



ISSN 2222-9396 (Print)

УДК 656.073.235:004.942

<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-41-53>

МЕТОДИКА РАСЧЁТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ДЕПО

Азимов Ф.К.^{1*}, Илесалиев Д.И.¹, Цыганов А.В.²¹Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан²Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия* E-mail: farruxa@mail.ru

Аннотация. В настоящее время в мировой транспортной системе наблюдается дефицит контейнеров в одних её элементах при одновременном их избытке в других элементах системы. Данная тенденция обосновывает практическую актуальность исследования параметров контейнерных депо, выполняющих функцию складов хранения контейнеров на железнодорожном транспорте. Применяется несколько различных методов и способов определения и расчёта параметров контейнерных терминалов, анализ которых приведён в статье. Однако возникает необходимость в уточнении методики определения параметров контейнерного депо, что обосновывает теоретическую актуальность исследования. Целью работы является разработка методики расчёта рациональных значений параметров контейнерного депо на основе системного анализа и обобщения существующих методов и способов расчёта вместимости складов на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: контейнер, контейнерное депо, погрузочно-разгрузочная машина, математическая модель, методика расчёта

© Азимов Ф.К., Илесалиев Д.И., Цыганов А.В., 2021

Поступила: 08 декабря 2020 г.; Принята к публикации: 11 ноября 2021 г.; Опубликовано: 30 декабря 2021 г.

Для цитирования:

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



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 Всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ISSN 2222-9396 (Print)

<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-41-53>



METHODOLOGY FOR CALCULATING THE RATIONAL PARAMETERS OF A CONTAINER DEPOT

Azimov F.K.^{1*}, Ilesaliev D.I.¹, Tsyganov A.V.²

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

²Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

* E-mail: farruxa@mail.ru

Abstract. Currently, in the world transport system, there is a shortage of containers in some of its elements, and in others - their excess. This tendency substantiates the practical relevance of the study of the parameters of container depots that serve as warehouses for storing containers on railway transport. Several different techniques and methods for determining and calculating the parameters of container terminals are used, the analysis of which is given in the article. However, there is a need to clarify the existing methods for determining the parameters of a container depot, which justifies the theoretical relevance of the study. The aim of the work is to develop a methodology for calculating rational values of the parameters of a container depot based on a system analysis and generalization of existing methods and methods for calculating the capacity of warehouses on railway transport.

Keywords: container, container depot, loading and unloading machine, mathematical model, calculation method

© Azimov F.K., Ilesaliev D.I., Tsyganov A.V., 2021

Received: December 08, 2020; Accepted: November 11, 2021; Published: December 30, 2021

For citation:

Azimov F.K., Ilesaliev D.I., Tsyganov A.V. Methodology for Calculating the Rational Parameters of a Container Depot // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2021, vol.11, no.1, pp. 41-53. <https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-41-53>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

В настоящее время наблюдается увеличение объёмов перевозок грузов в контейнерах, однако данная тенденция не отражается на уровне контейнеризации в Узбекистане. В большей степени это вызвано дефицитом контейнеров на рынке грузовых перевозок, а также малым количеством логистических объектов и незначительной долей транзитных перевозок по территории Узбекистана. Например, парк контейнеров основного оператора страны АО «Узтемирйулконтейнер», составляет менее 1000 единиц в двадцатифутовом эквиваленте (ДФЭ). Решение данной проблемы авторы видят путём организации контейнерных депо, которые повысят уровень обслуживания клиентов железнодорожного транспорта и транспортной сети в целом.

2. Краткое описание исследования

Современные грузовые терминальные комплексы представляют собой сложные технические объекты. В данном исследовании в качестве основной методологической базы для изучения контейнерного депо использован системный анализ технического объекта. Согласно которого контейнерное депо рассматривается как техническая система, состоящая из элементов, в качестве которых выступают технологические участки депо. Функционирование участков подчиняется общей цели эффективного накопления и хранения порожних контейнеров на территории депо. В связи с этим в данном исследовании поставлены следующие задачи:

- проанализировать существующие методы определения вместимости контейнерных площадок;
- произвести структурно-параметрическое описание контейнерного депо;
- определить взаимосвязь вместимости контейнерного депо с основными и производными параметрами депо;
- выполнить сравнительный анализ основных параметров погрузочно-разгрузочных машин для переработки и штабелирования контейнеров;
- разработать математическую модель определения параметров контейнерного депо.

3. Обзор научных исследований, посвящённых расчёту вместимости контейнерных площадок

В работе [1] авторами проведён анализ характеристики контейнерной площадки – вместимости зоны хранения контейнерного терминала. Определение значения вместимости зоны хранения осуществлено с использованием вероятностно-статистических методов, инструментов имитационного моделирования, моделей «рождения и гибели» теории массового обслуживания. Построены зависимости интегральной функции распределения от числа хранящихся на складе контейнеров, позволяющие определить вместимость зоны хранения с заданной вероятностью. Авторы исследования описывают функционирование рассматриваемой системы массового обслуживания процессом «рождения и гибели». Финальные вероят-

ности находятся по формулам

при $k \leq n$

$$P(q_k) = \frac{\lambda}{k\mu} \cdot \frac{\lambda}{(k-1)\mu} \dots \frac{\lambda}{\mu} P_0 = \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} P_0;$$

при $k \geq n$

$$P(q_k) = \frac{\lambda}{k\mu} \cdot \frac{\lambda}{(k-1)\mu} \dots \frac{\lambda}{\mu} P_0 = \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} P_0,$$

где λ – интенсивность входящего потока; k – число занятых мест зоны хранения в q -ом состоянии; n – общее число мест в зоне хранения; μ – интенсивность выходящего потока.

В работе [2] проведено сравнение трёх методик оценки требуемой вместимости склада при технологическом проектировании контейнерных терминалов: через сравнительные величины, по стохастическому методу и методом сценариев. Методика позволяет путём комплексного использования рассмотренных методов с последовательным сравнением результатов и учётом границ применимости каждого метода значительно снизить ошибки проектирования контейнерных терминалов.

В статье [3] приводится краткий анализ научных исследований технологической операции погрузки-выгрузки контейнеров. Автором предложено определять вместимость контейнерного терминала $\sum R$, конт. по следующей формуле

$$\sum R = x \cdot y \cdot z, \quad (1)$$

где x – количество контейнеров, размещаемых по ширине участка хранения терминала, конт.; y – количество контейнеров, размещаемых по длине участка хранения терминала, конт.; z – количество контейнеров по высоте штабелирования, конт.

Приводятся варианты схем расположения технологических участков терминала, оснащённых козловым контейнерным краном. Автор считает, что контейнерные козловые краны эффективно использовать при различных вариантах расположения технологических участков терминала, так как сравнительная простота конструкции по сравнению с другими подъёмно-транспортными машинами выступает основным преимуществом козловых кранов на грузовом терминале.

В исследовании [4] разработан алгоритм определения вместимости контейнерной площадки. Аналитически определено число контейнеров, размещаемых по длине и ширине участка хранения, обслуживаемого порталными автопогрузчиками. Количество контейнеров, размещаемых по длине x , конт. и ширине y , конт. участка хранения определяется соответственно по следующим формулам

$$x = \varepsilon \left\{ \frac{B - l_{np} \cdot n_{np}}{4,3} \right\}, \quad (2)$$

где B – ширина участка хранения контейнеров, м; n_{np} – число боковых проходов вдоль площадки (с двух сторон); l_{np} – ширина продольных проездов, м, (для

автотранспорта вдоль участка хранения контейнеров); 4,3 – округлённая ширина одного продольного ряда, м; $\varepsilon\{...\}$ – обозначение целой части числа, получающегося в результате выполнения действий в фигурных скобках;

$$y = \varepsilon \left\{ \frac{L - e \cdot l_{\text{выл}}}{6,3} \right\}, \quad (3)$$

где $l_{\text{выл}}$ – расстояние по длине участка хранения, (на выход портального автопогрузчика из зоны складирования с 40-футовым контейнером (проходы устанавливаются в каждом торце участка)); e – число торцов участка хранения контейнеров; L – длина участка хранения контейнеров, м;

Получен график вместимости площадки в зависимости от числа контейнеров, размещаемых по высоте, а также рассчитаны объёмы переработки контейнеропотока в зависимости от периода оборачиваемости контейнеров.

В статье [5] представлены преимущества и недостатки, а также технические характеристики козлового портального пневмоколёсного крана. Произведён краткий научный анализ в области исследования технического оснащения контейнерных терминалов. Предложена математическая модель взаимосвязи параметров крана, контейнера и грузового терминала.

В работе [6] исследуются вопросы совершенствования поиска рациональных значений параметров контейнерного терминала. Предложены математические модели взаимосвязи основных значений параметров участка хранения контейнерного терминала, оборудованного ричстакером компании Kalmar. Приведены зависимости вместимости площадки от длины участка хранения. Также в исследовании приводятся результаты расчёта перерабатывающей способности контейнерного терминала.

Исследование параметров участка основного хранения контейнерного терминала отражено в работе [7], где сравниваются подъёмно-транспортные машины между собой с позиции вместимости участка хранения. Получены результаты, позволяющие оценить пропускную способность терминала в зависимости от технической оснащённости площадки и срока хранения контейнеров.

В работе [8] рассмотрен подход к определению минимальной необходимой вместимости склада «сухого» порта для обработки заданного грузопотока. Методологическая основа исследования базируется на формализации взаимодействия морского терминала и «сухого» порта. Рассмотрены составляющие элементы контейнерного склада «сухого» порта и определен порядок расчёта его основных параметров – объём контейнерного склада и площадь каждой из площадок для импортных грузов, экспортных грузов и порожних контейнеров. В работе приведена методика нахождения минимальных значений параметров контейнерного склада, обеспечивающих выполнение функций «сухого» порта при заданной пропускной способности и переменных значениях входящих грузопотоков.

В работе [9] рассмотрены особенности мировой портовой инфраструктуры. Произведены расчёты капитальных затрат на строительство контейнерного терминала, общей потребности в контейнеро-местах для грузовых терминалов и суммарной длины площадки.

Авторы работы [10] совершенствуют методику определения рациональных значений параметров контейнерного терминала. Предложены математические модели взаимосвязи основных значений параметров участков хранения контейнерного терминала, оборудованного ричстакером компании Kalmar. Приведены зависимости вместимости площадки от длины участка хранения. Также в исследовании приводятся результаты перерабатывающей способности контейнерного терминала за год.

В работе [11] рассмотрены проблемы увеличения пропускной и перерабатывающей способностей морских контейнерных терминалов, а также меры повышения своевременности грузовых перевозок на основе создания «сухих» портов. Разработана система параметров «сухого» порта, позволяющая выбрать стратегию развития морского контейнерного терминала в условиях роста грузооборота, выполнить оценку затрат системы «морской порт – «сухой» порт». Предложена методика расчёта оптимальных значений основных параметров «сухого» порта с использованием имитационного моделирования в программной среде AnyLogic.

Статья [12] посвящена проблеме автоматизированного планирования грузовых работ на железной дороге контейнерного терминала. Автор определяет основные виды работ, которые происходят в процессе выгрузки и погрузки контейнеров. Статья содержит описание метода решения задачи формирования комплекта контейнеров для отгрузки на железнодорожный вагон.

Работа [13] посвящена развитию методов технологического проектирования морских контейнерных портов и терминалов с точки зрения уточнения представлений о проектируемом объекте и жесточенных требований к его технико-эксплуатационным характеристикам.

В работе [14] контейнерный терминал рассматривается как сложная техническая система. В основе методики исследования используются положения марковских случайных процессов. Приводится результирующий вид графа состояний контейнерного терминала, а также пример метода определения количества штабелёров. Сделан вывод, что модели состояния на основе цепей Маркова для описания работы контейнерных терминалов позволяют оценивать загруженность погрузочно-разгрузочных участков для автомобильного и железнодорожного транспорта, а также для участков временного и основного хранения.

В работе [15] предложено нахождение оптимальной высоты складирования контейнеров через сопоставление операционных затрат и стоимости площади контейнерной площадки.

Авторами работы [16] решена задача проектирования склада тарно-штучных грузов по критерию наилучшего способа складирования грузов при задаваемых ограничениях наиболее полного заполнения площади склада грузами и минимальных затратах на перемещение груза внутри склада. В исследовании предложены математические модели, устанавливающие взаимосвязи между отдельными параметрами склада тарно-штучных грузов. Модели использованы при исследовании взаимовлияния параметров, также определения вместимости складов тарно-штучных грузов.

В работе [17] анализируются преимущества и недостатки контейнерных перевозок, выявлен уровень контейнеризации и его влияние на организацию перевозок грузов через создание системы контейнерных терминалов. Обозначена степень влияния уровня контейнеризации грузов на сокращение срока доставки грузов железнодорожным транспортом.

В работе [18] приводится методика оптимизации мест хранения порожних контейнеров при вероятностном объёме их потребления в заданном временном периоде.

В [19] анализируется производительность погрузочно-разгрузочных операций на складе порожних контейнеров, а также схемы штабелирования контейнеров и компоновки депо с целью сокращения времени оборота грузовиков.

В работе [20] приведена математическая модель перемещения порожних контейнеров в пределах региона их использования.

Авторами работы [21] представлена процессная имитационная модель, позволяющая рассчитывать вместимость терминала, численность парка транспортных средств и порядок их обновления для различных условий.

В работе [22] представлено сравнение грузоподъёмности контейнеров на основе различных систем обработки, размеров площадок и характеристик кранов для выбора погрузочно-разгрузочной техники и местоположения контейнерной площадки.

Авторы [23] приводят модель организации очереди для анализа загруженности ворот морского терминала и количественной оценки стоимости ожидания грузовиков, осуществляющих портовые грузоперевозки.

В [24] разработана аналитико-имитационная модель для исследования задержек поездов при различных способах обслуживания. Результаты моделирования используются для поиска оптимального баланса стоимости задержек поездов и отклонения от желаемого уровня качества транспортного обслуживания.

Анализ представленных работ показывает степень изученности задачи определения вместимости контейнерных терминалов, интерес к уровню контейнеризации перевозок в целом. Однако эти исследования не касались вопросов определения параметров контейнерных депо. Недостаточно проработанными остаются вопросы определения и расчёта: численности обменного парка контейнеров всех типов, кото-

рый должен находиться в депо или на терминале в пунктах зарождения основных грузопотоков; параметров пунктов промывки-пропарки контейнеров после выгрузки для соответствия требованиям к перевозкам грузов различной номенклатуры; характеристик пунктов диагностики и ремонта контейнеров. Решение данных вопросов необходимо для эффективной организации контейнерных перевозок в Узбекистане.

4. Структурно-параметрическое описание контейнерного депо

С позиции системного подхода авторами настоящей статьи контейнерное депо рассматривается как сложная техническая система, состоящая из трёх элементов: участка хранения порожних контейнеров, автомобильного погрузочно-разгрузочного участка (фронта) и железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка (фронта). Технологическая структура контейнерного депо представлена на **рис. 1**. Задача параметрического описания контейнерного депо сводится к содержательному описанию, математическому выражению и выводу формул для расчёта параметров депо.

Контейнерное депо характеризуется следующими основными параметрами: L – длина контейнерного депо, м; L_x – длина участка хранения порожних контейнеров, м; L_1 – часть длины контейнерного депо, занимаемая поперечными проездами для автотранспорта, м; L_2 – часть длины контейнерного депо, занимаемая административно-бытовым комплексом и ремонтными хозяйствами, м; L_3 – ширина газонов вдоль ограждения забора, м; B – ширина контейнерного депо, м; B_x – ширина участка хранения порожних контейнеров, м; B_1 – часть контейнерного депо, отведённая на железнодорожный погрузочно-разгрузочный участок, а также на выставочный путь, м; B_2 – часть контейнерного депо, отведённая на двухполосную автомобильную дорогу, м; B_3 – ширина газонов вдоль ограждения забора, м; A – ширина проезда для погрузочно-разгрузочной машины, м; $l_{жс}$ – длина железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка, м; $l_{фр}$ – длина фронта, м; $l_{выс}$ – длина выставочного пути, м; λ – технологический зазор между контейнерами, расположенный по длине участка хранения, м; ω – технологический зазор между контейнерами, расположенный по ширине участка хранения, м.

Основными параметрами контейнера и контейнеропотока приняты: l – длина контейнера, м; b – ширина контейнера, м; h – высота контейнера, м; $N_{год}$ – годовой контейнеропоток, ДФЭ/год; $N_{мес}$ – месячный контейнеропоток, ДФЭ/мес.; $N_{сут}$ – суточный контейнеропоток, ДФЭ/сут.; N_a – годовой контейнеропоток по прибытию и отправлению по автомобильному транспорту, ДФЭ/год; $N_{жс}$ – годовой контейнеропоток по прибытию и отправлению по железнодорожному транспорту, ДФЭ/год.

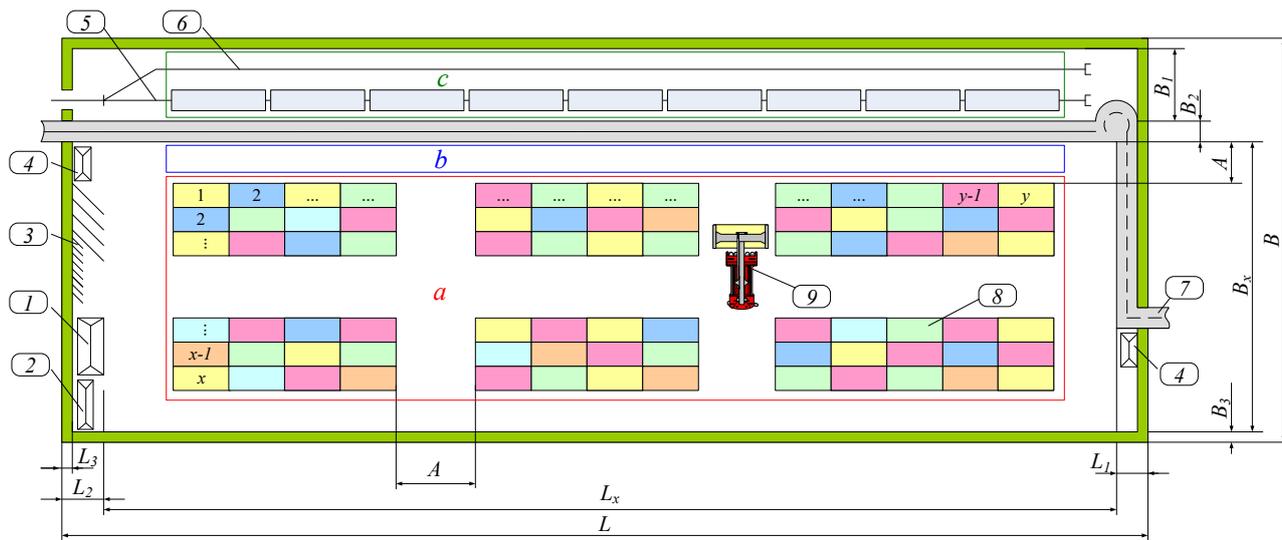


Рис. 1. Схема контейнерного депо: а) участок хранения порожних контейнеров; б) автомобильный погрузочно-разгрузочный участок (фронт); в) железнодорожный погрузочно-разгрузочный участок (фронт): 1 – административно-бытовой комплекс; 2 – ремонтная мастерская; 3 – стоянка для легковых и большегрузных автомобилей; 4 – контрольно-пропускной пункт; 5 – железнодорожный погрузочно-разгрузочный участок; 6 – выставочный путь; 7 – двухполосная автомобильная дорога; 8 – штабель порожних контейнеров; 9 – погрузочно-разгрузочная машина

Fig. 1. Container depot layout: а) empty containers storage area; б) automobile loading and unloading area (front); в) railway loading and unloading area (front): 1 - administrative complex; 2 - repair shop; 3 - parking for cars and heavy vehicles; 4 - checkpoint; 5 - railway loading and unloading area; 6 - track for set out of train; 7 - two-lane road; 8 - a stack of empty containers; 9 - loading and unloading machine

К временным параметрам относятся: T – количество рабочих дней в году, сут.; $t_{мес}$ – количество рабочих дней в месяце, сут.; $t_{см}$ – количество часов в смене, час.; τ – срок хранения порожних контейнеров, сут.; t_{nc} – время на погрузку или разгрузку одного подвижного состава, час.; $t_{ног}$ – время на погрузку одного контейнера, час.; $t_{разг}$ – время на разгрузку одного контейнера, час.; $t_{ц}$ – время рабочего цикла, мин.; $k_{жс}$ – коэффициент неравномерности прибытия и отправления железнодорожным транспортом; k_a – коэффициент неравномерности прибытия и отправления автомобильным транспортом.

К производным параметрам, рассчитываемым исходя из значений основных параметров, отнесены: S – площадь занимаемая контейнерным депо, м²; S_x – площадь участка хранения порожних контейнеров, м²; R – ёмкость контейнерного депо, конт.; x – количество порожних контейнеров по ширине участка хранения, конт.; y – количество порожних контейнеров по длине участка хранения, конт.; z – количество штабелируемых порожних контейнеров по высоте, конт.; n_1 – число продольных проходов; n_2 – число поперечных проходов; E – перерабатывающая способность контейнерного депо, конт./год; η – оборачиваемость контейнеров, 1/год; $t_{конт}$ – время, затрачиваемое на одну технологическую операцию с контейнером, час.; $n_{ваг}$ – количество вагонов по прибытию и отправлению, ваг./сут.; $N_{конт}$ – количество контейнеров по прибытию и отправлению, конт./сут.; k_x – коэффициент использования участка хранения по ширине; k_y –

коэффициент использования участка хранения по длине; $n_{жс}$ – количество железнодорожных путей; n_a – количество полос для движения автотранспорта; m_a – количество мест погрузки и разгрузки большегрузных автомобилей; m_c – количество автостоянок для большегрузных автомобилей; x_n – количество подач групп вагонов, под./сут.; $N_{под}$ – количество контейнеров в подаче, конт./под.; m_v – количество вагонов в подаче, ваг./под.; r – потребное количество погрузочно-разгрузочных машин, шт.; u – число контейнеров в подвижном составе, конт.; $u_{конт}$ – число контейнеров в вагоне, конт.; p – потребный штат работников контейнерного депо, чел.

Взаимосвязь величины вместимости контейнерного депо с основными и производными параметрами депо приведена на рис.2. На рис.2 использованы следующие сокращения: АБК – административно-бытовой комплекс; ПРМ – погрузочно-разгрузочная машина; ЖД ПРУ – железнодорожный погрузочно-разгрузочный участок (фронт).

5. Сравнительный анализ основных параметров погрузочно-разгрузочных машин

По мнению авторов работы, преимущества автопогрузчиков по сравнению с использованием козловых кранов заключается в следующем [25]: простота и короткие сроки ввода в эксплуатацию контейнерного депо, отсутствие подкрановых путей, возможность штабелирования контейнеров выше трёх ярусов и др.

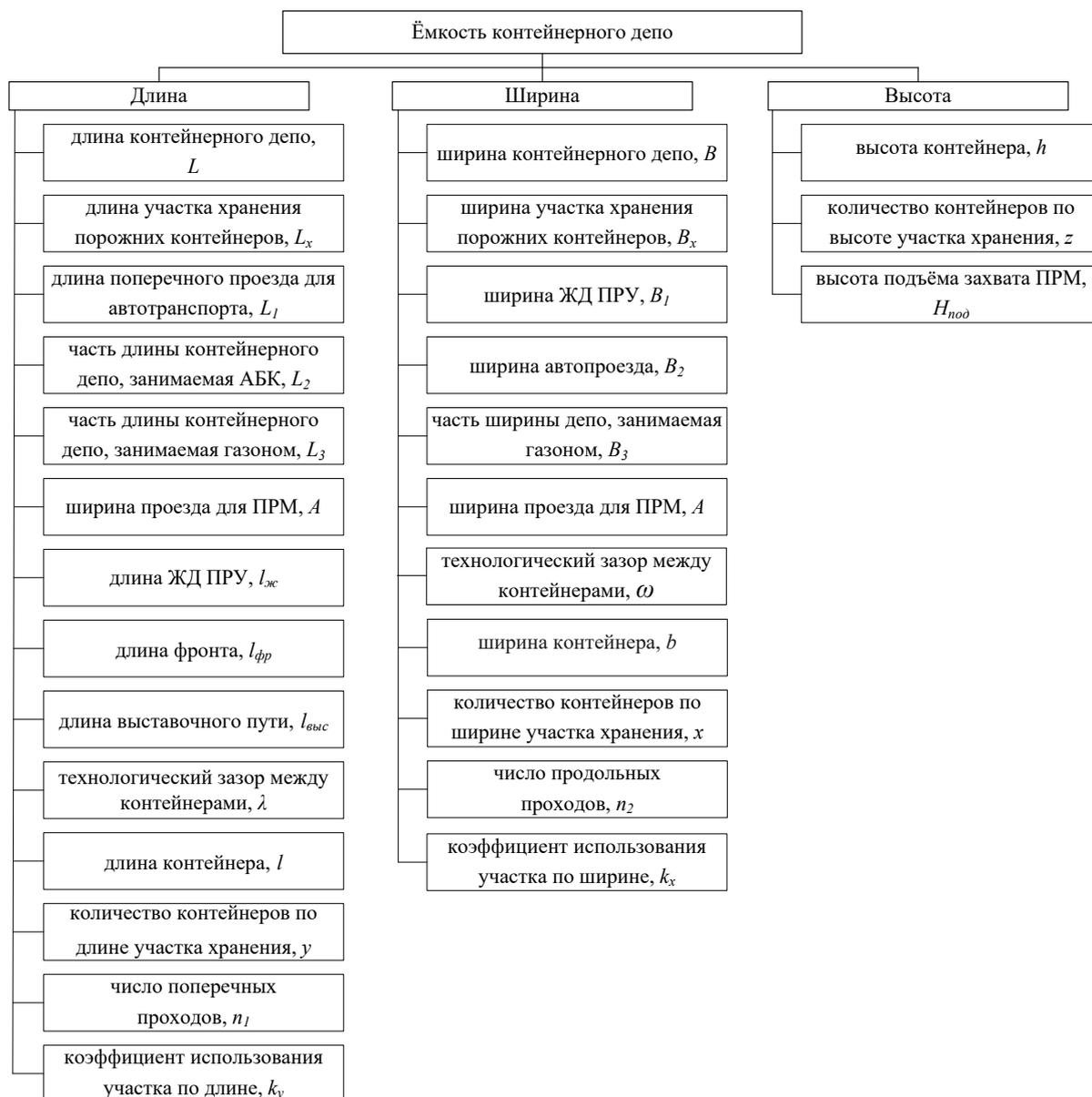


Рис. 2. Параметры, определяющие вместимость (ёмкость) контейнерного депо
 Fig. 2. Parameters of the container depot capacity

Перечисленные преимущества стали решающими для рекомендации данных типов погрузочно-разгрузочных машин в контейнерном депо.

Виды и типы погрузочно-разгрузочных машин связаны с компоновкой генерального плана депо и зависят от типа перерабатываемых контейнеров. На рис. 3–6 показаны контейнерные автопогрузчики различных типов и моделей.

Наибольшее распространение в контейнерных терминалах получили автопогрузчики с выдвижной крановой стрелой (Reachstacker) (рис.3).

Контейнерный автопогрузчик с боковым спрейдерным захватом (Doublestacker) имеет возможность штабелировать сразу два порожних контейнера (рис.4). Техническая производительность данной погрузочно-разгрузочной машины может значительно

превышать производительность других моделей автопогрузчиков.

Контейнерный автопогрузчик с вилочным захватом (Liftrucks) является универсальной погрузочно-разгрузочной машиной (рис.5). Специальные грузозахватные приспособления вилочного автопогрузчика позволяют производить погрузочно-разгрузочные работы внутри контейнера.

Также в терминалах применяются контейнерные автопогрузчики с верхним спрейдерным захватом (Top-lifthandler) (рис.6).

Основные технико-технологические параметры распространённых моделей контейнерных автопогрузчиков приведены в табл. 1.

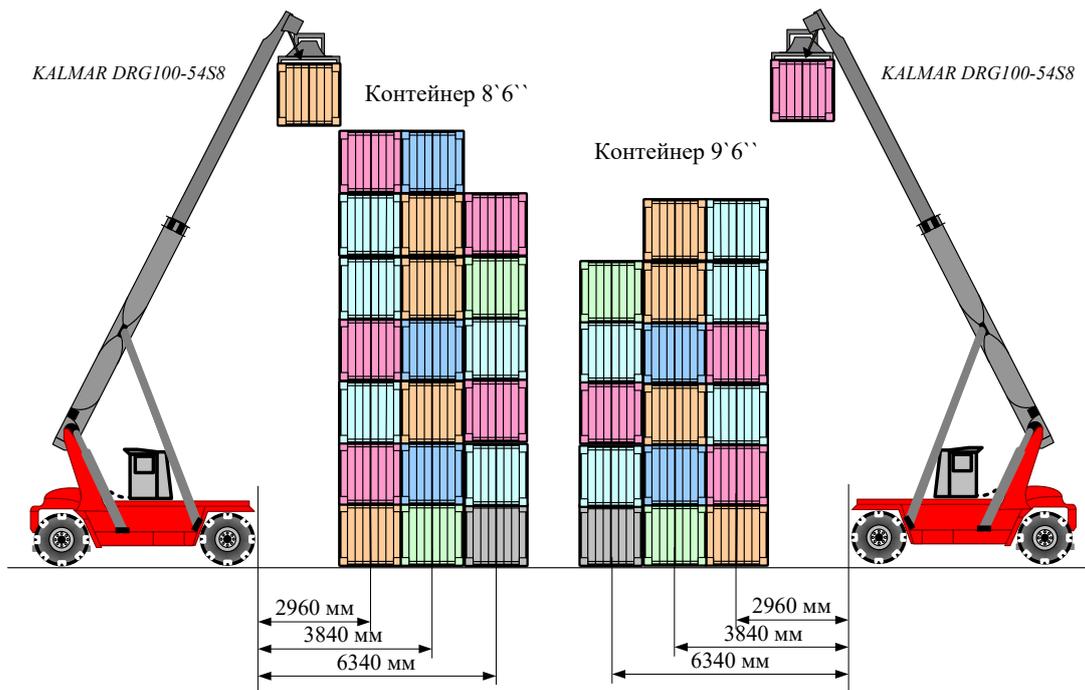


Рис. 3. Контейнерный автопогрузчик с выдвижной крановой стрелой (Reachstacker)
 Fig. 3. Reachstacker Container Forklift

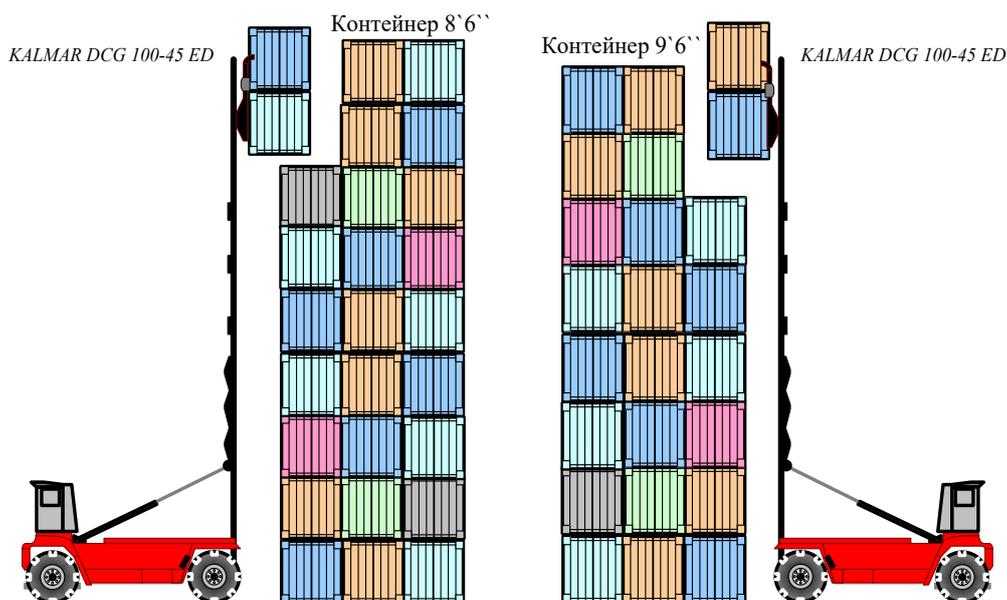


Рис. 4. Контейнерный автопогрузчик с боковым спрейдерным захватом (Doublestacker)
 Fig. 4. Side Spray Gripper Container Forklift (Doublestacker)

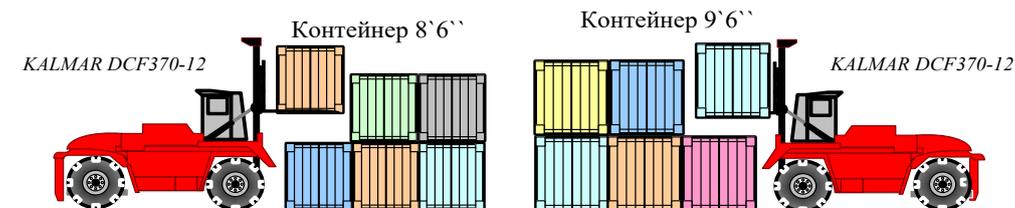


Рис. 5. Контейнерный автопогрузчик с вилочным захватом (Liftrucks)
 Fig. 5. Container Forklift Truck (Liftrucks)

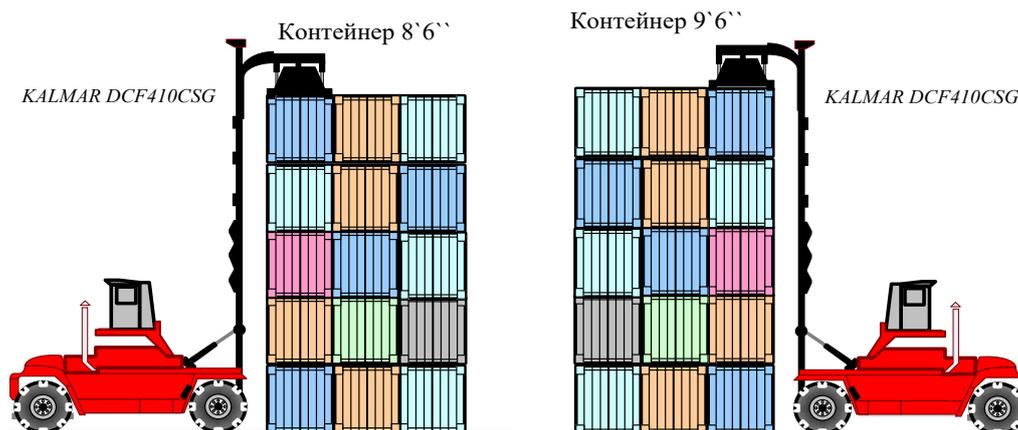


Рис. 6. Контейнерный автопогрузчик с верхним спрейдерным захватом (Top-lifthandler)
 Fig. 6. Top-lifthandler container forklift

Таблица 1. Характеристики автопогрузчиков для переработки контейнеров
 Table 1. Characteristics of container handling forklift trucks

Параметр автопогрузчика	Модель автопогрузчика			
	<i>Reachstacker</i> <i>DRG100-54S8</i>	<i>Doublestacker</i> <i>DCG 100-45 ED</i>	<i>Liftrucks</i> <i>DCF370-12</i>	<i>Top-lifthandler</i> <i>DCF410CSG</i>
Снаряжённая масса, т	40.30	44.50	50.10	69.75
Грузоподъёмность, в зависимости от ряда, т				
1 ряд	10.0	22.0	37.0	41.0
2 ряд	8.0	-	-	-
3 ряд	4.5	-	-	-
Высота штабелирования контейнеров, м				
контейнер 8'6''	8	9	2	5
контейнер 9'6''	7	8	2	5
Ширина проезда, мм				
контейнер 20 ft	11200	10846	10795	11990
контейнер 40 ft	14200	14326	10795	14680
Скорость подъёма, м/с				
с контейнером	0.50	0.65	0.35	0.42
без контейнера	0.42	0.59	0.25	0.25
Скорость опускания, м/с				
с контейнером	0.42	0.54	0.25	0.31
без контейнера	0.48	0.59	0.40	0.36
Скорость перемещения, м/с				
передним ходом/задним ходом	8.3/8.3	6.9/6.9	7.2/7.2	7.2/7.2
с контейнером/без контейнера	8.3/8.3	6.9/6.9	6.6/6.6	6.4/6.4

6. Математическая модель расчёта параметров контейнерного депо

Методика расчёта рациональных значений параметров контейнерного депо основана на использовании приведённых в разделе 3 формул (1–3) и перечисленных в разделе 4 параметров контейнерного депо.

Вместимость контейнерного депо R_i определяется целевой функцией, максимизирующей количество контейнеров

$$R_i = x \cdot y \cdot z \rightarrow \max \quad (4)$$

где x – количество контейнеров, размещаемых по

ширине участка хранения порожних контейнеров; y – количество контейнеров, размещаемых по длине участка хранения порожних контейнеров; z – количество контейнеров по высоте штабелирования.

Количество контейнеров, размещаемых по ширине участка хранения порожних контейнеров x , конт., определяется по формуле

$$x = \varepsilon \left\{ \frac{B_x - n_2 \cdot A}{b + \omega} \right\}, \quad (5)$$

где $\varepsilon\{\dots\}$ – обозначение целой части числа, округляется в меньшую сторону; B_x – полезная ширина контейнерного депо, м; n_2 – число продольных проез-

дов.

Полезная ширина контейнерного депо B_x , м (ширина участка хранения порожних контейнеров) определяется по формуле

$$B_x = B - B_1 - B_2 - B_3. \quad (6)$$

Число продольных проездов n_2 , зависящее от количества контейнеров, устанавливаемых по ширине штабеля x_1 , определяется по формуле

$$n_2 = \varepsilon \left\{ \frac{B_x - (b + \omega) \cdot x_1 - A}{2 \cdot (b + \omega) \cdot x_1 + A} \right\} + 1, \quad (7)$$

где 1 – продольный проезд вдоль железнодорожного пути.

Количество контейнеров, размещаемых по длине участка хранения порожних контейнеров y , конт., определяется по формуле

$$y = \varepsilon \left\{ \frac{L_x - n_1 \cdot A}{l + \lambda} \right\}, \quad (8)$$

где $\varepsilon\{\dots\}$ – обозначение целой части числа, округляется в меньшую сторону; L_x – полезная длина контейнерного депо, м (длина участка хранения порожних контейнеров); n_1 – число поперечных проездов.

Полезная длина контейнерного депо L_x , м (длина участка хранения порожних контейнеров) определяется по формуле

$$L_x = L - L_1 - L_2 - L_3. \quad (9)$$

Число поперечных проездов n_1 определяется по формуле

$$n_1 = \varepsilon \left\{ \frac{L_x}{80} \right\}, \quad (10)$$

где 80 – примерная длина, через которую устанавливаются поперечные проезды для автопогрузчиков, м.

Количество вагонов (фитинговых платформ) в подаче m_e , ваг./под. определяется исходя из суточного контейнеропотока по формуле

$$m_e = \xi \left\{ \frac{N_{год} \cdot k_{жс}}{365 \cdot u_{конт} \cdot x_n} \right\}, \quad (11)$$

где $\xi\{\dots\}$ – обозначение целой части числа, округляется в большую сторону.

Потребное количество погрузочно-разгрузочных машин (автопогрузчиков) r , шт. определяется по формуле

$$r = \xi \left\{ \frac{N_{сут} \cdot k_{конт} \cdot N_{пер} \cdot t_u}{t_{см} \cdot 60} \right\}, \quad (12)$$

где $\xi\{\dots\}$ – обозначение целой части числа, округляется в большую сторону; 60 – число минут в часе.

7. Результаты расчётов

Разработанная математическая модель параметров контейнерного депо была использована для расчёта вместимости участка хранения порожних контейнеров, обслуживаемого различными погрузоч-

но-разгрузочными машинами (автопогрузчиками). Авторы полагают, что величина вместимости контейнерного депо имеет непостоянное (переменное) значение, зависящее от количества контейнеров, устанавливаемых по ширине штабеля x_1 , длины участка хранения y (длины площадки), а также технико-технологических характеристик автопогрузчиков. В качестве расчётных моделей использованы контейнерные автопогрузчики, приведённые в табл. 1 раздела 5. Результаты расчёта вместимости контейнерного депо представлены на рис.7-10.

Анализ результатов расчётов вместимости контейнерного депо подтверждает выдвинутое авторами предположение о вариативности значения данного параметра. При этом установлено, что рассмотренные параметры депо оказывают разную степень влияния.

Вместимость контейнерного депо в наибольшей степени зависит от технико-технологических характеристик погрузочно-разгрузочных машин, осуществляющих переработку и штабелирование контейнеров. Для рассмотренных моделей автопогрузчиков вместимость депо отличается в 4.17–4.45 раза при равной полезной ширине и длине депо.

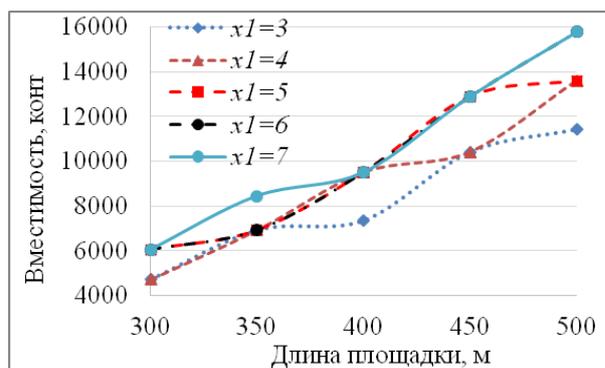


Рис. 7. Вместимость контейнерного депо, обслуживаемого автопогрузчиком с выдвинутой крановой стрелой (Reachstacker)

Fig. 7. Container depot capacity with Reachstacker

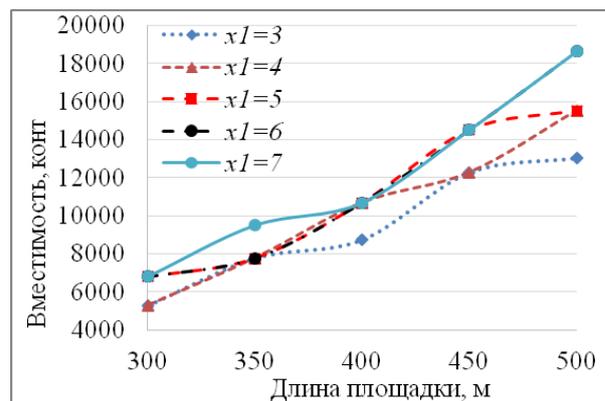


Рис. 8. Вместимость контейнерного депо, обслуживаемого автопогрузчиком с боковым спрейдерным захватом (Doublestacker)

Fig. 8. Container depot capacity with Doublestacker

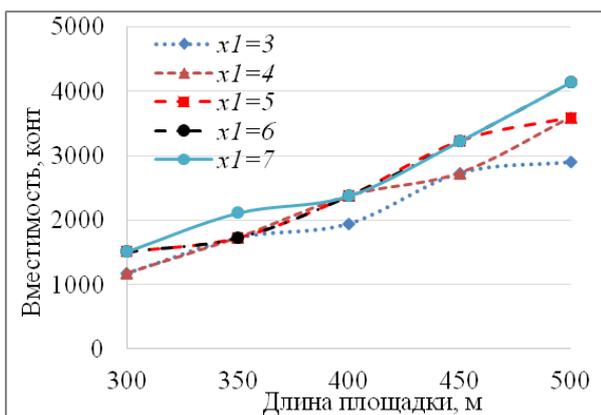


Рис. 9. Вместимость контейнерного депо, обслуживаемого автопогрузчиком с вилочным захватом (Liftrucks)

Fig. 9. Container depot capacity with Liftrucks

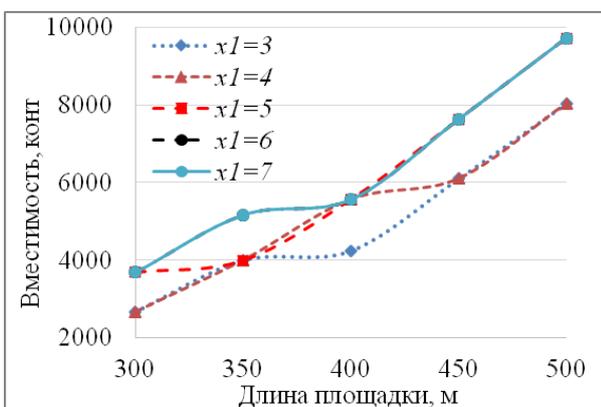


Рис. 10. Вместимость контейнерного депо, обслуживаемого автопогрузчиком с верхним спрейдерным захватом (Top-lifthead)

Fig. 10. Container depot capacity with Liftrucks Top-lifthead

Вместимость контейнерного депо также пропорционально зависит от длины участка хранения порожних контейнеров. При изменении длины моделируемого участка хранения от 300 до 500 м вместимость депо возрастает в 3.31–3.74 раза.

Наименьшее влияние на вместимость контейнерного депо оказывает количество контейнеров, устанавливаемых по ширине штабеля. Вместимость депо различается в 1.21–1.45 раза. Более того, в ряде случаев увеличение ширины штабеля не оказывает влияния на изменение величины вместимости депо.

8. Заключение

Разработка и совершенствование методик определения и расчёта значений технико-технологических параметров контейнерных терминалов и их структурных элементов – контейнерных депо является актуальной задачей, направленной на повышение качества транспортных услуг.

В статье представлена методика, уточняющая расчёт значения одного из основных параметров контейнерного депо – вместимости депо. Определено влияние на величину вместимости депо трёх параметров: ширины штабеля контейнеров, длины участка хранения контейнеров, а также технико-технологических характеристик погрузочно-разгрузочных машин, осуществляющих переработку и штабелирование контейнеров.

Перспективным направлением дальнейшего исследования, по мнению авторов, является определение влияния на величину вместимости депо прочих параметров контейнерного депо, приведённых и систематизированных в данной работе.

Список литературы

1. Лубенцова В. С., Lubentcova V. S., Ефремов А. В., Efremov A. V. Решение задачи определения вместимости контейнерного терминала с использованием модели “гибели и рождения” // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». 2005. Т. 38. С. 155-158. <https://www.doi.org/10.14498/vsgtu393>.
2. Кузнецов А., Козлова Е. Сравнение различных методик оценки требуемой вместимости склада при технологическом проектировании контейнерных терминалов // Эксплуатация морского транспорта. 2008. Т. 54. № 4. С. 9-14.
3. Абдувахитов Ш. Методика определения вместимости контейнерного терминала оборудованной козловым краном // Вестник КеМРИПК. 2018. № 4. С. 41-52.
4. Abdurahitov S., Makhmatkulov S., Dehkonov M. Technique for Determining the Capacity of a Container Terminal Served by a Straddle Carrier // Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2018. Т. 4. № 4. С. 405-415. <https://www.doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-405-416>.
5. Абдувахитов Ш., Махматкулов Ш., Икрамова Д. Методика определения вместимости контейнерного терминала, оборудованного козловым порталным пневмоколесным краном // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2018. Т. 16. № 3. С. 11-15.
6. Rasulov M. X., Abdurahitov S. R., Ilesaliev D. I. Defining the capacity of the container terminal served by a reach staker // Innotrans. 2019. № 1. С. 35-39. <https://www.doi.org/10.20291/2311-164X-2019-1-35-39>.
7. Rasulov M. X., Abdurahitov S. R., Ilesaliev D. I., Ismatullaev A. F. Investigation of container terminal main storage section parameters // Innotrans. 2019. № 2. С. 31-37. <https://www.doi.org/10.20291/2311-164X-2019-2-31-37>.
8. Zhiliaev D. E. Determination of Minimum Necessary Storage Capacity of a Dry Port Container Yard With a

Scheduled Cargo Turnover // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2015. T. 7. № 6. С. 79-85. <https://www.doi.org/10.21821/2309-5180-2015-7-6-79-85>.

9. Панасенко Н., Яковлев П. Контейнеризация международной транспортной системы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2016. № 4. С. 103-116.
10. Pesaliev D. I., Abduvakhitov S. R., Ismatullaev A. F., Makhmatkulov S. G. Research of the Main Storage Area of the Container Terminal // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. T. 9. № 1. С. 4625-4630. <https://www.doi.org/10.35940/ijeat.A2923.109119>.
11. Rakhmangulov A. N., Muravev D. S. Assessment of development options for «sea port – „dry” port» system using simulation method // Herald of the Ural State University of Railway Transport. 2016. № 3. С. 54-72. <https://www.doi.org/10.20291/2079-0392-2016-3-54-72>.
12. Васильев И. Метод решения задачи формирования комплекта контейнеров для отгрузки на железнодорожный вагон // Национальная Ассоциация Учёных. Т. 7. № 2-4. С. 101-103.
13. Кузнецов А. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов // Эксплуатация морского транспорта. 2009. Т. 58. № 4. С. 3-7.
14. Илесалиев Д., Абдувахитов Ш. Исследования функционирования контейнерного терминала // Транспорт: наука, техника, управление. 2019. № 11. С. 59-62. <https://www.doi.org/10.36535/0236-1914-2019-11-11>.
15. Басов Е. Оптимизация высоты складирования контейнеров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014. Т. 25. № 3. С. 166-170.
16. Abduvakhitov S. Capacity of Storage of Participant Cargoes // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. T. 24. № 4. С. 3864-3871. <https://www.doi.org/10.37200/IJPR/V24I4/PR201499>.
17. Абдувахитов Ш., Азимов Ф., Ибрагимов Г., Илесалиев Д., Исмагуллаев А. Контейнеризация как фактор развития организации перевозок грузов // Логистические системы в глобальной экономике. 2020. № 10. С. 49-52.
18. Mittal N., Boile M., Baveja A., Theofanis S. Determining optimal inland-empty-container depot locations under stochastic demand // Research in Transportation Economics. 2013. T. 42. № 1. С. 50-60. <https://www.doi.org/10.1016/j.retrec.2012.11.007>.
19. Pascual J., Aranda D., Hidalgo F., Smith A. E., Karakaya E., Gonzalez-Ramirez R. G. Empty container stacking operations: Case study of an Empty Container Depot in Valparaiso Chile // 2016 Winter Simulation Conference (WSC). Washington, DC, USA: IEEE, 11.12.2016 - 14.12.2016. С. 3724-3725. <https://www.doi.org/10.1109/wsc.2016.7822419>.
20. Boile M., Theofanis S., Baveja A., Mittal N. Regional Repositioning of Empty Containers // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2008. T. 2066. № 1. С. 31-40. <https://www.doi.org/10.3141/2066-04>.
21. Petering M. E. Decision support for yard capacity, fleet composition, truck substitutability, and scalability issues at seaport container terminals // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2011. T. 47. № 1. С. 85-103. <https://www.doi.org/10.1016/j.tre.2010.07.007>.
22. CHU C.-Y., HUANG W.-C. Determining container terminal capacity on the basis of an adopted yard handling system // Transport Reviews. 2005. T. 25. № 2. С. 181-199. <https://www.doi.org/10.1080/0144164042000244608>.
23. Guan C., Liu R. Container terminal gate appointment system optimization // Maritime Economics & Logistics. 2009. T. 11. № 4. С. 378-398. <https://www.doi.org/10.1057/mel.2009.13>.
24. Kozan E. Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals // Transportation Planning and Technology. 2006. T. 29. № 6. С. 471-482. <https://www.doi.org/10.1080/03081060601075716>.
25. Илесалиев Д.И., Коровяковский Е.К. Анализ существующих методов погрузки тарно-штучных грузов на железнодорожном транспорте // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2015. Т. 5. №1. С. 38-42.

References

1. Lubentcova V. S., Efremov A. V. *Solution of the problem of determining the capacity of a container terminal using the “death and birth” model* // Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences. 2005, vol. 38, pp. 155–158. <https://www.doi.org/10.14498/vsgtu393>. (In Russ.).
2. Kuznetsov A. L., Kozlova E. J. *The Comparative Study of Different Assessment Techniques for the Stack Size at the Container Terminal’s Technologic Design Stage* // Jekspluatacija morskogo transporta. 2008, vol. 54, no. 4, pp. 9–14. (In Russ.).
3. Abduvakhitov S. *Method for determining the capacity of a container terminal equipped with a gantry crane* // Vestnik KemRIPK. 2018, no. 4, pp. 41–52. (In Russ.).
4. Abduvakhitov S., Makhmatkulov S., Dehkonov M. *Technique for Determining the Capacity of a Container Terminal Serviced by a Straddle Carrier* // Nauchno-tehnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo univer-

- siteta. 2018, vol. 4, no. 4, pp. 405–415. <https://www.doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-405-416>. (In Russ.).
5. Abduvakhitov S. R., Makhmatkulov S. G., Ikramova D. Z. *Capacity Evaluation Method for Container Terminal Equipped with Rubber Tyred Gantry Crane* // Pacific Rim Countries Transportation System. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 11–15. (In Russ.).
 6. Rasulov M. X., Abduvahitov S. R., Ilesaliev D. I. *Defining the capacity of the container terminal served by a reach staker* // Innotrans. 2019, no. 1, pp. 35–39. <https://www.doi.org/10.20291/2311-164X-2019-1-35-39>. (In Russ.).
 7. Rasulov M. X., Abduvahitov S. R., Ilesaliev D. I., Ismatullaev A. F. *Investigation of container terminal main storage section parameters* // Innotrans. 2019, no. 2, pp. 31–37. <https://www.doi.org/10.20291/2311-164X-2019-2-31-37>. (In Russ.).
 8. Zhiliaev D. E. *Determining of Minimum Necessary Storage Capacity of a Dry Port Container Yard With a Scheduled Cargo Turnover* // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2015, vol. 7, no. 6, pp. 79–85. <https://www.doi.org/10.21821/2309-5180-2015-7-6-79-85>. (In Russ.).
 9. Panasenko N. N., Yakovlev P.V. *Containerization of World Transport System* // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2016, no. 4, pp. 103–116. (In Russ.).
 10. Ilesaliev D. I., Abduvakhitov S. R., Ismatullaev A. F., Makhmatkulov S. G. *Research of the Main Storage Area of the Container Terminal* // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 4625–4630. <https://www.doi.org/10.35940/ijeat.A2923.109119>.
 11. Rakhmangulov A. N., Muravev D. S. *Assessment of development options for «sea port – „dry” port» system using simulation method* // Herald of the Ural State University of Railway Transport. 2016, no. 3, pp. 54–72. <https://www.doi.org/10.20291/2079-0392-2016-3-54-72>. (In Russ.).
 12. Vasilyev I. A. *Solving Method Of Containers Composition Problem To Discharge To Railway Car* // Nacionalnaia Assotciatciia Uchenykh, vol. 7, № 2-4, pp. 101–103. (In Russ.).
 13. Kuznetsov A. L. *Genesis of the Agent Simulation in Development of Methods of Technological Design of Ports and Terminals* // Jekspluatatsija morskogo transporta. 2009, vol. 58, no. 4, pp. 3–7. (In Russ.).
 14. Ilesaliev D. I., Abduvahitov S. *Research Functioning Container Terminal* // Transport: science, equipment, management (Scientific Information Collection). 2019, no. 11, pp. 59–62. <https://www.doi.org/10.36535/0236-1914-2019-11-11>. (In Russ.).
 15. Basov E. *Container Yard Stacking Height Optimization* // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2014, vol. 25, no. 3, pp. 166–170. (In Russ.).
 16. Abduvakhitov S. *Capacity of Storage of Participant Cargoes* // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020, vol. 24, no. 4, pp. 3864–3871. <https://www.doi.org/10.37200/IJPR/V24I4/PR201499>.
 17. Abduvahidov S. R., Azimov F. K., Ibragimova G. R., Ilesaliev D. I., Ismatullaev A. F. *Containerization as a Factor in the Development of the Organization of Cargo Transportation* // Logistics systems in the global economy. 2020, no. 10, pp. 49–52. (In Russ.).
 18. Mittal N., Boile M., Baveja A., Theofanis S. *Determining optimal inland-empty-container depot locations under stochastic demand* // Research in Transportation Economics. 2013, vol. 42, no. 1, pp. 50–60. <https://www.doi.org/10.1016/j.retrec.2012.11.007>.
 19. Pascual J., Aranda D., Hidalgo F., Smith A. E., Karakaya E., Gonzalez-Ramirez R. G. *Empty container stacking operations: Case study of an Empty Container Depot in Valparaiso Chile* // 2016 Winter Simulation Conference (WSC). 122016, IEEE, pp. 3724–3725.
 20. Boile M., Theofanis S., Baveja A., Mittal N. *Regional Repositioning of Empty Containers* // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2008, vol. 2066, no. 1, pp. 31–40. <https://www.doi.org/10.3141/2066-04>.
 21. Petering M. E. *Decision support for yard capacity, fleet composition, truck substitutability, and scalability issues at seaport container terminals* // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2011, vol. 47, no. 1, pp. 85–103. <https://www.doi.org/10.1016/j.tre.2010.07.007>.
 22. CHU C.-Y., HUANG W.-C. *Determining container terminal capacity on the basis of an adopted yard handling system* // Transport Reviews. 2005, vol. 25, no. 2, pp. 181–199. <https://www.doi.org/10.1080/0144164042000244608>.
 23. Guan C., Liu R. *Container terminal gate appointment system optimization* // Maritime Economics & Logistics. 2009, vol. 11, no. 4, pp. 378–398. <https://www.doi.org/10.1057/mel.2009.13>.
 24. Kozan E. *Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals* // Transportation Planning and Technology. 2006, vol. 29, no. 6, pp. 471–482. <https://www.doi.org/10.1080/03081060601075716>.
 25. Ilesaliev D.I., Korovyakovskiy E.K. *The Analysis of Existing Methods of Package Cargoes Overloading on Railway Transportation* // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2015, vol. 5, no. 1, pp. 38–42.