

Научные подходы к исследованию процессов функционирования транспортно-перегрузочных комплексов для контейнеров

Радочинская Анжела Жановна, аспирант, anzhela.radochinckaia@mail.ru

Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

В работе представлен обзор научных статей в области совершенствования функционирования контейнерных терминалов на основе имитационного моделирования. Источником информации для обзора послужили вторичные научные данные, размещенные в открытой печати. Задачи исследования включали поиск публикаций, соответствующих заявленной тематике, выявление ученых, максимально способствовавших развитию новых научных разработок в данной области исследования, определение научных подходов к изучению процессов функционирования транспортно-перегрузочного комплекса по анализу текстов научных работ.

Ключевые слова: терминал, производственные процессы, погрузо-разгрузочные работы, терминальные операции, имитационное моделирование.

Scientific approaches to research of operation processes of containers transport and handling complexes

Radochinskaia Anzhela Zh., graduate student, anzhela.radochinckaia@mail.ru

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The paper presents a review of scientific articles in the field of improving operation of container terminals based on simulation modeling. Secondary scientific data published in the open mass media were the source of information for the review. The objectives of the research included searching for publications that correspond to the stated topic, identifying scientists who have contributed most to new scientific developments in this area of research, and determining scientific approaches to studying operation of the transport and handling complex by analyzing the scientific papers.

Keywords: terminal, production processes, load handling, terminal operations, simulation. modelling

Транспортно-перегрузочные комплексы – это сложные системы со своим набором различных изменяющихся параметров, с разнообразными вариантами функционирования, отсутствием полноты информации об исследуемой системе. Поэтому наиболее используемым инструментом их исследования является имитационное моделирование, позволяющее рассматривать большее число альтернатив, улучшать качество принимаемых управлеченческих решений и наиболее точно прогнозировать их последствия [1, 2, 3]. Применение методов имитационного моделирования в

области управления контейнерных терминалов нашло отражение в работах многих отечественных [4] и зарубежных [5] ученых.

Среди зарубежных исследователей, внесших существенный вклад в развитие теории и практики работы транспортно-перегрузочных комплексов, можно указать труды Mahdi Homayouni [5], Ngoc CT [6], Junliang He [7], Caimao Tan [8], Jianbin Xin [9], Fontes, D.B.M.M. и Homayouni S.M. [10], Yu-Chung Tsao [11], Nicole Kringos [12] и другие.

Среди отечественных авторов можно выделить работы К. А. Аблязова, А. В. Васина, Т. А. Вепринской, А. В. Галина, Ю. Е. Ежова, А. В. Кириченко, Р.Г. Короля, А.Л. Кузнецова, О. Б. Маликова, Е. В. Маловецкой, Н.Н. Майорова, О. Д. Покровской, Г. Б. Попова, А. Д. Семенова, А. Е. Слицана, М. А. Шаповаловой, А. А. Янченко и многих других ученых.

Изучение и критический анализ научных трудов перечисленных авторов позволили определить основные научные направления и подходы к исследованию технологических процессов контейнерного терминала.

Первым научным направлением в данной области исследования является разработка концептуальных основ оптимизации работы контейнерного терминала на основе имитационного моделирования. В научных исследованиях [13, 14] группой ученых под руководством профессоров А.Л. Кузнецова и А.В. Кириченко сформированы обобщенные подходы к решению задач технологического моделирования производственных систем морских терминалов на основе имитационного моделирования.

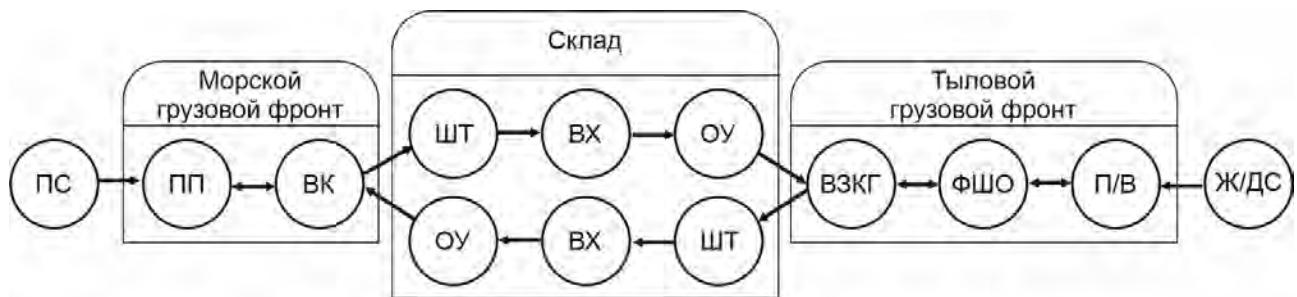
Так в статье [13] предложено на первом этапе моделирования рассматривать исследуемый технологический процесс как модель системы массового обслуживания в виде «черного ящика». Подобный подход позволил исследователям абстрагироваться от многообразия существующих вариантов функционирования контейнерных терминалов и предложить авторский метод для определения характеристик обслуживания на основании только характеристик входного потока и значений пропускной способности системы.

В работе [14] раскрыт второй этап имитационного моделирования технологических процессов контейнерного терминала в виде «белого ящика». Все многообразие существующих вариантов функционирования контейнерных терминалов предложено рассматривать как комплекс бизнес-процессов. Такой подход к позволяет не только создать комплексную имитационную модель для оценки потребности терминала в технологических ресурсах, но и выполнить при необходимости анализ отдельных локальных операций. Особенностью имитационного моделирования в парадигме рассмотрения деятельности контейнерного терминала как бизнес-процесса является то, что в сферу моделирования вовлечены не только технологические ресурсы, но и людские ресурсы в виде лиц, принимающих решения.

Методика построения имитационной модели в терминах бизнес-процессов, составляющих деятельность терминала в целом, близка по своей сути к общезвестному и широко используемому приему при построении моделей – дискретно-событийное моделирование технологических процессов [15, 16, 17]. Этот подход предполагает выделение отдельных операций, выполняемых технологическим оборудованием, при движении грузопотока между функциональными элементами терминала [18, 19, 20]. Отличительная особенность данного подхода от моделирования в терминах бизнес-процессов – влияние, которое оказывают на технологический процесс лица, принимающих решения, в параметрах имитационной модели не учитывается.

Второе научное направление – разработка имитационных моделей технологических процессов внутри функциональных элементов контейнерного терминала: морского грузового фронта, складской зоны и тылового грузового фронта (рис.). Модели морского грузового фронта подразделяются на имитации процессов распределение судов по свободным причалам, выполнение погрузо-разгрузочных работ на причалах. Модели складской зоны подраз-

деляются на имитации процессов работы технологической линии с целью обоснования оптимального набора используемой при этом перегрузочной техники, функционирования складирующего оборудования при выполнении отдельной локальной операции. моделируемой ситуации в экспериментальных исследованиях: модели с вариацией технологических схем исполнения самой операции и модели с вариацией технологического оборудования в схеме обработки. При моделировании операций тылового грузового фронта используются модели с вариацией технологических схем исполнения исследуемой операции и модели с вариацией технологического оборудования в технологической схеме обработки железнодорожного состава.



Функциональные элементы схемы:

ПС – приход судна в порт.

Морской фронт: ПП – постановка к причалу; ВК – выгрузка/погрузка контейнеров на причал/судно.

Склад: Шт – штабелирование в зоне хранения контейнерного терминала;

ВХ – временное хранение в ожидании прихода транспортного средства (судно, ж/д состав);
ОУ – оплата услуг контейнерного терминала.

Тыловой фронт: ВЗКГ – вывоз/ввоз контейнеров в зоне комплектации груза;

ФШО – формирование/расформирование штабеля отправки;

П/В – погрузка/выгрузка ж/д отправки.

Ж/ДС – подача ж/д состава под погрузку/выгрузку.

Рисунок – Общая схема обработки контейнеропотока в порту

Обзор моделей морского грузового фронта. Имитационные модели распределения судов по свободным причалам применяются в комплексном анализе взаимодействия морского порта и флота, когда необходимо определить эффективность работы каждой из систем при различном сочетании параметров их взаимодействия [21, 22, 23]. Объектами имитационного моделирования в работах [21, 22] являются входящий в порт поток судов и причалы морского порта. Описываемые в них имитационные модели построены в терминах системы массового обслуживания. Отличительной особенностью модели, представленной в источнике [21], является возможность учитывать при имитации неоднородность как потока заявок от судов на обслуживание, так и ресурсов каждого из причалов, через оценку полезности поступающих заявок для каждого отдельного ресурса [24]. Реализованная таким образом в системе массового обслуживания селективность потоков позволила авторам статьи выполнить многосценарное моделирование судозаходов различной интенсивностей как на основе реальных эталонных данных, так и прогнозных сценариев, выполненных на основе пуассоновского, нормального и гамма-распределений.

Имитационное моделирование процесса взаимодействия морского порта и флота становится актуальным и в связи с развитием морского судоходства в Арктике, где влияние метеорологических условий имеет огромную роль. В работе [23] предложены модели, имитирующие обработку судна, при работе последнего по круговому маршруту, в терминах вероятностного конечного автомата. Особенности работы судна по круговому маршруту с судо-заходами в порты и портовые пункты Восточной Арктики подробно изложены в [25, 26]. Алгоритм движения судна описывается следующими последовательными состояниями простейшего автомата: ожидает на рейде порта, обслуживается у причала порта, находится на маршруте следования в следующий порт кругового маршрута [23] и так далее. При наличии одновременно нескольких судов на рейде порта в ожидании обслуживания, их конкуренция за причал приводит к образованию очереди. Наличие возможности появления очереди видоизменяет структуру состояния «ожидает на рейде порта», дополняя функцию переходов конечного автомата таким образом, чтобы пришедшее на рейд судно в случае занятости причала ставилось в очередь, а в случае освобождения причала из очереди выводилось под обработку на нем первое пришедшее судно. Реализация функции переходов с очередью из судов на рейде в виде алгоритмической имитационной модели описана в работе [27]. В такой интерпретации имитационная модель в терминах конечного автомата позволяет учитывать в поведении системы движущихся по своим детерминированным маршрутам судов возможные пристои судов при заходе в их общий узловой порт. Помехи в виде неблагоприятных метеоусловий и навигационной обстановки действуют на ходовое время судна в сторону его увеличения. Поскольку они возникают на каждом отдельном круговом маршруте судна, их также необходимо учитывать при проведении имитационных экспериментов. Действие помех указанного рода учитывается в функции переходов автомата следующим образом. Судно не перемещается в следующую позицию, соответствующую расчетному дискретному времени движения судна, а остается в прежней, соответствующей предыдущим суткам [23]. Такое представление описывается уже вероятностным автоматом, в некоторых состояниях которого предусмотрены возможности перехода в следующее положение движения по маршруту или задержки, определяемые своими значениями вероятности наступления.

Имитационная модель, используемая для совершенствования погрузо-разгрузочных работ на причалах представлена в работе [28]. Практическая направленность исследования – поиск ответа на вопрос, насколько необходимо увеличить производительность причального оборудования, чтобы полностью удовлетворить растущий объем грузопереработки на причале. В статье показан способ проведения имитационных экспериментов с целью определения среднего времени ожидания обслуживания судов, среднего числа судов, ожидающих обслуживания, коэффициента загрузки оборудования на причале порта. Причальная система представлена как система массового обслуживания, в которой обрабатываются требования на обслуживание от судов, имеющих случайный разброс момента их подачи. Длительность производства погрузо-разгрузочных работ в модели имеет разброс по времени и может быть константой или изменяться по определенному закону распределения, выбор которого зависит в том числе и от используемого погрузочного оборудования.

Обзор моделей складской зоны терминала. Основными производственными задачами складской зоны является оказание погрузо-разгрузочных услуг грузовладельцам при перемещении их груза по территории транспортного терминала и услуги по его хранению в ожидании транспорта отправки. Оказание качественных погрузо-разгрузочных услуг напрямую зависит от используемого оборудования и применяемых в его работе технологических схем. Имитационная модель формирования оптимального парка портового оборудования для обслуживания технологических линий терминала представлены в [29, 30]. В этой модели формализация процесса функционирования технологической линии при постоянных грузопото-

ках и емкости склада выполнена вложенными сетями Петри. Симуляция процесса работы линии позволяет выявить конфликтные ситуации между используемым оборудованием и способы их разрешения. По результатам имитационных экспериментов принимается решение по выбору портово-перегрузочного оборудования для конкретной технологической линии.

На ряду с имитационными моделями, изучающими взаимодействие технологического оборудования терминала при обслуживания технологических линии, разрабатываются модели поиска оптимальной последовательности действий перегружателя при выполнении локально операции. Так в работах [31, 32] описан процесс моделирования начальной операции транспортировки груза, а именно селективная выемка грузовой партии контейнеров из штабеля в складской зоне. Имитационная модель реализована в виде конечно-автоматного графа функционирования складирующего оборудования и позволяет разработать алгоритм оптимального управления его действиями.

Кроме имитационных моделей, направленных на решение основных производственных задач складской зоны, имитационное моделирование применяется для поиска оптимального размещения контейнерных штабелей различной конфигурации на ограниченной территории. Например, в работе [33] предложен алгоритм, генерирующий различные технологически допустимые варианты расположения складской зоны терминала, параллельного или перпендикулярного к границам терминала. В результате моделирования получают различные схемы размещения штабелей в складской зоне и соответствующие этим схемам общая вместимость и пропускная способность всего терминала. На основании полученных данных определяют наиболее рациональный вариант расположения складской зоны.

Обзор моделей тылового грузового фронта терминала. Имитационные модели в данном случае разрабатываются для симуляции процесса выполнения наиболее приоритетной операции тыловой зоны – обработка железнодорожного состава [34]. Интерес к этой операции как объекту моделирования обусловлен следующим. Во-первых, данная операция требует высокой производительности, так как в соглашении с железнодорожной станцией есть жесткие условия по срокам обработки железнодорожного состава. Во-вторых, обработка поезда является наиболее трудоемкой технологической операцией, так как связана с выборкой из операционного штабеля контейнеров, составляющих вывозимую через тыловой грузовой фронт железнодорожную партию. Все созданные имитационные модели для оптимизации выполнения операции обработки железнодорожного состава делятся на две группы по виду моделируемой ситуации в экспериментальных исследованиях: модели с вариацией технологических схем исполнения самой операции и модели с вариацией технологического оборудования в схеме обработки. Например, в работе [34] описана постановка численных экспериментов, в процессе исполнения которых выполняется симуляции со следующими вариантами технологической схемы обработки:

- погрузка железнодорожной подачи – осуществляется одновременно с другими операциями. При этом предполагается, что обработка железнодорожного подвижного состава выполняется в течение интервала определенного интервала времени;
- погрузка с абсолютным приоритетом данной операции – предлагает приостановку всех операций, кроме погрузки и выгрузки контейнерных платформ;
- погрузка с использованием престакинга – предлагает в промежуток между прибытием железнодорожных подач на паритетных условиях формировать вспомогательный штабель в адрес прибывающего железнодорожного подвижного состава, а по прибытию последнего производить грузовые работы по размещению контейнеров из сформированного штабеля в линию, расположенную вблизи железнодорожно-грузового фронта.

Третье научное направление – разработка имитационных моделей, направленных на исследование взаимодействия элементов производственной системы контейнерного терминала между собой и между ними и внешней средой.

Имитационная модель, применяемая для исследования взаимодействия элементов системы между собой, представлена в работе [35]. На основе дискретно-событийного моделирования и сетевого планирования авторами была изучена природа взаимодействия между основными потоковыми процессами терминала и выполнена их систематизация. Сделан обоснованный вывод, что любой транспортный поток, входящий в производственную систему, порождает множество последовательных транспортно-технологических процессов. Следовательно, при моделировании необходимо учитывать, как формируется эта последовательность. В сервисе данной имитационной модели можно выбрать один из двух вариантов формирования последовательности транспортно-технологических процессов. Первый вариант – один процесс выгрузки связан с множеством процессов погрузки (например, если груз прибывает на судне, а убывает автомобильным и/или железнодорожным транспортом). Второй вариант – множество процессов выгрузки связаны только с одним процессом погрузки (загрузка судна). Иными словами, отличительной особенностью данной модели от других известных моделей (например, [13, 17, 22]) является то, что процесс симуляции для нее построен на принципе объединения и разделения отдельных элементов грузопотока, поступающих на различных видах транспорта.

Рассмотрим группу имитационных моделей, применяемая для исследования взаимодействия элементов системы с внешней средой контейнерного терминала. В работах [36, 37] представлены имитационные модели системы взаимодействия оператора морского грузового терминала с таможенными органами и участниками внешнеэкономической деятельности [38]. В статье [36] предложена имитационная модель на основе вероятностной модели сетевого графика. Данный сетевой график позволяет визуально представить процесс агрегированных взаимоотношений элементов системы при проведении грузовых операций с представлением таможенных услуг по технологии предварительного информирования [39, 40]. Набор параметрических значений в сетевой модели представлен в виде распределения вероятностей. Использование в работе имитационной модели генерации случайно распределенных величин методом Бокса – Мюллера позволил ее авторам применить фундаментальный закон преобразования вероятностей для получения двух независимых нормальных переменных, имеющих стандартное нормальное распределение с нулевым средним и единичным стандартным отклонением. В работе [37] также изучен процесс взаимного влияния элементов системы обработки импортных грузопотоков на контейнерном терминале с использованием предварительного информирования таможенных органов [41]. Но в отличии от проанализированной выше модели [36] для визуального представления процесса агрегированных взаимоотношений элементов системы авторы использовали в этой работе дискретно-событийное моделирование, а процесс симуляции реализовали как систему массового обслуживания [42]. В работах [43, 44] представлены имитационные модели исследования работы железнодорожной станции во взаимодействии с контейнерным терминалом. В данном случае в качестве исследуемой системы авторы рассматривают технологические процессы станции, а в роли внешней среды – технологические процессы грузопереработки на контейнерном терминале морского порта. Имитационная модель, предложенная в [43], позволяет оценить как увеличение прибывающего вагонопотока повлияет на параметры работы железнодорожной станции (перерабатывающая способность, время нахождения вагонов на станции с расчленением по операциям, полная загрузка устройств терминала порта, локомотивов, железнодорожных путей). Симуляция процесса работы станции в моделируемых условиях позволяет проанализировать такие критические ситуации, как непринятие вагонов портом и увеличение количества

прибывающих поездов, определить резервы станции, устойчивость работы, рассчитать предельную вместимость вагонов на железнодорожных путях. В результате моделирования определяются придельные характеристики работы, при которых станция не сможет нормально функционировать и перерабатывать поступающий вагонопоток. Имитационная модель, предложенная в [44], позволяет исследовать влияние неравномерностей (суточных и сезонных) прибывающего на припортовую железнодорожную станцию вагонопотока на перерабатывающую способность терминала. В качестве инструментария для построения модели был применен метод Монте-Карло. В результате имитационных экспериментов, выполняемых на данной модели, определяют дефицит или профицит перерабатывающей способности у конкретного морского порта.

Выводы. В качестве объекта моделирования в научных исследованиях рассматриваются процессы обработки грузопотоков на контейнерном терминале для различных технологических целей, таких как:

- 1) оптимизация системы взаимодействия участников транспортного процесса, координация деятельности всех составляющих элементов системы грузопереработки контейнерного терминала [24, 35, 36, 43];
- 2) оптимизация технологических процессов обработки груза на контейнерном терминале [15, 29, 34];
- 3) планирование и управление локальными операциями контейнерного терминала [31, 32].

Способы универсального описания и задания типовых грузопотоков, форматы описания функциональных операций и требуемого транспортно-технологического оборудования для их выполнения в рассмотренных имитационных моделях говорят о широком использовании процессного подхода в моделировании. Процессный подход к имитационному моделированию производственной системы контейнерного терминала открывает следующие возможности: быстро изменять транспортно-технологическую схему терминала, анализировать взаимодействие потоков в их конкуренции за технологические ресурсы (грузовые фронты, рабочую силу, складские ресурсы, подъемно-транспортное оборудование) и таким образом определять качество предоставляемых терминальных услуг. Изменение качественных и количественных технологических параметров модели позволяет добиться требуемого уровня предоставления терминальных услуг участникам транспортного процесса.

Список литературы

1. Покровская, О. Д. Морфология терминальных сетей / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов, М. А. Зачешигрива // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14, № 1. – С. 88-102. – EDN YNBXWB.
2. Хасанов, Д. С. Распределение ресурсов для контейнерных терминалов в реальном времени / Д. С. Хасанов // Информатизация и связь. – 2024. – № 4. – С. 70-77. – DOI 10.34219/2078-8320-2024-15-70-77. – EDN ERIGZN.
3. 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/aumsuomtl01/7. – EDN GJAWXI.
4. Петрова, Е. Е. Социально-сетевой анализ зарубежных исследований в области автоматизации грузовых контейнерных перевозок / Е. Е. Петрова, В. В. Ганнесен, Т. Е. Маликова // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 79. – С. 238-249. – DOI 10.37890/jwt.vi79.491. – EDN VEPGAM.

5. Seyed Mahdi Homayouni, Sai Hong Tang, Omid Motlagh, A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 270, 2014, Pages 545-556, ISSN 0377-0427, <https://doi.org/10.1016/j.cam.2013.11.021>.
6. Ngoc CT, Xu X, Kim H-S, Nguyen DA, You S-S. Container port throughput analysis and active management using control theory. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2022;236(1):185-195. doi:10.1177/14750902211020875
7. Minghui Wei, Junliang He, Caimao Tan, Jiantao Yue, Hang Yu, Quay crane scheduling with time windows constraints for automated container port, *Ocean & Coastal Management*, Volume 231, 2023, 106401, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106401>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569122003775>).
8. Junliang He, Zhaowei Jin, Caimao Tan, Yu Wang, and Hang Yu *Asia-Pacific Journal of Operational Research* Vol. 38, No. 03, 2140005 (2021) Yard Template Generation in a Container Terminal Considering Time Requirement of Vessel Operation <https://doi.org/10.1142/S0217595921400054>.
9. Jianbin Xin, Rudy R. Negenborn, Corman, Francesco, Optimal scheduling and routing of free-range AGVs at large scale automated container terminals/ *Journal / series Periodica Polytechnica Transportation Engineering* Volume 44 (3) Pages / Article No.145 – 154, 2016 <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000183049>.
10. Fontes, D.B.M.M., Homayouni, S.M. A bi-objective multi-population biased random key genetic algorithm for joint scheduling quay cranes and speed adjustable vehicles in container terminals. *FlexServManuf J* 35, 241–268 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10696-022-09467-6>.
11. Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh. A multi-objective mixed robust possibilistic flexible programming approach for sustainable seaport-dry port network design under an uncertain environment. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Volume 124, April 2019, Pages 13-39. DOI: 10.1016/j.tre.2019.02.006.
12. Mohamed Nezar Abourraja, Nicole Kringsos, Sebastiaan Meijer. Exploiting simulation model potential in investigating handling capacity of Ro-Ro terminals: The case study of Norvik seaport. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Volume 117, May 2022, 102513. DOI: 10.1016/j.simpat.2022.102513.
13. Аналитическая симуляционная модель произвольной системы массового обслуживания / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов, И. В. Русинов // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 1-1(59). – С. 278-281. – DOI 10.37220/MIT.2023.59.1.037. – EDN XQCKKH.
14. Кузнецов, А. Л. Подход к моделированию контейнерных терминалов на основе бизнес-процессов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 1039-1050. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1039-1050. – EDN OIQJZS.
15. Янченко, А. А. Методика анализа технологического процесса обработки груза на контейнерном терминале / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 2(95). – С. 20-26. – DOI 10.34046/aumsuomt95/3. – EDN OTCLEF.
16. Вепринская, Т. А. Применение модели массового обслуживания для совершенствования методов оказания транспортных услуг / Т. А. Вепринская, А. Е. Слицан // Транспортное дело России. – 2020. – № 4. – С. 179-181. – EDN RGMNGI.
17. Кузнецов, А. Л. Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин, Г. Б. Попов // Вестник государственного универ-

- ситета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 589-602. – DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-4-589-602. – EDN TRJAZE.
18. Янченко, А. А. Дискретно - событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 4(85). – С. 25-31. – EDN YRPID.
19. Васин, А. В. Моделирование оптимальной конфигурации морского порта / А. В. Васин, Д. С. Захаров, Л. В. Анненков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 662-669. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-4-662-669. – EDN HNYLLX.
20. Янченко, А. А. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, И. Н. Вольнов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 704-713. – DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713. – EDN ZEUQEF.
21. Майоров, Н. Н. Моделирование работы морского пассажирского порта на основе цифровой транспортной модели с учетом различных приоритетов круизных и паромных судов / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, А. А. Силина // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 197-211. – DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-2-197-211. – EDN ANFAKG.
22. Галин, А. В. Имитационное моделирование распределения судов по неоднородным причалам порта / А. В. Галин, Г. Б. Попов, Ю. Н. Андрющечкин // Речной транспорт (XXI век). – 2021. – № 1(97). – С. 54-57. – EDN UNKKZB.
23. Влияние метеоусловий на взаимодействие флота и порта при работе по линейному расписанию / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов, С. Н. Турусов // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 2-1(60). – С. 274-277. – DOI 10.37220/MIT.2023.60.2.034. – EDN ZESXVB.
24. Майоров, Н. Н. Оценка эффективности алгоритма для решения задачи разноприоритетного обслуживания в транспортных системах / Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы : Материалы XXVII Международной научной конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 03–07 июня 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 261-267. – EDN JJEVSE.
25. Маликова, Т. Е. Математическая модель планирования работы буксирного флота для обработки судов на рейде / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13, № 5. – С. 651-658. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-5-651-658. – EDN NQSQHA.
26. Тимошек, Е. С. Распределительная модель судов снабжения арктического региона на участке транспортной сети / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 60. – С. 213-222. – EDN KPHANZ.
27. Купцов, Н. В. Разработка модели вероятностной оценки пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / Н. В. Купцов, А. Л. Кузнецов, А. В. Шатилин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 17-34. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34. – EDN OCQYWM.
28. Аблязов, К. А. Использование информационных технологий для имитационного моделирования технологических операций погрузочноразгрузочных работ на причалах морского порта / К. А. Аблязов, Э. К. Аблязов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 2(83). – С. 5-10. – EDN ZUMFTN.

- 29.Зуб, И. В. Моделирование функционирования транспортного терминала вложенными се-тями Петри / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 2(36). – С. 41-48. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-2-41-48. – EDN VTNPYR.
- 30.Зуб, И. В. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирова-ния технологической линии порта / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Н. Н. Стенин // Вестник госу-дарственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 1016-1028. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028. – EDN GTLQDP.
- 31.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/autsuomt105/11. – EDN YTYFIS.
- 32.Malikova, T. E. Simulation model for controlling loader actions at formation and unloading of the operational stack of a container terminal / T. E. Malikova, E. E. Soloveva // 7th International scientific-practical conference «Simulation and complex modelling in marine engineering and marine transporting systems» (SCM MEMTS-2023) : Труды конференции, Санкт-Петербург; Кронштадт, 22 июня 2023 года. – Санкт-Петербург: НП-Принт, 2023. – Р. 25-30. – EDN ESECJS.
- 33.Автоматизация расчета пропускной способности терминала на основании данных о гра-ницах территории / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов, А. М. Сампиев // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 2-1(60). – С. 269-273. – DOI 10.37220/ MIT.2023.60.2.033. – EDN STQQAB.
- 34.Кузнецов, А. Л. Планирование работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов методами имитационного моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 243-253. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253. – EDN TAUEUL.
- 35.Семенов, К. М. Методика систематизации процессов в дискретно-событийной имитаци-онной модели морского порта / К. М. Семенов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2013. – № 2. – С. 184-192. – EDN PKWQPQ.
- 36.Шаповалова, М. А. Имитационное моделирование системы взаимоотношений участников транспортно-логистического процесса на морском грузовом терминале / М. А. Шаповало-ва, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 336-345. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-336-345. – EDN NILVAS.
- 37.Маликова, Т. Е. Модель массового обслуживания импортного грузопотока с применением технологии предварительного информирования / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко, И. Н. Вольнов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмира-ла С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 280-287. – DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287. – EDN YLFWJN.
- 38.Маликова, Т. Е. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 25-29. – EDN VONRKJ.
- 39.Маликова, Т. Е. Применение технологии предварительного информирования таможенных органов при морских внеплановых грузоперевозках / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Ма-

карова. – 2016. – № 3(37). – С. 33-45. – DOI 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45. – EDN WBKBYL.

- 40.Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании / А. И. Азовцев, Т. Е. Маликова, А. И. Филиппова, А. А. Янченко // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3-1(33). – С. 327-332. – EDN YLOGQN.
- 41.Янченко, А. А. Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, А. В. Кузьмин // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток : сборник научных трудов X Региональной научной конференции, посвященной 25-летию ФТС России, Владивосток, 05–06 октября 2016 года. – Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. – С. 257-262. – EDN YGMSNB.
- 42.Янченко, А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 57-67. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67. – EDN ZDUVZR.
- 43.Король, Р. Г. Обоснование математического аппарата для моделирования работы железнодорожной станции во взаимодействии с портом / Р. Г. Король // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2013. – Т. 2. – С. 57-63. – EDN SEEXKP.
- 44.Маловецкая, Е. В. Возможности корректировки вагонопотоков в адрес морских портов по средствам имитационного моделирования / Е. В. Маловецкая // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 10. – С. 36-42. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-10-36-42. – EDN ZLQWJE.

Поступила в редакцию 18 марта 2025 г.