

На правах рукописи



МУРАВЬЕВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ВЫБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМЫ «МОРСКОЙ ПОРТ – «СУХОЙ» ПОРТ»**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны,
ее регионов и городов, организация производства на транспорте

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель: **Рахмангулов Александр Нельевич**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Логистика и управление транспортными системами», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ им. Г.И. Носова)»

Официальные оппоненты: **Миротин Леонид Борисович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Менеджмент», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный технический университет (МАДИ)»

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

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)»

Защита состоится «23» декабря 2020 г., в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.09 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр.9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ): www.miiit.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.и.н., профессор

В.Н. Тарасова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Результаты анализа спроса на грузовые перевозки в мировой транспортной системе показывают, что при его увеличении за последние три года на 12,6 млн TEU наблюдается незначительный рост контейнерооборота крупнейших морских портов мира, в среднем на 0,5-2%. Основными причинами этого являются: недостаток емкостей складских систем; нехватка пропускных и перерабатывающих способностей транспортно-технологических систем морских портов и припортовых железнодорожных станций; несоответствие технических параметров транспортных и складских систем; отсутствие в большинстве морских портов прямого варианта разгрузки типа «судно-вагон»; неравномерность и рассогласованность взаимодействия транспортных и складских систем; усиление экологических требований к функционированию морских портов.

Современным способом увеличения пропускной и перерабатывающей способности морских портов в условиях территориальных ограничений, а также эффективным инструментом снижения неравномерности внутренних грузопотоков порта является создание припортового терминала – «сухого» порта. Опыт строительства «сухих» портов показывает возможность увеличения перерабатывающей способности морских портов с минимальными затратами на реконструкцию, а разработка методики определения оптимальных значений основных параметров припортового терминала является первостепенной задачей на уровне его стратегического управления, что определяет актуальность и перспективность представленной работы.

Степень разработанности проблемы. Неоценимый вклад в развитие теоретических и практических аспектов взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах, развитие транспортных и транспортно-технологических систем и транспортной логистики внесли ученые: В.М. Акулиничев, В.В. Багинова, А.С. Балалаев, В.Д. Герами, С.Ю. Елисеев, В.Н. Зубков, А.Г. Кириллова, П.А. Козлов, Е.К. Коровяковский, А.П. Кузнецов, П.В. Куренков, Б.А. Левин, Л.Б. Миротин, В.Н. Морозов, В.Н. Николашин, Ю.О. Пазойский, В.А. Персианов, Т.А. Прокофьева, А.Н. Рахмангулов, С.М. Резер, П.К. Рыбин, А.А. Смехов, О.Н. Числов, М.И. Шмулевич и другие ученые. На основе их исследований была создана теоретическая база управления транспортно-логистическими процессами в транспортной системе Российской Федерации.

Фундаментальные вопросы развития грузовых терминалов, транспортных систем, а также систем имитационного моделирования рассмотрены такими учеными, как А.С. Балалаев, В.В. Багинова, В.Д. Герами, В.В. Дыбская, П.А. Козлов, А.Л. Кузнецов, Е.К. Коровяковский, В.С. Лукинский, О.Б. Маликов, Л.Б. Миротин, Ю.Н. Панова, А.М. Поспелов, И.А. Русинов, А.А. Смехов, М.И. Шмулевич и др.

Зарубежные исследования в области функционирования «сухих» портов в Европе, Восточной Азии, Северной Америке, Южной Африке, Австралии были проведены следующими учеными: А. Бересфорд (A. Beresford), Р. Бергквист (R. Bergqvist), Й. Воксениус (J. Woxenius), В. Росо (V. Roso), Т. Г. Крайнич (T. G. Crainic), Т. Ноттебум (T. Notteboom), Д. Дживан (J. Jeevan), Ж.-П. Родриге (J.-P. Rodrigue), Б. Слэк (B. Slack) и другими.

Анализ трудов отечественных и зарубежных ученых в области развития грузовых терминалов показал, что их эффективное функционирование достигается в результате определения оптимальных значений их параметров. Однако на практике наблюдается отсутствие системного подхода при определении параметров припортовых терминалов, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние как на решение вопроса о необходимости строительства «сухого» порта, так и на эффективность его эксплуатации на уровне стратегического управления. В связи с этим важной научной задачей является разработка методики формирования системы «морской порт – «сухой» порт» на основе определения оптимальных значений основных параметров «сухого» порта, реализация которой позволит сократить совокупные затраты на создание и эксплуатацию «сухих» портов.

Целью диссертационного исследования является разработка методики формирования системы «морской порт – «сухой» порт» на основе предложенной системы основных параметров «сухих» портов, которую целесообразно использовать для обоснования инвестиционных решений по сбалансированному развитию транспортно-логистической инфраструктуры регионов размещения морских портов.

Идея диссертационного исследования. Эффективное функционирование «сухих» портов обеспечивается сбалансированностью значений их основных параметров, определяемых на этапе стратегического планирования с использованием комплекса аналитико-имитационных моделей.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ состояния и тенденций развития морских портов как элементов мировой системы товародвижения; исследовать теоретический и практический опыты создания «сухих» портов в России и за рубежом.

2. Выполнить выбор и обоснование основных параметров припортовых терминалов; разработать систему основных параметров «сухого» порта, основанную на исследовании функциональных взаимосвязей между этими параметрами.

3. Разработать математическую модель системы основных параметров «сухого» порта.

4. Построить агентную системно-динамическую имитационную модель основных параметров «сухого» порта.

5. Построить агентную дискретно-событийную модель

функционирования системы «морской порт – «сухой» порт».

6. Разработать методику формирования системы «морской порт – «сухой» порт».

Объект исследования: система «морской порт – «сухой» порт».

Предмет исследования: система параметров «сухих» портов.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являются теория вероятностей и математическая статистика, математическое моделирование, а также имитационное моделирование: системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование.

Научная новизна исследования:

1. Предложено новое понятие «система «морской порт – «сухой» порт»».

2. Обоснована система основных параметров «сухих» портов, характеризующаяся ограниченным числом параметров для оценки эффективности функционирования системы «морской порт – «сухой» порт».

3. Разработан комплекс комбинированных аналитико-имитационных моделей оптимизации основных параметров «сухого» порта и функционирования системы «морской порт – «сухой» порт». Комплекс моделей позволяет определять сбалансированные значения параметров, при которых достигается эффективное функционирование системы «морской порт – «сухой» порт».

4. Предложена методика формирования системы «морской порт – «сухой» порт», использование которой руководителями и проектировщиками позволит определять оптимальные значения основных параметров «сухого» порта на разных этапах планирования и управления, с целью снижения суммарных затрат на строительство и функционирование системы «морской порт – «сухой» порт».

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в обосновании системы основных параметров припортовых терминалов, определяющих эффективность их функционирования, и разработке комплекса моделей формирования и развития системы «морской порт – «сухой» порт».

Разработанные и апробированные алгоритмы, комплексы моделей и методика позволяют: определять значения основных параметров «сухого» порта, при которых обеспечивается устойчивое и эффективное функционирование системы «морской порт – «сухой» порт»; производить экспресс-оценку эффективности инвестиций в создание «сухого» порта; сокращать капитальные затраты на строительство «сухого» порта и эксплуатационные затраты на функционирование системы «морской порт – «сухой» порт»; улучшать эксплуатационные показатели системы «морской порт – «сухой» порт»: увеличивать грузооборот, снижать неравномерность грузопотоков, сокращать время простоя транспортных средств, повышать

показатели экологичности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Система «морской порт – «сухой» порт» как способ увеличения пропускной и перерабатывающей способностей морских портов.

2. Система основных параметров «сухих» портов, использование которой позволит оценивать эффективность функционирования системы «морской порт – «сухой» порт».

3. Математическая модель системы основных параметров «сухого» порта.

3. Комбинированная аналитико-имитационная модель системной динамики основных параметров «сухих» портов, основанная на использовании агентного подхода и позволяющая прогнозировать развитие системы «морской порт – «сухой» порт».

4. Комбинированная имитационная модель функционирования системы «морской порт – «сухой» порт», позволяющая осуществлять корректировку параметров технологических процессов в системе и производить оценку экономических показателей ее эффективности функционирования.

5. Методика формирования системы «морской порт – «сухой» порт», позволяющая обосновывать решения по сбалансированному развитию транспортно-логистической инфраструктуры территорий, прилегающих к морским портам.

Степень достоверности и апробация работы. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются корректным применением признанных и апробированных теорий и научных методов исследований, а также апробацией результатов работы на конференциях, публикацией работ в открытой печати; сходимостью результатов моделирования системы «морской порт – «сухой» порт» и данных натурных наблюдений; использованием при построении моделей реальных данных по «сухому» порту (Иву, КНР) и морским портам «NBCT Ningbo Beilun Container Terminal» (Нинбо, КНР), «Evuaport» (Корфез, Турция).

Результаты работы использованы при определении и обосновании вариантов повышения перерабатывающей способности морских портов «Evuaport» (Корфез, Турция), «NBCT Ningbo Beilun Container Terminal» (Нинбо, КНР), а также применяются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет» при выполнении выпускных квалификационных работ и курсовых проектов по направлениям подготовки «Технология транспортных процессов», «Менеджмент» (профиль «Логистика»), а также по специальности «Эксплуатация железных дорог».

Основные положения и научные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах: Межрегиональная научно-техническая конференция ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» (Магнитогорск, 2012-2014); Международная научно-практическая

конференция «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (Саратов, 2012); V Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем» (Челябинск, 2013); Всероссийская научно-практическая конференция «Транспорт Урала» (Екатеринбург, 2013); XXI Международная научно-техническая конференция «Морская конференция и выставка» (Стамбул, Турция, 2014); Международная научно-практическая конференция «Транспортные проблемы провинции Хейлуцзянь» (Харбин, КНР, 2014); Международная научно-техническая конференция «Проблемы инфраструктуры транспортного комплекса» (Санкт-Петербург, 2015); Семинар по результатам диссертационного исследования «Выбор и расчет основных параметров «сухого» порта» (Гетеборг, Швеция, 2015); VIII Международная конференция «Transport Problems» (Катовице, Польша, 2016); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы развития транспортной инфраструктуры» (Санкт-Петербург, 2016); IX Международная конференция «Transport Problems» (Катовице, Польша, 2017); Семинар по результатам диссертационного исследования «Системная динамика основных параметров «сухого» порта» (Шанхай, КНР, 2018); 9th IFAC Conference on Manufacturing Modeling, Management and Control, MIM 2019 (Берлин, Германия, 2019).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы общим объемом 9,931 печатных листов, в том числе 1 монография, 2 статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 11 статей в изданиях, входящих в международные базы цитирования «Scopus» и «Web of Science».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, терминологического словаря, библиографического списка, состоящего из 236 источников, и 4 приложений. Основной объем – 245 страниц, включая 85 рисунков и 35 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи исследования, определены степень разработанности проблемы, объект и предмет исследования, методологическая база, изложены элементы научной новизны, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ развития международных транспортных коридоров и роль морских портов в их составе. Анализ показал малозначительное увеличение контейнерооборота крупнейших морских терминалов в мире и Российской Федерации, в среднем на 0,5-2%. Наблюдаются длительные задержки и простои судов в рейде, вызванные нехваткой свободных площадей в портах и длительным временем обработки

контейнеров. Например, вблизи Шанхайского морского порта было зафиксировано более 80 судов, которые свыше двух суток ожидали освобождения причалов морского терминала на рейде.

Установлены причины малозначительного увеличения контейнерооборота крупнейших морских терминалов в мире и Российской Федерации, такие как: недостаток емкостей складских систем; нехватка пропускных и перерабатывающих способностей транспортно-технологических систем морских портов и припортовых железнодорожных станций; несоответствие технических параметров транспортных и складских систем; отсутствие в большинстве морских портов прямого варианта разгрузки типа «судно-вагон»; неравномерность и рассогласованность взаимодействия транспортных и складских систем; усиление экологических требований к функционированию морских портов.

Современным решением перечисленных проблем является создание «сухих» портов. Установлено, что одними из основных параметров, влияющих на эффективность функционирования «сухих» портов, являются их вместимость и удаленность от морских терминалов, характеризующиеся основной частью инвестиционных затрат.

В результате проведенного обзора теоретических исследований в области применения «сухих» портов выявлено, что при решении задач с использованием «сухого» порта, отечественными и зарубежными учеными применяется широкая вариация параметров, используются разные термины параметров, однако пары или группы параметров имеют идентичную семантику.

Для изучения влияния данных параметров на перерабатывающую способность и повышение эффективности морских портов изучен отечественный и зарубежный практический опыт создания «сухих» портов, отражающий широкое их применение по всему миру, кроме Российской Федерации, где за последние 5 лет был построен лишь один припортовый терминал в г. Артём, Приморский край.

Реализация преимуществ «сухого» порта достигается, если момент его ввода в эксплуатацию совпадает с моментом, когда пропускная способность морского порта не позволяет обеспечить пропуск без задержек транспортных и грузовых потоков возросшей интенсивности, а также при условии выбора рационального места размещения «сухого» порта оптимальной вместимости и технической оснащенности. Обоснование соответствующих решений на уровне стратегического управления припортовым терминалом определяет необходимость разработки системы основных параметров «сухого» порта и решения задачи определения оптимальных значений основных параметров «сухого» порта методом имитационного моделирования, что является актуальным на начальном этапе создания терминала, когда принимаются принципиальные инвестиционные решения, исправить которые в дальнейшем затруднительно.

Во второй главе проведено исследование факторов, влияющих на функционирование «сухих» портов: социальный, инфраструктурный, экономический, экологический и прочие. Проведенное исследование влияния отдельных факторов на параметры «сухого» порта предварительно установило наличие связей между отдельными параметрами или парами параметров припортового терминала. Установлено, что недостаточно исследованным является вопрос уточнения взаимосвязей между отдельными параметрами или парами параметров «сухого» порта.

Выполненный анализ связей между параметрами «сухого» порта показал, что в традиционных, общепринятых формулах расчета параметров припортового терминала отражается влияние либо отдельных параметров на другие параметры «сухого» порта, либо взаимное влияние не более двух параметров, отсутствует системный подход при их использовании. Более того, в основном изучены прямые связи между параметрами. Недостаточно изученным остается исследование обратных связей между параметрами припортового терминала.

Проведенное исследование взаимосвязей и систематизации параметров припортового терминала позволило разработать систему основных параметров «сухого» порта, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица качественных взаимосвязей между основными параметрами «сухого» порта

Влияющий параметр	Зависимый параметр									
	λ	K_{ir}	L	T_{ic}	E_m	V	n	E_f	G_c	O_c
λ , интенсивность грузопотоков и потоков транспортных средств, TEU/сут.		-	-	+	+	+	+	+	-	+
K_{ir} , коэффициент неравномерности грузопотоков и потоков транспортных средств, %	-		-	+	-	+	-	+	-	-
L , протяженность трассы между морским и «сухим» портами, км	-	+		+	-	-	-	+	+	+
T_{ic} , пропускная способность транспортных коммуникаций, пар поездов/сут.	+	-	+		-	+	+	+	+	+
E_m , вариант размещения «сухого» порта, ед.	-	+	-	+		-	+	+	+	+
V , вместимость контейнерных площадок, TEU	+	-	-	+	-		+	+	+	+
n , перерабатывающая способность «сухого» порта, TEU/сут.	+	-	-	+	+	+		+	+	+
E_f , оценка экологического воздействия, ед.	-	-	+	+	-	-	-		-	+

Влияющий параметр	Зависимый параметр									
	λ	K_{ir}	L	T_{ic}	E_n	V	n	E_f	G_c	O_c
G_c , капитальные затраты на строительство «сухого» порта, млн руб.	-	-	-	-	-	-	-	-		-
O_c , эксплуатационные затраты на функционирование системы «морской порт – «сухой» порт», тыс. руб./мес.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Разработанная система основных параметров «сухого» порта направлена на оценку эффективности создаваемого припортового терминала на уровне его стратегического управления, когда принимаются основные инвестиционные решения.

Для оценки корректности разработанной системы основных параметров припортового терминала предложена математическая модель основных параметров «сухого» порта. Обозначим значения параметров «сухого» порта как x_i , где $i = 1, \dots, N$ – условный порядковый номер параметра, $N = 10$ – общее число выбранных основных параметров «сухого» порта. Представим значение параметра x_i как некий запас, тогда динамика изменения запаса будет описываться уравнением взаимодействия потоков (F) двух направлений – входного (I) и выходного (O), рисунок 1.

$$\frac{dx_i}{dt} = FI_i - FO_i, \quad (1)$$

где FI_i – интенсивность увеличения значения i -го параметра; FO_i – интенсивность уменьшения значения i -го параметра; t – единица модельного времени, месяцы.

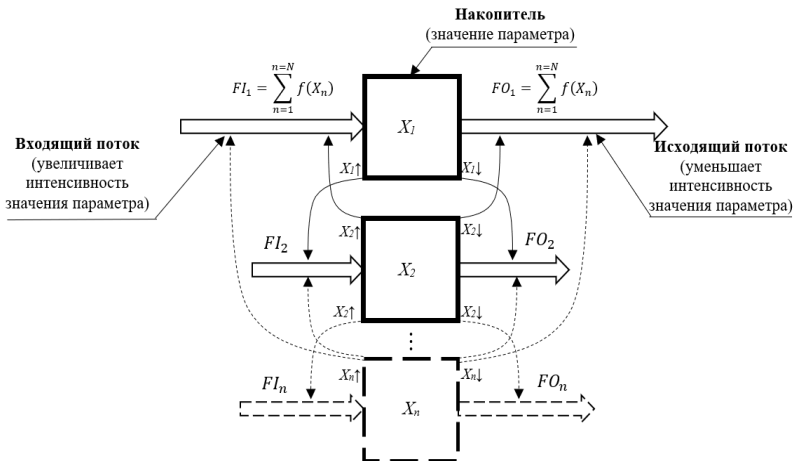


Рисунок 1. – Схема взаимосвязей между параметрами динамической системы

В соответствии с гипотезой о взаимосвязи основных параметров «сухого» порта, интенсивность увеличения и уменьшения значений этих параметров зависит от значений остальных параметров «сухих» портов x_j , где $j = 1, \dots, N$. Такое влияние в разработанной модели динамики параметров «сухого» порта задается изменением интенсивности входного и выходного потоков, изменяющих значение параметра (запаса) x_i . Вне зависимости от направления потока, его интенсивность будет описываться уравнением:

$$F_i = \sum_{j=1}^{j=N} \frac{f(x_j)}{T}, \quad (2)$$

где $f(x_j)$ – функциональная зависимость между параметрами x_i и x_j ; T – расчетный период (период планирования), дни. Выбор потока (I_i или O_i), на интенсивность которого влияет $f(x_j)$, определяется матрицей взаимосвязей параметров, представленной в таблице 1. Формализовано такая взаимосвязь запишется следующим образом:

$$FI_i = \sum_{j=1}^{j=N} \frac{s_{ij} f(x_j)}{T}, \text{ при } (s_{ij} > 0 \wedge x_{j,t} > x_{j,t-1}) \vee (s_{ij} > 0 \wedge x_{j,t} < x_{j,t-1}), \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

$$FO_i = \sum_{j=1}^{j=N} \frac{s_{ij} f(x_j)}{T}, \text{ при } (s_{ij} < 0 \wedge x_{j,t} < x_{j,t-1}) \vee (s_{ij} < 0 \wedge x_{j,t} > x_{j,t-1}), \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где s_{ij} – значения коэффициентов взаимосвязи параметров системы (Таблица 1).

При положительном влиянии параметра j на параметр i значение $s_{ij} = 1$, при отрицательном $s_{ij} = -1$, при $i = j$, $s_{ij} = 0$; $x_{j,t}$, $x_{j,t-1}$ – значения параметров системы соответственно в текущий и в предшествующий моменты расчетного периода T . Выражения (3) и (4) определяют выбор потока (FI_i или FO_i), интенсивность которого изменяется в момент t в соответствии с функцией $f(x_j)$, а также в зависимости от увеличения или уменьшения значений параметров $x_{j,t}$ по сравнению с $x_{j,t-1}$ и значением коэффициентов s_{ij} .

После проверки системы параметров «сухого» порта на устойчивость, рационально определить такое соотношение параметров, при котором достигается максимальный экономический эффект его функционирования. В качестве целевой функции для этого предлагается использовать величину чистого дисконтированного дохода (NPV). Целевая функция разработанной математической модели, максимизирующая величину NPV , определится по формуле:

$$NPV = \sum_{k=1}^{k=A} \left(\frac{T \lambda r_k}{A} - (O_{c,k} + G_{c,k}) \right) \eta_k \rightarrow \max, \quad (5)$$

где λ – количество контейнеров, переработанных «сухим» портом в течение суток; r_k – величина тарифа, действующего в течение k -го года; η_k – коэффициент дисконтирования.

Третья глава диссертации посвящена разработке комплекса

комбинированных аналитико-имитационных моделей оптимизации основных параметров «сухого» порта и функционирования системы «морской порт – «сухой» порт».

Для исследования динамики основных параметров «сухого» порта, а также определения их усредненных оптимальных значений использовалась программная среда AnyLogic 8.5.1 с применением комбинации агентного и системно-динамического подходов, являющимися наиболее эффективными на уровне стратегического управления «сухого» порта, когда управлением морского порта прорабатываются управленческие решения по созданию припортового терминала. Для определения оптимальных уточненных значений основных параметров «сухого» порта построена агентная дискретно-событийная имитационная модель системы «морской порт – «сухой» порт», позволяющая увеличить масштаб моделирования до одной единицы контейнера.

Были проведены исследования закономерностей функционирования системы «морской порт – «сухой» порт» с использованием разработанных имитационных моделей (Рисунки 2, 3, 4). Анализ полученных результатов показывает, что, при поиске оптимальных значений коэффициентов линейных функциональных зависимостей, достигается состояние устойчивости между основными параметрами «сухого» порта (Рисунок 2), что говорит о корректности разработанной математической модели.

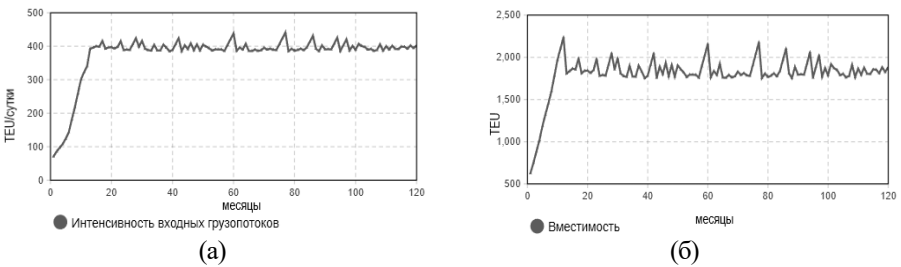


Рисунок 2. – Динамика изменений основных параметров «сухого» порта

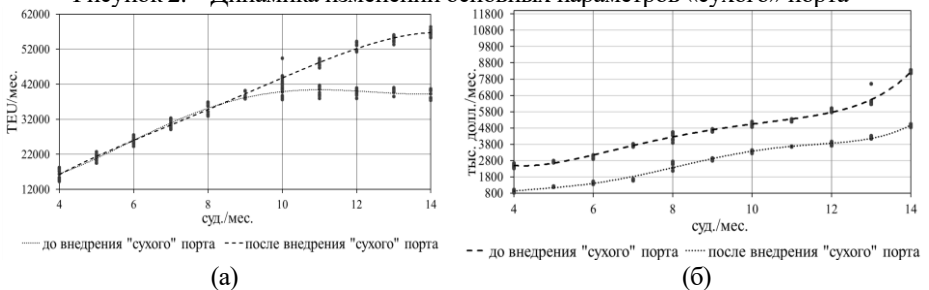


Рисунок 3. – Динамика изменений основных показателей функционирования системы «морской порт – «сухой» порт»

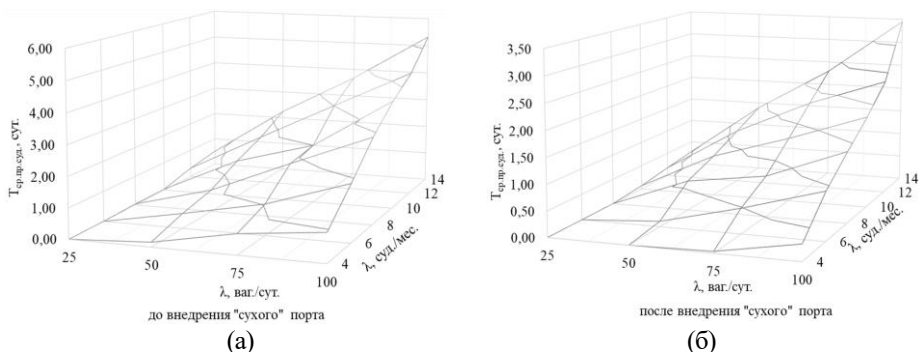


Рисунок 4. – Изменение среднего времени простоя судов на рейде до и после внедрения «сухого» порта

При внедрении «сухого» порта в имитационную агентную дискретно-событийную модель наблюдается линейное увеличение грузооборота морского порта, снижаются эксплуатационные расходы на функционирование системы «морской порт – «сухой» порт» на 46% (Рисунок 3) и среднее время простоя судов на рейде на 32% при разных значениях коэффициента неравномерности грузопотоков и потоков транспортных средств от 1.2 до 2.2 (Рисунок 4). Это, в свою очередь, доказывает адекватность разработанных имитационных моделей и системы основных параметров «сухого» порта.

Для расчета оптимальных значений предложенной системы основных параметров «сухого» порта, зависящих от места его размещения, вместимости и перерабатывающей способности, был использован оптимизационный эксперимент в программной среде AnyLogic 8.5.1. В качестве целевой функции оптимизационной модели использовалась себестоимость переработки одной единицы контейнера. Модель обеспечила выбор оптимального места размещения «сухого» порта для принятых в модельном эксперименте исходных данных.

Четвертая глава направлена на разработку методики формирования системы «морской порт – «сухой» порт», ее апробацию и оценку экономической эффективности. Данная методика включает в себя следующие основные этапы:

1. Анализ ситуационного и генерального планов существующего морского порта, плана акватории и подходов каналов, схемы путевого развития припортовой железнодорожной станции и путей необщего пользования, технологии работы морского порта.

2. Сбор статистических данных о продолжительности технологических операций в порту, фактических входных грузопотоков. Расчет существующих и прогнозных значений λ , интенсивности и K_{ir} – коэффициентов неравномерности входных потоков. Определение законов распределения случайных величин и

параметров этих законов.

3. Построение имитационной модели работы морского порта с использованием агентного и дискретно-событийного подходов.

4. Проведение экспериментов на построенной имитационной модели морского порта с использованием фактических и прогнозных значений интенсивности и неравномерности входных грузовых и транспортных потоков с целью расчета предельной перерабатывающей способности морского порта.

5. Принятие решения о необходимости сооружения «сухого» порта, если морской порт не обеспечивает переработку существующих или прогнозных грузовых и транспортных потоков с приемлемыми затратами.

6. Расчет функциональных зависимостей между основными параметрами «сухого» порта с использованием разработанной системы основных параметров.

7. Построение агентной системно-динамической модели основных параметров «сухого» порта с последующей корректировкой коэффициентов линейных функциональных зависимостей между значениями параметров.

8. Использование полученных коэффициентов линейных функциональных зависимостей в ограничениях целевой функции (максимизации NPV) при поиске оптимальных значений основных параметров «сухого» порта с использованием внешнего оптимизатора.

9. Построение плана местности потенциального места размещения «сухого» порта. Выбор сценариев сооружения «сухого» порта и определение для каждого сценария значений: L – расстояние между морским и «сухим» портами; V – вместимость «сухого» порта; капитальные затраты на сооружение «сухого» порта.

10. Расширение агентной дискретно-событийной имитационной модели морского порта путем введения в нее модели «сухого» порта для исследования взаимодействия морского и припортового терминалов. Задание в качестве граничных значения основных параметров моделируемого «сухого порта» (λ , K_{ir} , L , T_c , E_m , V , n , E_f , G_c , O_c), полученных при оптимизации во внешнем оптимизаторе.

11. Проведение имитационных экспериментов с разработанной агентной дискретной моделью системы «морской порт – «сухой» порт» при различных значениях интенсивности (λ) и коэффициента неравномерности грузопотоков и потоков транспортных средств (K_{ir}) с целью определения для каждого сценария развития припортовой инфраструктуры оптимальных значений основных параметров «сухого» порта.

Апробация разработанной методики развития системы «морской порт – «сухой» порт» проводилась на двух примерах. В первом случае исследуемым морским портом будет являться морской терминал «Evuarport» (Корфез, Турция), входящий в состав транспортного коридора «Север – Юг» и не имеющий «сухого» порта. Во втором случае апробация проводилась на примере действующей системы «морской порт – «сухой» порт», включающей контейнерный терминал «NBCT Ningbo Beilun Container Terminal» (входит в состав транспортного коридора «Восток – Запад») крупнейшего по контейнерообороту морского порта мира «Ningbo – Zhoushan» (Нинбо, КНР) и «сухой» портом (Иву, КНР). Данное исследование

проводилось с целью определения неточностей при выборе место положения «сухого» порта и расчете его основных параметров.

После получения оптимальных значений линейных функциональных зависимостей между основными параметрами «сухих» портов с использованием агентной системно-динамической модели, был осуществлен поиск оптимальных (усредненных) значений основных параметров припортовых терминалов по критерию максимума чистого дисконтированного дохода NPV с использованием оптимизатора CPLEX. По результатам проведенных экспериментов были получены следующие значения параметров «сухих» портов, представленные в таблице 2.

Результатом имитационных экспериментов с агентной дискретно-событийной моделью системы «морской порт – «сухой» порт» получены оптимальные (уточненные) значения основных параметров «сухого» порта для различных значений интенсивности и неравномерности входных грузовых и транспортных потоков.

Оценка экономической эффективности разработанной методики оптимизации основных параметров «сухого» порта выполнялась для двух примеров.

Таблица 2 – Результаты расчетов основных параметров «сухого» порта

Параметр	Корфез, Турция		Иву, КНР	
	Факт	Расчёт	Факт	Расчёт
λ , TEU/сут.	–	550	300	300
K_{ir}	–	1,2	1,3	1,2
L , км	–	11	185	26
T_{ic} , пар поездов/сут.	–	37	7	23
E_m , ед.	–	9	9	9
V , TEU	–	2600	800	750
n , TEU/сут.	–	1750	1625	1650
E_f , ед.	–	9	5	9
G_c , млн долларов США	–	76,2	464,3	181,95
O_c , тыс. долларов США/мес.	–	1,23	7,4	3,82

В первом случае для системы «морской порт – «сухой» порт» (Корфез, Турция) годовой экономической эффект от реализации методики составил 66 524,774 тыс. долларов США, при сроке окупаемости припортового терминала равному 2,15 года. Во втором случае для системы «морской порт – «сухой» порт» (Иву, КНР) годовой экономической эффект от реализации методики составил 187 229,093 тыс. долларов США, при сроке окупаемости припортового терминала равному 2,18 года.

Предложенная методика может быть использована портовыми менеджерами, а также проектными институтами для определения оптимальных значений основных параметров «сухого» порта на разных стадиях проектирования припортового терминала, с целью снижения суммарных затрат на строительство и

функционирование системы «морской порт – «сухой» порт».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных автором исследований получены результаты, представляющие собой научно-обоснованные актуальные решения по определению основных параметров «сухого» порта:

1. Выполненный анализ состояния и тенденций развития морских портов Российской Федерации как элементов международных транспортных коридоров показал, что в результате развития торгово-экономических связей между странами Европы и КНР и увеличения объемов экспортных поставок в 2,75 раза в течение последних трех лет, вырос спрос на сухопутные перевозки, что, в свою очередь, требует развития международных наземных транспортных коридоров по направлению «Восток – Запад», в том числе, через территорию Российской Федерации, обладающую значительным транзитным потенциалом. Установлено, что начальными и конечными пунктами международных транспортных коридоров, в том числе и сухопутных, как правило, являются морские порты. Однако, несмотря на увеличение спроса на грузовые перевозки в мировой транспортной системе за последние три года на 12,6 млн TEU, наблюдается малозначительное увеличение контейнерооборота крупнейших морских портов мира в среднем на 0,5-2%.

2. Определено, что одной из основных причин отставания роста контейнерооборота крупнейших морских портов мира от спроса на грузовые перевозки является недостаток их пропускных, перерабатывающих способностей и вместимостей, возникающих из-за ограничений, связанных с их расположением в границах селитебных зон.

3. Выявлены проблемы функционирования систем транспортного обслуживания и морских терминалов, основной из которых является недостаточная согласованность технологии работы морских портов с перевозочным процессом внешнего транспорта. Это, в свою очередь, приводит к росту неравномерности прибывающих в порт грузопотоков, простоя транспортных средств и контейнеров (в среднем по портам Российской Федерации до 5-7 дней), необходимости использования судов большей контейнеровместимости, а также увеличению запасов и вместимости складов морских портов.

4. Современным решением по увеличению пропускной и перерабатывающей способностей морских портов в условиях территориальных ограничений, обеспечению согласованной работы транспорта и морского порта, а также снижению экологической нагрузки на припортовую территорию является создание припортового терминала, который в международной практике получил название «сухой» порт. Обзор теоретических исследований в области применения «сухих» портов показал, что в качестве основного параметра этого терминала отечественные и

зарубежные ученые выделяют расстояние между морским и «сухим» портами. В результате исследования установлено, что, помимо влияния фактора удлинения маршрута между морскими и «сухими» портами на объем инвестиционных затрат, расстояние между терминалами влияет на неравномерность прибытия транспортных средств, вместимость и потребный уровень технической оснащенности «сухих» портов, место размещения «сухого» порта, характеризующееся объемом планировочных работ, а также на экологичность районов размещения морского и припортового терминалов. Анализ отечественного и зарубежного опыта развития «сухих» портов, выполняющих различные функции в зависимости от их месторасположения, показал, что концепция «сухих» портов широко применяется по всему миру. Однако в Российской Федерации в настоящее время система припортовых терминалов находится на стадии развития: в течение последних пяти лет с 2015 года в России был построен лишь один припортовый терминал класса «сухой» порт.

5. Проведенное исследование факторов, влияющих на функционирование «сухих» портов, показало, что «сухие» порты являются сложными системами, состоящими из множества взаимосвязанных элементов, выполняющих большое число функций, характеризующихся множеством параметров. Установлено, что на параметры элементов припортового терминала влияет изменение параметров входных и выходных грузопотоков, обусловленное воздействием внешних факторов, таких как социальный, инфраструктурный, экономический, экологический и прочие факторы. Проведенное исследование влияния выбранных факторов на параметры «сухого» порта позволило выявить связи между параметрами припортового терминала. Недостаточно проработанным является вопрос количественной оценки взаимосвязей между параметрами «сухого» порта.

6. Выполненный анализ связей между параметрами «сухих» портов позволил выдвинуть гипотезу о взаимосвязи между отдельными параметрами «сухого» порта или парами параметров. Подтверждение данной гипотезы основано на изучении связей между параметрами «сухих» портов, описываемых в исследованиях припортовой инфраструктуры. Установлено, что в основном изучены связи между отдельными параметрами «сухого» порта, отсутствует системный подход к исследованию совокупности параметров. Кроме того, в основном изучены прямые связи между параметрами «сухого» порта. Недостаточно изученным остается исследование обратных связей. Выдвинута гипотеза о необходимости и достаточности использования для управления развитием системы «морской порт – «сухой» порт» ограниченного набора основных параметров «сухого» порта.

7. Для качественного доказательства выдвинутой гипотезы об основных параметрах «сухого» порта выполнено исследование прямых и обратных взаимосвязей и систематизация параметров припортовых терминалов, позволившее разработать систему основных параметров «сухих» портов.

Предлагаемая система основных параметров «сухого» порта состоит из следующих элементов: интенсивность грузопотоков и потоков транспортных средств, TEU/сут.; коэффициент неравномерности грузопотоков и потоков транспортных средств;

протяженность трассы маршрута между морским и «сухим» портами, км; пропускная способность транспортных коммуникаций, пар поездов/сут.; вместимость контейнерных площадок, TEU; перерабатывающая способность «сухого» порта, TEU/сут.; вариант размещения «сухого» порта, ед.; оценка экологического воздействия, ед.; капитальные затраты на строительство «сухого» порта, млн руб.; эксплуатационные затраты на функционирование системы «морской порт – «сухой» порт», тыс. руб./мес.

Данную систему основных параметров «сухого» порта предлагается применять для оценки эффективности создаваемого «сухого» порта на этапе его стратегического планирования, когда принимаются основные инвестиционные решения.

8. Для количественного исследования взаимосвязей между основными параметрами «сухого» порта и определения корректности основных параметров «сухого» порта в целом предлагается использование имитационного моделирования. Разработана системно-динамическая модель, позволяющая определять оптимальные значения параметров «сухого» порта, при которых достигается состояние устойчивости системы, которую они образуют. В качестве критерия устойчивости предложено использовать величину суммарной дисперсии значений исследуемых основных параметров, рассчитываемой в течение периода моделирования. Для оценки корректности разработанной системы основных параметров «сухих» портов разработана математическая модель системы основных параметров «сухого» порта.

9. Разработан комплекс комбинированных имитационных моделей оптимизации основных параметров «сухого» порта и функционирования системы «морской порт – «сухой» порт». Комплекс моделей позволяет определять сбалансированные значения параметров, при которых достигается эффективное функционирование системы «морской порт – «сухой» порт».

10. Создана агентная системно-динамическая модель основных параметров «сухого» порта и реализован разработанный алгоритм корректировки линейных функциональных зависимостей между ними. В результате проведения экспериментов достигнута устойчивость между основными параметрами «сухого» порта, получены оптимальные значения линейных функциональных зависимостей между ними. Полученные оптимальные значения коэффициентов для линейных функциональных зависимостей между основными параметрами «сухого» порта использованы при поиске оптимальных значений основных параметров, обеспечивающих получение максимума чистого дисконтированного дохода от внедрения припортового терминала.

11. Построена агентная дискретно-событийная модель

функционирования системы «морской порт – «сухой» порт». В результате проведения серий экспериментов установлено, что введение «сухого» порта в имитационную модель позволяет снизить простой морских судов-контейнеровозов в среднем на 44%, перепростой вагонов на путях необщего пользования в системе на 39% и контейнеров на 50% соответственно.

12. Разработана методика формирования системы «морской порт – «сухой» порт», состоящая из следующих этапов: определение линейных функциональных зависимостей между основными параметрами «сухого» порта; построение агентной системно-динамической модели основных параметров «сухого» порта и корректировка коэффициентов линейных функциональных зависимостей между основными параметрами припортового терминала; расчет оптимальных значений основных параметров «сухого» порта по критерию максимума чистого дисконтированного дохода от функционирования припортового терминала; построение агентной дискретно-событийной модели функционирования системы «морской порт – «сухой» порт»; проведение имитационных экспериментов с разработанной имитационной моделью при различных значениях интенсивности и коэффициента неравномерности грузопотоков и потоков транспортных средств для повышения точности расчета значений основных параметров припортового терминала.

Использование разработанной методики портовыми менеджерами, а также проектными институтами позволит определять оптимальные значения основных параметров «сухого» порта на разных стадиях проектирования припортового терминала с целью снижения суммарных затрат на строительство и функционирование системы «морской порт – «сухой» порт».

13. Выполнена апробация разработанной методики на примерах морского терминала «Evuapport» (Корфез, Турция), не имеющего «сухого» порта, а также на действующей системе «морской порт – «сухой» порт», включающей в себя морской порт «NBCT Ningbo Beilun Container Terminal» и «сухой» порт в городе Иву (КНР). Для морского порта «Evuapport» предложено создание тылового терминала на расстоянии 11 км, что позволило уменьшить среднее время простоя контейнеров и транспортных средств на 53%, себестоимость переработки контейнера – на 37%, а также увеличить контейнерооборот морского порта на 30%. Для действующей на территории КНР системы «морской порт – «сухой» порт» рассмотрен вариант сокращения расстояния между терминалами со 185 до 26 километров. Такое размещение «сухого» порта обеспечивает сокращение капитальных затрат на строительство припортового терминала с 464,3 до 181,95 млн долларов США, главным образом, в результате уменьшения расчетной вместимости «сухого» порта с 800 до 750 TEU при сохранении величины грузооборота. Расчетный срок окупаемости инвестиционных затрат в обоих случаях не превышает двух лет.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах и изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России и входящих в международные базы цитирования «Scopus» и «Web of Science»:

1. Рахмангулов А.Н. Оценка направлений развития систем «морской порт – «сухой» порт» методом имитационного моделирования / А.Н. Рахмангулов, **Д.С. Муравьев** // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – №3. – С. 54-72.

2. **Muravev D.** Comparing Model Development in Discrete Event Simulation on Ro-Ro Terminal Example / D. Muravev, S. Aksoy, V. Aydogdu, A. Rakhmangulov // International Journal Logistics Systems and Management. – 2016. – Vol. 24. – Issue 3. – pp. 283-297.

3. **Muravev D.** Environmental factors consideration at industrial transportation organization in the «seaport – dry port» system / D. Muravev, A. Rakhmangulov // Open Engineering. – 2016. – Vol. 6. – Issue 1. – pp. 476-484.

4. Rakhmangulov A. Optimal Placement Method of RFID Readers in Industrial Rail Transport for Uneven Rail Traffic Volume Management / A. Rakhmangulov, **D. Muravev**, P. Mishkurov // Open Engineering. – 2016. – Vol. 6. – Issue 1. – pp. 532-541.

5. Рахмангулов А.Н. Развитие морской портовой инфраструктуры региона на основе «сухих портов» / А.Н. Рахмангулов, **Д.С. Муравьев** // Экономика региона. – 2016. – №3. – С. 924-936.

6. Rakhmangulov A. Green Logistics: Element of the Sustainable Development Concept. Part 1 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, **D. Muravev** // Naše more. – 2017. – Vol. 64. – No. 3. – pp. 120-126.

7. Rakhmangulov A. Green Logistics: A System of Methods and Instruments-Part 2 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, **D. Muravev** // Naše more. – 2018. – Vol. 65. – No. 1. – pp. 49-55.

8. **Muravev D.** The Introduction to System Dynamics Approach to Operational Efficiency and Sustainability of Dry Port's Main Parameters / D. Muravev, A. Rakhmangulov, H. Hu, H. Zhou // Sustainability. – 2019. – No. 11. – pp. 1-21.

9. **Muravev D.** Multi-agent simulation of the balanced main parameters of the logistics centers / D. Muravev, H. Hu, A. Rakhmangulov, L. Dai // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – Vol. 52. – No. 13. – pp. 1057-1062.

10. **Muravev D.** Location Optimization of CR Express International Logistics Centers / D. Muravev, H. Hu, H. Zhou, D. Pamucar // Symmetry. – 2020. – No. 12. – pp. 1-25.

11. **Muravev D.** A Novel Integrated Provider Selection Multicriteria Model: The BWM-MABAC Model / D. Muravev, N. Mijic // Decision-making: Applications in Management and Engineering. – 2020. – Vol. 3 – No. 1. – pp. 60-78.

12. **Muravev D.** Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port / D. Muravev, H. Hu, A. Rakhmangulov, P. Mishkurov // International Journal of

Information Management. – 2020. 102133.

Монография:

13. **Muravev D.** Rail Transport—Systems Approach: Dynamic Optimization of Railcar Traffic Volumes at Railway Nodes / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, P. Mishkurov, D. Muravev – New-York: Springer, 2017. pp 405-456.

Научные публикации в прочих изданиях:

14. **Муравьев Д.С.** Выбор и расчет основных параметров «сухого» порта / Д.С. Муравьев, А.Н. Рахмангулов // Современные проблемы транспортного комплекса России, 2012. – №2. – С. 54-59.

15. **Муравьев Д.С.** Выбор метода расчета основных параметров «сухих» портов / Д.С. Муравьев, А.Н. Рахмангулов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2012». – Выпуск 4. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 51-55.

16. **Муравьев Д.С.** Особенности транспортного обслуживания металлургических предприятий комбинированным автомобильным и морским транспортом (на примере ММК Metallurji, г. Искендерун, Турция) / Д.С. Муравьев, А.Н. Рахмангулов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2012». – Выпуск 4. Том 2. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 16-20.

17. **Муравьев Д.С.** Проблемы развития морских портов России // Молодежь. Наука. Будущее: сб. науч. тр. студентов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – № 12. – Т.1. – С. 186-188.

18. **Муравьев Д.С.** Выбор и расчет основных параметров «сухого» порта / Д.С. Муравьев, А.Н. Рахмангулов // Логистика и экономика ресурсосбережения в промышленности: материалы Международной научно-практической конференции, 11-13 декабря 2012 года. – Саратов: Изд-во Саратовск. гос. техн. ун-та им. Ю.А. Гагарина, 2012. – С. 35-39.

19. **Муравьев Д.С.** Рахмангулов, А.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы морского порта в системе AnyLogic / Д.С. Муравьев, А.Н. Рахмангулов / под ред. О.Н. Ларина, Ю.В. Рождественского // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: материалы пятой Международной научно-практической конференции, 17–18 мая 2013. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 207-209.

20. **Муравьев Д.С.** Использование имитационного моделирования для оценки перерабатывающей способности морских портов и обоснования необходимости сооружения «сухого» порта / А.Н. Рахмангулов, Д.С. Муравьев, П.Н. Мишкurov // Современные проблемы транспортного комплекса России, 2013. – № 4 (4). – С. 66-72.

21. **Муравьев Д.С.** Особенности имитационной модели технологии работы морского порта в системе Anylogic // The Proceedings of the International Conference “Information Technologies for Intelligent Decision-Making Support” and the Intended

Russian – German Workshop “Models and Algorithms of Applied Optimization”, May 21-25, Ufa, Russia, 2013. P. 78-80.

22. **Муравьев Д.С.** Сценарный подход развития морской портовой инфраструктуры с использованием имитационного моделирования // Проблемы инфраструктуры транспортного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции / под ред. А.В. Петряева. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 108-112.

23. **Muravev D.** An Optimal Management Model for Empty Freight Railcars in Transport Nodes / A. Rakhmangulov, N. Osintsev, D. Muravev, A. Legusov // Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications. – 2019. – Vol. 2. – No. 1. – pp. 51–71.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1, 16, 17] – анализ развития международных транспортных коридоров и роль морских портов как их элементов; [3, 8] – обзор теоретических исследований в области применения «сухих» портов; [5, 8] – обоснование и разработка системы основных параметров «сухих» портов, характеризующейся ограниченным числом параметров для оценки эффективности функционирования системы «морской порт – «сухой» порт»; [8, 9] – разработка математической модели системы основных параметров «сухого» порта; [8, 9, 12] – разработка агентной системно-динамической модели основных параметров «сухого» порта; [1, 2, 3, 5, 12] – разработка агентной дискретно-событийной модели системы «морской порт – «сухой» порт»; [1, 5, 12] – разработка методики формирования системы «морской порт – «сухой» порт».

МУРАВЬЕВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

ВЫБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ «МОРСКОЙ ПОРТ – «СУХОЙ» ПОРТ»

Специальность 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати	Формат 60x90 1/16
Заказ № 2419	Тираж 80 экз.
Объем 1,5 пл.	

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9
ЦСО Отдел дизайна, верстки и печати РУТ (МИИТ)