f(ak^c),$$

где k — номер ряда контейнера;

a и c — коэффициенты функции, специфичные для каждой модели ричстакера.

Поскольку в зависимости от номера ряда опрокидывающий момент, создаваемый контейнером ($m_k l_k$), имеет линейный характер, а опрокидывающий момент, создаваемый частью ричстакера ($m_{p.опр} l_{p.опр}$), — характер степенной функции, их совместное действие также имеет характер степенной функции. Так как масса опрокидывающая отличается от массы предельно допустимой на некоторую постоянную величину запаса устойчивости, специфичную для каждой модели ричстакера, функцию зависимости предельно допустимой массы груза от ряда контейнера также можно описать степенной функцией.

При отсутствии технической документации, но наличии данных о допустимых нагрузках зависимость допустимой массы контейнера можно определить выражением

$$m_{доп.i} = m_{доп.1} - (ak_i^c - 1),$$

где $m_{доп.i}$ — допустимая масса контейнера в i -м ряду;

$m_{доп.1}$ — допустимая масса контейнера в 1-м ряду.

При использовании формулы (4) в практических расчетах коэффициенты a и c подбираются эмпирическим способом, исходя из технических характеристик грузоподъемности, указанных изготовителем перегрузочной техники. Например, для ричстакеров CVS Ferrari серии F500 [27] эти коэффициенты примут значения, приведенные в таблице.

**Коэффициенты a и c в зависимости от технических характеристик
грузоподъемности перегрузочной техники**

Модель	Грузоподъемность ричстакера в зависимости от размещения контейнера в штабеле			Коэффициенты	
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	a	c
CVS FERRARI F500-RS1	45	27	13	40	0,535
CVS FERRARI F500-RS2	45	31	16	11,8	1,128
CVS FERRARI F500-RS3	45	33	17	6,111	1,565
CVS FERRARI F500-RS5	45	36	19	2,39	2,252
CVS FERRARI F500-RS6	45	39	21	0,72	3,218

На основании найденных значений этих коэффициентов были построены графики зависимости допустимой массы контейнера от номера ряда целевого контейнера при выборке через ряды (рис. 4).

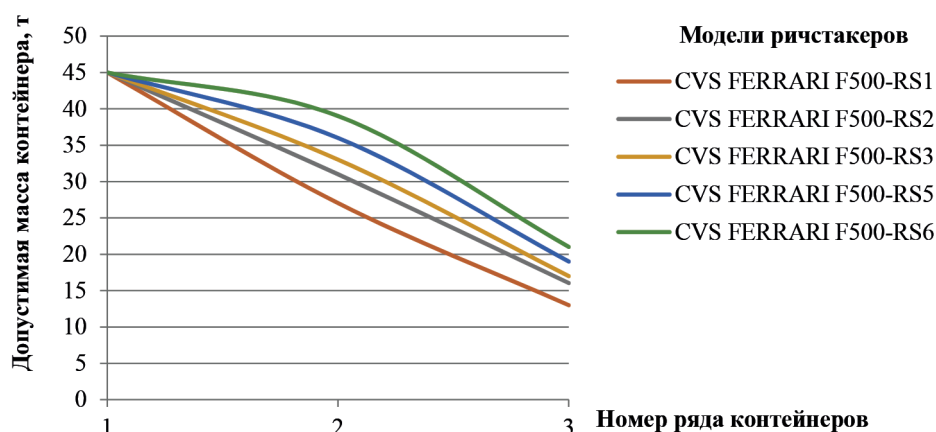


Рис. 4. Графики зависимости допустимой массы контейнера от номера ряда целевого контейнера при выборке через ряды

При грузовых операциях с контейнерами на ж/д платформах оценивать допустимую массу контейнера удобнее по расстоянию от места остановки ричстакера до центра тяжести контейнера, выраженному в метрах (рис. 5, а). Это может иметь значение не только при снятии контейнера с платформы, но и при его погрузке на платформу из штабеля. В этом случае будет решаться обратная задача, а именно определение максимально допустимого плеча, т. е. расстояния, на которое необходимо приблизиться, при допустимой массе контейнера (рис. 5, б). Превышение допустимого расстояния может привести к опрокидыванию ричстакера.

Высота штабелирования рассматриваемых ричстакеров заявлена «1 над 5 = 6·8'6"», что означает, что в 1-м ряду они могут штабелировать шесть ярусов, во 2-м ряду — пять, а в 3-м ряду — четыре яруса. Однако это только геометрическая доступность обработки контейнеров через ряды, обеспеченная максимальной длиной вылета стрелы (см. рис. 1). Определяющим критерием возможности работы через ряды является *допустимая масса контейнера* (см. рис. 4).

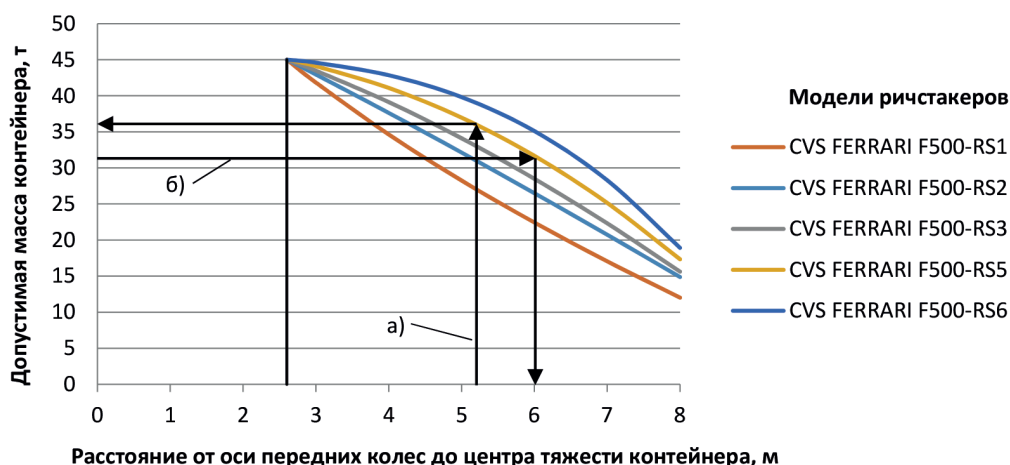


Рис. 5. Графики зависимости между допустимой массой контейнера и горизонтальной проекцией расстояния между осью передних колес ричстакера и центром тяжести контейнера:
а — определение допустимой массы при заданном расстоянии;
б — определение допустимого расстояния при заданной массе

Другой погрузочной машиной, альтернативной ричстакеру, является погрузчик со сменным навесным оборудованием [27]. Для обработки груженых контейнеров используются погрузчики со спредами верхнего захвата. Такие погрузчики работают только с ближним рядом штабеля.

Для доступа к контейнеру в глубине штабеля требуется выемка всех контейнеров, расположенных в блокирующем стеке.

Высота штабелирования погрузчика определяется высотой подъема каретки со спредером, а максимальная грузоподъемность является величиной постоянной для всех ярусов штабеля, поскольку плечо опрокидывающего момента контейнера l_k от высоты не зависит (рис. 6): $M_{опр} = m_k l_k$.

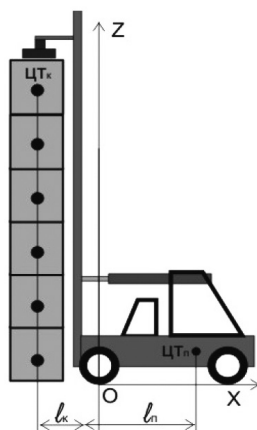


Рис. 6. Зависимость устойчивости погрузчика от местоположения контейнера

Работа через ряды при выполнении технологической операции расформирования операционного штабеля является технологическим преимуществом перегружателя типа ричстакер по сравнению с автопогрузчиком со спредером верхнего захвата. Однако при выемке контейнера из среднего ряда штабеля без разбора блокирующих стеков необходимо учитывать технические допуски ричстакера по весу контейнера и геометрической досягаемости. Графики, приведенные на рис. 2 и 4, позволяют оценить возможности ричстакера извлечь целевой контейнер из штабеля, работая через ряды. График, представленный на рис. 5, дает возможность установить связь между весом контейнера и максимально допустимой дистанцией, на которой ричстакер может поднимать или опускать контейнер.

Результаты (Results)

Увеличивающийся грузопоток через морские контейнерные терминалы явился причиной появления проблемы нехватки площадей для промежуточного хранения контейнеров. Поскольку расширение площади зоны хранения на работающем терминале, как правило, невозможно, проблему можно устранить с помощью решения ряда частных задач, среди которых выбор оптимальной конфигурации (прямоугольная или ступенчатая) штабеля контейнеров [13]. Данный выбор напрямую зависит от используемого перегрузочного оборудования, а также схем выемки целевого и блокирующих контейнеров.

Существуют две альтернативные технологические схемы расформирования штабеля, зависящие от применяемого оборудования:

- 1) выемка целевого контейнера с полной выборкой блокирующих стеков и ярусов;
- 2) выемка целевого контейнера с выборкой блокирующих ярусов и работой через ряды.

Схема работы с полной разборкой части штабеля до открытия доступа к целевому контейнеру позволяет формировать прямоугольный штабель с количеством ярусов, доступных для обработки погрузочными машинами. В качестве погрузочных машин в такой схеме могут использоваться как ричстакеры, так и погрузчики. Поскольку в данной схеме погрузочная машина работает только с ближним стеком, продвигаясь в глубину штабеля по мере выборки стеков, количество операций, выполняемых ричстакерами и погрузчиками в ней, одинаково.

Схема работы с частичной разборкой штабеля и выемкой целевого контейнера через ряды, предполагающая использование ричстакеров, требует формирования ступенчатого штабеля с умень-

шающимся количеством ярусов по мере удаления ряда с целевым контейнером (рис. 7) из-за длины вылета стрелы (рис. 2). В этом случае емкость штабеля уменьшается на 20 % по сравнению с классическим прямоугольным штабелем. В случае применения погрузчика со спредером верхнего захвата ступенчатый штабель обрабатывается по схеме — работа с только ближним стеком и продвижение в глубину штабеля по мере выборки стеков. Количество операций, выполняемых погрузчиком в этом случае, больше, чем у ричстакера. Сформировать ступенчатый штабель, если предполагается использовать на терминале одновременно и ричстакеры и погрузчики, из-за потери емкости штабеля, нецелесообразно.

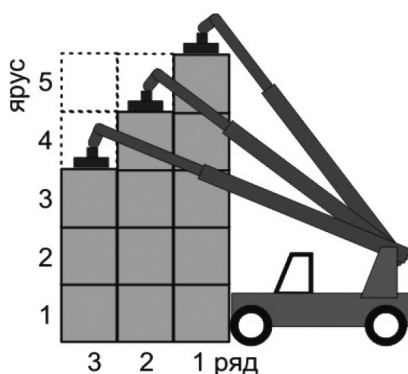


Рис. 7. Формирование штабеля под схему работы ричстакера через ряды (ступенчатая форма штабеля)

Рассмотрим вновь прямоугольный штабель, но с двумя альтернативными схемами его расформирования. Схема работы с полной разборкой части штабеля до открытия доступа к целевому контейнеру (работа с только ближним стеком и продвижение в глубину штабеля по мере выборки стеков) выполняется погрузчиком со спредером верхнего захвата, альтернативная схема (работа по возможности, через ряды) — выемка целевого контейнера и снятие блокирующих контейнеров поярусно выполняются ричстакером. Количество операций, выполняемых ричстакерами и погрузчиками в этих схемах, в общем случае различается и зависит от ряда, в котором расположен целевой контейнер (рис. 8).

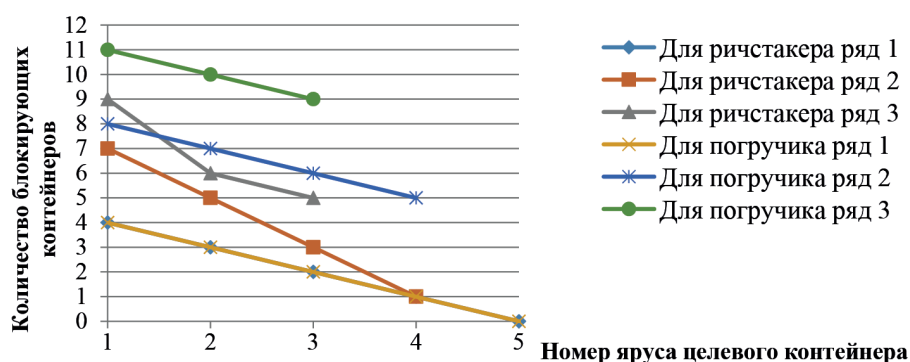


Рис. 8. Количество блокирующих контейнеров (в штабеле 1/5–2/4–3/3) в зависимости от места целевого контейнера при работе погрузчика, полностью разбирающего штабель, и ричстакера, работающего через ряды

Выполнив сравнение графиков на рис. 8, можно сделать следующие промежуточные выводы:

1. Количество операций с контейнерами 1-го ряда у ричстакера и погрузчика не отличается.
2. Количество операций с контейнерами 2-го ряда у ричстакера меньше, чем у погрузчика, на 1–4 контейнера в зависимости от яруса расположения целевого контейнера в стеке.
3. Количество операций с контейнерами 3-го ряда у ричстакера меньше, чем у погрузчика на 2–4 контейнера в зависимости от яруса расположения целевого контейнера в стеке.

Обсуждение (Discussion)

При сравнении эффективности использования ричстакеров и погрузчиков следует учитывать, что контейнеры 1-го ряда, где количество операций этих типов машин не различается, составляют 41,7 % объема штабеля. Кроме того, работа через ряды для ричстакера возможна лишь с относительно «легкими» грузами (рис. 5). Если, например, в 3-м ряду окажется контейнер с массой, превышающей допустимую, то штабель придется частично разбирать для продвижения машины вперед к целевому контейнеру. Иными словами, ричстакер потеряет в этом случае свое технологическое преимущество (работу через ряды), и «рисунок» технологической схемы будет аналогичен работе погрузчика со спредером верхнего захвата.

Теоретически существует возможность изначально формировать штабель временного хранения для ричстакера по принципу «тяжелые» контейнеры помещаем в ряды, располагающиеся ближе к технологическому проезду, «легкие» — в середину (в третий ряд от проезда) — см. рис. 7. Такое размещение контейнеров в штабеле позволит учесть технические допуски ричстакера по весу контейнера при его работе через ряды (см. таблицу с. 608), однако полностью не решит проблему аварийной остановки операции выемки контейнера из штабеля ввиду превышения веса изымаемого контейнера, так как среди недобросовестных грузоотправителей существует практика занижения веса груза в контейнере путем предоставления недостоверных сведений в сертификате VGM [28]. Наличие фактов недостоверного декларирования веса позволяет сделать вывод, что гарантировать отсутствие в штабеле контейнеров с массой, превышающей допустимую, не представляется возможным.

Наличие возможности аварийной остановки операции выемки контейнера из штабеля при работе ричстакера через ряды является проблемным фактором для цели данного исследования, так как нарушается один из важных принципов автоматизации: *принцип «безотладочной» технологии*. Согласно этому принципу автоматизировать технологический процесс можно только в том случае, если он (процесс) при выполнении не требует отладки на рабочих позициях. Аварийная остановка ричстакера при подъеме условно «тяжелого» контейнера приведет к необходимости отладки процесса на рабочей позиции, следовательно, технологическая схема с работой через ряды непригодна для автоматизации.

Технологическая схема работы с полным разбором блокирующих стеков и продвижением внутри штабеля перегружателя проигрывает в плане увеличения количества непроизводительных операций при выемке целевых контейнеров, при этом имеет несколько важных преимуществ. Во-первых, универсальность — подходит для выполнения как ричстакером, так и погрузчиком со спредером верхнего захвата. Во-вторых, «безотладочная» технология — касаясь колесной парой стека при подъеме контейнера, перегружатель берет максимальный заявленный изготовителем вес, т. е. устраняется возможность аварийного прерывания технологической операции. В-третьих, нечувствительность к емкости штабеля, т. е. отсутствие технологических ограничений на высоту и ширину формируемых в зоне хранения контейнерных штабелей при сохранении технических ограничений и следовательно, допустимые нагрузка на покрытие площадки и высота подъема каретки со спредером для автопогрузчика или длина стрелы ричстакера.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования сделаны следующие выводы:

1. Выполнение технологической операции расформирования операционного штабеля осуществляется с использованием двух технологических схем, различающихся между собой типом используемого перегрузочного оборудования (ричстакер или погрузчик со спредером верхнего захвата) и способом исполнения (работа через ряды с частичным разбором блокирующих стеков или работа с ближним рядом с полным разбором блокирующих стеков).

2. Каждая из рассмотренных схем имеет как преимущества, так и недостатки. С технологической точки зрения (критерий минимизации непроизводительных операций перегрузочного оборудования) более эффективной является схема применения ричстакера с частичным разбором

блокирующих стеков и выемкой контейнеров через ряды, однако для нее невозможно гарантировать выполнение принципа «безотладочной» технологии, важного для автоматизации любых технологических процессов. Следовательно, в рамках данного исследования преимущество имеет схема применения ричстакера или погрузчика со спредером верхнего захвата с полным разбором блокирующих стеков и выемкой контейнеров только из ближнего ряда.

3. Преимуществами выбранной технологической схемы расформирования контейнерного штабеля в рамках автоматизации рабочего цикла автопогрузчика являются: универсальность, «безотладочная» технология исполнения и нечувствительность к емкости штабеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозерцева Н. П. Тенденции и трансформации на Дальневосточном рынке контейнерных перевозок в 2022 году: особенности и противоречия / Н. П. Белозерцева, М. Е. Брылева // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика: материалы III Национальной научно-образовательной конференции: в 2 ч., Санкт-Петербург, 28 октября 2022 года. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. — Т. Часть 1. — С. 291–296.

2. Логистический коллапс. Морские перевозки, текущая ситуация и варианты выхода // Военное обозрение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://topwar.ru/193587-logisticheskij-kollaps-morskie-perevozki-tekuschaja-situacija-i-varianty-vyhoda.html> (дата обращения: 20.04.2023).

3. Грузопотоки через российские порты меняют направление // Морские вести России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.morvesti.ru/analitika/1688/96309/> (дата обращения: 20.04.2023).

4. РЖД направили в Минтранс предложение о перепрофилировании портов Дальнего Востока // PortNews [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://portnews.ru/news/328357/> (дата обращения: 24.04.2023).

5. Кудрявцева Т. Д. Об определении перерабатывающей способности контейнерных терминалов / Т. Д. Кудрявцева, Д. Н. Куклев // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2020. — № 2 (23). — С. 18–20.

6. 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.

7. 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.

8. Азимов Ф. К. Методика расчёта рациональных параметров контейнерного депо / Ф. К. Азимов, Д. И. Илесалиев, А. В. Цыганов // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2021. — Т. 11. — № 1. — С. 41–53. DOI: 10.18503/2222-9396-2021-11-1-41-53.

9. Расулов М. Х. Определение вместимости контейнерного терминала, обслуживаемого ричстакером / М. Х. Расулов, Ш. Р. У. Абдувахитов, Д. И. Илесалиев // Инновационный транспорт. — 2019. — № 1 (31). — С. 35–39. DOI: 10.20291/2311-164X-2019-1-35-39.

10. 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.

11. Кузнецов А. Л. Селективность контейнеров в различных транспортно-технологических схемах / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. А. Радченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.

12. Соловьева Е. Е. Исследование подходов в разработке алгоритмов управления автоматизированной системой организации поиска и выемки контейнеров / Е. Е. Соловьева // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Пятой международной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 18–21 октября 2022 года. — Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. — С. 70–74.

13. Гомбосэд С. Техническое оснащение контейнерных площадок / С. Гомбосэд, О. Б. Маликов // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2013. — Т. 3. — № 1. — С. 7–16.
14. Соловьева Е. Е. Оптимизация работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов: технологический аспект / Е. Е. Соловьева // Актуальные проблемы развития судоходства и транспорта: Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием, Владивосток, 16–17 ноября 2022 года. — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2022. — С. 146–153.
15. Kuznetsov A. The Influence of the Storage Strategy on the Complexity of the Container Selection Procedure / A. Kuznetsov, A. Kirichenko, O. Izotov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2018. — Vol. 171. — No. 1. — Pp. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/171/1/012046.
16. Маликова Т. Е. Организация таможенного контроля на контейнерных терминалах в морских пунктах пропуска / Т. Е. Маликова // Проблемы транспорта Дальнего Востока: FERBAT-13: материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, 02–04 октября 2013 года. — Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. — С. 81–83.
17. Радочинская А. Ж. Моделирование процесса обработки импортного грузопотока на контейнерном терминале в среде MATLAB / А. Ж. Радочинская, А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Сборник докладов Второй Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2021 года. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. — С. 144–149. DOI: 10.31799/978-5-8088-1554-4-2021-2-144-149.
18. Маликова Т. Е. Анализ процесса формирования таможенного логистического потока на контейнерном терминале / Т. Е. Маликова, Ю. В. Гришина // Проблемы транспорта Дальнего Востока: FERBAT-13: материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, 02–04 октября 2013 года. — Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. — С. 217–218.
19. 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.
20. Оськин Д. А. Система с переменной структурой для управления манипуляционным роботом / Д. А. Оськин, М. Е. Дьяченко // Вестник Морского государственного университета. — 2016. — № 75. — С. 54–56.
21. Маликова Т. Е. Детерминированный конечный автомат поиска контейнеров в штабеле / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, А. Ж. Радочинская // Эксплуатация морского транспорта. — 2022. — № 4 (105). — С. 91–100. DOI: 10.34046/aumsuomtl05/11.
22. Маликова Т. Е. Склады и складская логистика / Т. Е. Маликова. — М.: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2021. — 157 с.
23. Малышев Н. В. Перспективы безлюдных технологий на контейнерных терминалах / Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019): труды Восьмой научно-технической конференции, Москва, 21 ноября 2019 года. — М.: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2019. — С. 244–247.
24. Dyda A. A. Robot dynamics identification via neural network / A. A. Dyda, D. A. Oskin, A. V. Artemiev // 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). — IEEE, 2015. — Vol. 2. — Pp. 918–923. DOI: 10.1109/IDAACS.2015.7341437.
25. Оськин Д. А. Решение обратной задачи кинематики для манипуляционного робота методом штрафных функций / Д. А. Оськин, А. А. Дыда // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 11–4. — С. 673–677.
26. 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, 4–21 апреля 2023 года. — СПб.: Санкт-Петербургский гос. ун-т аэрокосмического приборостроения, 2023. — Ч. 1. — С. 220–224. DOI: 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224.

27. Ричстакеры CVS Ferrari [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.cvsferrarius.ru/richstakery/> (дата обращения: 10.04.2023).

28. Тонконог В. В. Проблемные вопросы занижения веса груза в контейнерах, перемещаемых морским транспортом / В. В. Тонконог, Е. В. Филатова, Т. В. Головань // Путеводитель предпринимателя. — 2018. — № 40. — С. 268–288.

REFERENCES

1. Belozertseva, N. P., and M. E. Bryleva. “Trends and transformations in the far eastern container transportation market in 2022: features and contradictions.” *Logistika: forsajt-issledovaniya, professiya, praktika: materialy III Nacional'noj nauchno-obrazovatel'noj konferencii*. Vol. 1. SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2022. 291–296.

2. “Logisticheskii kollaps. Morskie perevozki, tekushchaya situatsiya i varianty vykhoda.” *Voennoe obozrenie*. Web. 20 Apr. 2023 <<https://topwar.ru/193587-logisticheskij-kollaps-morskie-perevozki-tekushchaya-situatsiya-i-varianty-vykhoda.html>>.

3. “Gruzopotoki cherez rossiiskie porty menyayut napravlenie.” *Morskie vesti Rossii*. Web. 20 Apr. 2023 <<https://www.morvesti.ru/analitika/1688/96309/>>.

4. “RZhD napravili v Mintrans predlozhenie o pereprofilirovanii portov Dal'nego Vostoka.” *PortNews*. Web. 24 Apr. 2023 <<https://portnews.ru/news/328357/>>.

5. Kudryvtseva, Tat'yana Dmitrievna, and Denis Nikolaevich Kuklev. “Determining processing capacity of container terminals.” *Transport of the Asia-Pacific Region* 2(23) (2020): 18–20.

6. Timoshek, E. S., and T. E. Malikova. “Analytical review of models and methods in fleet management.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(101) (2021): 38–51. DOI 10.34046/aumsuomtl01/7.

7. Khleborodov, V. S., and S. N. Kornilov. “Analiz effektivnosti sushchestvuyushchikh sistem organizatsii konteynernykh terminalov pri ispol'zovanii razlichnogo transportno-gruzovogo oborudovaniya.” *Modern Problems of Russian Transport Complex* 2.1 (2012): 238–251.

8. Azimov, F. K., D. I. Ilesaliev, and A. V. Tsyganov. “Methodology for calculating the rational parameters of a container depot.” *Modern Problems of Russian Transport Complex* 11.1 (2021): 41–53. DOI: 10.18503/2222-9396-2021-11-1-41-53.

9. Rasulov, Marufdjan X., Shahboz R. Abduvahitov, and Daurenbek I. Ilesaliev. “Defining the capacity of the container terminal served by a reach staker.” *Innotrans* 1(31) (2019): 35–39. DOI: 10.20291/2311-164X-2019-1-35-39.

10. Yanchenko, A. A., T. E. Malikova, and A. V. Kuzmin. “The algorithm for ship clearance at port according to the technology of preliminary informing customs authorities under the conditions of the free port of Vladivostok.” *Territorii operezhayushchego sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya v Rossiiskoi Federatsii i svobodnyi port Vladivostok: sbornik nauchnykh trudov X Regional'noi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 25-letiyu FTS Rossii*. Vladivostok: Vladivostokskii filial Rossiiskoi tamozhennoi akademii, 2016. 257–262.

11. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Anna A. Radchenko. “Box selectivity in different container cargo-handling systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.

12. Soloveva, E. E. “Research of approaches in the algorithms development for managing an automated system for organizing the search and seizure of containers”. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya: Materialy Pyatoy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Petropavlovsk-Kamchatskij: Kamchatskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. 70–74.

13. Gombosed, S., and O. B. Malikov. “Technical equipment of container yards.” *Modern Problems of Russian Transport Complex* 3.1 (2013): 7–16.

14. Solovyova, Ekaterina E. “Optimization of operation of rear cargo fronts of sea container terminals: technological aspect.” *Aktual'nye problemy razvitiya sudokhodstva i transporta: Materialy Natsional'noi nauchno-tehnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Vladivostok: Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhoziaistvennyi universitet, 2022. 146–153.

15. Kuznetsov, A., A. Kirichenko, and O. Izotov. “The Influence of the Storage Strategy on the Complexity of the Container Selection Procedure.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 171. No. 1. IOP Publishing, 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/171/1/012046.

16. Malikova, T. E. “Organization of customs control in container terminals at maritime crossing points.” *Problemy transporta Dalnego Vostoka. FEBRAT-2013: materialy yubileinoi desyatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 200-letiyu admirala G. I. Nevelskogo*. Vladivostok, 2013. 81–83.

17. Radochinskaia, A. Zh., A. A. Yanchenko, and T. E. Malikova. "Simulation of the Import Bound Cargo Traffic Processing at a Container Terminal in MATLAB Environment." *Aerokosmicheskoe priborostroenie i ekspluatatsionnye tekhnologii. Sbornik dokladov Vtoroj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii*. SPb., 2021. 144–149.
18. Malikova, T. E., and Iu. V. Grishina. "Customs logistic flow procedure analysis in a container terminal." *Problemy transporta Dalnego Vostoka. FEBRAT-2013: materialy yubileinoi desyatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 200-letiyu admirala G. I. Nevel'skogo*. Vladivostok, 2013. 217–218.
19. Malyshev, N. V., and E. K. Korovyakovskiy. "Robotic automation of logistics container terminals." *Bulletin of scientific research results* 1 (2020): 15–25. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-1-15-25.
20. Os'kin, D. A., and M.E. D'yachenko. "Sistema s peremennoj strukturoj dlya upravleniya manipulyacionnym robotom." *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta* 75 (2016): 54–56.
21. Malikova, T. E., E. E. Soloveva, and A. Zh. Radochinskaia. "Deterministic finite state machine for search of containers in stack." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(105) (2022): 91–100. DOI: 10.34046/aumsuomt105/11.
22. Malikova, T. E. *Sklady i skladskaya logistika*. M.: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Izdatel'stvo YuRAIT", 2021.
23. Malyshev, N. V., and E. K. Korovyakovskii. "Perspektivy bezlyudnykh tekhnologii na konteynernykh terminalakh." *Intellektual'nye sistemy upravleniya na zhelezнодорожном транспорте. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie (ISUZht-2019): trudy Vos'moi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. M.: Aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-issledovatel'skii i proektno-konstruktorskii institut informatizatsii, avtomatizatsii i svyazi na zhelezнодорожном транспорте", 2019. 244–247.
24. Dyda, Alexander A., Dmitry A. Oskin, and Andrey V. Artemiev. "Robot dynamics identification via neural network." *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. Vol. 2. IEEE, 2015. 918–923. DOI: 10.1109/IDAACS.2015.7341437.
25. Oskin, D. A., and A. A. Dyda. "Inverse kinematics problem for manipulator robot by penalty function method." *Fundamental research* 11–4 (2015): 673–677.
26. Malikova, T. E., E. E. Soloveva, and A. Zh. Radochinskaia. "Loader work cycle automation at the mechanized container terminal." *Aerokosmicheskoe priborostroenie i ekspluatatsionnye tekhnologii: Chetvertaya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya*. SPb.: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet aerokosmicheskogo priborostroeniya, 2023. 220–224. DOI: 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-220-224.
27. Richstakery CVS Ferrari. Web. 10 Apr. 2023 <<http://www.cvsferrarius.ru/richstakeryi/>>.
28. Tonkonog, V. V., E. V. Filatova, and T. V. Golovan. "Problems of underestimation of the weight of the load in containers, moved by sea transport." *Entrepreneur's Guide* 40 (2018): 268–288.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ганнесен Виталий Витальевич — доцент
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
690087, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Луговая, д. 52-Б
e-mail: gannesen.vv@dgtru.ru

Маликова Татьяна Егоровна —
доктор технических наук, доцент
Морской государственный университет имени
адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,
Верхнепортовая, 50 а
e-mail: Malikova@msun.ru

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gannesen, Vitalii V. —
Associate Professor
Far Eastern State Technical Fisheries University
52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087,
Russian Federation
e-mail: gannesen.vv@dgtru.ru

Malikova, Tatiana E. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Maritime State University named after
Admiral G. I. Nevel'skoi
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation
e-mail: Malikova@msun.ru

Petrova, Ekaterina E. —
Senior Lecturer
Far Eastern State Technical
Fisheries University
52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087,
Russian Federation
e-mail: pillers@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 мая 2023 г.
Received: May 11, 2023.