

Для цитирования: Экономика региона. — 2016. — Т. 12, вып. 3. — С. 924–936  
doi 10.17059/2016-3-26  
УДК 656.613

**А. Н. Рахмангулов, Д. С. Муравьев**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова  
(Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: ran@magtu.ru)

## РАЗВИТИЕ МОРСКОЙ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ «СУХИХ ПОРТОВ»<sup>1</sup>

*Статья посвящена актуальной проблеме развития морской портовой инфраструктуры с целью увеличения грузооборота в регионах размещения морских портов и повышения качества грузовых перевозок на основе создания тыловых контейнерных терминалов — «сухих портов». Показаны возможности «сухих портов» как потенциально эффективного решения задач увеличения грузооборота существующих морских портов, повышения своевременности грузовых перевозок, а также преодоления экологических проблем регионов размещения морских портов. Приведен анализ транспортной инфраструктуры регионов, грузооборота крупных морских и «сухих портов» России, а также опыта создания «сухих портов» за рубежом и на территории Российской Федерации. Предложена система параметров «сухих портов», которую рекомендовано использовать для оценки сценариев развития портовой инфраструктуры на этапе стратегического планирования. Авторами разработана методика определения оптимальных значений основных параметров «сухих портов» методом имитационного моделирования. Рассмотрены особенности построения и исследования имитационных моделей систем «морской порт — „сухой порт”» в программной среде AnyLogic. Представлены результаты модельных экспериментов с разработанной имитационной моделью, выполненные с целью оценки максимальной перерабатывающей способности существующего морского порта в условиях увеличения неравномерности грузопотоков, а также определения оптимальных параметров сооружаемого «сухого порта». Полученные в результате модельных экспериментов зависимости доказывают достаточность выбранных основных параметров «сухих портов» для эффективной оценки сценариев усиления пропускной и перерабатывающей способности существующих морских портов на этапе стратегического планирования. Представленная в статье методика может быть использована инвесторами и органами государственной власти для обоснования решений по сбалансированному развитию транспортно-логистической инфраструктуры регионов размещения морских портов.*

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура региона, морской порт, «сухой порт», имитационное моделирование, система параметров, сценарный подход, AnyLogic, неравномерность, своевременность, место размещения

### **Основные проблемы и задачи развития морской портовой инфраструктуры РФ**

Морские перевозки играют ключевую роль в международной торговле. На их долю приходится основной объем грузов, перевозимых участниками внешнеэкономической деятельности (рис. 1).

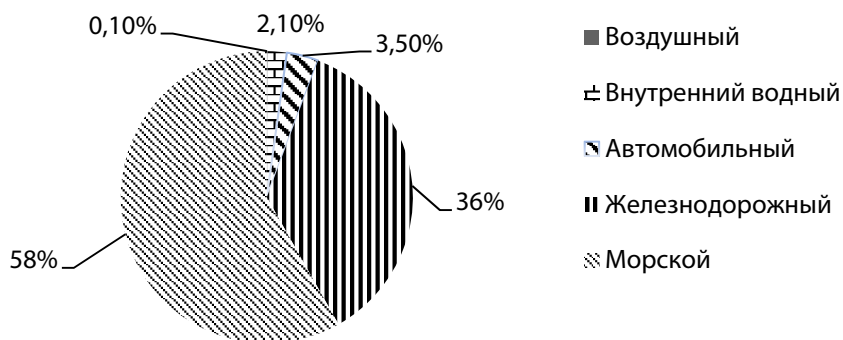
При осуществлении международных грузоперевозок одним из определяющих факторов является уровень развития транспортно-логистической инфраструктуры [1] и основных инфраструктурных объектов — морских портов. Портовая деятельность является стратегическим аспектом развития экономики регионов и одним из ключевых звеньев функци-

онирования транспортной системы страны. Значительна роль портов также в обеспечении транспортной независимости, обороноспособности и использования транзитного потенциала России.

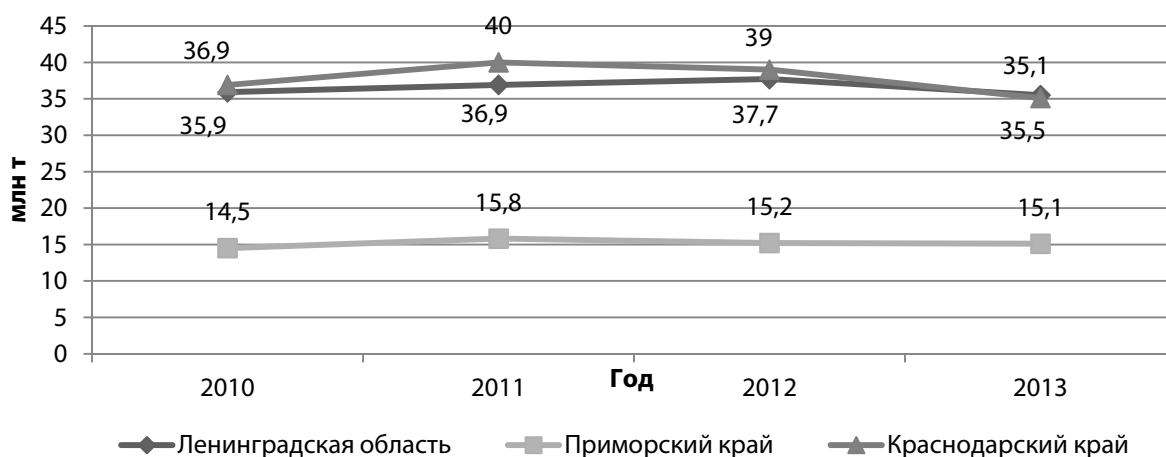
Международная торговля, концентрируясь вокруг морских портов, обуславливает экономический рост регионов их размещения. С увеличением объемов торговли морские порты становятся пунктами концентрации как производства, так и сопутствующих услуг, объемов грузовых перевозок (рис. 2), что, в свою очередь, повышает инвестиционную привлекательность регионов.

Следствием продолжающегося процесса глобализации экономики и увеличения товарообмена между странами стало увеличение объемов внешнеторговых перевозок РФ (рис. 3).

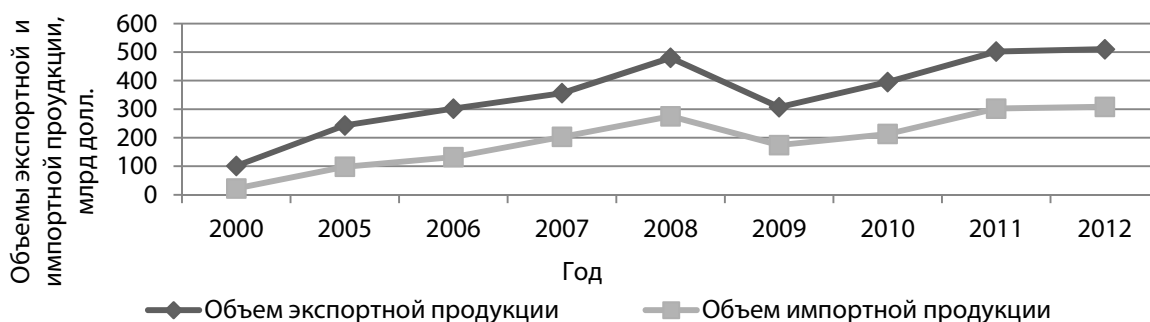
<sup>1</sup> © Рахмангулов А. Н., Муравьев Д. С. Текст. 2016.



**Рис. 1.** Распределение внешнеторгового грузопотока РФ по видам транспорта, 2012 г., % (Обзор по логистике и экспресс-доставке / РосБизнесКонсалтинг. [Электронный ресурс]. URL: [http://marketing.rbc.ru/reviews//transport2013/chapter\\_3\\_1.shtml](http://marketing.rbc.ru/reviews//transport2013/chapter_3_1.shtml) (дата обращения: 01.04.2015)) (сост. с использованием данных Обзор по логистике и экспресс-доставке / РосБизнесКонсалтинг. [Электронный ресурс]. URL: [http://marketing.rbc.ru/reviews//transport2013/chapter\\_3\\_1.shtml](http://marketing.rbc.ru/reviews//transport2013/chapter_3_1.shtml), дата обращения: 01.04.2015)



**Рис. 2.** Динамика объемов отправления грузов железнодорожным транспортом в регионах размещения морских портов РФ



**Рис. 3.** Динамика объемов внешнеторговых перевозок РФ

Росту объемов внешнеторговых перевозок способствует увеличение перевалочных мощностей российских портов, которая по итогам 2014 г. составила 876,2 млн т в год, что в полтора раза больше чем в 2007 г. В соответствии со стратегией развития морской портовой инфраструктуры до 2030 г. годовая перевалочная мощность должна вырасти до 1400,7 млн т<sup>1</sup> (рис. 4).

Однако такая динамика перевалочных мощностей российских морских портов не соответствуют растущим потребностям страны в перевозках экспортных и импортных грузов. Одним из наиболее существенных факторов, оказывающих негативное влияние на эффективность внешнеторговых перевозок, на взгляд авторов, является неравномерное развитие транспорт-

<sup>1</sup> Состояние морских транспортных узлов / ЮИКЦ. [Электронный ресурс]. URL: <http://uikc.ru/articles/>

sostoyanie-morskih-transportnyh-uzlov (дата обращения: 05.05.2015).



Рис. 4. Динамика производственной мощности морских портов РФ

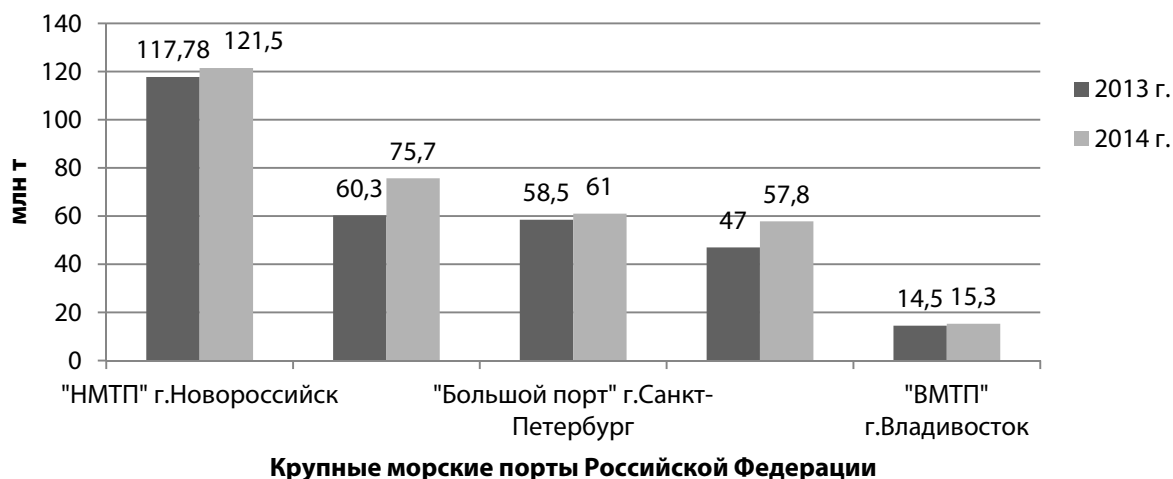


Рис. 5. Грузооборот крупнейших морских портов РФ

ной инфраструктуры в регионах. Анализ показателей развития транспортной инфраструктуры РФ позволяет сделать вывод, что наиболее существенные различия наблюдаются между Северо-Западной частью России и регионом Дальнего Востока. Так, Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) по плотности железнодорожных путей общего пользования превышает Дальневосточный федеральный округ почти в 6 раз, а по плотности автомобильных дорог с твердым покрытием — в 8 раз<sup>1</sup>.

Вторым важнейшим фактором недостаточной эффективности внешнеторговых перевозок является значительное снижение качества (своевременности) грузовых железнодорожных перевозок, произошедшее вследствие

появления на рынке множества собственников вагонов и нескоординированности их действий по управлению вагонопотоками. В результате увеличения неравномерности внешних вагонопотоков морских портов наблюдаются скопления вагонов на припортовых станциях, образование сверхнормативных запасов грузов в портах (среднее время простоя контейнеров в морских портах РФ составляет 5–7 дней [2]), простои судов в ожидании накопления судовой партии, нерациональное использование перегрузочных мощностей морских портов.

Несмотря на ежегодный прирост грузооборота крупнейших морских портов РФ (рис. 5), их возможности по дальнейшему наращиванию объемов перевозок в условиях высокой неравномерности внешних грузо- и вагонопотоков оказываются практически исчерпанными [2]. Основным ограничением увеличе-

<sup>1</sup> Обзор по логистике и экспресс-доставке / Росбизнес-Консалтинг. [Электронный ресурс]. URL: <http://marketing.rbc.ru/reviews/transport2013/> (дата обращения: 01.04.2015).

Таблица 1

## Основные характеристики тыловых контейнерных терминалов РФ

Название терминала, год создания	Регион размещения	Стоимость проекта, млн долл.	Контейнерооборот, TEU в год	Площадь зоны хранения, м <sup>2</sup>	Дополнительные услуги
Интертерминал-Предпортовый, 2005	СЗФО	75	3500	68500	ремонт контейнеров; страхование; таможенный контроль
Предпортовый, 2006	СЗФО	60	н. д.	4500	информирование; страхование
Восход	СЗФО	40	190000	24215	информирование клиентов; таможенное оформление
Шушары, 2008	СЗФО	100	50000	30000	информирование клиентов
Янино, 1994	СЗФО	112	500000	н. д.	—
Логистика-Терминал, 2007	СЗФО	н. д.	200000	24500	продажа ставки морского фрахта
«Южный» Приморский Терминал», 2007	ДФО	18,4	н. д.	280000	ремонт контейнеров; информирование клиентов

ния вместимости морских портов является их расположение в границах населенных пунктов и, как следствие, отсутствие перспектив расширения территории 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 тылового грузового терминала — «сухого порта». Опыт строительства «сухих портов» показывает возможность увеличения перерабатывающей способности морских портов с минимальными затратами на реконструкцию.

В настоящий момент в Европе действует порядка 250 «сухих портов» [3], в США насчитывается около 370 крупных внутренних контейнерных терминалов. Для стран Евросоюза, таких как Бельгия, Словения, Швейцария, а также для Соединенных Штатов Америки характерно использование «сухих портов» не в качестве тыловых терминалов морского порта, а как терминалов, ориентированных на обслуживание внутренних районов страны, поэтому располагаются они, как правило, вдали от береговой линии. В странах Азии «сухие порты» используются, в основном, для увеличения перерабатывающей способности морских портов, а не для развития внутренних регионов [4].

При решении задачи выбора рационального места размещения «сухого порта» и его параметров большинство ученых в настоящее время предлагает в качестве критериев использовать инвестиционные затраты на сооружение «сухого порта». Ряд европейских исследователей предлагают также учитывать экологический

фактор. Снижение экологической нагрузки на регион размещения морского порта связано с перенесением работ по перевалке грузов в удаленный от жилых зон «сухой порт», а также со снижением выхлопов автотранспорта в результате обеспечения более равномерного обслуживания автомобилей, уменьшения заторов на подходах к морскому порту и сокращения времени их простоя в ожидании грузовых операций в порту [5]. Характерным примером эффективного увеличения грузооборота расположенного в населенном пункте морского порта является порт г. Малага, который в 2006 г. составлял 245638 TEU [2], а к 2009 г., в результате строительства «сухого порта», увеличился практически в полтора раза — до 340784 TEU.

В России в настоящее время система «сухих портов» находится на стадии развития — в течение последних трех лет был построен лишь один тыловой терминал класса «сухой порт», в г. Артём (Дальневосточный федеральный округ (ДФО)), всего функционирует семь терминалов (табл. 1). Большая часть тыловых контейнерных терминалов России располагается в Север-Западном федеральном округе (СЗФО), поскольку доля морских контейнерных перевозок, приходящаяся на порты СЗФО, составляет 45 % от общего объема контейнерных перевозок страны и 20 % (250 млн т в год) от общего объема перевозок РФ в международном сообщении<sup>1</sup>.

Таким образом, как показывает практика создания и эксплуатации «сухих портов», они

<sup>1</sup> Состояние морских транспортных узлов / ЮИКЦ. [Электронный ресурс]. URL: <http://uikc.ru/articles/sostoyanie-morskih-transportnyh-uzlov> (дата обращения: 05.05.2015).

потенциально являются эффективным решением задачи увеличения грузооборота морских портов, повышению своевременности грузовых перевозок, а также преодолению экологических проблем региона размещения портов. Однако недостаточное развитие научно-методической базы системного обоснования необходимости создания «сухого порта» в регионе, выбора и расчета основных параметров такого тылового терминала на этапе его стратегического планирования может приводить к возникновению излишних капитальных и эксплуатационных затрат и, как следствие, к увеличению себестоимости грузопереработки в системе «морской порт — „сухой порт”».

### **Обоснование системы основных параметров «сухого порта»**

По определению В. Росо [6] «сухой порт» (англ. *dry port*) — это совокупность складов временного хранения, вспомогательных зданий, сооружений, автомобильных и железнодорожных путей, площадок, расположенных за пределами территории морского порта, связанных между собой и с портом единым технологическим процессом и информационной системой для совершения грузовых операций с товарами и их временного хранения под таможенным контролем. Помимо перевалки грузов «сухой порт» также может выполнять функции хранения, консолидации и комплектации грузов, их таможенное оформление, техническое обслуживание автомобильных и железнодорожных транспортных средств [7]. Создание «сухих портов» решает проблему развития транспортных потоков в припортовых городах при помощи строительства объездных дорог и эстакад, не связанных с транспортной инфраструктурой городов-портов [8].

Основные преимущества «сухих портов» [2]: возможность повышения качества (своевременности) грузовых перевозок в результате введения «сухого порта» в цепочку поставок в качестве элемента, обладающего дополнительной вместимостью и перерабатывающей способностью и, как следствие, расширения возможностей по регулированию грузопотоков, а также реализации мультимодальных решений [9], увеличение пропускной способности морских портов и подъездных путей в результате ускорения обработки грузов в морском порту, снижение суммарных транспортно-складских затрат и себестоимости грузопереработки в морском терминале, решение экологических и социальных проблем региона размещением морского порта в результате частичного пере-

носа погрузо-разгрузочных работ в удаленные от жилых зон районы и создания дополнительных рабочих мест в регионе [10].

Реализация перечисленных преимуществ достигается, если момент ввода в эксплуатацию «сухого порта» 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. Для обоснования соответствующих решений на этапе стратегического планирования предлагается использовать следующие основные параметры «сухого порта»: интенсивность и неравномерность входных грузопотоков и потоков транспортных средств, место размещения «сухого порта» и трасса маршрута транспортных коммуникаций между морским и «сухим портом»; вместимость, размеры «сухого порта» в плане и перерабатывающая способность порта; затраты на сооружение «сухого порта» и эксплуатацию системы «морской порт — „сухой порт”».

*Интенсивность грузовых потоков и потоков транспортных средств ( $\lambda$ ).* Увеличение интенсивности входных потоков морского порта обуславливает необходимость повышения его пропускной и перерабатывающей способности и вместимости. Результаты статистического анализа грузопотоков в транспортных узлах показывают, что с увеличением интенсивности грузопотоков происходит снижение их неравномерности в результате уменьшения дискретности потоков и приближения размера транспортно-грузовой партии к средней величине. Такое явление наблюдается до момента исчерпания резервов пропускной способности и вместимости устройств транспортного узла, после чего в результате задержек в переработке грузопотоков увеличивается их неравномерность и снижаются показатели качества грузовых перевозок.

Для обеспечения потребного качества перевозок при увеличении интенсивности входных грузопотоков морского порта необходимо сооружать «сухой порт» большей вместимости и, соответственно, больших размеров. Размеры «сухого порта» могут быть ограничены как географическими условиями местности, так и социальными факторами региона его размещения. Соблюдение этих ограничений требует, как правило, размещения «сухого порта» на дальнем расстоянии от морского, что увеличивает затраты на строительство транспорт-

ных коммуникаций. С другой стороны, увеличение объемов перевозок и интенсивности транспортных потоков позволяет реализовать более затратные, но быстро окупающиеся проекты по размещению «сухого порта» либо на участках с менее благоприятными топографическими условиями, либо на большем расстоянии от морского порта и жилых зон.

*Неравномерность грузовых потоков и потоков транспортных средств ( $K_{\text{пер}}$ )* определяет, главным образом, потребность в резервах пропускной и перерабатывающей способностям транспортных устройств [11, 14]. Увеличение вместимости морского терминала результате сооружения «сухого порта» позволяет снизить неравномерность транспортных потоков и повысить качество (своевременность) доставки грузов. Переработка морским терминалом грузопотоков с большой неравномерностью требует выбора варианта сооружения «сухого порта» большей вместимости, расположенного на близком расстоянии от морского порта и (или) на участке с благоприятными топографическими условиями. Увеличение расстояния или выбор площадки с менее благоприятными топографическими условиями возможны, если удовлетворение требований грузовладельцев в своевременных перевозках компенсируется повышенной платой. Уменьшение капитальных затрат на сооружение «сухого порта» в таких условиях достигается в результате применения современной гибкой технологии работы транспортно-технологической системы [12] «морской порт — „сухой порт” — припортовая железнодорожная станция», позволяющей рационально использовать резервы пропускной и перерабатывающей способности данной системы.

*Трасса маршрута транспортных коммуникаций между морским и «сухим» портами* характеризуется длиной маршрута ( $I$ ), а также топографическими условиями местности ее прохождения. Удлинение маршрута увеличивает время транспортировки грузов между портами, что потенциально снижает своевременность перевозок, а также увеличивает затраты в системе «морской порт — „сухой порт»» [4].

*Место размещения «сухого порта» ( $E_m$ )* определяет длину маршрута транспортных коммуникаций между морским и «сухим» портами, а также совокупные затраты на создание и эксплуатацию «сухого порта». Необходимость размещения «сухого порта» на участке с менее благоприятными топографическими условиями обуславливается необходимостью переработки грузопотоков большой интенсивности,

а также потребностью в обеспечении высоких показателей своевременности перевозок.

*Вместимость ( $V$ ), размеры «сухого порта»* в плане и перерабатывающая способность ( $n$ ) порта. Взаимосвязанные параметры, определяющие величину совокупных затрат на создание и эксплуатацию «сухого порта».

*Затраты на создание «сухого порта» и эксплуатацию системы «морской порт — „сухой порт»*. Величина капитальных затрат ( $Z_k$ ) на сооружение «сухого порта» зависит от топографических условий в месте предполагаемого размещения «сухого порта», его вместимости и размеров в плане, перерабатывающей способности (технической оснащенности), длины трассы маршрута между «сухим» и морским портами, пропускной способности транспортных коммуникаций. Эксплуатационные затраты ( $Z_3$ ) включают, помимо затрат на содержание сооружаемой инфраструктуры, затраты на эксплуатацию транспортных и транспортно-грузовых средств, затраты на хранение и переработку грузов в «сухом порту», транспортировку грузов между морским и «сухим портом», потери от простоя транспортных и погрузо-разгрузочных средств, потери в результате нарушения требований своевременной доставки грузов.

Матрица качественных взаимозависимостей в системе параметров «сухого порта» представлена в таблице 2.

### **Имитационная модель «сухого порта»**

Поскольку по составу основных функций «сухой порт» относится к перегрузочным транспортно-грузовым комплексам, то для решения задачи выбора его места размещения, определяющего значения большинства параметров порта, возможно использовать методы, применяемые при решении аналогичной задачи для транспортно-грузовых комплексов и логистических центров. В работе [13] были проанализированы преимущества и недостатки основных методов выбора месторасположения транспортно-грузовых комплексов применительно к «сухим портам». Анализ данных методов позволяет сделать вывод о наибольшей эффективности и гибкости метода имитационного моделирования.

Решение задачи определения оптимальных значений основных параметров «сухого порта» актуально на начальном этапе проектирования порта, когда принимаются принципиальные инвестиционные решения, исправить которые в дальнейшем бывает затруднительно [15]. Современная практика инвестиционного ана-

Матрица взаимосвязей основных параметров «сухого порта»

Параметры	$\lambda$	$K_{нер}$	$I$	$E_m$	$V$	$n$	$З_k$	$З_э$
$\lambda$	+		-	-	-	+	+	+
	-		+	+	+	-	-	-
$K_{нер}$	+	-		-	+	+	+	+
	-	+		+	-	-	-	-
$I$	+	-	-		-	-	+	+
	-	+	+		+	+	-	-
$E_m$	+	-	-	+		-	-	-
	-	+	+	-		+	+	+
$V$	+	+	+	-	-		+	-
	-	-	-	+	+		-	+
$n$	+	+	+	-	-	+		-
	-	-	-	+	+	-		+
$З_k$	+	+	+	+	-	+	+	-
	-	-	-	-	+	-	-	+
$З_э$	+	+	+	+	-	-	-	
	-	-	-	-	+	+	+	

Примечание: “+” означает увеличение значения параметра, “-” — уменьшение. Для качественного параметра  $E_m$  “+” означает благоприятные топографические условия, “-” — неблагоприятные условия.

лиза основана, как правило, на использовании традиционных инструментов оценки эффективности проектов — бизнес-планировании и прогнозировании на его основе вариантов развития бизнеса с оценкой по базовым финансовым показателям [16]. Использование сценарного подхода при планировании экспериментов с имитационной моделью систем «морской порт — «сухой порт»» позволяет, с одной стороны, учесть влияние различных, в частности технологических факторов, а с другой — повысить эффективность имитационного моделирования в результате отказа от рассмотрения заведомо неоптимальных сценариев [17].

В качестве инструмента имитационного моделирования выбрана программная система AnyLogic, поддерживающая современный «агентный» подход к построению моделей [18], позволяющая конструировать модели из готовых библиотечных объектов, а также располагающая встроенным средством поиска оптимальных решений по заданному критерию и с учетом множества ограничений.

Для выбора места размещения «сухого порта» и определения оптимальных значений его основных параметров по критерию минимума себестоимости грузопереработки предлагается представлять варианты размещения данного объекта на ситуационном плане земельного отвода (рис. 6).

Каждый квадрант ситуационного плана характеризуется капитальными и эксплуатационными затратами, исходя из особенностей

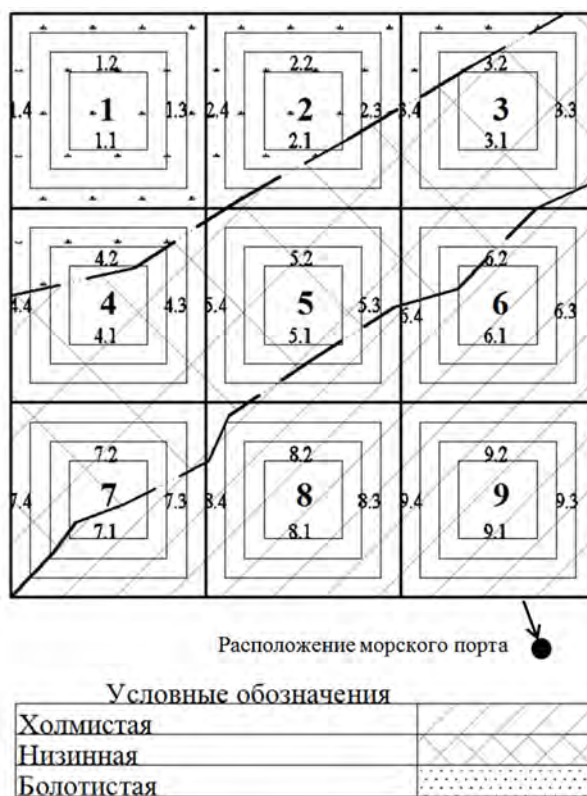


Рис. 6. Ситуационный план местности региона потенциального размещения «сухого порта»

местности, вместимости «сухого порта» и удаленности его от морского порта. В таблице 3 представлен пример модельных значений основных параметров «сухого порта», использованных при проведении имитационных экспериментов для оценки достаточности вы-

Таблица 3

## Модельные значения основных параметров «сухого порта»

Номер участка	сценарий 1, V = 1 тыс. TEU		сценарий 2, V = 2 тыс. TEU		сценарий 3, V = 3 тыс. TEU		сценарий 4, V = 4 тыс. TEU	
	I, км	Z <sub>к</sub> , млн долл.	I, км	Z <sub>к</sub> , млн долл.	I, км	Z <sub>к</sub> , млн долл.	I, км	Z <sub>к</sub> , млн долл.
1	27	29.4	26	32.6	25	35.8	24	38.5
2	23	28.2	22	29.7	21	34.8	20	36.7
3	18	20.5	17	21.2	16	22.72	15	23.47
4	19	21.7	18	23.8	17	25.78	16	27.8
5	15	17.2	14	20.4	13	23.45	12	25.4
6	14	15.7	13	18.9	12	21.45	11	22.9
7	18	20.2	17	23.4	16	25.72	15	27.7
8	14	15.5	13	18.5	12	20.25	11	21.4
9	10	11.5	9	14.5	8	16.25	7	17.4

бранных основных параметров «сухих портов» и адекватности взаимосвязей между этими параметрами.

Для определения оптимального соотношения параметров «сухого порта» разработана универсальная имитационная модель системы «морской порт — „сухой порт”». Модель состоит из двух групп потоковых диаграмм, имитирующих технологические цепочки обработки грузопотоков отдельно для прибывающих (импортных) и отправляемых (экспортных) грузопотоков на различных площадках системы: причал, контейнерная площадка в морском порту, «сухой порт». Продолжительность транспортно-грузовых операций задавалась в модели в соответствии с нормативными значениями. Случайные отклонения продолжительности выполнения различных технологических операций и интенсивности грузопотоков задавались законами распределения случайных величин [19].

Особенностью технологии работы морского порта является относительная обособленность технологических процессов обработки различных грузопотоков, причем каждый процесс представляет собой последовательность стандартизированных операций. Это позволяет описывать различные площадки моделируемой системы в AnyLogic при помощи универсальных блоков — агентов (в терминах AnyLogic), а обработку грузопотоков — с использованием потоковых диаграмм, являющихся составной частью этих агентов [20].

С использованием построенной модели были проведены серии экспериментов по оценке грузооборота морского порта до и после введения «сухого порта» в имитационную модель. Имитационные эксперименты проводились для различных значений интенсивности прибытия судов в порт, изменяющихся в диапазоне от 17 до 20 судов в месяц, а также

при значениях коэффициента неравномерности входных потоков в диапазоне от 1,2 до 1,7. Для снижения дисперсии полученных результатов осуществлялось десять прогонов модели с одинаковыми исходными данными. Продолжительность моделируемого периода в экспериментах была принята равной одному месяцу.

#### Полученные результаты

Результаты экспериментов с построенной имитационной моделью системы «морской порт — „сухой порт”» представлены на (рис. 7–9). График на рисунке 7 демонстрирует, что максимальная пропускная способность моделируемого морского порта составила 15 судов в месяц, поскольку увеличение числа прибывающих в порт судов не приводит к росту его грузооборота, но при этом происходит увеличение числа судов, ожидающих обработки в морском порту. При введении в систему «сухого порта», обладающего оптимальной для соответствующего грузопотока вместимостью, наблюдается практически линейное увеличение грузооборота моделируемой системы (рис. 8). Это позволяет сделать вывод об адекватности разработанной имитационной модели и корректности предложенной системы основных параметров «сухого порта». Оптимальный момент создания «сухого порта», возникающий при увеличении месячной интенсивности прибытия в порт до 15 судов средней грузоподъемностью 6000 TEU, определяется по внешнему виду графиков изменения себестоимости переработки контейнеров (рис. 9).

После определения предельной перерабатывающей способности морского порта рассчитывались оптимальные значения предложенной системы основных параметров «сухого порта», зависящие от места его размещения, вместимости и перерабатывающей способно-



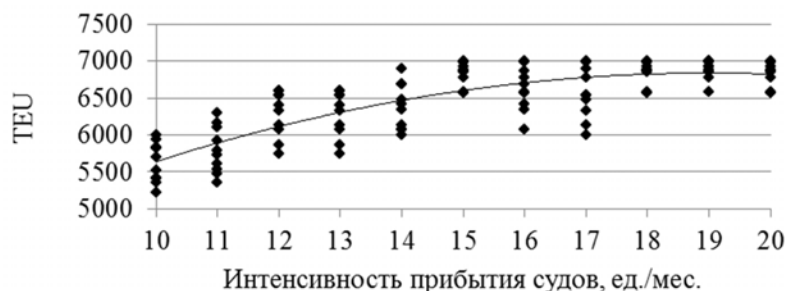


Рис. 7. Динамика грузооборота морского до введения «сухого порта»

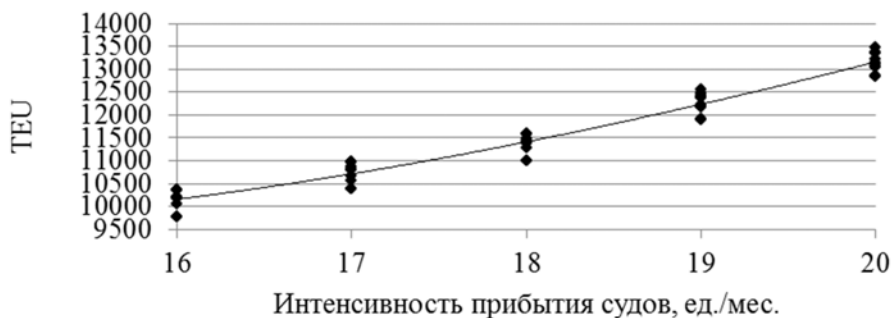


Рис. 8. Динамика грузооборота морского после введения «сухого порта»

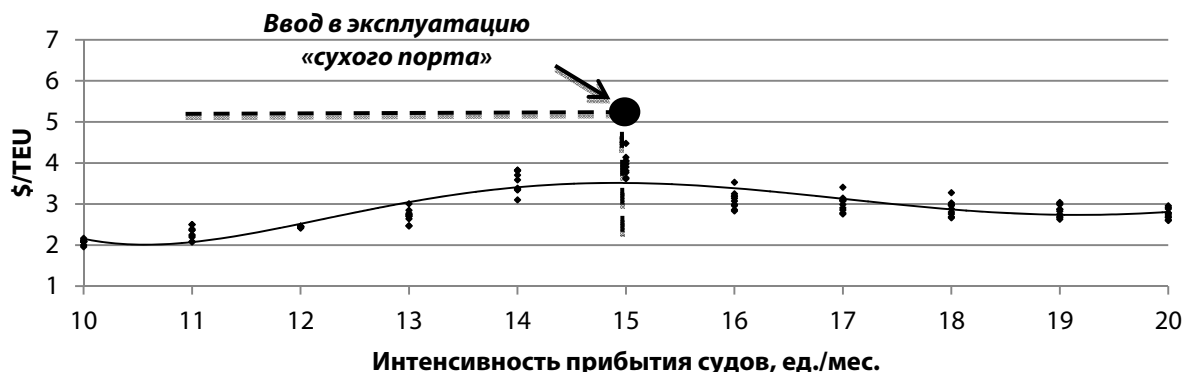


Рис. 9. Динамика себестоимости переработки контейнеров в модели системы «морской порт — «сухой порт»»

сти. Выбор оптимального сочетания значений параметров «сухого порта» (табл. 3) производился по критерию минимума эксплуатационных затрат системы «морской порт — «сухой порт»» (себестоимости). В состав эксплуатационных затрат были включены затраты на простой судов и железнодорожного подвижного состава в системе, а также затраты на хранение контейнеров в портах.

Для принятых в модельном эксперименте исходных данных оптимальными для размещения «сухого порта» последовательно оказывались участки 8.1, 8.2, 7.3 и 7.4 (рис. 6), то есть модель «выбирала» место размещение «сухого порта», отстоящее от морского на минимальном расстоянии. Это расстояние модель стремилась сократить по мере увеличения интенсивности и неравномерности входных грузопотоков и вместимости площадки «сухого порта».

После введения в имитационную модель «сухого порта» с оптимальными значениями его основных параметров произошло снижение себестоимости переработки контейнеров на 20 % (рис. 9). Снижение себестоимости происходит в результате полного сокращения потерь, связанных с простоем транспортных средств, а также погрузо-разгрузочных механизмов, уменьшения запасов контейнеров и снижения времени их хранения в портах. Таким образом, сооружение «сухого порта» в соответствии с предложенной системой его основных параметров позволяет не только увеличить пропускную и перерабатывающую способность системы «морской порт — «сухой порт»», но и обеспечить своевременность переработки грузопотоков в системе.

Эксперименты с построенной имитационной моделью позволили разработать методику определения оптимальных значений основ-

ных параметров «сухих портов». Методика состоит из следующих этапов:

1. Анализ генерального плана функционирующего морского порта, его акватории, схемы путевого развития припортовой железнодорожной станции и путей необщего пользования, технологии работы.

2. Сбор статистических данных о продолжительности технологических операций в порту, фактических входных грузо-, вагоно-, поездопотоков и потоков судов. Расчет существующих и прогнозных значений интенсивности и коэффициентов неравномерности входных потоков. Определение законов распределения соответствующих случайных величин и параметров этих законов.

3. Построение имитационной модели морского порта.

4. Проведение модельных экспериментов с имитационной моделью с использованием фактических и прогнозных значений интенсивности и неравномерности входных транспортных потоков, с целью определения предельной перерабатывающей способности 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. Построение ситуационного плана местности региона потенциального размещения «сухого порта».

7. Выбор сценариев сооружения «сухого порта» (рис. 6) и определение для каждого сценария значений: расстояние между морским и «сухим» портами; вместимость «сухого порта»; капитальные затраты на сооружение «сухого порта» (табл. 3).

8. Расширение имитационной модели морского порта путем введения в нее стандартизированных блоков, имитирующих работу «сухого порта», а также взаимодействие портов.

9. Задание при помощи встроенного оптимизатора (при использовании AnyLogic) или в оптимизационных надстройках (в других программных средах имитационного моделирования) критерия оптимизации (себестоимость переработки контейнеров) и граничных значений основных параметров моделируемого «сухого порта».

10. Проведение имитационных экспериментов с моделью системы «морской порт — «сухой порт»» при различных значениях интенсивности и неравномерности входных грузовых и транспортных потоков с целью определения

для каждого сценария развития припортовой инфраструктуры оптимальных значений основных параметров «сухого порта».

### Заключение

Основными проблемами функционирования логистической инфраструктуры в регионах размещения морских портов являются недостаточная перерабатывающая способность существующих морских портов, ограниченные возможности по увеличению перерабатывающей способности морских портов из-за размещения большинства крупных портов в непосредственной близости к жилым зонам, для условий России — высокая неравномерность входных грузо- и вагонопотоков, снижающая эффективность использования имеющихся перерабатывающих способностей и вместимости морских портов и, как следствие, ухудшающая показатели своевременности переработки грузопотоков в портах.

Эффективным способом решения перечисленных проблем является создание тыловых терминалов — «сухих портов», потенциально способных не только увеличить перерабатывающую способность близлежащего морского порта, но и обеспечить снижение себестоимости грузопереработки в результате уменьшения простоя транспортных средств и сокращения запасов в системе «морской порт — «сухой порт»».

Предложена система основных параметров «сухого порта». Для определения оптимального сочетания параметров в процессе стратегического планирования развития портовой инфраструктуры предложено применять сценарный подход в сочетании с методом имитационного моделирования. С использованием разработанной имитационной модели системы «морской порт — «сухой порт»», созданной в программной среде AnyLogic, проведены эксперименты с модельными данными. Результаты анализа экспериментов позволили подтвердить обоснованность выбора основных параметров «сухих» портов, а также наличие взаимозависимостей между этими параметрами. Кроме того, была доказана возможность снижения до 20 % себестоимости переработки контейнеров в исследуемой системе в результате ликвидации простоев транспортных средств и снижения запасов.

Разработанную методику целесообразно использовать для обоснования инвестиционных решений по сбалансированному развитию транспортно-логистической инфраструктуры регионов размещения морских портов.

## Список источников

1. *Muravev D., Aksoy S., Rakhmangulov A., Aydogdu V.* Comparing model development in discrete event simulation on Ro-Ro terminal example // *Int. J. of Logistics Systems and Management*. — 2016. — № 3 (24). — P. 283–297.
2. *Муравьев Д. С., Мишуков П. Н., Рахмангулов А. Н.* Использование имитационного моделирования для оценки перерабатывающей способности морских портов и обоснования необходимости сооружения «сухого» порта // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. — 2013. — № 4. — С. 66–72.
3. *Николаева А. И., Багинова В. В.* Логистические методы и технологии организации функционирования сухих портов // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. — 2011. — № 1. — С. 49–58.
4. *Jeevan J., Chen S., Lee E.* The Challenges of Malaysian Dry Ports Development // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. — 2015. — № 1 (31). — P. 109–134.
5. *Henttu V., Hilmola O.* Financial and environmental impacts of hypothetical Finnish dry port structure // *Research in Transportation Economics*. — 2011. — № 1 (33). — P. 35–41.
6. *Roso V., Woxenius J., Lumsden K.* The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland // *Journal of Transport Geography*. — 2008. — № 5 (17). — P. 338–345.
7. *Roso V., Woxenius J., Olandersson G.* Organisation of Swedish dry port terminals, Development program of sea ports of North Sea. — Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2006. — 47 p.
8. *Король Р. Г., Балалаев А. С.* Технология функционирования Владивостокского транспортного узла при наличии мультимодального терминала «сухой порт» // *Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 5 (27). — С. 92–101.
9. *Rodrigue J-P., Notteboom T.* Dry ports in European and North American intermodal rail systems: Two of a kind? // *Research in Transportation Business & Management*. — 2012. — № 5. — P. 4–15.
10. *Roso V.* The Dry Port Concept. Thesis for the degree of doctor of philosophy. — Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2009. — 184 p.
11. *Кузнецов А. Л., Погодин В. А., Спасский Я. Б.* Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2011. — № 1 (63). — С. 3–8.
12. *Козлов П. А., Александров А. Э., Козлова В. П.* Теоретическая модель транспортной системы // *Транспорт Урала*. — 2008. — № 3(18). — С. 2–4.
13. *Sheikh A.* Evaluation of the potential locations for logistics hubs: A case study for a logistics company: master's thesis. — Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2013. — 60 p.
14. *Rakhmangulov A., Kolga A., Osintsev V., Stolpovskikh I., Sladkowski A.* Mathematical model of optimal empty rail car distribution at railway transport nodes // *Transport Problems*. — 2014. — № 3 (9). — P. 125–132.
15. *Ngoc-Hien D., Ki-Chan N., Quynh-Lam N.* A consideration for developing a dry port system in Indochina area // *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*. — 2011. — № 1 (38). — P. 1–9.
16. *Орлова О. Б.* Особенности имитационного моделирования функционирования особых портовых зон // *Актуальные проблемы экономики современной России*: — 2010. — № 6. — С. 253–255.
17. *Орлова О. Б., Ястребов А. П.* Особенности проектирования портовых особых экономических зон // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки*. — 2012. — № 2 (22). — С. 167–174.
18. *Fetisov V. A., Maiorov N. N.* Research and Analysis Container Shipping Line on the Basis of Simulation // *International Journal of Maritime Science & Technology*. — 2015. — № 2 (62). — P. 59–66.
19. *Carteni A., de Luca S.* Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach // *Simulation Modeling Practice and Theory*. — 2012. — № 1 (21). — P. 123–145.
20. *Wang W., Tang C., etc.* System Simulation of Capacity for Container Terminal Based on Stochastic Petri Net // *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics (1–3th of September 2008 year)*. — Qindao: IEEE. — 2008. — P. 2889–2892.

## Информация об авторах

**Рахмангулов Александр Нельевич** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, пр-т Ленина, 38; e-mail: ran@magtu.ru).

**Муравьев Дмитрий Сергеевич** — магистр, аспирант кафедры промышленного транспорта, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, пр-т Ленина, 38; e-mail: mura4747@gmail.com).

For citation: *Ekonomika regiona* [Economy of Region]. — 2016. — Vol. 12, Issue 3. — pp. 924–936

**A. N. Rakhmangulov, D. S. Muravyov**

Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: ran@magtu.ru)

### The Development of the Regional Sea Port Infrastructure on The Basis of Dry Port

*This article contributes to the solution of the relevant problem of the seaport infrastructure development for the purpose of increasing the cargo turnover in the regions of seaport location as well as to improve the quality of freight traffic on the basis of the creation of container hinterlands — dry ports. The options of dry ports as the potentially effective solution to increase the cargo turnover of existing seaports, improve the timeliness of freight transportation and overcome the environmental problems of the regions of seaport location are shown. This work analyzes the transport infrastructure of the region, the cargo turnover of major Russian sea and dry ports as well as the experience of creating dry ports in the Russian Federation and abroad. The authors propose the system of parameters for dry ports, which are recommended for the assessment of seaport infrastructure development scenarios on the stage of strategic planning. The authors have developed the approach of optimal values determination of the main parameters of dry ports by simulation modeling method. The features of construction and research of the simulation models of system “seaport — dry port” in programming software AnyLogic are considered. The results of modeling experiments with a developed simulation model are provided. This model is aimed to assess the maximum estimated capacity of the existing seaport in the conditions of the increasing irregularity of cargo traffic, and also to determine the optimum parameters of the constructed «dry port». The obtained dependencies as a result of modeling experiments prove the adequacy of the selected main parameters of dry ports for the effective evaluation of the scenarios of the strengthening of carrying and estimated capacity of existing seaports on the stage of strategic planning. The article shows that the methodology of this research can be used by the investors and public authorities as grounds for a decision on a balanced development of transport and logistics infrastructure in the regions of seaports.*

**Keywords:** transport infrastructure of region, seaport, dry port, simulation modeling, system of parameters, scenario approach, AnyLogic, irregularity, timeliness, place of location

### References

1. Muravyov, D., Aksoy, S., Rakhmangulov, A. & Aydogdu, V. (2016). Comparing Model Development in Discrete Event Simulation on Ro-Ro Terminal Example. *Journal of Logistics Systems and Management*, 3(24), 283–297. doi: 10.1504/IJLSM.2016.076890.
2. Muravyov, D. S., Mishkurov, P. N. & Rakhmangulov, A. N. (2103). Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki pererabatyvayushyey sposobnosti morskikh portov i obosnovaniya neobkhodimosti sooruzhneniya «sukhogo» porta [Using simulation modeling to estimate the processing capacity of seaports and the rationale for the construction of «dry» port]. *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of Russian transport complex], 4, 66–72.
3. Nikolaeva, A. I. & Baginova, V. V. (2011). Logisticheskie metody i tekhnologii organizatsii funktsionirovaniya sukhikh portov [Logistics methods and technologies of dry port functioning organization]. *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of Russian transport complex], 2, 49–58.
4. Jeevan, J., Chen, S. & Lee, E. (2015). The Challenges of Malaysian Dry Ports Development. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(1), 109–134. doi:10.1016/j.ajsl.2015.03.005.
5. Henttu, V. & Hilmola, O. (2011). Financial and Environmental Impacts of Hypothetical Finnish Dry Port Structure. *Research in Transportation Economics*, 33, 35–41. doi: 10.1016/j.retrec.2011.08.004.
6. Roso, V., Woxenius, J. & Lumsden, K. (2008). The Dry Port Concept: Connecting Container Seaports with the Hinterland. *Journal of Transport Geography*, 17(5), 338–345. doi:10.1016/j.jtrangeo.2008.10.008.
7. Roso, V., Woxenius, J. & Olandersson, G. (2006). *Organisation of Swedish Dry Port Terminals, Development Program of Sea Ports of North Sea*. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 47.
8. Korol, R. G. & Balalae, A. S. (2014). Tekhnologiya funktsionirovaniya Vladivostokskogo transportnogo uzla pri nalicii multimodalnogo terminala «sukhoi port» [The technology functions Vladivostok transport hub in the presence of multimodal terminal «dry port»]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* [Bulletin of the State University of Sea and River Fleet of Admiral S.O. Makarov], 5(27), 92–101.
9. Rodrigue, J-P. & Notteboom, T. (2012). Dry Ports in European and North American Intermodal Rail Systems: Two of a Kind? *Research in Transportation Business & Management*, 5, 4–15. doi: 10.1016/j.rtbm.2012.10.003
10. Roso, V. (2009). *The Dry Port Concept. Thesis for the degree of doctor of philosophy*. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 184.
11. Kuznetsov, A. L., Pogodin, V. A. & Spasskiy, Ya. B. Imitatsionnoye modelirovanie raboty morskogo porta s uchotom differentsirivannykh meteousloviy [Simulation modelling of sea port operation taking into account the differentiated weather conditions]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta* [Operation of maritime transport], 1(63), 3–8.
12. Kozlov, P. A., Aleksandrov, A. E. & Kozlova, P. A. (2008). Teoreticheskaya model transportnoy sistemy [Theoretical model of transport system]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 3(18), 2–4.
13. Sheikh, A. A. (2013). *Evaluation of the Potential Locations for Logistics Hubs: A Case Study for a Logistics Company: Master's Thesis*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 60.
14. Rakhmangulov, A., Kolga, A., Osintsev, V., Stolpovskikh, I. & Sladkowski, A. (2014). Mathematical Model of Optimal Empty Rail Car Distribution at Railway Transport Nodes. *Transport Problems*, 3(9), 125–132.

15. Ngoc-Hien, D., Ki-Chan, N. & Quynh-Lam, N. (2011). A Consideration for Developing a Dry Port System in Indochina Area. *Maritime Policy & Management: The Flagship Journal of International Shipping and Port Research*, 38(1), 1–9. doi: 10.1080/03088839.2010.533712.
16. Orlova, O. B. (2010). Osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya funktsionirovaniya osobykh portovykh zon [Features of simulation modeling of special port zones functioning]. *Actualnyye problemy ekonomiki sovremennoy Rossii [Relevant problems of economy of modern Russia]*, 6, 253–255.
17. Orlova, O. B. & Yastrebov, A. P. (2012). Osobennosti proektirovaniya portovykh osobykh ekonomicheskikh zon [Design features of port special economic zones]. *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennyye nauki [News of Higher Schools. Volga region. Social sciences]*, 2(22), 167–174.
18. Fetisov, V. A. & Maiorov, N. N. (2015). Research and Analysis Container Shipping Line on the Basis of Simulation. *International Journal of Maritime Science & Technology*, 2(62), 59–66. doi: 10.17818/NM/2015/2.3.
19. Carteni, A. & de Luca, S. (2012). Tactical and Strategic Planning for a Container Terminal: Modelling Issues within a Discrete Event Simulation Approach. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 21, 123–145. doi: 10.1016/j.simpat.2011.10.005.
20. Wang, W., Tang, C., etc. (2008). System Simulation of Capacity for Container Terminal Based on Stochastic Petri Net. *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics (1–3th of September 2008 year)*. Qindao: IEEE, 2889–2892. doi: 10.1109/ICAL.2008.4636670.

### Authors

**Aleksandr Nelevich Rakhmangulov** — Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor (Full), Industrial Transport Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, Lenina Ave., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: ran@magtu.ru).

**Dmitry Sergeevich Muravyov** — Master, PhD Student, Industrial Transport Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University 38, Lenina Ave., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: mura4747@gmail.com).