

На правах рукописи



Валькова Светлана Сергеевна

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВМЕСТИМОСТИ
СКЛАДА МОРСКОГО ПОРТА
С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кузнецов Александр Львович.

Официальные оппоненты: Маликова Татьяна Егоровна
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», профессор кафедры теории устройства судна.

Коровяковский Евгений Константинович
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», и.о. заведующего кафедрой «Логистика и коммерческая работа».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова».

Защита состоится 14 апреля 2020 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д 223.009.05 при ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» по адресу 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7, ауд.235а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова:

http://gumrf.ru/naudejat/птф/dissov_22300905/zd22300905/

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Изотов Олег Альбертович

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования обусловлена ростом конкуренции морских портов в глобальном транспортно-экономическом пространстве. Возрастание роли портов во всех вертикальных звеньях и горизонтальных эшелонах логистических цепей товаропродвижения увеличивают экономическое давление на коммерческую деятельность морских портов. Рост размеров судов приводит к увеличению требований к пропускной способности портовых мощностей. Экологические ограничения в большинстве случаев исключают простое экстенсивное развитие портов и терминалов. Увеличивающаяся вследствие внедрения новых технологий грузообработки капиталоемкость строительства элементов портовой инфраструктуры в этих условиях приводит к значительным коммерческим рискам. В то же время, дефицит портовых мощностей снижает качество обслуживания грузоперевозчиков и создает угрозы рыночной устойчивости морского порта. Потери вследствие недостаточно эффективного использования (вследствие избыточности) операционных ресурсов должны быть сбалансированы с потерями от их дефицита. Используемые сегодня методы проектирования морских портов, разработанные в условиях давно утратившей актуальность командно-административной экономической системы, становятся источником потенциальной опасности для успешности коммерческой деятельности морского порта. Как следствие, проблема создания новых, более адекватных и точных методов расчета параметров основных структурных элементов порта становится все более актуальной. К таким капиталоемким структурным элементам в первую очередь относятся складские мощности.

Степень разработанности темы. Вопросы расчета требуемой емкости складов морских портов и грузовых терминалов изучались многими зарубежными и отечественными исследователями. Среди зарубежных специалистов, внесших существенный вклад в исследование данных проблем, необходимо отметить Н. Agerschou, P. Alderton, W. Astle, A. Branch, C. Comtois, A. Couper, R. Doudlas, G. Geen, E. Frankel, J. Janson, T. Notteboom, S. Pettit, J.P. Rodrigue, V. Roso, B. Slack, L. Taylor, I. Watanabe. Обширный справочный материал и практические рекомендации содержатся в изданиях, периодически публикуемых WorldBank, UNCTAD, НРС и др. В числе отечественных исследователей наиболее значимыми являются работы Басова Е.Н., Ветренко Л.Д., Дерябина Р.В., Шутенко В.В., Кириченко А.В., Кузнецова А.Л., Лимонова Э.Л., Эглита Я.Я., Маликова О.Б., Погодина В.А., Романовского Ф.Д., Степанца А.В., Степанова А.Л., Фролова А.С., Щербаковой-Слюсаренко В.Н. и др. Однако, несмотря на фундаментальную проработку многих научных проблем, множество задач, касающихся рационализации проектирования складских портовых мощностей, остаются нерешенными.

Цели и задачи диссертационного исследования. Целью исследования является повышение эффективности использования основного структурно-

го элемента морского порта, а именно – капиталоемких складских мощностей, путем нахождения рационального баланса между рисками их нехватки и недоиспользования, достигаемого методами имитационного моделирования, что позволит повысить эффективность операций всего морского порта и обеспечить его рыночную устойчивость.

Для достижения поставленной цели необходимо решить научную задачу создания теоретически обоснованного метода многокритериальной рационализации размеров склада морского порта, как его основного технологического ресурса, учитывающего коммерческие аспекты отношений порта с перевозчиками, а также выявление механизмов влияния стохастических факторов на работу склада и порта в целом.

Для решения этой задачи в диссертационном исследовании предлагается решить следующие частные задачи:

- на основании современных транспортно-логистических представлений идентифицировать и ранжировать основные функции склада морского порта, оценить адекватность существующих методов технологического проектирования морских портов, сформулировать требования и определить характеристики новых инструментов проектирования в части определения требуемой вместимости складов морского порта;

- разработать последовательность имитационных моделей обобщенного склада морского порта, в качестве центрального элемента исследований, фокусирующихся на динамике поведения объема хранения;

- разработать имитационно-симуляционную модель, позволяющую оценивать последствия периодически возникающего дефицита складских мощностей при заданных статистических неоднородностях грузопотоков морского и сухопутного транспорта;

- разработать методику доказательства адекватности разработанных моделей;

- выполнить экспериментальную оценку эффективности созданного инструмента проектирования, на основании чего предложить методику ее использования в качестве инструмента технологического проектирования и управления работой морского порта.

Научная новизна исследования состоит в разработке последовательности математических моделей, взаимодействия системы стохастических грузопотоков морского и сухопутного транспорта, входящих и исходящих, отличающуюся от известных возможностью введения неоднородных сценариев, а также методов оценки эффективности грузовых операций при проектировании морского порта.

Теоретическая значимость исследования заключается в формулировке принципов создания последовательности имитационных моделей обобщенного склада морского порта, а также разработке средств методики доказательства адекватности разработанных моделей.

Практическая значимость работы заключается в создании по результатам исследования специализированного программного обеспечения, предназначенного для поддержки проектных решений, а также в разработке рекомендаций в отношении этого инструмента для его использования при технологическом проектировании морских портов и терминалов.

Объектом исследования является технология, организация и управление работой морского порта, рассматриваемого в качестве функционально-интерфейса между морским и сухопутным видами транспорта.

Предметом исследования является оценка влияния объективных и субъективных ограничений на динамику операций склада морского порта.

Границами исследования установлена совокупность процессов, протекающих в операционных зонах склада морского порта, без рассмотрения связи с тыловыми зонами и хинтерлендом морского порта.

Методология исследования основана на системном подходе (используемом в его блочно-иерархическом варианте), теории и практике имитационного моделирования, технологии реляционного и объектно-ориентированного программирования, методах математической статистики.

Методы исследования включают в себя аналитические методы (основанные на нормах технологического проектирования портов), методы теории вероятности и математической статистики (метод Монте-Карло), методы теории массового обслуживания, методы «мягких» вычислений, теории конечных автоматов, теории алгоритмов, имитационного моделирования систем, планирования и обработки результатов экспериментов.

Положения, выносимые на защиту, включают:

- последовательность математических моделей, реализованную методами реляционного и объектно-ориентированного имитационного моделирования, обеспечивающую исследования динамики поведения объема хранения груза на складе морского порта, учитывающих представление всех расчетных и выходных данных в виде случайных величин;

- методику доказательства адекватности последовательности создаваемых моделей;

- методику планирования серии модельных экспериментов, позволяющую обеспечить заданный уровень достоверности результатов;

- теоретически обоснованную методику использования созданных инструментов в технологическом проектировании морских портов.

Степень достоверности результатов подтверждается проведенным всесторонним анализом имеющихся научно-исследовательских работ по предмету диссертации, применением апробированного научного аппарата исследований, установленным совпадением результатов, приведенных в исследовании с результатами, полученными другими существующими методами, в пределах применимости последних.

Апробация результатов работы. Основные теоретические и практические положения диссертационного исследования докладывались на конференциях:

II Международной научно-практической конференции «Порто-ориентированная логистика», г. Санкт-Петербург, 2018 г.; V Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана», г. Владивосток, 2018 г.; Национальной ежегодной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, 2018 г.; Международной научно-практической конференции «Проблемы взаимодействия науки и общества», г. Волгоград, 2018 г.; 66-ой Международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», г. Владивосток, 2018 г.; 16-ой Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте», г. Владивосток, 2018 г.; IV Международной научно-технической конференции «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли», г. Владивосток, 2018 г.; Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений», г. Севастополь, 2019 г.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 работах, 6 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, из списка рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации основных результатов диссертационных исследований.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых терминов, списка сокращений, списка использованной литературы и двух приложений. Работа изложена на 125 страницах, содержит 40 рисунков и 4 таблицы. Список использованной литературы составляет 134 наименования, из них 51 – иностранных.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулирована цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, раскрыта теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе «Анализ развития морских портов как инфраструктуры системы транспорта» выполнен аналитический обзор литературных источников и научно-исследовательских работ по теме диссертации, проводится их критический анализ и определяется круг недостаточно проработанных вопросов, анализируются методы исследований и их применимость к решению поставленных задач.

Ретроспективный анализ моделей развития морских портов в современных глобальных транспортно-логистических сетях доказывает, что степень их развития не только отражает состояние экономики того или иного региона, но и стимулирует его развитие. Развитие современных морских портов подчиняется определенным законам и обнаруживает схожие тенденции, описываемые различными теоретическими моделями.

Теоретический базис моделей развития порта на современном этапе все больше строится на достижениях новой научной дисциплины – логистики, которая в рамках данного исследования принимает форму логистики транспортной.

Логистику товародвижения в любом функциональном домене характеризуют узловые элементы, имеющие ключевое значение для данной сферы ее применения. К таким ключевым элементам функциональной структуры морских портов относятся грузовые склады, определяющие потенциальные возможности порта, устанавливающие ограничения на его экономическую эффективность, формирующие возможные сценарии развития.

Запасы, хранимые на складах, являются всеобщей формой нахождения продуктов в процессе товародвижения. Если транспортировка является способом согласования потребности товара в пространстве, то складирование выполняет не менее важную функцию такого же согласования по времени.

Теория запасов в общей логистике изучена достаточно глубоко, но функционал складов и управление ими в системе производства и распределения коренным образом отличается от функционала и управления грузовыми складами в морских портах. Причина этого лежит в различной роли складов и их запасов: реактивной в логистических складах и проактивной в складах морских портов. Как следствие, невозможность использования теоретических результатов, накопленных в общей логистике, и существенная необходимость иметь такие результаты обуславливают проведение данного исследования в отношении выделенного предмета и объекта – морских портов и их складов.

Другим обоснованием является капиталоемкость элементов портовой инфраструктуры, по масштабу не сопоставимых с объектами в классической логистике, как следствие, проблема создания новых, более адекватных и точных методов расчета параметров основных структурных элементов порта становится все более актуальной.

Для качественного повышения эффективности использования, основного структурного элемента морского порта, капиталоемких складских мощностей необходимо идентифицировать и ранжировать основные выполняемые им функции. К функциям склада морского порта относятся следующие специальные функции, а именно:

- передача грузопотоков между различными видами транспорта;
- согласование размеров транспортных партий;
- сглаживание неравномерности движения транспортных средств;
- коммерческое хранение грузов;
- преобразование грузопотоков.

Все морские порты и терминалы выполняют близкие по составу функции, для эффективного выполнения которых предусматриваются различные функциональные элементы, связанные между собой и образующие

внутреннюю транспортно-технологическую систему соответствующего инфраструктурного объекта.

В диссертационном исследовании проводится анализ проблем технологического проектирования в части определения характеристик склада морского порта. Принципы, методы и технологии расчета параметров всех элементов морских портов и терминалов регламентируется «Нормами технологического проектирования морских портов». Содержащийся в них методический инструментарий сегодня подвергается все более интенсивной критике, основной причиной которой является их давний срок разработки. Как следствие, проблема создания новых, более адекватных и точных методов расчета параметров основных структурных элементов порта, в частности складов морского порта, становится все более актуальной.

Результаты описанных в главе исследований позволили сформулировать цель работы, основную научную задачу и частные задачи исследования.

Во второй главе «Онтология развития методов расчета склада морского порта» проведен детальный анализ существующей нормативной базы и рекомендаций по технологическому проектированию морских портов и терминалов в части оценки требуемой емкости складов. Выявлены методологические ограничения, свойственные используемым методикам, проанализированы возможные погрешности, оценены их размеры и влияние, на основании чего в качестве требуемого уточнения предложены методы статистических испытаний (метод Монте-Карло). Установлено, что склад морского порта по своему положению в логистической цепи поставок, выполняет все или часть базовых функций, сформулированных выше.

Объем хранимого в каждый момент груза является единым интегральным параметром, характеризующим работу склада, изменение которого во времени, является совокупным результатом действия всех факторов, относящихся к перечисленным выше функциям. В этом смысле очевидной становится задача идентификации и оценки степени влияния всех факторов, включенных в соответствующие выполняемым функциям кластеры.

Динамика изменения объема хранения на складе порта полностью определяется интенсивностью мгновенного поступления и убытия груза, что описывается дифференциальным или конечно-разностным уравнением. Точнее, мгновенный объем хранения груза в момент t есть разница между объемом завезенного $I(t)$ и вывезенного груза $O(t)$, т.е.

$$E(t) = I(t) - O(t). \quad (1)$$

Обозначив как $\Delta e(t)$, $\Delta i(t)$, $\Delta o(t)$ приращения объема хранимого, поступающего и убывающего груза, можно преобразовать соотношение (1) в его конечно-разностный аналог:

$$\Delta e(t) = \Delta i(t) - \Delta o(t). \quad (2)$$

Переход от значений $E(t)$, $I(t)$, $O(t)$ к относительным величинам в рассматриваемом случае близок к операции дифференцирования и при $\Delta t \rightarrow 0$ действительно им является. Отсюда следует, что скорость изменения объ-

ема складирования $e(t)$ есть разница между скоростью поступления груза на склад $i(t)$ и скоростью вывоза груза с него $o(t)$:

$$e(t) = i(t) - o(t). \quad (3)$$

Дифференцированием уравнения (1) получаем уравнение (3), которому сопоставляется семейство первообразных функций:

$$E(t) = \int_0^t e(t) dt = \int_0^t i(t) dt - \int_0^t o(t) dt = I(t) - O(t) + C. \quad (4)$$

В этом уравнении C - произвольная константа, и склады, описываемые одним и тем же уравнением (4), будут демонстрировать одинаковую динамику относительных изменений, определяемых уравнением (5), но при этом абсолютные значения объемов хранения у них будет отличаться на произвольную постоянную величину C . Это рассуждение демонстрирует существенную методическую проблему: любые измерения, также результаты полученные моделированием представлены величинами $i(t)$ и $o(t)$, в то время как практические потребности определяются значением $E(t)$.

Способ определения динамики изменения объема хранения в данном случае, позволяет получить соответствующую зависимость с точностью до произвольной постоянной величины, которая математически определяется начальными условиями, а фактически отражает коммерческую компоненту хранения груза на складе.

За характер и размеры колебаний объема хранимого груза ответственны пространственно-временные различия $\Delta i(t)$ и $\Delta o(t)$. Пространственная компонента связана с различными типовыми размерами транспортных партий по видам, а временная компонента с неравномерностью поступления транспортных средств.

Среднее значение объема хранения при равенстве грузовых партий между собой и одинаковом сроке хранения этих партий в расчетно-аналитических методах можно выразить как:

$$E_{\text{ср}} = \frac{N \cdot V \cdot T_{\text{хр}}}{T}. \quad (5)$$

где N - количество партий; V - объем партии; $T_{\text{хр}}$ - средний срок хранения партии, T - рассматриваемый период (если рассматриваемый период - год, то $T = 365$ сут.).

Обозначив через $T_{\text{инт}}$ средний интервал между поступлениями грузовых партий на склад, определяемый из выражения $T_{\text{инт}} = \frac{T}{N} = \frac{365}{N}$, получим

$$E_{\text{ср}} = \frac{N \cdot V \cdot T_{\text{хр}}}{365} = \frac{V \cdot T_{\text{хр}}}{T_{\text{инт}}} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{хр}}}{365}. \quad (6)$$

Партии прибывают на склад морского порта или убывают с него с интервалом $T_{\text{инт}}$. Если партия не хранится на складе сверх времени необходимого для обслуживания судна в порту, она формируется или расформируется в течение этого интервала. При равномерном поступлении смежного наземного транспорта интенсивность накопления или убытия груза на складе постоянна, а сам объем линейно возрастает или убывает по

треугольному закону. Следовательно, доля технологического хранения в среднем сроке T_{xp} есть $\frac{T_{инт}}{2}$ и все, что превышает эту величину, является дополнительным хранением.

Целью оценки требований к объему единовременного хранения является проактивное развитие инфраструктурных мощностей, которое требует не только значительных средств, но и длительного времени. При этом желательно получать не просто оценки возможных максимальных и близких к ним значений, но и распределение частот их наблюдения.

Для равномерного треугольного закона формирования грузовых партий, при котором время хранения составляет половину времени формирования партии, т.е. $T_{фор} = 2 \cdot T_{xp}$, оценить не только средний, но и максимальный объем хранения груза, т.е. размер склада, позволяет выражение:

$$E_{max} = \frac{V \cdot T_{xp}}{T_{инт}} + \frac{V}{2} = \frac{V \cdot T_{форм}}{2 \cdot T_{инт}} + \frac{V}{2} = \frac{V}{2} \cdot \left(\frac{T_{форм}}{T_{инт}} + 1 \right). \quad (7)$$

В Нормках технологического проектирования морских портов предлагается именно такой вид формулы.

Если при среднем периоде поступления партий груза на склад, их отдельные значения подвержены флуктуациям, то накопление груза будет иметь свои сгущения и разрежения относительно равномерного характера, а результирующий график объема хранения покажет намного более высокую динамику как при регулярном поступлении партий (рис. 1а), так и при нерегулярном (1б). Такой же эффект будут иметь колебания размера партий вокруг среднего значения.



Рисунок 1 – Динамика изменения объема хранения при колебаниях интервала поступления

Для получения более информативных оценок объема хранения возможным решением является использование методов статистических испытаний, позволяющих получать не только более точные средние значения, но и оценивать разброс вокруг них.

Схема указанных методов предполагает последовательную генерацию значений наборов случайных величин, входящих в исследуемую зависимость, и использование сгенерированных значений для вычисления значения функции по формуле (6). Многократное повторение испытаний дает статистический массив значений случайной величины, обработка которого формирует приближение интегральной функции распределения.

На рис. 2 в качестве примера представлены интегральные функции распределения случайных величин (непрерывных и дискретных).

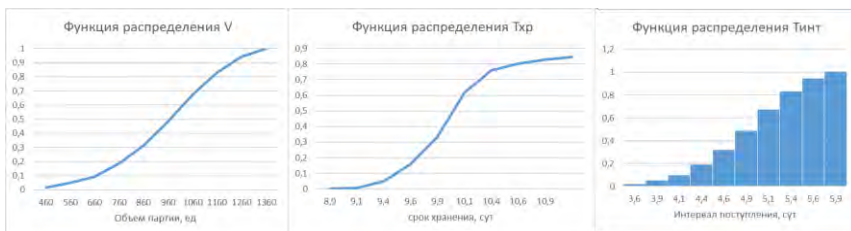


Рисунок 2 – Функции распределения исходных расчетных величин

На рис. 3 показана гистограмма плотности распределения вероятности значений объема хранения на складе для данного примера.



Рисунок 3 – Гистограмма объема хранения груза на складе

Использование данной модели позволяет оценить коммерческую привлекательность существующего или проектируемого терминала и на основании этой оценки принять решение о необходимости увеличения производительности обработки поездов или об увеличении вместимости склада.

На основании проведенного в главе исследования сделаны следующие выводы:

1. Динамика изменения объема хранения на грузовом складе морского порта полностью определяется интенсивностью мгновенного поступления и убытия груза, что описывается дифференциальным или конечно-разностным уравнением.

2. Способ определения динамики изменения объема хранения позволяет получить соответствующую зависимость с точностью до произвольной постоянной величины, которая математически определяется начальными условиями, а фактически отражает коммерческую компоненту хранения груза.

3. Средние значения объема хранения при детерминированных исходных данных описываются несколькими инвариантными алгебраическими соотношениями.

4. Максимальные значения объема хранения в случае детерминированных величин могут быть учтены аналитическими поправками, зависящими от параметров формирования и расформирования грузовых партий.

5. При рассмотрении значений как случайных величин, поправки становятся малозначимыми, а сами методы утрачивают свою применимость.

б. Решением является использование методов статистических испытаний, которые позволяют получать не только более точные средние значения, но и оценивать разброс вокруг них.

В третьей главе «Разработка и исследование модели работы склада морского порта» предлагаются базовые модели грузового склада морского порта, описывается предлагаемая процедура дискретного аналитического моделирования поведения объема склада морского порта, целью которого является статистически достоверная оценка средних величин и размаха колебаний значений объема складирования для грузов произвольной природы, а также описана статистическая модель работы грузового склада общего вида, основанная на комбинировании методов группы Монте-Карло с имитационным событийным моделированием.

Склад морского порта при этом рассматривается как некоторый массив, состоящий из $E = \{e_k\}_{1 \times K}$ отдельных элементов или ячеек. В качестве этих ячеек могут рассматриваться ячейки, слоты, складоместа, метры кубические, тонны и прочие элементы, в терминах которых оцениваются размеры соответствующего склада.

В каждый отдельный момент дискретного времени $i = t_i$ некоторого интервала T (в качестве которого выбирается интервал, соответствующий целям планирования – год, квартал, месяц и т.д.) каждый элемент склада может быть свободным или занятым (рис. 4).

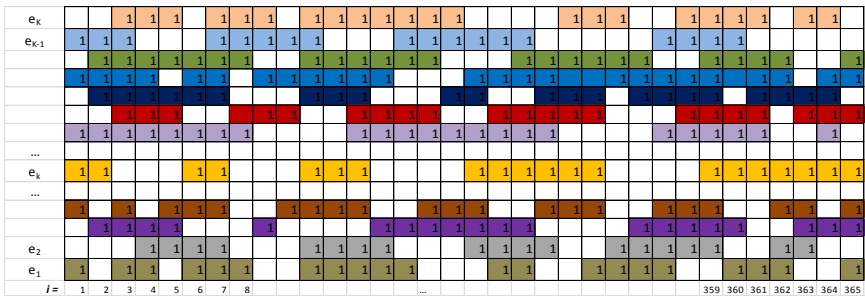


Рисунок 4 – Модель склада в виде дискретных элементов

Если в момент времени $i = t_i$ элемент массива e_k содержит груз, он совершает работу по складированию и $e_k = 1$, если он пуст – простаивает, $e_k = 0$. В таком случае работа, совершаемая элементом e_k за период времени T , есть $e_k^T = \sum_{i=1}^T e_k^i$.

Работа, совершаемая всем складом вместимостью K за период времени T , таким образом, составляет $E_T^K = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^T e_k^i$.

На практике, для оценки совершаемой складом работы по хранению груза не отслеживается состояние каждого отдельного элемента e_k в каждый момент времени i , а подсчитывается общее количество занятых элементов в этот момент, т.е. мгновенный объем хранения $E_i = \sum_{k=1}^K e_k^i$. Изме-

нение этого объема показывает «обезличенную» динамику изменения объема хранимого на складе груза (рис. 5).

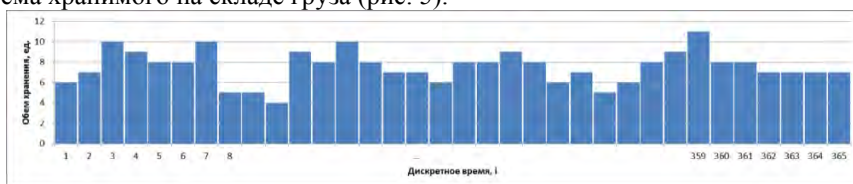
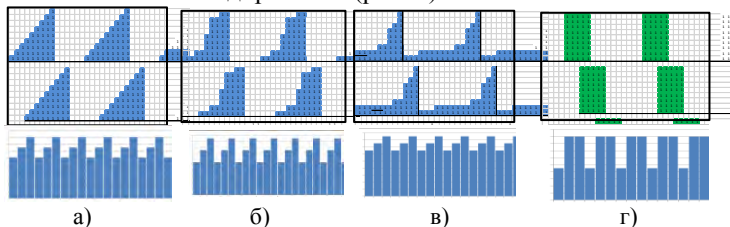


Рисунок 5 – Динамика изменения объема мгновенного хранения

В диссертационном исследовании проведен детальный анализ формирования общей динамики объема хранения в зависимости от элементарных партий груза, поступающих на склад (рис. 6), а также исследовано влияние временных и массовых неравномерностей грузовых партий на формирование динамики объема складирования (рис. 7).



а) треугольное накопление; б) ускоренное; в) замедленное; г) прямоугольное

Рисунок 6 – Эпюры изменения объема складирования:

а) треугольное накопление; б) ускоренное; в) замедленное; г) прямоугольное



Рисунок 7 – Эпюра изменения объема полного склада при неравномерном поступлении партий

На основании проведенных исследований разработана модель поведения склада в зависимости от характеристик грузовых партий. Модель динамики склада порта для несколько групп судов (линий) с разными, но равномерными интервалами между судозаходами и идентичными судовыми партиями показана на рис. 8. Результирующий график, а также его импортная и экспортная составляющие, характеризуются значительной неравномерностью, что иллюстрирует рис. 9.

Предложенные в исследовании методы генерации индивидуальных партий для каждого судозахода позволяют получать суммарные кривые, характеризующие поведение отдельных компонент общего объема склада, соответствующих различным потокам, а также судить о его суммарной величине. Соответствующие графики представлены на рис. 10.

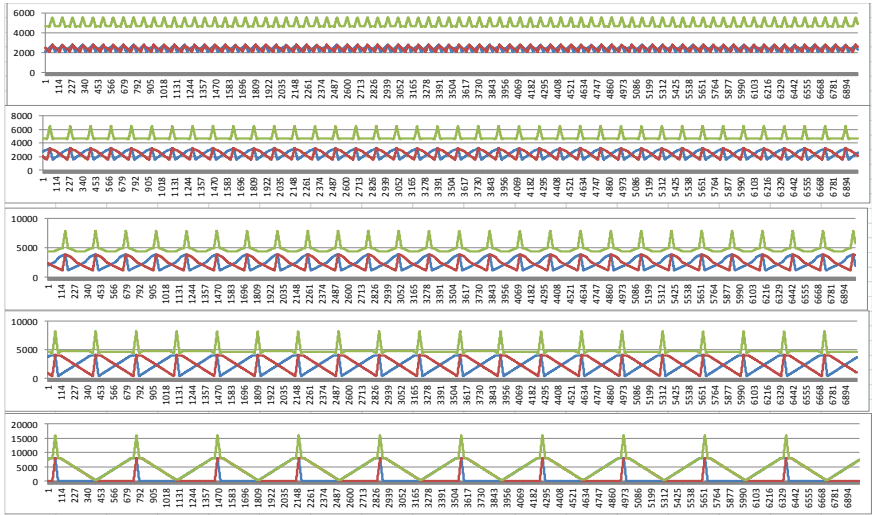


Рисунок 8 – Графики формирования партий по группам судов (линиям)

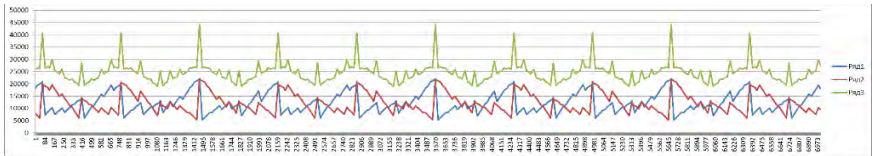


Рисунок 9 – Результирующие графики формирования грузовых партий

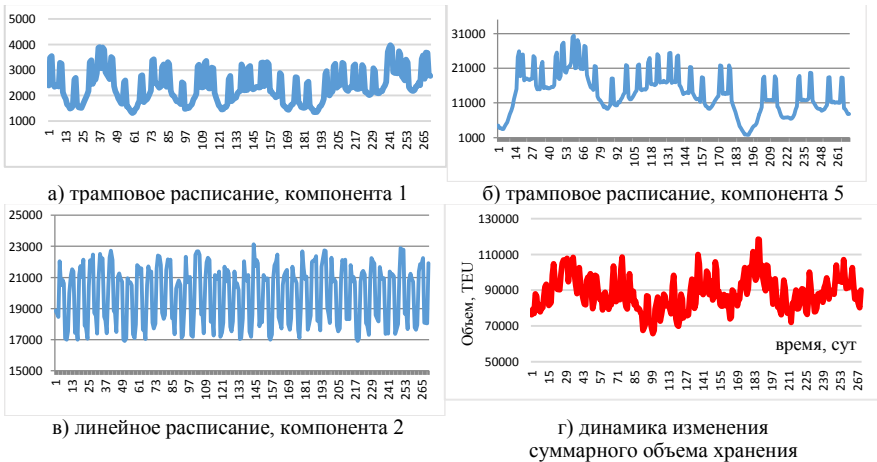


Рисунок 10 – Результаты имитационного статистического моделирования судозаходов

Обработка полученного статистического ряда стандартными методами математической статистики позволяет получить плотность распределения искомой случайной величины – объема хранения груза на складе морского порта. Пример такой обработки представлен на рис. 11.



Рисунок 11 – Плотность распределения объема хранения, полученная имитационным моделированием

Результат моделирования по своей природе аналогичен статистическому ряду, получаемому в результате использования традиционных методов статистических испытаний: он показывает, какие значения, и с какой частотой наблюдались в ходе проделанного эксперимента.

Для оценки влияния ограниченной вместимости склада в работе предложена дискретно-событийная модель, основанная на представлении работы порта в виде абстрактного автомата Мура. В ней входным сигналом $i[t]$ служит заявка на обслуживание складом морского порта грузовой партии, поступающей на склад морского порта в некоторые произвольные моменты времени t , например в сутки; состоянием склада будет служить векторная величина, компонентами которой является очередь судов в ожидании обслуживания $q[t]$; грузовой фронт для обработки судов $h[t]$; объем хранимого на складе груза $s[t]$. Выходным сигналом будет служить вектор, состоящий из двух компонент: количество обслуженных судов $o[t]$ и количество вывезенного из порта по суше груза $b[t]$.

В этих обозначениях функционирование соответствующего автомата в отношении очереди будет характеризоваться следующими законами:

$$\begin{aligned}
 q[t+1] = & \text{если } \{ i[t] = 1 \} \text{ то } \{ \\
 & \text{если } \{ (h[t-1] = 0) \ \& \ (q[t-1] = 0) \} \text{ то } \{ q[t] := 0 \} \\
 & \text{иначе } \{ \text{если } \{ (h[t-1] = 0) \ \& \ (q[t-1] > 0) \} \text{ то } \{ q[t] := q[t-1] \} \\
 & \text{иначе } \{ q[t] := q[t-1] + 1 \} \} \} \\
 & \text{иначе } \{ \\
 & \text{если } \{ h[t-1] > 0 \} \text{ то } \{ q[t] := q[t-1] \} \text{ иначе } \{ \\
 & \text{если } \{ q[t-1] = 0 \} \text{ то } \{ q[t] := 0 \} \text{ иначе } \{ q[t] := q[t-1] - 1 \} \} \}
 \end{aligned}$$

Аналогичные зависимости могут быть составлены для всех компонент вектора выхода и состояния модели, интерпретируемой как абстрактный конечный автомат. Пример работы модели, показывающей образование очереди судов в ожидании освобождения склада показан на рис. 12. Соответствующая модель легко реализуется любыми программными средствами, от императивных языков программирования до реляционных. По этой при-

чине реализация данной модели специально в работе не описывается, а приводятся лишь результаты ее использования.

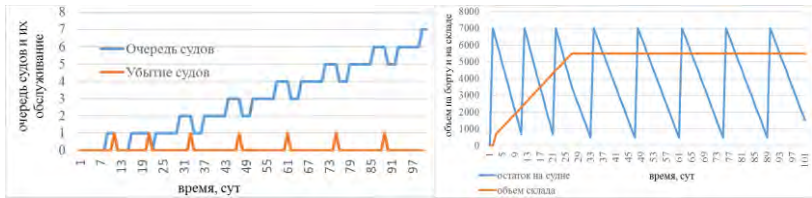


Рисунок 12 – Пример результатов моделирования обслуживания судов

Для создания модели влияния ограничений складирования на смежный транспорт, в работе предложена еще одна дискретно-событийная модель, основанная на абстрактном автомате Мура. Для ее описания выбраны следующие обозначения величин, которые характеризуют операции рассматриваемого терминала в произвольные сутки k :

1. $i[k]$ – объем прибытия грузов по железной дороге.
2. $q[k]$ – объем очереди в ожидании обслуживания.
3. $p[k]$ – объем обслуживания поездов на терминале.
4. P – производительность обработки железнодорожных платформ.
5. $e[k]$ – объем складирования груза на терминале.
6. E – вместимость склада
7. $V[k]$ – вместимость прибывшего за грузом судна.
8. $o[k]$ – вывоз грузов с терминала морем.

Логика работы модели, т.е. реакция выходных потоков на входные потоки, зависящая от меняющегося состояния склада терминала, которая оценивается на каждом шаге, соответствующем одним суткам k , в этих обозначениях описывается следующим псевдокодом.

1. На терминал поступает объем $i[k]$ грузов по железной дороге.
2. Со склада может быть вывезено $V[k]$ груза морем.
3. $p[k] := \text{ЕСЛИ } e[k-1]=E \text{ ТО } 0 \text{ ИНАЧЕ}$
 $\text{ЕСЛИ } i[k]+q[k-1] > P \text{ ТО ИНАЧЕ } i[k]+q[k-1]$
4. $q[k] := \text{ЕСЛИ } e[k-1] = E \text{ ТО } i[k]+q[k-1] \text{ ИНАЧЕ } i[k]+q[k-1]-p[k]$
5. $e[k] := \text{ЕСЛИ } e[k-1]+ p[k]-V[k] > E \text{ ТО } E$
 $\text{ИНАЧЕ } \text{МАКС}(e[k-1] + p[k]- V[k]; 0)$
6. $o[k] := \text{ЕСЛИ } e[k-1]+ p[k]- V[k] > V[k] \text{ ТО } V[k] \text{ ИНАЧЕ } e[k-1]+p[k]$

На рис. 13 представлен соответствующий этому псевдокоду алгоритм выполнения одного шага дискретной модели, т.е. получения реакции на входящие потоки и изменения ее внутреннего состояния.

Моделирование процесса грузообработки на терминале с учетом случайного характера прибытия судов позволяет получить представление о возникновении и динамике очереди железнодорожных составов, а также оценить загруженность судов. На рис. 14 представлены графики изменения очереди поездов и загрузки для первых десяти судов в одном эксперименте.

В дискретную модель также внесены разбросы загрузки поездов и колебания производительности их обработки.

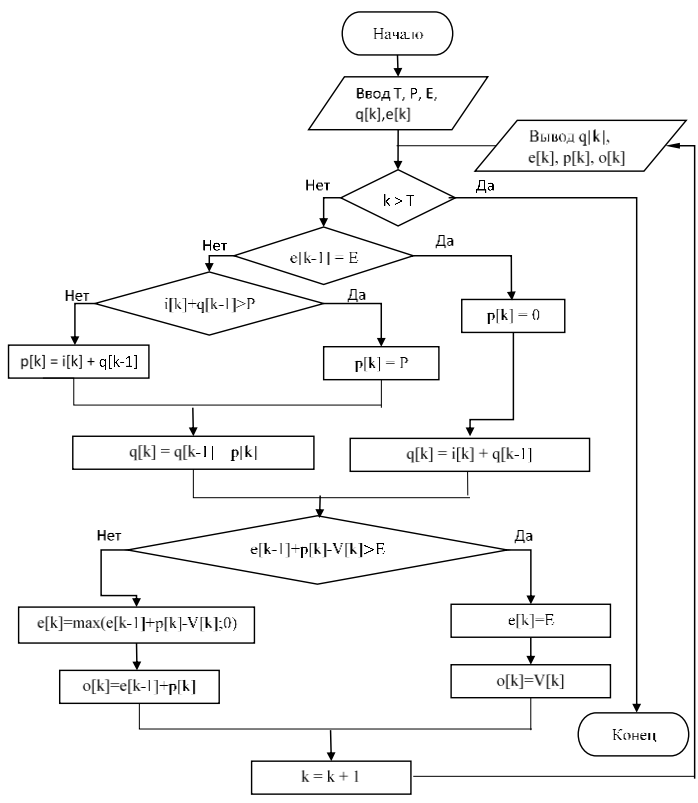


Рисунок 13 – Алгоритм выполнения шага модели

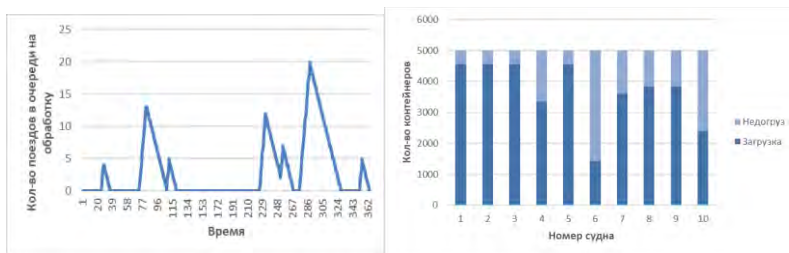


Рисунок 14 – Длина очереди и загрузка судов в одном эксперименте

На рис. 15 представлены гистограммы распределения вероятностей появления очередей различной длины и загруженности судов, полученные в результате моделирования работы терминала в течении года. Выходными оцениваемыми параметрами модели служат средние значения длины очереди и средняя загрузка судна.

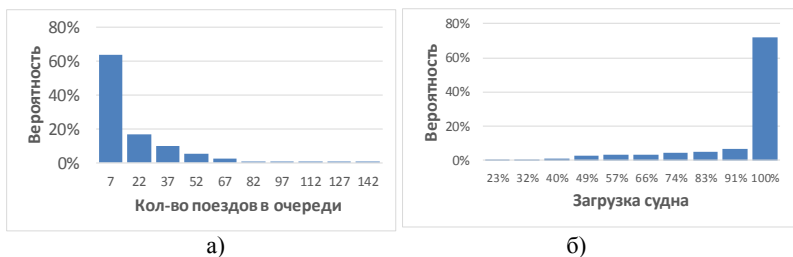


Рисунок 15 – Гистограммы распределения вероятностей:
а – количества поездов в очереди; б – загрузка судов

Основным изменяемым параметром в данном исследовании выбран максимальный размер склада. Пример результатов моделирования приведен на рис. 16.

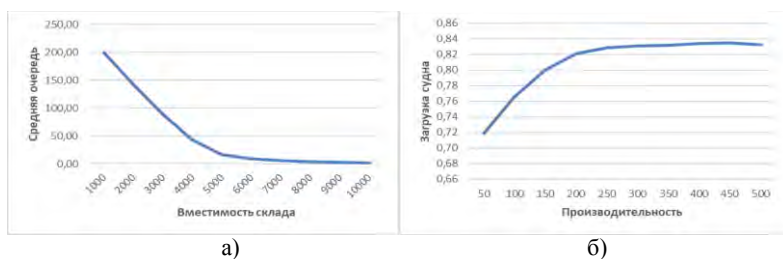


Рисунок 16 – Результаты вычислительного эксперимента:
а – зависимость очереди поездов у ЖГФ от вместимости склада; б – зависимость загрузки судна от производительности обработки железнодорожного транспорта

Таким образом, по 3 главе можно сделать следующие выводы:

1. Предложена базовая дискретная модель представления склада отдельными элементами – единицами хранения, показывающая поведение объема хранения как результирующей функции от формы транспортной партии.

2. Изучены варианты поведения объема склада при различных параметрах формы партий и интервала их поступления на склад, выявлены особенности складов морских портов, изучено их поведение на соответствующих моделях.

3. Предложена двухэтапная структура общей имитационной вероятностно-статистической модели обобщенного склада морского порта, учитывающий гетерогенный характер компонент грузопотока и вариации основных параметров.

4. Обоснованы и созданы имитационные модели, отражающие поведение системы в случае нехватки соответствующих ресурсов.

5. Проведены вычислительные эксперименты, доказывающие валидность и адекватность предлагаемых имитационных моделей.

В четвертой главе «Методика расчета технологических параметров склада морского порта» обосновывается последовательная и взаимосвя-

занная методика применения разработанных методов и предложенных моделей, которая составляет инструментарий нового подхода к технологическому проектированию морских портов и терминалов в части их базовых элементов – складов различного функционального назначения. В рамках этого проанализированы нормативные расчеты, как метод оценки центральных значений технологических параметров склада, предложена последовательность разработанных моделей в качестве средства установления их адекватности, сформулирована методика использования последовательности моделей как инструмента технологического проектирования, дано описание практического использования предлагаемой методики.

На основании построенных в работе моделей различной точности и различного уровня предлагается интегрированная методика расчета параметров склада морского порта, заключающаяся в последовательном развитии представлений и уточнении данных о проектируемом технологическом элементе – грузовом складе морского порта, в ходе всего процесса его проектирования, строительства и эксплуатации. На различных этапах этого процесса требуются данные о его характеристиках в различных форматах, с различной точностью и характеристиками вероятностных разбросов. Склад морского порта является центральным элементом проектируемого объекта, как производственной системы, поэтому данные о нем, в том или ином виде, присутствуют на всех этапах процесса. Сообразно этому, предлагаемая методика включает несколько взаимосвязанных этапов, от уточненных традиционных аналитических оценок до вероятностно-статистических экспериментов. Эти этапы и лежащие в их основе модели обеспечивают непрерывную инструментальную методическую поддержку всего хода процесса проектирования на всех его этапах, предоставляя возможность возврата и многократного итерационного перепроектирования предшествующих этапов, поскольку вычислительная трудоемкость автоматизированного расчета крайне мала. После получения всех значений технологических параметров объекта на завершающих стадиях проектирования в качестве окончательного средства верификации полученных значений, диссертационное исследование предлагает использовать имитационно-симуляционный метод расчета грузового склада терминала, позволяющий получить наиболее полное и достоверное представление о случайных величинах, которыми являются технологические параметры этого объекта.

Предложенная по результатам описываемого исследования последовательность моделей и, соответственно, методов их использования, позволяет получать все более точные представления и оценки параметров склада морского порта. Результатами каждого отдельного этапа выступают близкие по составу наборы параметров, значения которых так же достаточно близки между собой. В то же время, получение вероятностных законов распределения ключевых параметров позволяет получать количественные оценки рисков, связанных с коммерческими потерями и выгодами, что представляет собой ценное для практики свойство предлагаемого подхода. В общем виде методика показана на рис. 19.

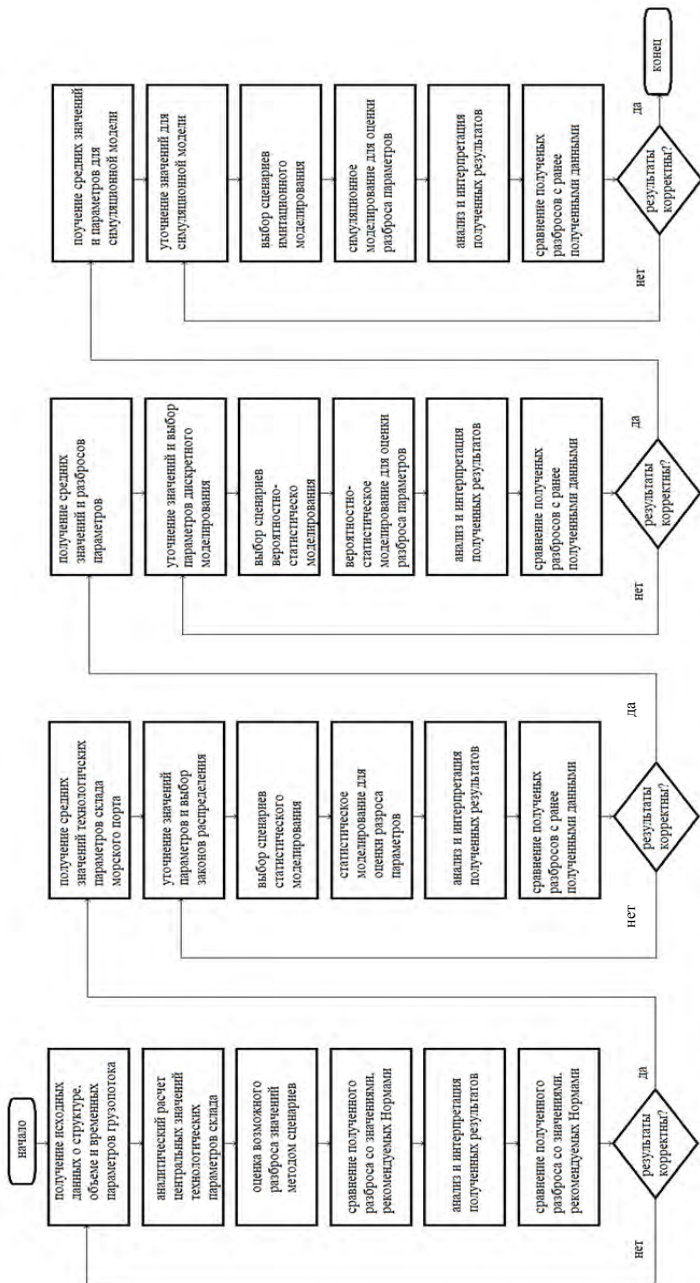


Рисунок 19 – Общая схема методики расчета параметров склада

Заключение

В диссертационном исследовании быта поставлена и успешно решена проблема создания новых, более точных и адекватных методов расчета основных технологических параметров обобщенного склада морского порта, предназначенного для обработки любого груза. Появление этих новых свойств является следствием применения нового для этого раздела технологического проектирования методологического инструмента – вероятностно-статистического и имитационно-симуляционного моделирования.

Теоретическая новизна подхода позволила получить эффективный и важный для практики инструмент технологического проектирования, что было доказано его успешным использованием для реализации нескольких реальных проектов проектирования развития морских портов и терминалов.

Направлением совершенствования полученных в диссертационном исследовании результатов служит сбор статистики и замечаний в ходе его практического применения для того, чтобы уточнить калибровочные константы и улучшить пользовательский интерфейс программной реализации. Перспективным является трансляция всех полученных программных средств в среду более эффективной технологии программирования.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Работы по теме диссертационного исследования, опубликованные автором в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Валькова, С.С. Изменение роли грузового склада морского порта в современных транспортно-логистических сетях товаропродвижения / С.С. Валькова // Транспортное дело России. – 2018. – № 3. – С. 110–113. (0,25).

2. Валькова, С.С. Вероятностно-статистический метод расчета вместимости склада морского порта / С.С. Валькова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – №3. – С. 507–519. (0,8).

3. Валькова, С.С. Оценка параметров склада морского порта методами имитационного моделирования / С.С. Валькова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 713–723. (0,7).

4. Кузнецов, А.Л. Имитационное моделирование как инструмент оценки влияния вместимости склада морского порта на качество обработки наземного транспорта / А.Л. Кузнецов, А.Д. Семенов, С.С. Валькова // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2019. – № 54/55. – С. 19–30. (0,75/0,45).

5. Кузнецов, А.Л. Методика расчета технологических параметров склада морского порта методами имитационного моделирования / А.Л. Кузнецов, С.С. Валькова // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 98–101. (0,25/0,2).

6. Валькова, С.С. Методика оценки склада морского порта методами имитационного моделирования / С.С. Валькова, Ю.И. Васильев // Вестник

Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – №3. – С. 485–498. (0,9/0,6).

Работы, опубликованные в других изданиях:

1. Валькова, С.С. Роль грузового склада в обеспечении функциональной деятельности морского порта / С.С. Валькова // Портоориентированная логистика – 2018: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2018. – С. 52–58. (0,4).

2. Валькова, С.С. Развитие портовой инфраструктуры в новых экономических условиях / С.С. Валькова // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V-ой Международной Научно-технической конференции: Ч. 1. – Владивосток: ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», 2018. – С. 231–233. (0,2).

3. Валькова, С.С. Методы оценки параметров склада морского порта при технологическом проектировании / С.С. Валькова // Сб. науч. статей национальной научно-практической конференции ППС ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.С. Макарова»: Т. 1. – СПб.: Изд-во ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2018. – С. 75–81. (0,4).

4. Валькова, С.С. Анализ моделей развития морских портов в современных транспортно-логистических сетях / С.С. Валькова // Проблемы взаимодействия науки и общества: сб. статей Международной научно-практической конференции. – Волгоград: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2018. – С. 16–22. (0,4).

5. Валькова, С.С. Исследование динамики поведения объема хранения груза на складе морского порта расчетно-аналитическими методами / С.С. Валькова // Молодежь. Наука. Инновации: материалы 66-ой Международной молодежной научно-технической конференции, посвященной 100-летию инженерного образования на Дальнем Востоке. – Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2018. – Т. 2. – С. 199–207. (0,6).

6. Валькова, С.С. Функциональная модель склада морского порта / С.С. Валькова // Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте: материалы 16-ой Всероссийской научно-практической конференции. – Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2018. – С. 26–28. (0,2).

7. Валькова, С.С. Предпосылки создания новых методов расчета параметров обобщенного склада морского порта / С.С. Валькова // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы IV-ой Международной научно-технической конференции: Ч. 1. – Владивосток: ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», 2018. – С. 257–263. (0,4).

8. Валькова, С.С. Проблемы технологического проектирования объектов инфраструктуры морских портов / С.С. Валькова // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений: Труды Всероссийской научно-практической конференции. – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2019. – С. 64–69. (0,35).