

ON THE SELECTION OF THE FORMAT FOR THE CONTAINER TERMINAL SIMULATION MODEL'S STRUCTURE

A. L. Kuznetsov, V. N. Sherbakova-Slyusarenko, A. S. Tkachenko

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The paper deals with the analyses of the reasons that turned the simulation from a direction of theoretical researches into a practical tool of modern technologic design. The first results gained by this new paradigm made simulation to be an obligatorily component of any infrastructural project in the area of transport industry. Large investment projects today require the support and maintenance of highly advanced computer models, whose existence was made possible as the result of software engineering development, achievements of computer sciences and progress in hardware. The new level of detalisation and new opportunities offered by the modern generation of simulation models totally change the perception of the content and functional profile of project decisions expected from the designers. The extended horizons of evaluations of the variety of project parameters and a new level of quality of the sensitivity analyses of the output values to the external disturbances, fluctuations of the project constants, alternations of the inner and outer constrains enable to reduce considerably the investment risks connected with large infrastructural projects. In the same time, high labor consumption, narrow specialization and rigid orientation on the inner functional structure of the simulated object make the instrument of simulation rather poorly fitted for the technological design goals and objectives which are principally assume many variants and data volatility. The study concludes the main gnoseologic reason for this inadequacy and the loss of models' universality is in inadequate format of the functional structure of the simulated object, container terminal of a general appearance. A generic solution of this problem is offered by the use of the general format of this structure's representation with analytic list form of the relevant structural graph.

Keywords: sea port, "dry" port, simulation modeling, data presentation, modeling algorithm, container terminal model.

For citation:

Kuznetsov, Alexander L., Victorya N. Sherbakova-Slyusarenko, and Andrey S. Tkachenko. "On the selection of the format for the container terminal simulation model's structure." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 520–532. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-520-53.

УДК: 656:6

ВЫБОР ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, А. С. Ткаченко

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская федерация

Статья содержит анализ причин, превративших имитационное моделирование контейнерных портов и терминалов из направления научных исследований в практический инструмент современного технологического проектирования. Показано, что первые же результаты, полученные в новой парадигме проектной деятельности, быстро превратили моделирование в обязательный компонент любого инфраструктурного проекта в сфере транспортного бизнеса. Отмечается, что масштабные инвестиционные проекты сегодня поддерживаются сложными и более совершенными компьютерными моделями, существование которых стало возможным в результате развития технологии программирования, достижений дискретной математики, развития вычислительной техники. Новый уровень детализации и новые возможности, которые предоставляют имитационные модели нового поколения, коренным образом меняют представления о составе проектной документации и функций, ожидаемых от проектных решений. Расширенные возможности оценки вариативности проектных параметров и качественно более высокий

уровень анализа чувствительности выходных характеристик к внешним возмущениям, флуктуациям проектных констант, изменениям внешних и внутренних ограничений позволяют снизить инвестиционные риски, связанные с масштабами инфраструктурными проектами. В то же время высокая трудоемкость, узкая специализация и жесткая ориентация на внутреннюю структуру моделируемого объекта делают инструмент имитационного симуляционного моделирования плохо приспособленным для технологического проектирования вследствие его принципиальной многовариантности и волатильности проектных данных. В статье сделан вывод о том, что гносеологической причиной этой высокой трудоемкости и снижения универсальности моделей в значительной мере является форма представления функциональной структуры моделируемого объекта — контейнерного терминала общего вида, и предлагается общее решение указанной проблемы в виде аналитического формата представления соответствующего ей графа.

Ключевые слова: морской порт, «сухой порт», имитационное моделирование, представление данных, алгоритмы моделирования, модель контейнерного терминала.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Выбор формы представления структуры универсальной имитационной модели контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, А. С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 520–532. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-520-53.

Введение (Introduction)

В начале XXI в. контейнерные терминалы стали играть ключевую роль в транспортно-технологической системе доставки генеральных грузов [1]. Сначала контейнеризация сделала цепи поставок более эффективными и, следовательно, более конкурентными [2], а затем и вовсе превратила их в безальтернативное направление развития перевозок потребительских товаров, компонентов и даже сырья [3]. В то же время качественный рост эффективности транспортировки потребовал иных масштабов затрат на строительство и эксплуатацию новой системы и в первую очередь оборудования (судов и контейнеров). Сегодня в мире насчитывается около 6 тыс. контейнерных судов [4] средней вместимостью 4 тыс. контейнеров [5] и средней стоимостью постройки около 100 млн долл. каждое [6], которые одновременно перемещают по морю в среднем около 250 млн т грузов, капитализируя при этом более 100 млрд долл. [7]. Не менее затратными в строительстве являются и морские контейнерные терминалы, стоимость строительства которых обычно оценивается в 500 долл. за единицу проектного годового грузопотока. Таким образом, стоимость каждого из ста мировых контейнерных мегатерминалов составляет миллиарды долларов [8]. Стоимость крупных терминалов с оборотом около 600 тыс. TEU, средних с оборотом около 200 тыс. TEU и малых терминалов с оборотом около 30 тыс. TEU также измеряется миллионами долларов. Как следствие, это вызывает не только повышение порога вхождения в бизнес [9], но и угрожающий рост предпринимательского риска на рынке свободной конкуренции, которым всегда характеризовалась морская транспортная индустрия [10].

Борьба за контроль над глобальными сетями товаропроведения и осознание преимуществ контейнерной транспортно-технологической схемы привели к быстрому проникновению такой схемы в форленд и хинтерленд морских торговых портов, запустив тем самым механизм глобализации и формирования нового мирового транспортного порядка [11]. При этом каждый новый возникающий инфраструктурный элемент данной системы изначально предполагается работающим на грани себестоимости, под тяжелым давлением управления затратами [12].

Совершенно естественно, что такая среда ведения бизнеса потребовала коренного изменения принципов проектирования, планирования работы и управления контейнерными терминалами во всех уровнях цепей поставок [13]. Рост требований к точности и надежности результатов привели к смене парадигмы технологического проектирования инфраструктурных элементов транспортной системы, обусловившей, в свою очередь, появление нового инструментария для этого вида деятельности [14]. Таким инструментарием постепенно стало имитационное моделирование, сначала лишь расширявшее и поддерживающее методологию расчетно-аналитического детерминированного подхода, а затем постепенно взявшее на себя всю ответственность за проектные решения и их качество [15].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Первые результаты, показавшие новые возможности имитационного моделирования как средства технологического проектирования морских портов, были получены на относительно простых по структуре, а также своему положению в логистической системе и одновременно глубоко специализированных по объекту моделей [16]. С их помощью впервые удавалось получить зависимости ключевых эксплуатационных характеристик портов, в первую очередь описывающих технико-экономический аспект их деятельности и качество оказываемых ими услуг как функций от проектных инфраструктурных параметров [17]. Более того, эти функции характеризовали выходные характеристики как случайные величины, которые до этого было возможно получать лишь при помощи использования методов статистического моделирования, и которые имели весьма ограниченную пригодность и точность [18]. Новые имитационные модели не только более адекватно описывали связи проектных величин, но и позволяли быстро и эффективно выполнять различный анализ чувствительности вида: *что будет, если...* [19]. В то же время практика двух десятилетий выявила и принципиальные проблемы, связанные с этим подходом.

Во-первых, следует отметить высокую трудоемкость создания подобных моделей. Действительно, поскольку указанная парадигма предполагает не моделирование леса, но моделирование деревьев [20], адекватность агрегированных свойств модели зависит от точности и детализации свойств всех ее взаимодействующих элементов. Однозначного критерия выбора уровня детализации в общем случае не имеется.

Во-вторых, имитационная модель в подавляющем большинстве случаев строится применительно к конкретному единичному объекту моделирования, т. е. является инструментом *ad hoc* [21]. Проект создания модели для близкого по структуре порта чаще всего начинается практически с нуля, за исключением накопленного опыта и возможной библиотеки составных элементов [22].

В-третьих, высокая трудоемкость и специализация модели входит в противоречие с острой необходимостью ее использования на ранних стадиях технологического проектирования, отличающейся неопределенностью детализации и наличием многих параллельно рассматриваемых вариантов.

Различными исследователями были предложены несколько вариантов решения этой проблемы, которые были направлены на сохранение общности расчетно-аналитического подхода с возможностью представления конкретного моделируемого объекта [23]. В основном эти решения можно охарактеризовать как формирование некоторой универсальной обобщенной модели, структурной параметризацией которой и выбором значений внутренних параметров достигался приемлемый баланс универсальности и специализации, т. е. в иных терминах трудоемкости создания и адекватности [24].

В то же время указанные модели оказались недостаточно универсальными и удобными для параметризации. Основным положением, защищаемым в этой публикации, является тезис о ключевой роли выбора формы представления структуры универсальной имитационной модели контейнерного терминала общего вида.

Результаты (Results)

Наиболее полная классификация всех возможных грузовых терминалов, составляющих элементную базу любой сколь угодно сложной и развитой контейнерной транспортно-технологической системы, содержится в работе [25]. На рис. 1 приведены две крайних позиции этой классификации: полнофункциональный морской контейнерный терминал и производственный терминал предприятия. Между этими двумя крайними формами терминалов лежит широкий спектр различных классов контейнерных терминалов, отличающихся между собой набором выполняемых ими функций. В то же время каждый из указанных классов представляет собой обобщенный портрет целого кластера близких по функциональным свойствам и структуре терминалов, тем самым образуя вышеупомянутый универсум соответствующих структурных схем.

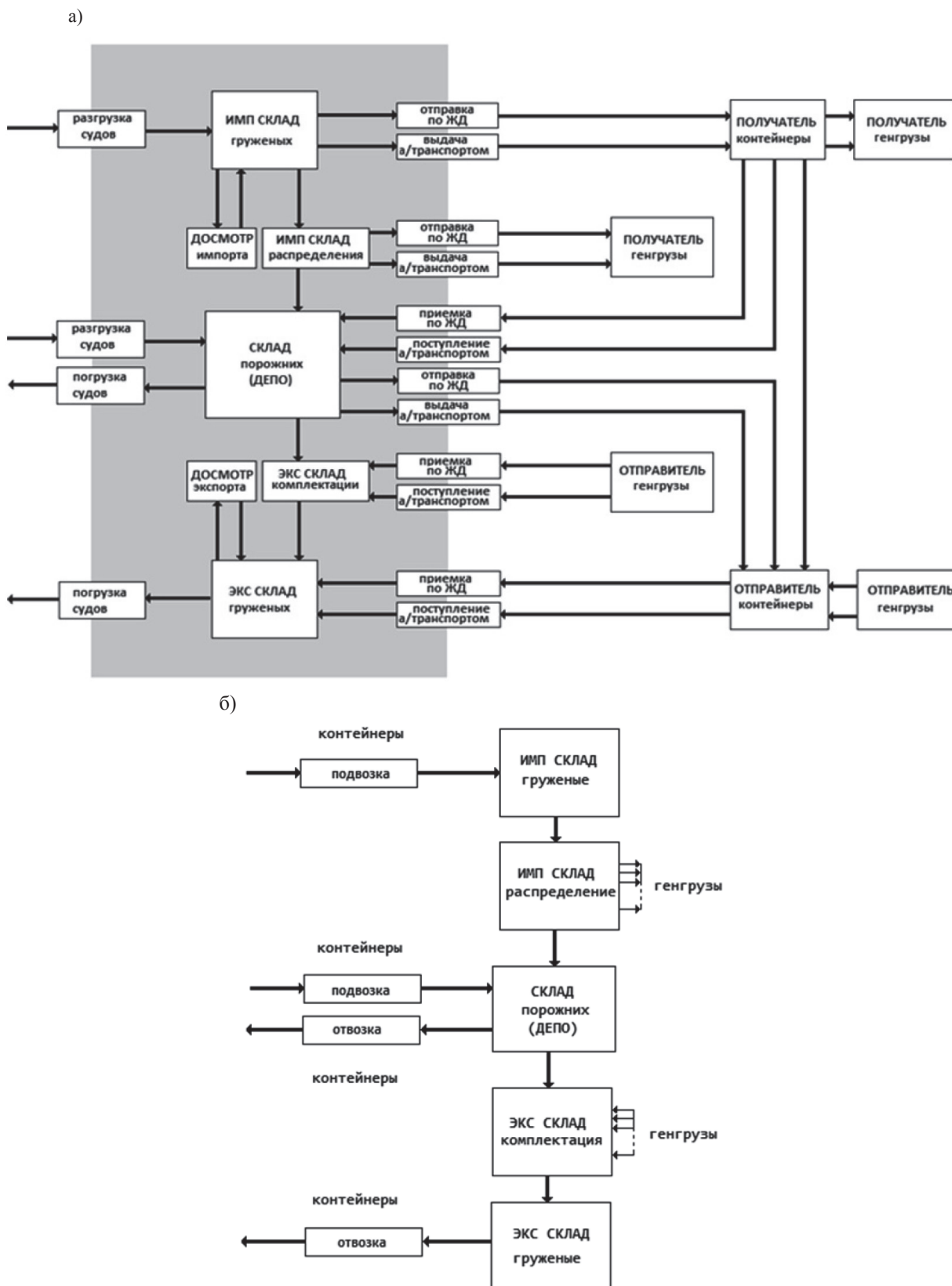


Рис. 1. Примеры классов контейнерных терминалов: а — полнофункциональный морской контейнерный терминал; б — производственный терминал предприятия

Реализация моделей кластера существенным образом опирается на выделенную таким образом функциональную структуру каждого класса объектов, что служит побудительным мотивом

проведения вышеуказанной классификации. Как показывает опыт реализации соответствующих имитационных моделей, лежащая в их основе внутренняя структура требует построения своей обобщенной модели функционального универсума, учитывающей особенности и частоту вариационных признаков.

В работе [26] показано, как за счет структурной параметризации каждой из моделей, сводящейся к устранению избыточных связей из некоторого их универсума, можно получить любой терминал с заданными структурными и эксплуатационными свойствами. Примеры подобной параметризации и использования полученных с ее помощью моделей для практических применений описаны в [27]. В то же время само по себе наличие нескольких классов моделей и трудоемкость их параметризации заставляют искать способ обойти эти методологические сложности. Как представляется авторам исследования, во многом эта проблема является методологическим следствием нерационального выбора формы представления функциональной структуры, обход которого составляет цель данного исследования.

Обсуждение (Discussion)

В основе большинства алгоритмов моделирования работы терминала лежит декомпозиция проходящего через него материального потока на отдельные компоненты, различающиеся между собой совокупностью выполняемых над ним операций и их последовательностью. Любая модель терминала, таким образом, представляет собой некоторый объект, входными сигналами которого являются поступающие для обработки грузы, а выходными сигналами — грузы, обработанные на терминале. Значения выходных сигналов в некоторый момент времени определяются как входными сигналами, так и внутренним состоянием этого объекта в предыдущий момент времени. Таким образом, по определению эта модель представляет собой дискретный абстрактный автомат [28], изменение выходных сигналов и внутреннего состояния которого во времени характеризует поведение моделируемого объекта.

Целью моделирования является изучение поведения исследуемого объекта как реакции на входные сигналы при различных параметрах, описывающих входные воздействия, управляющие и возмущающие, внутреннюю структуру и состояние объекта. Как правило, это изучение сводится к оценке близости наблюдаемого при моделировании поведения объекта к желаемому. При недостаточной степени совпадения наблюдаемого и желаемого поведения выполняется изменение внутренних параметров модели, а затем процедура анализа повторяется. Многократное повторение процедуры анализа позволяет производить направленный поиск в пространстве состояния параметров объекта, тем самым решая задачу их синтеза. Выходные сигналы, зависящие от входных последовательностей сигналов и внутреннего состояния, т. е. передаточная функция абстрактного дискретного автомата, реализуется структурно-функциональной схемой объекта. Эта же схема позволяет определять новое состояние.

По своему телеологическому назначению модель является средством синтеза (выбора значений) различных технологических параметров (стратегический уровень). В то же время возможность изучения последствий от различных неблагоприятных комбинаций входных сигналов и состояний позволяет использовать этот же инструмент практически без изменений в тактических целях как средство анализа чувствительности. Кроме того, он (данный инструмент) служит объективным и эффективным средством оперативного планирования и управления, т. е. операционного уровня. При этом во всех этих функциях модель остается одной и той же, т. е. выступает единым целостным механизмом управления всей процедурой планирования и управления работой.

Грузопотоки терминала делятся на *внешние (входящие и исходящие)*, пересекающие функциональный периметр терминала, и *внутренние* (преобразуемые или не преобразуемые), целиком находящиеся внутри указанного периметра. Любая приемка или отправка внешних потоков, любая передача внутренних потоков, их преобразование и складирование выполняются специализированными соответствующими производственно-технологическими мощностями и оборудованием, образующим отдельные функциональные элементы терминала как транспортно-логистической

системы. Функциональным назначением системы, т. е. ее целевым назначением, является преобразование входящих грузопотоков в исходящие, выполняемое по заданным временным законам и в соответствии с выбранными критериями оптимальности. Связями между функциональными элементами являются сами материальные грузопотоки, передаваемые между функциональными элементами. Соответственно любой терминал может рассматриваться как совокупность двух множеств: функциональных элементов и связей между ними. Естественной математической моделью такой совокупности множеств является граф. Граф G есть упорядоченная пара множества вершин и ребер $G = (V, E)$. Любой граф может быть задан одним из следующих способов: графически, аналитически, матрицей смежности, матрицей инцидентности.

На рис. 2 показан пример структурной схемы модели терминала типа «сухой порт», полученный структурной параметризацией модели из универсума.

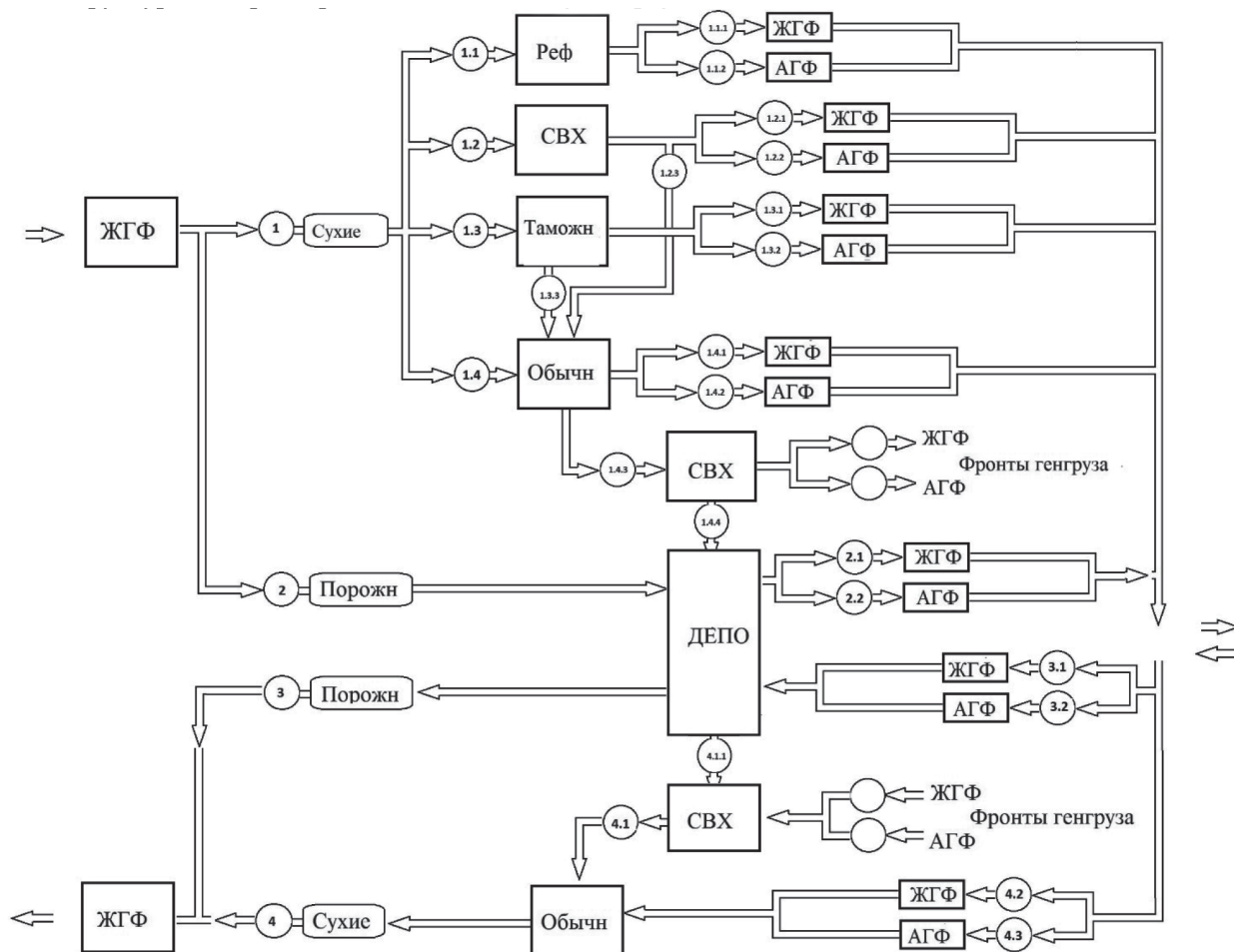


Рис. 2. Структурно-параметризованная функциональная структура модели терминала

Основную идею такого представления составляет поиск структуры максимальной функциональной полноты, т. е. не полного графа, в котором присутствуют все связи между элементами, а включающего всевозможные связи в реальных условиях и реальных требованиях к функциональности. В таком случае устранением избыточных связей может быть получена любая требуемая конфигурация. Очевидно, что графическая форма здания любого графа, включая граф функциональной структуры контейнерного терминала, является наиболее наглядной и доступной для восприятия. В то же время графическое представление информации при существующем уровне развития информационных технологий, так же, как и действия над ними, не могут служить непосредственной формой ввода данных. От этого недостатка свободны матричные формы

представления графов общего вида, широкая популярность и распространение которых во многом объяснялись тем, что в свое время они обеспечивали единственный механизм так называемых «интенсивных» математических представлений и формальных действий над такими объектами, идеально подходящих для первых фаз развития программирования. Пример представления матрицей смежности модели, показанной на рис. 2, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Представление функциональной структуры матрицей смежности

Функциональные элементы	ЖГФ	Груженные	Рефконтейнеры	СВХ	Таможенные	Обычные	Депо	АГФ	Порожные	CFS	ДП
ЖГФ	-	1	-	-	-	4.2	3.1	4.3	2	-	-
Груженные	-	4	1.1	1.2	1.3	1.4	-	-	-	-	-
Рефконтейнеры	1.1.1	-	-	-	-	-	-	1.1.2	-	-	-
СВХ	1.2.1	-	-	-	-	-	-	1.2.2	-	-	-
Таможенные	1.3.1	-	-	-	-	1.3.3	-	1.3.2	-	-	-
Обычные	1.4.1	4	-	-	-	-	-	1.4.2	-	1.4.3	-
Депо	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1.1	-
АГФ	-	-	-	-	-	-	3.2	-	-	-	-
Порожные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
CFS	-	-	-	-	-	4.1	-	-	-	-	1.4.4
ДП	2.1	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-	-

В то же время формат матричного представления, предназначенный в первую очередь для фиксации самой связи между выделяемыми функциональными элементами, в лучшем случае допускает введение некоторых ограниченных характеристик этих связей в виде веса ребер. Введение сколько-нибудь сложного описания или агрегатированных характеристик соответствующего ребра, т. е. операций над соответствующим грузопотоком, лишает матричные формы как простоты, так и наглядности. В этом смысле аналитическое представление графа функциональной структуры терминала в виде списка кортежей произвольной структуры становится наиболее привлекательным (табл. 2).

Таблица 2

Представление функциональной структуры в виде списка

Код операции	Содержание операции	$Q_{\text{год}}$	$Q_{\text{сут}}$	$Q_{\text{пик}}$	Технология операции			Зада- ние	Производительность операции		
		Конт./год	TEU/сут	Конт./сут	взять	перевезти	положить	Конт./ч	взять	перевезти	положить
1.	Выгрузка груженых контейнеров с ЖГФ	55501,714	154,171	154,171	RS	–	–	6,424	12,000	–	–
1.1.	Перемещение рефконтейнеров на Скл.	2775,086	7,709	7,709	–	TT+TR	RTG	0,321	–	4,918	9,000
1.1.1.	Выдача рефконтейнера со Скл. на Ж/Д	0,000	0,000	0,000	RTG	TT+TR	–	0,000	20,000	4,918	–
1.1.2.	Выдача рефконтейнера со Скл. на А/М	2775,086	7,709	7,709	RTG	–	–	0,321	20,000	–	–

Таблица 2
(Продолжение)

1.2.	Перемещение таможенных контейнеров на СВХ	1581,799	4,394	4,394	RS	TT+TR	RS	0,183	12,000	4,918	12,000
1.2.1.	Выдача таможенного контейнера с СВХ на Ж/Д	0,000	0,000	0,000	RS	TT+TR	–	0,000	12,000	4,918	–
1.2.2.	Выдача таможенного контейнера с СВХ на А/М	0,000	0,000	0,000	RS	TT+TR	–	0,000	12,000	4,918	–
1.2.3.	Перемещение растаможенного контейнера с СВХ на Скл.	1581,799	4,394	4,394	RS	TT+TR	–	0,183	12,000	4,918	–
1.3.	Перемещение таможенных контейнеров на ТСкл.	8963,527	24,899	24,899	RS	TT+TR	–	1,037	12,000	4,918	–
1.3.1.	Выдача таможенного контейнера с ТК _{скл} на Ж/Д	0,000	0,000	0,000	RS	–	–	0,000	12,000	–	–
1.3.2.	Выдача таможенного контейнера с ТК _{скл} на А/М	0,000	0,000	0,000	RS	–	–	0,000	12,000	–	–
1.3.3.	Транспортировка ТК на Скл.	8963,527	24,899	24,899	RS	–	–	1,037	12,000	–	–
1.4.	Перемещение обычных контейнеров на Скл.	42181,303	117,170	117,170	RS	-	-	4,882	12,000	-	-
1.4.1.	Выдача обычных контейнера со Скл. на Ж/Д	0,000	0,000	0,000	RS	-	-	0,000	12,000	-	-
1.4.2.	Выдача обычных контейнера со Скл. на А/М	52726,629	146,463	146,463	RS	-	-	6,103	12,000	-	-
1.4.3.	Перемещение груженых контейнеров на CFS под затарку	0,000	0,000	0,000	RS	-	-	0,000	12,000	-	-
1.4.4.	Перемещение порожних контейнеров с CFS в депо	0,000	0,000	0,000	RS	-	-	0,000	12,000	-	-
2.	Выгрузка порожнего контейнера с ЖГФ	2921,143	8,114	8,114	RS	TT+TR	ECH	0,338	12,000	4,918	12,000
2.1.	Выдача порожнего контейнера на ЖГФ	0,000	0,000	0,000	ECH	TT+TR	-	0,000	6,000	4,918	-

Таблица 2
(Окончание)

2.2.	Выдача порожнего контейнеров на А/М	29503,543	81,954	81,954	ECH	-	-	3,415	6,000	-	-
3.	Погрузка порожних контейнеров на Ж/Д	23369,143	64,914	64,914	ECH	TT+TR	-	2,705	6,000	4,918	-
3.1.	Прием порожних в депо с Ж/Д	0,000	0,000	0,000	RS	TT+TR	RS	0,000	12,000	4,918	12,000
3.2.	Прием порожних в депо А/М	49951,543	138,754	138,754	RS	-	-	5,781	12,000	-	-
4.	Погрузка груженых контейнеров на Ж/Д	35053,714	97,371	97,371	RS	-	-	4,057	12,000	-	-
4.1.	Перемещение порожнего контейнера с CFS в контейнерное депо	35053,714	97,371	97,371	RS	TT+TR	ECH	4,057	12,000	4,918	12,000
4.1.1.	Перемещении порожнего под затарку на склад комплектации	0,000	0,000	0,000	ECH	TT+TR	RS	0,000	6,000	4,918	12,000
4.2.	Прием груженых контейнеров с ЖГФ	0,000	0,000	0,000	RS	TT+TR	RTG	0,000	12,000	4,918	20,000
4.3.	Прием груженых контейнеров с АГФ	35053,714	97,371	97,371	RS	TT+TR	RTG	4,057	12,000	4,918	20,000

Как видно из таблицы, формат аналитического представления, к которому относится список кортежей, сохраняет наглядную форму и предоставляет естественную основу для создания дружелюбного к пользователю интерфейса. В составленные списки кортежей могут вноситься любые отдельные или агрегированные поля данных, что идеально соответствует современным подходам к представлению и обработке информации в программно-аппаратных средах. Кроме того, в списке представлении полностью отсутствует избыточность, поскольку в нем представляются лишь реально присутствующие связи. Это позволяет одновременно легко вносить изменения в сам функциональный универсум терминалов при появлении новых черт, требующих учета в нем.

Основным преимуществом такого представления является единая форма представления всех классов терминалов, примеры которых были приведены на рис. 1, поскольку ранее указанные преимущества аналитической формы одинаковым образом описывают все возможные классы и их экземпляры.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Контейнерные терминалы составляют основу инфраструктуры современной транспортно-логистической системы.
2. Инвестиционная емкость соответствующих инфраструктурных проектов обуславливает необходимость использования нового инструментария технологического проектирования контейнерных терминалов, методологическую платформу которых составляет современное имитационное (симуляционное) моделирование.
3. Широкий спектр функциональности и разнообразие требований к контейнерным терминалам в зависимости от их размеров и занимаемого места в иерархии цепей поставок приводит к появлению различных классов этих инфраструктурных объектов.

4. Реализация моделей контейнерных терминалов значительным образом опирается на функциональную структуру, определяемую соответствующим классом и существенно отличающуюся друг от друга.

5. Контекстная зависимость от функциональной структуры приводит к возникновению соответствующей классификации типовых моделей, содержание и форма которых учитывают содержание и форму родительского объекта.

6. Наличие нескольких классов моделей и трудоемкость их структурной параметризации заставляют искать способ обойти эти методологические сложности

7. Гносеологической причиной указанных сложностей является нерациональный выбор формы представления базовой функциональной структуры моделируемых объектов, поэтому предлагается универсальный формат, позволяющий решить эту проблему.

Заключение (Conclusion)

Переход на списковую форму представления функциональной структуры моделируемого терминала позволяет унифицировать этот формат для разных классов этих инфраструктурных объектов — от морских контейнерных мегатерминалов до контейнерных площадок производственных предприятий. При этом сама идея формирования типовых классов контейнерных терминалов не отвергается, но переходит в разряд методических приемов при составлении описания модели конкретного терминала в этом универсальном формате. Переход на эту парадигму позволяет создавать модульную программную среду, инвариантную к функциональным классам терминалов, что существенно снижает трудоемкость создания и поддержания работоспособности имитационных моделей контейнерных терминалов различного типа, размера и положения в глобальной сети товаропродвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gharehgozli A. H.* Sea container terminals: New technologies and OR models / A.H. Gharehgozli, D. Roy, R. de Koster // *Maritime Economics & Logistics*. — 2016. — Vol. 18. — Is. 2. — Pp. 103–140. DOI 10.1057/mel.2015.3.
2. *McGinley K.* Preparing port container terminals for the future: making the most of Intelligent Transport Systems (ITS) / K. McGinley // *Urban Transport XX*. — 2014. — Vol. 138. — Pp. 419–427. DOI: 10.2495/UT140351.
3. *Levinson M.* The box: how the shipping container made the world smaller and the world economy bigger / M. Levinson. — Princeton University Press, 2006. — 376 p.
4. The world merchant fleet in 2016. Statistics from Equasis – European Maritime Safety Commission [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.equasis.org/EquasisWeb/public/HomePage?fs=HomePage> (дата обращения: 05.05.2018).
5. Review of maritime transport. UNCTAD/RMT/2017. — United nations publication, 2017. — Sales No. E.17.II.D.10. — 115 p.
6. *Corbett J.J.* The Impacts of Globalisation on International Maritime Transport Activity / J.J. Corbett, J. Winebrake // *Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World*. — 2008. — 31 p.
7. *Corbett J.J.* Sustainable Goods Movement: Environmental Implications of Trucks, Trains, Ships, and Planes / J.J. Corbett, J. Winebrake // *RIT Scholar Works*. — 2007. — No. 11. — Pp. 8–12.
8. European Energy and Transport: Trends to 2030 – update 2007 // European Commission, Directorate-general for energy and transport. — Brussels, Belgium: European Communities, 2008. — 157 p.
9. Годовой отчет ПАО «ТрансКонтейнер». — 2017 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.trcont.ru/fileadmin/content/Documents/Annual_Reports/2018/180428_TrCont_Annual_report_2017_RUS.pdf (дата обращения: 05.05.2018).
10. Shipping Industry Almanac – 2016. — No. 01259-164Gbl. — EYGM Ltd., 2016. — 512 p.
11. *Schmertzling L.* Global Trends to 2035. Geo-politics and international power. European Parliamentary Research service. Global trends Unit. PE 603.263 / L. Schmertzling. — Brussels © European Union, 2017. — 112 p. DOI:10.2861/800293.
12. *Rodrigue J.-P.* The Geography of Transport Systems / J.-P. Rodrigue. — New York: Routledge, 2017. — 440 p.

13. Кузнецов А. Л. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. А. Погодин, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
14. Кузнецов А. Л. Моделирование сетей контейнерного грузораспределения / А. Л. Кузнецов, С. С. Павленко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — №5 (33). — С. 33–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-33-42.
15. Li B. Modeling and simulation of container terminal logistics systems using Harvard architecture and agent-based computing / B. Li, W. Li // Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter. — IEEE, 2010. — Pp. 3396–3410. DOI: 10.1109/WSC.2010.5679030.
16. Оценка пропускной способности контейнерного терминала с помощью Anylogic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/container-terminal-throughput-evaluation-with-anylogic> (дата обращения: 05.05.2018).
17. Кузнецов А. Л. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, М. Н. Горыnceв // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 3. — С. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-3-100-108.
18. Kroese D. P. Why the Monte Carlo method is so important today / D. P. Kroese, T. Brereton, T. Taimre, Z. I. Botev // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. — 2014. — Vol. 6. — Pp. 386–392. DOI: 10.1002/wics.1314.
19. Галин А. В. Обобщенная имитационная модель процесса развития портов / А. В. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 43–51. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-43-51.
20. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. Книги CAD / Ю. Г. Карпов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 400 с.
21. Кузнецов А. Л. Морская контейнерная транспортно-технологическая система: монография / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко [и др.]. — СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2017. — 320 с.
22. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Представление операций контейнерного терминала сематическими сетями / В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. — 2017. — № 1. — С. 127–129.
23. Zhang Y. The research of trailer scheduling based on the hybrid flow shop problem with blocking / Y. Zhang, S. Wang // Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th World Congress on. — IEEE, 2008. — Pp. 3936–3940. DOI: 10.1109/WCICA.2008.4593558.
24. Кузнецов А. Л. Базовая модель логистических потоков через контейнерный терминал / А. Л. Кузнецов, Е. Ю. Козлова // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 2. — С. 18–20.
25. Кузнецов А. Л. Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 7–16.
26. Кузнецов А. Л. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 2 (30). — С. 141–153. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-2-141-153.
27. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа «сухой порт» и принципов ее использования в технологическом проектировании / В. Н. Щербакова-Слюсаренко, В. А. Погодин, А. С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.
28. Хопкрофт Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Д. Ульман. — 2-е изд.: пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2008. — 528 с.

REFERENCES

1. Gharehgozli, Amir Hossein, Debjit Roy, and René de Koster. “Sea container terminals: New technologies and OR models.” *Maritime Economics & Logistics* 18.2 (2016): 103–140. DOI 10.1057/mel.2015.3.
2. McGinley, K. “Preparing port container terminals for the future: making the most of intelligent transport systems (ITS).” *Urban Transport XX* 138 (2014): 419–427. DOI: 10.2495/UT140351.

3. Levinson, M. *The box: how the shipping container made the world smaller and the world economy bigger*. Princeton University Press, 2006.
4. The world merchant fleet in 2016. Statistics from Equasis - European Maritime Safety Commission. Web. 5 May 2018 <<http://www.equasis.org/EquasisWeb/public/HomePage?fs=HomePage>>.
5. *Review of maritime transport*. UNCTAD/RMT/2017. United Nations publication, 2017. Sales No. E.17.II.D.10.
6. Corbett, James J., and James Winebrake. "The Impacts of Globalisation on International Maritime Transport Activity." *Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World*. 2008.
7. Corbett, James J., and James Winebrake. "Sustainable Goods Movement: Environmental Implications of Trucks, Trains, Ships, and Planes." *RIT Scholar Works* 11 (2007): 8–12.
8. *European Energy and Transport: Trends to 2030 – update 2007*. European Commission, Directorate-general for energy and transport. Brussels, Belgium: European Communities, 2008.
9. Godovoi otchet PAO «TransKonteiner». 2017. Web. 5 May 2018 <http://www.trcont.ru/fileadmin/content/Documents/Annual_Reports/2018/180428_TrCont_Annual_report_2017_RUS.pdf>.
10. *Shipping Industry Almanac – 2016*. No. 01259-164Gbl. EYGM Ltd., 2016.
11. Schmertzing, L. *Global Trends to 2035. Geo-politics and international power*. European Parliamentary Research service. Global trends Unit. PE 603.263. Brussels © European Union, 2017. DOI: 10.2861/800293.
12. Rodrigue, Jean-Paul. *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge, 2017.
13. Kuznetsov, Alexander L'vovich, Alexander Viktorovich Kirichenko, Vladimir Alekseyevich Pogodin, and Victoria Nikolaevna Shcherbakova-Slyusarenko. "Importance of simulation modelling for technological design and evaluating parameters of cargo terminals." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2017): 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
14. Kuznetsov, Alexander Lvovitch, Sergei Sergeyevich Pavlenko, and Victoria Nickolaevna Scherbackova-Slyusarenko. "Container distribution networks modeling." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 5(33) (2015): 33–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-33-42.
15. Li, Bin, and Wen-feng Li. "Modeling and simulation of container terminal logistics systems using Harvard architecture and agent-based computing." *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter. IEEE*, 2010. 3396–3410. DOI: 10.1109/WSC.2010.5679030.
16. Otsenka propusknoi sposobnosti konteiner'nogo terminala s pomoshch'yu Anylogic. Web. 5 May 2018 <<https://www.anylogic.ru/container-terminal-throughput-evaluation-with-anylogic>>.
17. Kuznetsov, Alexander L'vovich, Vladimir Alekseyevich Pogodin, Victoria Nikolaevna Shcherbakova-Slyusarenko, and Mikhail Nikolaevich Goryntsev. "The role of the simulation in the technological design and parameter assessment of cargo terminals." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 3 (2017): 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-3-100-108.
18. Kroese, Dirk P., T. Brereton, T. Taimre, and Z.I. Botev. "Why the Monte Carlo method is so important today." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 6 (2014): 386–392. DOI: 10.1002/wics.1314
19. Galin, Aleksandr Valentinovic. "Generalized imitation model of ports development process." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(34) (2015): 43–51. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-43-51.
20. Karpov, Yu.G. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5. Knigi CAD*. SPb.: BKhV-Peterburg, 2005.
21. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, A. A. Davydenko, S. V. Latukhov, V. L. Mikheev, and V. A. Nikitin. *Morskaya kontejnernaya transportno-tehnologicheskaya sistema: monografiya*. SPb.: Izd-vo MANEB, 2017.
22. Scherbakova-Slyusarenko, V. "The representation of the container terminal's operations with the semantic networks." *Transport business of Russia* 1 (2017): 127–129.
23. Zhang, Yu, and Shaomei Wang. "The research of trailer scheduling based on the hybrid flow shop problem with blocking." *Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th World Congress on*. IEEE, 2008. 3936–3940. DOI: 10.1109/WCICA.2008.4593558.
24. Kuznetsov, A. L., and E. Yu. Kozlova. "Base model of logistical flows through container terminal." *Jek-spluatacija morskogo transporta* 2 (2008): 18–20.
25. Kuznetsov, Aleksandr Lvovich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Aleksandr Aleksandrovich Davydenko. "Classification and functional modeling of echeloned container terminals." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(34) (2015): 7–16.

26. Kuznetsov, A.L., and A. V. Galin. "The genesis of port development models in modern transportation science." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(30) (2015): 141–153. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-2-141-153.

27. Shcherbakova-Slyusarenko, Victoria N., Vladimir A. Pogodin, and Andrei S. Tkachenko. "The development of the functional model for the "dry port" type container terminal and principles of its use in the technologic design." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.

28. Hopcroft, John E., Rajeev Motwani, and Jeffrey D. Ullman. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. Addisonwesley Publishing Company, 2008. — 528 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Александр Львович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Щербакова-Слюсаренко Виктория Николаевна —
кандидат технических наук

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: victorysch@mail.ru

Ткаченко Андрей Станиславович — соискатель
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: atk2@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov, Aleksandr L. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation

e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Shcherbakova-Slyusarenko, Victoria N. —
PhD

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation

e-mail: victorysch@mail.ru

Tkachenko, Andrey S. — Applicant
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation

e-mail: atk2@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16 мая 2018 г.

Received: May 16, 2018.