

Научная статья
УДК 656.073.28/658.274
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-61-69>
EDN OVBWGX

Методическое обоснование выбора технологического оборудования на контейнерных терминалах российских морских портов

Владимир Анатольевич Лазарев¹✉, Иван Сергеевич Меркулов²

¹*Морской государственный университет имени Г. И. Невельского,
Владивосток, Россия, lazarev@msun.ru✉*

¹*Институт экономических исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Хабаровск, Россия*

²*Владивостокский государственный университет,
Владивосток, Россия*

Аннотация. Предложена методика, позволяющая обосновать альтернативное применение на контейнерном терминале в качестве перегрузочного оборудования ричстакера либо крана RTG. Оба вида оборудования обладают определенными преимуществами и недостатками, которые проявляются при обработке контейнерных партий. Особенностью текущего состояния деловой активности морских портов является снижение грузо потока, и на этом фоне приобретает особую значимость технологическая и экономическая эффективность оборудования. Отдельной проблемой является ограниченность складских площадей крупных портов из-за того, что их территория находится под давлением городской агломерации. Установлено, что в настоящее время контейнерные терминалы стремятся отдавать предпочтение крану RTG как более производительному оборудованию, обеспечивающему высокую плотность складирования. Существуют вполне определенные условия, при которых ричстакер может оказаться предпочтительной техникой, прежде всего из-за относительно невысокой стоимости одной операции. В качестве базовой для исследования выбрана контейнерная партия, размер которой является случайным в диапазоне от двух до десяти контейнеров. Вследствие ограничений грузового плана судна контейнеры из одной партии обычно не размещаются рядом, поэтому при выгрузке они также оказываются на случайных позициях контейнерной площадки. При размере контейнерной партии в девять единиц и более кран RTG проигрывает ричстакеру по числу операций отгрузки, а с учетом стоимости одной операции граница его эффективности сдвигается к четырем единицам. Отмечено, что кран RTG может получить дополнительные преимущества, если оператор контейнерного терминала разместит контейнеры в соответствии с предварительным планом, предполагающим кластерное размещение контейнерных партий.

Ключевые слова: контейнерный терминал, ричстакер, кран RTG, штабель, себестоимость перегрузочных операций

Для цитирования: Лазарев В. А., Меркулов И. С. Методическое обоснование выбора технологического оборудования на контейнерных терминалах российских морских портов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 2. С. 61–69. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-61-69>. EDN OVBWGX.

Original article

Methodological justification of the choice of technological equipment at container terminals of Russian seaports

Vladimir A. Lazarev¹✉, Ivan S. Merkulov²

¹*Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russia, lazarev@msun.ru✉*

¹*Economic Research Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, Russia*

²*Vladivostok State University,
Vladivostok, Russia*

Abstract. A methodology is proposed to justify the alternative use of a reachstacker or an RTG crane at a container terminal. Both types of machines have distinct advantages and disadvantages that show itself during container transfer. The current state of business activity at seaports is characterized by declining cargo traffic, making the technological and economic efficiency of equipment especially important. A separate issue is the limited storage space at large ports due to their urban stress. It has been established that container terminals are currently favoring RTG cranes as more productive equipment, enabling high-density storage. There are specific conditions under which a reach-stacker may be the preferred equipment, primarily due to its relatively low cost per operation. A random container lot, ranging in size from two to ten containers, was chosen as the baseline for the study. Due to ship loading plan constraints, containers from the one lot are typically not placed nearby each other, so during unloading, they also land in random positions on the container yard. For container lots of nine or more units, an RTG crane loses out to a reach stacker in terms of the number of cargo operations, and considering the cost per operation, the efficiency point shifts to four units. It is also noted that an RTG crane may gain additional advantages if the container terminal operator places containers according to a preliminary plan that assumes cluster placement of container lots.

Keywords: container yard, reach-stacker, RTG crane, stack, cost of cargo operations

For citation: Lazarev V. A., Merkulov I. S. Methodological justification of the choice of technological equipment at container terminals of Russian seaports. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;2:61-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-61-69>. EDN OVBWGX.

Введение

На современном этапе контейнерные перевозки остаются ключевым звеном глобальной логистики, но фазу стремительного роста сменила фаза замедления и местами стагнации. По мировым итогам 2024 г. совокупный оборот топ-портов составил порядка 414,6 млн TEU (+7,1 % к аналогичному периоду предыдущего года), при этом рост был неравномерным и заметно ниже «доковидных» трендов экспансии [1]. Это подтверждает переход рынка в более зрелую стадию, где выигрывают решения, обеспечивающие эффективность на единицу вложений, а не только масштаб операций. Показатели российского контейнерного рынка в 2024–2025 гг. демонстрируют разнонаправленную динамику. По итогам января–октября 2025 г. контейнерооборот морских портов России составил около 4,37–4,38 млн TEU, что несколько ниже уровня аналогичного периода прошлого года [2]. Согласно данным отраслевой статистики, совокупный контейнерооборот российского рынка (включая морские порты и другие виды транспорта) за первые десять месяцев 2025 г. составил около 5,9 млн TEU, что на 5,6 % меньше по сравнению с январем–октябрем 2024 г. [3]. Указанные результаты отражают изменение структуры контейнерных потоков и динамики спроса в 2025 г.

Анализ показателей работы ключевых портов свидетельствует о разнонаправленной динамике.

1. Санкт-Петербург (Большой порт + терминалы Санкт-Петербургской агломерации). В 1-м кв. 2025 г. обработка контейнеров выросла на 12,8 % – до 396,8 тыс. TEU, а общий грузооборот порта за январь–август составил 37,1 млн т (+4,8 % к аналогичному периоду предыдущего года) [4], что косвенно подтверждает устойчивость контейнерного сегмента на Балтике. Дополнительно в июле–августе зафиксирован ускоренный рост по бассейну [5].

2. Новороссийск (Азово-Черноморский бассейн). В 2025 г. рынок демонстрирует волатильность: после

мартовского пика (более 120 тыс. TEU за месяц) в апреле – откат до 95,5 тыс. TEU (–9 % к аналогичному периоду предыдущего года), а по итогам января–августа бассейн в целом прибавил +6 % к аналогичному периоду предыдущего года [6]. Ставки на направлении «Новороссийск – Александрия» летом 2025 г. росли (экспортная ставка – около 1 400 долл. США/TEU, импортная – около 1 534 долл. США/TEU в августе), что отражает напряженность мощностей и спроса.

3. Порты Дальнего Востока также демонстрируют изменение динамики контейнерооборота. По итогам 2024 г. Владивостокский морской торговый порт обработал 879 тыс. TEU, установив рекорд по объему перевалки контейнеров в регионе [7]. Однако в январе–октябре 2025 г. суммарный контейнерооборот портов Дальневосточного бассейна составил около 1,92 млн TEU, что на 13,4 % меньше показателя за аналогичный период предыдущего года. Снижение наблюдается и по отдельным портам бассейна, что отражает изменение структуры грузопотоков.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что портовый контейнерный рынок региона испытывает значительную нагрузку и возможную переориентацию в условиях меняющейся логистики. Суммарно это указывает на достижение рынком фазы насыщения: быстрых приростов уже нет, а капиталоемкость терминалов и стоимость ошибки увеличиваются. В таких условиях необходимо рационально распределять ресурсы, устранять узкие места, повышать оборачиваемость складских мощностей и тщательно выбирать технологическую конфигурацию фронта. Одним из наиболее острых вопросов в стратегии контейнерных терминалов становится выбор технологического оборудования, в частности вопрос, который приходится решать при выборе технологического оборудования, обслуживающего складские мощности в портах, – это альтернативный выбор между ричстаке-

ром и краном RTG (Rubber-Tyred Gantry). Кран RTG влечет значительно более высокие капитальные затраты и требования к инфраструктуре, но последующая эксплуатация обеспечивает невысокую удельную себестоимость при стабильном или высоком контейнеропотоке, лучшую производительность на единицу площади и предсказуемость операций при ограниченной территории. Ричстакер предлагает относительно невысокие входные затраты на основные фонды (CAPEX, Capital Expense), гибкость при меняющихся объемах, но значительные операционные затраты (OPEX, Operational Expense) на единицу груза и чувствительность к планировке склада. Данный выбор не простой, ведь необходимо учитывать множество факторов: стоимости инвестиций и эксплуатационных расходов, обязательная гибкость при изменяющихся объемах, возможности масштабирования и резервы роста, а также ограничения по площади и доступной инфраструктуре.

Постановка проблемы

Развитие контейнерных перевозок в России сопровождается ростом нагрузки на существующую инфраструктуру при объективных ограничениях на ее расширение. В условиях дефицита складских площадей и высокой стоимости нового оборудования перед стивидорными компаниями встает задача поиска оптимальных решений, позволяющих максимально эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Наиболее критично становится организация работы со штабелями контейнеров. Конфигурация складских площадок в портах Дальнего Востока, Санкт-Петербурга и Новороссийска показывает, что в большинстве случаев хранение осуществляется в 4-5 ярусов с применением как ричстакеров, так и кранов RTG. При этом пропускная способность контейнерных складов определяется вместимостью и оборачиваемостью. Увеличение вместимости без привлечения новых земельных площадей возможно только за счет оптимизации конфигурации штабеля и выбора наиболее эффективных средств механизации. При этом каждая из технологий имеет свои преимущества и ограничения:

– ричстакер обеспечивает высокую гибкость и меньшие капитальные вложения, но осуществляет доступ только к фронтальной части штабеля, требует значительных проходных площадей и создает избыточные перестановки при доступе к контейнеру;

– кран RTG обеспечивает более высокую плотность складирования и меньшую себестоимость при больших объемах, но требует значительных капитальных затрат и более дорогого обслуживания, а также наличия специально подготовленных подкрановых путей и планировки складской площадки, соответствующей габаритам и траектории

движения крана.

Задача сравнения эффективности ричстакера и крана RTG для случая одиночного контейнера была рассмотрена в [8]. В существующих условиях ключевой проблемой становится не столько работа с отдельным контейнером, сколько обработка партии из 2–10 контейнеров, что составляет типичный случай отгрузки для одного клиента или направления. При этом эффективность механизации определяется не столько временем обработки единичного контейнера, сколько количеством дополнительных операций для доступа к нужной позиции в штабеле.

В условиях ограниченности складских площадей и необходимости контроля издержек ключевой задачей становится проведение сравнительной оценки эффективности применения ричстакера и RTG для обработки партии контейнеров. Сравнение должно учитывать количество дополнительных операций, суммарное время обработки, влияние на оборачиваемость склада и удельную стоимость переработки. Решение этой задачи позволит сформулировать практические рекомендации по выбору наиболее рациональной схемы механизации для российских портов в условиях ограниченных площадей и жестких требований к экономии ресурсов. Такой подход позволит выявить реальные издержки технологического процесса и определить оптимальную конфигурацию средств механизации для терминала.

Сравнительный анализ эффективности средств механизации

В первую очередь рассмотрим модель работы ричстакера. Предположим, имеется штабель из 45-и контейнеров, расположенных в конфигурации 5 ярусов по высоте и 9 позиций по длине, с тыльной части ограниченный препятствием – обычно в виде границы участка. Доступ для ричстакера возможен только с фронтальной стороны штабеля, съём контейнеров выполняется последовательно по ярусам и рядам: разбор сверху вниз, затем переход на следующий ряд [9]. Извлечение контейнеров из других рядов до полного освобождения доступа к ним невозможно, что соответствует классической фронтальной схеме работы и «блокированным» штабелям в тылу [10]. В вероятностной модели, принятой для оценки работы ричстакера, предполагается линейная последовательность снятия контейнеров [11, 12]. Количество перегрузочных операций определяется позицией самого позднего контейнера из партии. Поскольку для извлечения партии из k контейнеров требуется минимум k операций, а максимум соответствует полному разбору штабеля $N = 45$, случайная величина M_k – число движений ричстакера – принимается равномерно распределенной на интервале $[k, 45]$.

Количество движений определяется позицией самого дальнего контейнера из партии, то есть:

$$M(k) = \max(X_1, X_2, \dots, X_k),$$

где X_i – позиция данного контейнера в штабеле, что соответствует линейной последовательности $N 1, \dots, 45$.

Тогда математическое ожидание числа операций по выемке партии контейнеров:

$$E[M_k] = \frac{k + 45}{2}.$$

В случае крана RTG доступ к каждому верхнему контейнеру штабеля возможен независимо, что позволяет выбирать контейнеры из любого вертикального ряда до тех пор, пока не будет достигнута целевая позиция. При равномерном распределении целевого контейнера по высоте математическое ожидание числа снятий для одного контейнера имеет вид:

$$E[t] = \frac{1+5}{2} = 3.$$

Следовательно, если требуется извлечь k случайных контейнеров, расположенных в разных штабелях, суммарное среднее число операций будет составлять:

$$E[M_k^{\text{RTG}}] = kE[t] = 3k.$$

Число операций, выполняемых краном RTG, зависит только от высоты позиции целевого контейнера в штабеле, поэтому математическое ожидание числа перемещений складывается линейно: RTG работает независимо по каждому вертикальному ряду, опускаясь до уровня целевого контейнера.

Сравнительный анализ производительностей

Зависимость среднего числа перемещений от числа контейнеров в извлекаемой партии для ричстакера и крана RTG представлена на рис. 1.

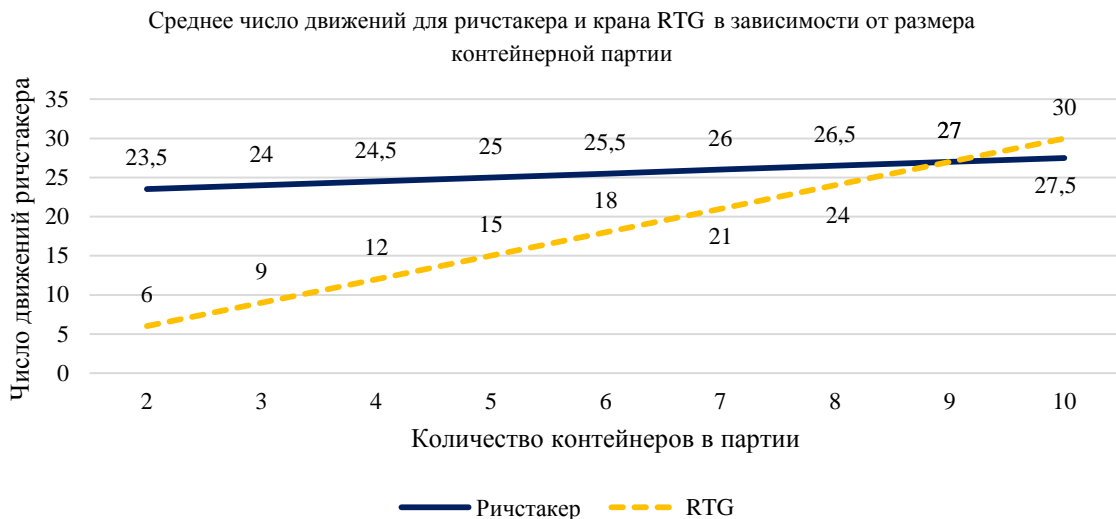


Рис. 1. Зависимость числа движений ричстакера и RTG от размера партии

Fig. 1. Dependence of the number of movements of the richstacker and RTG on the batch size

Здесь важно сделать существенное замечание. Если 2 (или больше) контейнера из одной партии попадают в один и тот же вертикальный ряд, число операций RTG уменьшается. Рассмотрим, каким будет математическое ожидание числа перемещений для партии из 2-х контейнеров, если оба контейнера оказались в одном вертикальном ряду. В этом случае число равновероятных размещений двух ($k = 2$) контейнеров в вертикальном ряду из пяти ($n = 5$) ярусов равно:

$$P = \frac{n!}{k!(n-k)!} = 10.$$

Для каждого варианта размещения этих контейнеров число движений крана RTG определяется как наиболее удаленная от верха ряда позиция 2-го контейнера. Возможен один вариант размещения 2-го контейнера на второй позиции, два – на третьей позиции, три – на четвертой и четыре – на пятой. Пример расчета математического ожидания числа операций крана RTG для данного случая приведен в табл. 1.

Согласно табл. 1 математическое ожидание числа движений RTG будет определяться как $40 / 10 = 4$ движения. На основании рис. 1 можно заключить, что при обработке небольших партий ричстакер всегда будет проигрывать крану RTG по числу

движений. Но при размере партии в 9 единиц ричстакер и RTG сравниваются по числу движений, если контейнеры распределены по штабелю равномерно случайно, для партии из 10-и единиц кран RTG проигрывает ричстакеру. Здесь важно учитывать один факт. Обычно зона доступа у RTG значительно больше, чем у ричстакера. Зону доступа ричстакера в данной статье предложено ограничить штабелем из 45-и контейнеров. Если также ограничить зону доступа крана RTG штабелем

из 9-и рядов и 5-и ярусов, то в случае партии из 10-и контейнеров как минимум 2 из них окажутся в одном вертикальном ряду, и для извлечения этой группы контейнеров крану RTG потребуется 4 движения вместо 6-и, что практически обнулит весь выигрыш ричстакера. Таким образом, если считать партии от 2-х до 10-и контейнеров равновероятными, то математическое ожидание числа движений ричстакера составит 25,5, а крана RTG – 18 (или 17,78 с учетом ограничения зоны доступа).

Таблица 1

Table 1

Расчет математического ожидания числа операций крана RTG для партии из двух контейнеров

Calculation of the mathematical expectation of the number of RTG crane operations for a batch of two containers

№ варианта размещения	Позиция 1-го контейнера	Позиция 2-го контейнера	Число операций по извлечению партии	Вероятность варианта размещения	Произведение числа операций на вероятность события
1	1	2	2	100 % / 10 = 10 %	0,2
2	1	3	3	100 % / 10 = 10 %	0,3
3	1	4	4	100 % / 10 = 10 %	0,4
4	1	5	5	100 % / 10 = 10 %	0,5
5	2	3	3	100 % / 10 = 10 %	0,3
6	2	4	4	100 % / 10 = 10 %	0,4
7	2	5	5	100 % / 10 = 10 %	0,5
8	3	4	4	100 % / 10 = 10 %	0,4
9	3	5	5	100 % / 10 = 10 %	0,5
10	4	5	5	100 % / 10 = 10 %	0,5
<i>Математическое ожидание числа операция $\Sigma =$</i>					<i>4</i>

Экономическая оценка эффективности оборудования

Для расчета себестоимости использованы реальные рыночные ориентиры стоимости и производительности оборудования, основанные на данных производителей и отраслевых источниках (Kalmar, ZPMC, Konecranes, BetterCrane, YTHoist) [13–15]. На основе среднеотраслевых данных стоимость ричстакера имеет порядок 0,25–0,35 млн долл. США [16, 17] при годовых эксплуатационных расходах около 0,1–0,12 млн долл. США, стоимость крана RTG – порядок 1,8–2,2 млн долл. США с годовыми расходами 0,15–0,2 млн долл. США [18, 19].

Для типичного крана RTG средней мощности (50–60 т) с дизель-генераторной установкой:

- цена нового – около 2,0 млн долл. США;
- годовые эксплуатационные расходы (ОРЕХ + ТО) – ориентировочно 200 тыс. долл. США;
- срок службы – 10 лет;
- производительность – 12 перемещений/ч, 4 тыс. ч/год.

Для ричстакера грузоподъемностью 45 т:

- цена нового – около 300 тыс. долл. США;
- годовые эксплуатационные расходы – ориен-

тировочно 112 тыс. долл. США;

- срок службы – 10 лет;
- производительность – 10 перемещений/ч, 4 тыс. ч/год.

Таким образом, годовая нагрузка составляет: для крана RTG – 48 тыс. перемещений, для ричстакера – 40 тыс. перемещений.

Рассчитаем удельную стоимость одного перемещения:

$$\text{Удельная стоимость} = \frac{\text{CAPEX}_{\text{год}} + \text{ОРЕХ}_{\text{год}}}{\text{Количество перемещений в год}}$$

В итоге стоимость одной операции составит примерно 3,5 долл. США для ричстакера и 8,3 долл. США для крана RTG. Результаты сведены в табл. 2.

Подход к оценке затрат за одно перемещение и выбору конфигурации парка оборудования базируется на совмещении технико-экономических параметров перегрузочной техники и общих принципов проектирования и эксплуатации контейнерных терминалов, изложенных в международных руководствах и стандартах [20, 21]. Средняя себестоимость обработки партии рассчитывается умножением удельной стоимости перемещения на математи-

ческое ожидание числа перемещений. Для партий размером от 2-х до 10-и контейнеров ожидаемые

стоимости обработки партии приведены на рис. 2.

Таблица 2

Table 2

Удельная стоимость одного перемещения для ричстакера и крана RTG

The unit cost per move for RTG reach stacker and crane

Оборудование	CAPEX + OPEX, долл. США/год	Число перемещений/год	Стоимость за 1 перемещение, долл. США
Кран RTG	400 000	48 000	8,33
Ричстакер (45 т)	142 000	40 000	3,55

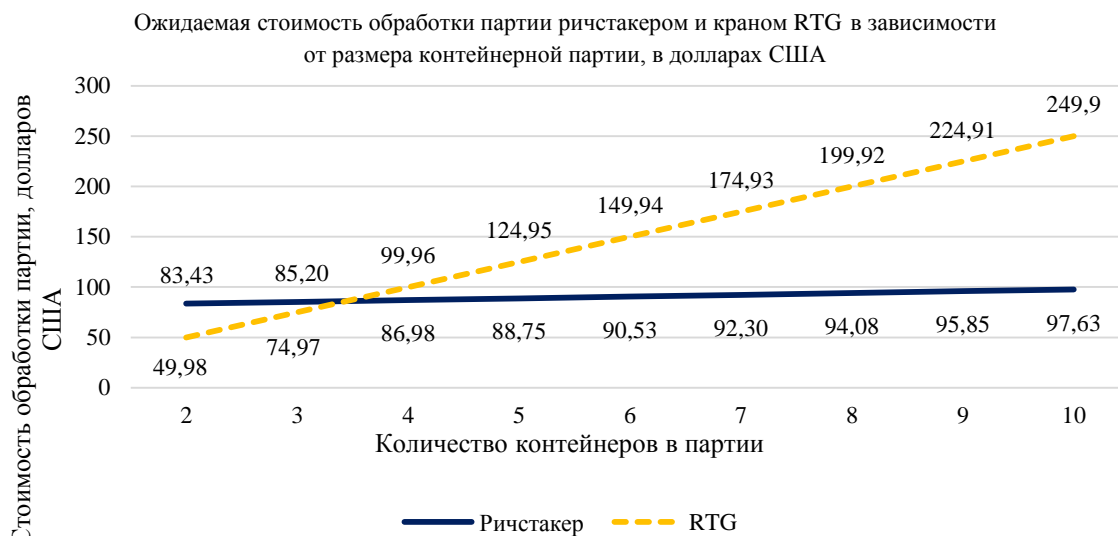


Рис. 2. Зависимость издержек ричстакера и RTG от размера контейнерной партии

Fig. 2. Dependence of the costs of the richstacker and RTG on the size of the container batch

При малых партиях RTG обеспечивает более низкую стоимость обработки за счет меньшего числа перемещений и высокой производительности. Однако при увеличении партии до 4-х контейнеров ситуация меняется, и обработка партии краном RTG становится дороже. В этой ситуации ричстакер демонстрирует более низкую суммарную себестоимость, несмотря на большее число перемещений, что объясняется существенно меньшими капитальными и эксплуатационными затратами на единицу техники. Следовательно, при небольших партиях $k \leq 3$ более экономичным оказывается кран RTG, тогда как при увеличении объема партии ($k \geq 4$) преимущество смещается в сторону ричстакера.

Повышение производительности крана RTG до 15–20 перемещений/ч [22] может снизить удельную стоимость операции, однако даже в этом случае экономический эффект будет зависеть от загрузки оборудования и стабильности грузопотоков. Ричстакер остается более выгодным решением в условиях переменных объемов и ограниченного бюджета, тогда

как кран RTG рационален при устойчивой высокоинтенсивной работе.

Интерпретация результатов исследования

При малых выборках (до 3-х контейнеров) кран RTG обеспечивает меньшую себестоимость за счет высокой производительности и отсутствия избыточных перемещений, тогда как при увеличении объема выборки эффективность ричстакера возрастает и становится более высокой, особенно в условиях ограниченного пространства и переменных потоков. При партиях от 4-х контейнеров и выше ричстакер демонстрирует более низкую общую себестоимость работ.

При текущих рыночных ценах на технологическое оборудование граница экономической целесообразности смещается в пользу ричстакеров на малых площадках и ограниченном фронте погрузки. Для малых партий ($k \leq 3$) RTG оказывается экономичнее, однако для больших партий ричстакер становится более выгодным с учетом облегченной

конфигурации доступа. При этом следует отметить, что если оператор терминала ответственно подойдет к задаче размещения контейнерных партий и обеспечит выкладку контейнеров в последовательно доступных ячейках, то кран RTG будет выигрывать у ричстакера по затратам на выемку партий, включая большие партии.

Полученные результаты демонстрируют, что краны RTG целесообразно использовать на терминалах с высокой плотностью складирования и стабильной партионной структурой грузопотоков, обеспечивающих полную загрузку оборудования, в то время как ричстакеры остаются оптимальным решением для портов с нерегулярными поступлениями, гибкой логистикой и ограниченным инвестиционным бюджетом. Таким образом, предложенная в данной статье методика подтверждает, что рациональный выбор средств механизации должен определяться не только капитальными затратами, но и вероятностной структурой обрабатываемых партий, эксплуатационными издержками и площадочными ограничениями, что имеет ключевое значение для устойчивого развития контейнерных терминалов России в условиях стагнации рынка и необходимости повышения операционной эффективности.

Из приведенных данных следует, что кран RTG демонстрирует в среднем более высокую эффективность по сравнению с ричстакером в условиях идентичной геометрии штабеля. Преимущество крана RTG объясняется его конструктивной особенностью минимизации избыточных операций по снятию контейнеров, не относящихся к целевым. Приведенная методика позволяет количественно оценивать влияние геометрии штабеля и схемы доступа на эксплуатационную эффективность перегрузочной техники, а также может быть использована при планировании технологических операций в контейнерных терминалах и при выборе оптимального типа перегрузочного оборудования с учетом пространственных ограничений площадки и характера грузопотока.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что выбор оптимальных средств механизации перегрузочных операций в контейнерных терминалах представляет собой многофакторную вероятностную задачу, требующую комплексного анализа эксплуатационных, технических и экономических характеристик оборудования. Предложенная методика сравнения эффективности ричстакеров и кранов RTG позволила выявить закономерности их функционирования в зависимости от геометрии контейнерного штабеля, интенсивности грузопотоков и структуры партионности контейнеров.

Установлено, что при работе с неоднородными контейнерными потоками при условии случайного

формирования штабелей использование ричстакеров обеспечивает более высокую оперативность и гибкость перегрузочного процесса, тогда как краны RTG демонстрируют преимущество при высокой плотности складирования и стабильной партионной структуре. При этом на эффективность выбора оборудования существенное влияние оказывают не только производственные показатели, но и факторы, не имеющие прямого стоимостного выражения: требования к маневровому пространству, надежность, ремонтпригодность, потребность в резервных единицах техники и риски простоя, а также планирование контейнерной площадки.

Проведенный стоимостной анализ определил, что эффективность средств механизации контейнерного терминала существенно зависит от схемы доступа к контейнерам в штабеле и структуры партии выборки. Полученные результаты подтверждают, что при проектировании и модернизации перегрузочных комплексов необходимо учитывать не только технические характеристики оборудования, но и геометрию складирования, организацию доступа и типичный размер одновременно обрабатываемых партий. Использование вероятностных моделей позволяет на ранних этапах проектирования оценивать сравнительную эффективность вариантов механизации и обосновывать выбор оборудования в условиях ограниченных площадей и инвестиционных ресурсов.

Практическое применение полученных зависимостей заключается в возможности прогнозировать среднее время выборки при различных сценариях доступа (фронтальный, верхний, комбинированный), совершенствования организации перегрузочных процессов, повышения эффективности использования портовых мощностей и разработки рекомендаций по рациональному выбору и эксплуатации средств механизации в морских портах. Таким образом, предложенная методика и результаты сравнительного анализа обладают не только теоретической, но и прикладной значимостью для оптимизации контейнерных операций и выбора эффективных средств механизации в условиях ограниченного пространства порта.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием представленной методики путем интеграции цифровых моделей логистических систем и элементов искусственного интеллекта для прогнозирования контейнеропотоков и кластерного планирования контейнерной площадки. Дальнейшее совершенствование подхода позволит формировать интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении перегрузочными процессами, что соответствует современным тенденциям цифровизации транспортной отрасли и концепции «умного порта».

Список источников

1. Containers: 2024 ranking of the world's major ports / Upply Market Insights. URL: <https://market-insights.upply.com/en/containers-2024-ranking-of-the-worlds-major-ports> (дата обращения: 08.12.2025).
2. Контейнерооборот морских портов России за январь–октябрь 2025 г. / PortNews. URL: <https://portnews.ru/news/384401/> (дата обращения: 06.11.2025).
3. Total Russian container market was 5.9 million TEUs in Jan–Oct 2025 / PortSEurope. URL: <https://www.portseurope.com/total-russian-container-market-was-5-9-million-teus-in-jan-oct25/> (дата обращения: 06.11.2025).
4. Грузооборот Большого порта Санкт-Петербург продолжает расти. URL: <https://spb.vedomosti.ru/economics/articles/2025/09/15/1139237-gruzooborot-porta-sankt-peterburg> (дата обращения: 08.11.2025).
5. Большой порт Санкт-Петербург за 9 месяцев 2025 г. нарастил грузооборот / Санкт-Петербург. вед. URL: https://www.spb.vedomosti.ru/economics/news/2025/10/10/1146024-bolshoi-port-sankt-peterburg-za-9-mesyatsev-narastil-gruzooborot?utm_source (дата обращения: 02.11.2025).
6. Контейнерооборот портов Азово-Черноморского бассейна в апреле 2025 года сократился на 9 %. URL: <https://www.infranews.ru/novosti/statistic/67765-kontejnerooborot-portov-azovo-chernomorskogo-bassejna-v-aprele-2025-goda-sokratil-sya-na-9/> (дата обращения: 02.11.2025).
7. Key developments. 2024 Annual Report / FESCO. URL: https://ar2024.fesco.com/about/key-developments?utm_source (дата обращения: 09.11.2025).
8. Салюк А. А., Лазарев В. А. Сравнительная оценка эффективности ричстакера и крана RTG при работе со штабелем контейнеров // Вестн. мор. гос. ун-та. 2023. № 90. С. 58–65.
9. Steenken D., Voß S., Stahlbock R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. OR Spectrum. URL: <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0157-z> (дата обращения: 16.10.2025).
10. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview // European Journal of Operational Research. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.005> (дата обращения: 16.10.2025).
11. Böse J. W. Handbook of Terminal Planning. Springer. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-39990-0> (дата обращения: 16.10.2025).
12. Stahlbock R., Voß S. Operations research at container terminals: a literature update. OR Spectrum. URL: <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0100-9> (дата обращения: 16.10.2025).
13. Rubber-Tired Gantry (RTG) Crane for Container Handling – Yuantai Crane YTHoist (2024). Rubber-Tired Gantry Crane – Technical Specifications and Cost Factors. Kalmar Reachstackers. URL: <https://www.ythoist.com/gantry-crane/rubber-tired-gantry-crane.html> (дата обращения: 16.10.2025).
14. Rubber Tyred Gantry Crane Price Guide 2025 Overview BetterCrane (2024). RTG Crane Price Guide – How Much Does an RTG Crane Cost? URL: <https://www.bettercrane.com/resouces/news/rtg-crane-price-guide.html> (дата обращения: 16.10.2025).
15. Product Specification Handbook / ZPMC Global. URL: <https://www.zpmc.com> (дата обращения: 16.10.2025).
16. Reach Stackers – Product Overview and Efficiency Highlights / Kalmar Reachstackers Kalmar USA (2023). URL: <https://www.kalmarusa.com/equipment/reach-stackers/> (дата обращения: 16.10.2025).
17. Container Reach Stacker – Product Group / Container reach stacker – XIAMEN LTMG CO., LTD LTMAMachine (Made-in-China, 2024). URL: <https://ltmamachine.en.made-in-china.com/product-group/ТерпRlIVJuhC/Container-reach-stacker-1.html> (дата обращения: 16.10.2025).
18. Konecranes RTG Typical Tech Spec EN_Final EN (2022) / Konecranes, ZPMC, Kalmar – Technical Data Sheets (2022–2024). URL: https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN_Final_EN.pdf (дата обращения: 16.10.2025).
19. Konecranes RTG Technical Document v7 (2024). URL: https://www.konecranes.com/sites/default/files/2024-11/7681_rtg_technical_document_v7.pdf (дата обращения: 16.10.2025).
20. Port Management Series / UNCTAD. URL: <https://unctad.org/publications> (дата обращения: 16.10.2025).
21. Technical Guidelines on Container Handling Equipment / ICHCA International. URL: <https://ichca.com> (дата обращения: 16.10.2025).
22. Annual Technical Report 2024 / PEMA. URL: <https://www.pema.org> (дата обращения: 16.10.2025).

References

1. Containers: 2024 ranking of the world's major ports. Upply Market Insights. Available at: <https://market-insights.upply.com/en/containers-2024-ranking-of-the-worlds-major-ports> (accessed: 08.12.2025).
2. Kontejnerooborot morskikh portov Rossii za yanvar'–oktyabr' 2025 g. [Container turnover of Russian seaports in January–October 2025]. PortNews. Available at: <https://portnews.ru/news/384401/> (accessed: 06.11.2025).
3. Total Russian container market was 5.9 million TEUs in Jan–Oct 2025. PortSEurope. Available at: <https://www.portseurope.com/total-russian-container-market-was-5-9-million-teus-in-jan-oct25/> (accessed: 06.11.2025).
4. Gruzooborot Bol'shogo porta Sankt-Peterburg prodolzhaet rasti [The cargo turnover of the Big Port of Saint Petersburg continues to grow]. Available at: <https://spb.vedomosti.ru/economics/articles/2025/09/15/1139237-gruzooborot-porta-sankt-peterburg> (accessed: 08.11.2025).
5. Bol'shoj port Sankt-Peterburg za 9 mesyacev 2025 g. narastil gruzooborot [The Big Port of Saint Petersburg increased its cargo turnover by 9 months in 2025]. Sankt-Peterburgskie vedomosti. Available at: https://www.spb.vedomosti.ru/economics/news/2025/10/10/1146024-bolshoi-port-sankt-peterburg-za-9-mesyatsev-narastil-gruzooborot?utm_source (accessed: 02.11.2025).
6. Kontejnerooborot portov Azovo-Chernomorskogo bassejna v aprele 2025 goda sokratilsya na 9 % [Container turnover of the ports of the Azov-Black Sea basin decreased by 9% in April 2025]. Available at: <https://www.infranews.ru/novosti/statistic/67765-kontejnerooborot-portov-azovo-chernomorskogo-bassejna-v-aprele-2025-goda-sokratil-sya-na-9/>

ru/novosti/statistic/67765-kontejnerooborot-portov-azovo-cher-nomorskogo-bassejna-v-aprele-2025-goda-sokratilsya-na-9/ (accessed: 02.11.2025).

7. *Key developments. 2024 Annual Report.* FESCO. Available at: https://ar2024.fesco.com/about/key-developments?utm_source (accessed: 09.11.2025).

8. Salyuk A. A., Lazarev V. A. Sravnitel'naya ocenka effektivnosti richstakera i krana RTG pri rabote so shtabelem kontejnerov [Comparative evaluation of the efficiency of a richstacker and an RTG crane when working with a stack of containers]. *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2023, no. 90, pp. 58-65.

9. Steenken D., Voß S., Stahlbock R. *Container terminal operation and operations research – a classification and literature review.* OR Spectrum. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0157-z> (accessed: 16.10.2025).

10. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview. *European Journal of Operational Research*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.005> (accessed: 16.10.2025).

11. Böse J. W. *Handbook of Terminal Planning.* Springer. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-39990-0> (accessed: 16.10.2025).

12. Stahlbock R., Voß S. *Operations research at container terminals: a literature update.* OR Spectrum. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0100-9> (accessed: 16.10.2025).

13. *Rubber-Tired Gantry (RTG) Crane for Container Handling – Yuantai Crane YTHoist (2024).* *Rubber-Tired Gantry Crane – Technical Specifications and Cost Factors.* Kalmar Reachstackers. Available at: <https://www.ythoist.com/gantry-crane/rubber-tired-gantry-crane.html> (accessed:

16.10.2025).

14. *Rubber Tyred Gantry Crane Price Guide 2025 Overview BetterCrane (2024).* *RTG Crane Price Guide – How Much Does an RTG Crane Cost?* Available at: <https://www.bettercrane.com/resouces/news/rtg-crane-price-guide.html> (accessed: 16.10.2025).

15. *Product Specification Handbook.* ZPMC Global. Available at: <https://www.zpmc.com> (accessed: 16.10.2025).

16. *Reach Stackers – Product Overview and Efficiency Highlights.* Kalmar Reachstackers Kalmar USA (2023). Available at: <https://www.kalmarusa.com/equipment/reach-stackers/>(accessed: 16.10.2025).

17. *Container Reach Stacker – Product Group.* *Container reach stacker – XIAMEN LTMG CO., LTD LTMAMachine (Made-in-China, 2024).* Available at: <https://lmtmachine.en.made-in-china.com/product-group/TepnRIIVJuhC/Container-reach-stacker-1.html> (accessed: 16.10.2025).

18. *Konecranes RTG Typical Tech Spec EN_Final EN (2022).* *Konecranes, ZPMC, Kalmar – Technical Data Sheets (2022–2024).* Available at: https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN_Final_EN.pdf (accessed: 16.10.2025).

19. *Konecranes RTG Technical Document v7 (2024).* Available at: https://www.konecranes.com/sites/default/files/2024-11/7681_rtg_technical_document_v7.pdf (accessed: 16.10.2025).

20. *Port Management Series.* UNCTAD. Available at: <https://unctad.org/publications> (accessed: 16.10.2025).

21. *Technical Guidelines on Container Handling Equipment.* ICHCA International. Available at: <https://ichca.com> (accessed: 16.10.2025).

22. *Annual Technical Report 2024.* PEMA. Available at: <https://www.pema.org> (accessed: 16.10.2025).

Статья поступила в редакцию 24.02.2026; одобрена после рецензирования 27.04.2026; принята к публикации 06.05.2026
The article was submitted 24.02.2026; approved after reviewing 27.04.2026; accepted for publication 06.05.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Анатольевич Лазарев – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой управления морским транспортом; Морской государственный университет имени Г. И. Невельского; старший научный сотрудник Приморской лаборатории; Институт экономических исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук; lazarev@msun.ru

Иван Сергеевич Меркулов – магистрант кафедры транспортных процессов и технологии; Владивостокский государственный университет; imerkulov-vl@mail.ru

Vladimir A. Lazarev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Maritime Transport Management; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; Senior Researcher of the Primorsky Laboratory; Economic Research Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences; lazarev@msun.ru

Ivan S. Merkulov – Master's Course Student of the Department of Transport Process and Technology; Vladivostok State University; imerkulov-vl@mail.ru

