

# ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108  
УДК 656.6

*А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. С. Ткаченко, Г. Б. Попов*

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ РАСЧЕТА НАЗЕМНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

В современных условиях конкурентной борьбы и высокой капиталоемкости работы грузовых терминалов принятие решений на основе интуитивных аналитических методов становится опасной практикой. Такие методы в лучшем случае позволяют оценить средние значения технологических параметров терминала, в то время как его рыночная устойчивость становится все более зависимой от характера их распределения вокруг этих средних значений. Предложен метод изучения работы грузового терминала, базирующийся на имитационном моделировании. Отмечается, что необходимо фокусироваться не на разработке модели работы конкретного терминала, а на моделировании проходящих через терминал грузопотоков. Описан подход, используемый для создания таких моделей. Предложенная структура модели ориентирована на широкий класс контейнерных терминалов типа «сухой порт». Рассмотрены все возможные грузопотоки, которые требуют для обработки на терминале разных объемов и видов технологических ресурсов. Универсальный формат описания маршрутов прохождения различных типов грузопотоков через терминал как моделируемую систему обеспечивает низкую трудоемкость планирования экспериментов, позволяя гибко менять транспортно-технологическую схему анализируемого терминала. Результативность методики имитационного моделирования для расчета технологических параметров наземных контейнерных терминалов подтверждена в ходе реализации нескольких крупных проектов.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, грузовой терминал, «сухой порт», грузопоток, технологические операции, доказательство адекватности.

### **Введение**

Для сложных функциональных объектов, имеющих развитую структуру элементов и связей между ними, аналитические методы расчета параметров элементов и откликов на внешние воздействия имеют свои ограничения [1, 2]. Желание получить более адекватные и точные оценки всех важных для вынесения суждений о качестве функционирования объекта характеристик наталкивается на стохастическую природу как самих величин, так и механизмов их взаимодействия. Необходимость иметь дело со случайными величинами – как при задании управляющих переменных и воздействий, так и при оценке выходных величин – в общем случае требует использования методов имитационного моделирования.

Корректное использование имитационного моделирования позволяет исследовать поведение объекта (понимаемое как изменение описывающих его параметры величин во времени), которое является результатом внутреннего взаимодействия элементов через установленные связи между ними. Детерминированный алгоритм этого процесса заменяется на неуправляемое взаимодействие в выбранной программной среде всех отдельных частей и элементов системы, результатом которого является случайный отклик системы на внешние воздействия при различных параметрах ее состояния. Статистическая обработка графиков изменения всех интересующих параметров во времени позволяет получать интегральные кривые распределения вероятности их значений, которые полностью характеризуют их как случайные величины. При этом по динамике изменений этих значений в ходе вычислительных экспериментов можно судить о надежности получаемых оценок.

В полной мере к объектам сложной природы, характеристики поведения которых не могут быть рассчитаны аналитически как функции параметров составляющих их элементов, относятся современные контейнерные терминалы, особенно контейнерные терминалы типа «сухой порт».

Проблеме имитационного моделирования контейнерных портов и терминалов посвящено достаточно много работ [3–5], в которых описаны важные и полезные частные результаты. В то же время главной методологической проблемой использованного в них подхода является то, что целью ставится моделирование работы терминала, в то время как моделироваться должно прохождение грузопотоков через терминал. Если для морских контейнерных терминалов эти грузопотоки относительно стандартны, то широкое разнообразие функциональных профилей сухопутных контейнерных терминалов становится причиной значительного различия структуры проходящих через них грузопотоков. В этом случае сбор статистики, задание исходных данных, планирование экспериментов и интерпретация полученных результатов сталкивается с отсутствием единой терминологии относительно важнейших понятий, касающихся грузопотоков и их обработки при прохождении через терминал.

В статье рассматриваются все возможные грузопотоки, для обработки которых на терминале требуются разные объемы и виды технологических ресурсов. Для моделирования прохождения всего многообразия грузопотоков предложена единая универсальная модель контейнерного терминала типа «сухой порт». В терминах структурных элементов модели появилась возможность предложить унифицированный формат описания маршрутов прохождения различных типов грузопотоков через терминал как моделируемую систему. Разбивка всех технологических операций на простейшие унифицированные («атомарные») движения дает возможность однозначного описания транспортно-технологической схемы терминала в терминах используемого оборудования. Простота этого описания должна обеспечить низкую трудоемкость планирования экспериментов, что позволяет проводить обширное моделирование разнообразных вариантов транспортно-технологических схем для обработки множества рассматриваемых потоков. Кроме того, обсуждение полученных результатов позволяет предложить универсальные способы формирования оценок и сформулировать рекомендации по использованию имитационного моделирования как инструмента для технологического проектирования терминалов.

### Методы и материалы исследования

**Статическое моделирование.** Контейнеризированный груз обладает некоторыми уникальными свойствами, которые отсутствовали в традиционной грузообработке. Генеральный груз может прибывать в порт в контейнерах, при этом он регистрируется не в тоннах, а в контейнерах – наряду с порожними. Раствариваясь из контейнеров, генеральный груз делает порт местом своего рождения, при этом превращая груженные контейнеры в порожние. При затарке контейнеров процессы будут обратными. При этом по-прежнему груженные и порожние контейнеры не будут учитываться в тоннах, а генеральные грузы – в контейнерах. Контейнеры одновременно могут измеряться и в «физических» единицах, и в TEU.

Неоднозначность интерпретации терминов, используемых для описания самых очевидных и принципиально важных производственных операций портов и терминалов, становится значительной проблемой не только при планировании национальной и региональной транспортной системы, анализе производственной деятельности портов и терминалов, но и при их технологическом проектировании [6].

Грузопотоки терминала типа «сухой порт» по направлению следует делить на входящие (в любом месте пересекающие границу терминала снаружи вовнутрь) и исходящие (пересекающие его границу изнутри наружу). Это принципиально отличает терминал типа «сухой порт» от морского терминала, в котором потоки разделяются лишь по направлению пересечения линии причального фронта (на импортные и экспортные).

По виду груза входящие и исходящие потоки терминала рассматриваемого типа делятся на потоки генерального груза и потоки контейнеров. По способу прохождения грузопотока через терминал (обработки грузов) потоки генерального и контейнерного груза делятся на сквозные и преобразуемые. Сквозные потоки представляют собой перемещение груза без его преобразования из генерального груза в контейнеризированный или наоборот. Преобразуемые грузопотоки представлены двумя категориями: входящий грузопоток генерального груза, преобразуемый в исходящий поток контейнерного груза (поток затариваемого груза), и входящий грузопоток контейнерного груза, преобразуемый в исходящий поток генерального груза (поток рас-

тариваемого груза). Помещение генеральных грузов входящего потока в контейнеры (затарка) требует соответствующего потока порожних контейнеров. Выгрузка генерального груза из прибывших на терминал грузеных контейнеров (растарка) сопровождается появлением потока высвобождаемых порожних контейнеров. Эти внутренние потоки называются сопутствующими.

Объемы генерируемых и потребляемых внутренних сопутствующих потоков порожних контейнеров могут не совпадать, что требует их завоза извне в случае дефицита или отправки с терминала в случае избытка. Кроме компенсации разницы объемов сопутствующих потоков порожних контейнеров, терминал может обслуживать перемещение порожних контейнеров между сторонними местами растарки и затарки (функция репозиционирования порожних контейнеров). В любом случае, кроме сквозных (не преобразуемых) потоков генеральных грузов и грузеных контейнеров, целесообразно различать самостоятельный сквозной поток порожних контейнеров.

С учетом рассуждений, проведенных выше, общая схема распределения грузопотоков через элементы контейнерного терминала типа «сухой порт» представлена на рис. 1.

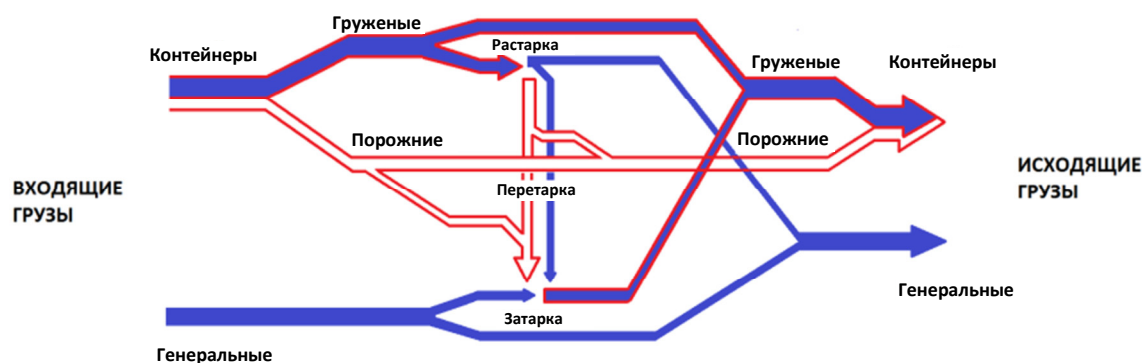


Рис. 1. Общая схема грузопотоков

Функциональную структуру терминала типа «сухой порт» удобно представить в виде пространственно-локализованных производственных центров (элементов), связи между которыми соответствуют выполняемым грузовым операциям (рис. 2).

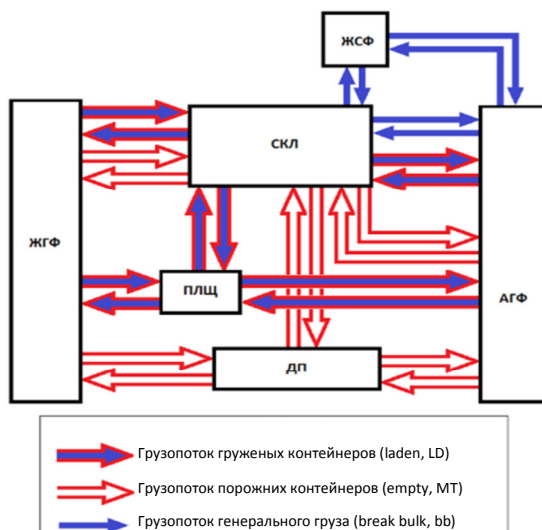


Рис. 2. Функциональная структура и категории грузов терминала:

ЖСФ – железнодородный склад формирования; ЖГФ – железнодородный грузовой фронт;

СКЛ – крытый склад; ПЛЦ – открытая площадка хранения; ДП – контейнерное депо;

АГФ – автомобильный грузовой фронт

Иными словами, показанные на рис. 1 грузопотоки физически протекают через элементы системы, приведенной на рис. 2. Каждый тип грузопотока, обрабатываемый терминалом, может быть описан последовательностью функциональных элементов, которые он проходит на своем техноло-

гическом маршруте через терминал  $\{e_1^k, e_2^k, \dots, e_l^k\}$ . В свою очередь, каждая пара смежных элементов из этого списка  $(e_i^k, e_j^k)$  определяет одну из операций  $l = (i, j)$  по обработке грузопотока, показанных стрелками на рис. 2. Соответственно, знание объема частного грузопотока  $Q_k$  за некоторый период времени позволяет полностью описать его технологическую трудоемкость  $\{Q_k; e_1^k, e_2^k, \dots, e_l^k\}$ , а также оценить требуемый объем выполнения операции  $l = (i, j)$  для  $k$ -го грузопотока, или  $\{Q_k; (e_i^k, e_j^k)\}$ . Наличие сведений о структуре всего грузопотока  $\{Q_k; e_1^k, e_2^k, \dots, e_l^k\}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , позволяет сформировать представления о требуемом объеме операции  $l = (i, j)$  для всего грузопотока в рассматриваемый период, или  $\left\{Q^l = \sum_{k=1}^K Q_k; (e_i^k, e_j^k)\right\}$ .

В свою очередь, каждая технологическая операция, показанная на рис. 2, может быть разложена на некоторые простейшие составляющие движения [7], выполняемые одним или несколькими видами оборудования (рис. 3).

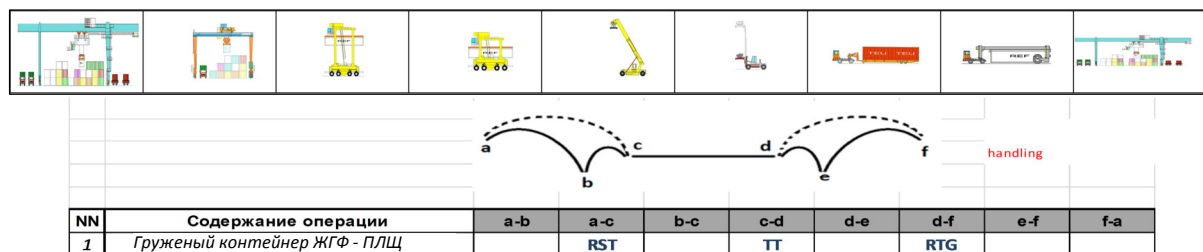


Рис. 3. Пример описания операции в атомарных движениях

Каждая операция характеризуется своей последовательностью участвующих в ней видов оборудования  $\{t_1^l, t_2^l, \dots, t_L^l\}$ , что также показано на рис. 3. Известный объем каждой операции  $Q^l$  позволяет получить оценку требований к задействованному в ней оборудованию  $\{Q^l; t_1^l, t_2^l, \dots, t_L^l\}$ .

Просуммировав требования к каждой из групп оборудования, можно получить оценку парка оборудования по каждой из категорий. Аналогичным образом определяются и связанные с оборудованием технологические ресурсы: численность персонала, потребности в топливе, электроэнергии, площадях, мастерских и пр. В то же время перечисленные выше действия описывают так называемую статическую модель, используемую для предварительного анализа потребности в технологических ресурсах за длинные интервалы планирования – например, год.

Все частные грузопотоки, представленные выше своими объемами и технологическими маршрутами прохождения через терминал, обладают еще не менее важной характеристикой: распределением по времени. Каждый из них может равномерно распределяться по всему анализируемому интервалу, конденсироваться в какой-то его ограниченной области, пересекаться с другими частными грузопотоками или попадать в свободные зоны. Кроме того, технологические ресурсы для обработки частных потоков в большинстве случаев ограничены, что приводит к конкуренции грузопотоков за те или иные ресурсы. Это взаимодействие приводит к увеличению сроков обработки грузопотоков, вызываемому задержками, простоями и очередями. Именно это вызывает случайные флуктуации выходных операционных параметров терминала, которые делают неприменимыми аналитические методы расчета.

Для вынесения суждений об эксплуатационных параметрах, понимаемых как случайные величины, как раз и служит динамическое, или собственно имитационное, моделирование.

**Динамическое моделирование.** Имитационное моделирование использует ту же самую функциональную модель, структура которой приведена на рис. 2. Принципиальным отличием является то, что указанная модель используется для пересчета всех переменных, описывающих состояние системы на каждом шаге моделирования, в зависимости от входных потоков в данный момент времени и состояния системы в предыдущие моменты времени. Очевидно, что используемой парадигмой является дискретно-событийное моделирование [8].

Для пояснения схемы моделирования рассмотрим пример двух грузопотоков, проходившие которых через терминал описывается схемами  $\{e_1^1, e_2^1, e_5^1, e_7^1, e_6^1\}$  и  $\{e_7^2, e_6^2, e_5^2, e_2^2, e_1^2\}$ . Для определенности пусть  $e_1^x$  – это железнодорожный грузовой фронт;  $e_2^x$  – зона престакинга для железнодорожных операций;  $e_5^x$  – контейнерная площадка;  $e_6^x$  – офис оформления документов;  $e_7^x$  – автомобильный въезд на терминал. Исходными данными являются генерируемые по тому или иному закону поступления транспорта по железной дороге (поток 1) и автотранспортом (поток 2). Размер прибывающей транспортной партии  $q_k^x$  также генерируется по другому случайному закону. Каждое такое событие в выбранной нотации представляет собой упорядоченный список вида  $\{q_k^1; e_1^1, e_2^1, e_5^1, e_7^1, e_6^1\}$  и  $\{q_k^2; e_7^2, e_6^2, e_5^2, e_2^2, e_1^2\}$ . Пример генерации описанных событий приведен в таблице.

Пример генерации входных потоков модели

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Input 1	100	–	80	–	100	–	120	125	300	–	220	–	260	110	–	123	100	–	80	–
Input 2	150	–	44	59	150	120	66	34	78	100	124	–	67	–	100	111	67	–	44	59

В каждый момент времени поступление грузопотока ставит прибывшее количество груза как заявку в очередь на обработку соответствующим элементом. Если элементу в данный момент времени выделен конкурирующий ресурс, он забирает соответствующую часть груза в обработку. В свою очередь, обработанные заявки передаются следующему элементу, который определяется соответствующими последовательностями  $\{q_k^1; e_1^1, e_2^1, e_5^1, e_7^1, e_6^1\}$  и  $\{q_k^2; e_7^2, e_6^2, e_5^2, e_2^2, e_1^2\}$ , задающими логику работы модели.

Все указанные операции в имитационном моделировании выполняются стандартными компонентами – очередями, переключателями, разветвителями и пр. Распределение пула ресурсов обслуживания  $\{t_1^l, t_2^l, \dots, t_L^l\}$  по операциям выполняется с учетом установленного приоритета грузопотоков и по фактическим требованиям на них, определяемых процессом имитационного моделирования. Состояние каждой компоненты отражает ход той или иной операции, простои и очереди, возникающие при ее выполнении (рис. 4).



Рис. 4. Экранная форма мониторинга хода выполнения операций

На рис. 5 в качестве примера для более подробного анализа выбран график изменения заявок на обслуживание на входе операции перемещения из зоны престакинга в зону контейнерной площадки.



Рис. 5. Пример динамики заявок на входе операции

На рис. 6 показана гистограмма распределения значений этого параметра в ходе вычислительного эксперимента при разных схемах назначения приоритета потоков.

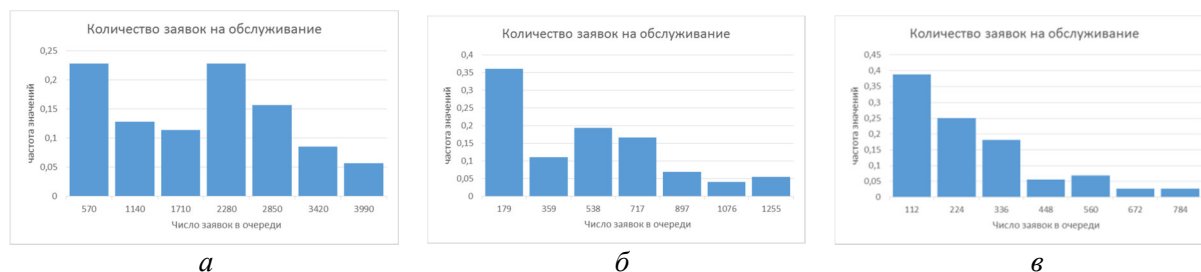


Рис. 6. Очередь заявок при различных приоритетах распределения ресурсов между потоками:  
 а – 25:75; б – 50:50; в – 75:20

### Результаты исследования

Механизмы моделирования взаимодействующих потоков, описанные в предыдущем разделе на упрощенном примере, реализованы в специализированной программной среде объектно-ориентированного программирования. Взаимодействие потоков, в сущности, сводится к их конкуренции за те или иные технологические ресурсы терминала: грузовые фронты, складские мощности, подъемно-транспортное оборудование, персонал. Для одних и тех же грузопотоков общие размеры каждого отдельного технологического ресурса и алгоритмы их распределения при нехватке приводят к различным значениям выходных параметров терминала, характеризующих качество оказываемых им коммерческих услуг. Изменением параметров, описывающих технологические показатели качественно и количественно, можно добиться желаемого качества услуг, обычно выражающегося для клиента в показателях длин очередей, длительности и разбросе времени обслуживания. С другой стороны, для владельца терминала технологические параметры позволяют составить представление о финансовых затратах, которые он понесет при обеспечении данного уровня качества обслуживания. Таким образом, имитационное моделирование становится эффективным инструментом поддержки принятия не просто технологических, но и предпринимательских решений.

### Обсуждение результатов

В современной высококонкурентной среде ведения транспортного бизнеса, при общем снижении доходности и повышении волатильности грузопотоков, интуитивные подходы к принятию капиталоемких предпринимательских решений, которые основаны на упрощенных аналитических методах расчета технологических ресурсов, поддерживающих функционирование контейнерных терминалов, становятся угрозой для бизнеса. Практика использования имитационного моделирования, от которой сегодня ожидают столь многого, в значительной доле случаев сводится к реализации некоторого демонстрационного примера, в большей или меньшей сте-

пени отражающего вариант расчетного грузопотока. Качество имитационных моделей зачастую оценивается не по объему полученных результатов, их достоверности и полезности для обоснования проектных параметров, а по качеству графической анимации. В то же время эта характеристика является наименее ценной с гносеологической точки зрения. Модель, адекватность которой не доказана, имеет ничтожную практическую ценность как инструмент проектирования и поддержки принятия решений.

Это положение лежит в основе всего подхода, описанного в данной статье и используемого в практических приложениях созданных программных средств. Важнейшим разделом любого проекта, основанного на предлагаемой методике, является строгое и последовательное доказательство адекватности разработок моделируемому объекту, для чего используются отдельно разработанные методические приемы. Лишь после внимательной валидации, тщательной калибровки и достаточной верификации модель подлежит использованию в качестве рабочего инструмента.

Использование тщательно отлаженного механизма имитационного моделирования, осуществляемое в рамках установленной адекватности и в процессе рационально спланированного движения к цели, полностью оправдало все ожидания в нескольких крупных инфраструктурных проектах, касающихся создания контейнерных терминалов. Накопленный в ходе работы опыт позволил отладить работу описываемого проектного механизма и уточнить методику его использования.

### **Выводы**

1. Традиционные методы в большинстве случаев имеют целью моделирование работы терминала, в то время как моделироваться должно прохождение грузопотоков через терминал.
2. Морские и сухопутные контейнерные терминалы кардинальным образом отличаются по структуре, составу и функциональному назначению элементов, что требует использования для них разных моделей.
3. В работе предложена структура модели, ориентированная на широкий класс контейнерных терминалов типа «сухой порт» и распределительный центр.
4. Приведены способы универсального описания типовых грузопотоков, проходящих через терминал различными маршрутами и в различной степени использующих его функциональные элементы.
5. Предложены универсальные форматы описания функциональных операций в терминалах требуемого для их выполнения транспортно-технологического оборудования.
6. Универсальные способы задания грузопотоков и описания требуемого транспортно-технологического оборудования позволяют гибко менять транспортно-технологическую схему анализируемого терминала.
7. Любое моделирование является инструментом анализа, вследствие чего процедура синтеза должна формироваться как направленное изменение набора значений технологических параметров, для сравнительного анализа которых на каждом шаге используется имитационное моделирование.
8. Направленный поиск в пространстве решений предлагается осуществлять с помощью формирования типовых сценариев грузопотоков, в рамках которых выполняются вычислительные эксперименты в объемах, обеспечивающих статистическую достоверность.
9. Предлагаемые методы реализованы в виде специализированного программного обеспечения, использование которого доведено до уровня практической методики.
10. Результативность методики имитационного моделирования для расчета технологических параметров наземных контейнерных терминалов доказана при реализации нескольких крупных проектов.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Кузнецов А. Л. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. 2009. № 4 (58). С. 3–7.
2. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В. и др. Морская контейнерная транспортно-технологическая система: моногр. СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2017. 320 с.
3. Nevins M. R., Macal C. M., Love R., Brogen M. J. Simulation, animation and visualization of seaport operations // Simulation. 1998. No. 71 (2). P. 96–106.

4. *Legato P., Trunfio R.* A simulation modelling paradigm for the optimal management of logistics in container terminals // Proceedings of the 21st European Conference on Modelling and Simulation (Prague, Czech Republic, June 4th–6th, 2007). Prague, Czech Republic. P. 479–488.
5. *Najib M., El Fazziki A., Boukachour J.* A container terminal management system // Proceedings of the 14th International Conference on Harbour Maritime and Multimodal Logistics M&S, 2012. P. 118–127.
6. *Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Щербакова-Слюсаренко В. Н.* Эволюция показателей, характеризующих эксплуатационную работу портов и терминалов // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2015. № 6 (34). С. 7–16.
7. *Kuznetsov A.* Classification of modern container handling technologies // Cargo systems. June 2009. P. 32–33.
8. *Hester P., Diallo S.* Towards a Theory of Multi-method M&S Approach: Part I // Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, edited by A. Tolk, S. Diallo, I. Ryzhov, L. Yilmaz, S. Buckley, and J. Miller. 2014. P. 1652–1663.

Статья поступила в редакцию 26.10.2017

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кузнецов Александр Львович** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; г-р техн. наук, профессор; профессор кафедры портов и грузовых терминалов; Thunder1950@yandex.ru.

**Кириченко Александр Викторович** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; г-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой портов и грузовых терминалов; a.v.kirichenko@mail.ru.

**Ткаченко Андрей Станиславович** – Россия, 188689, Ленинградская область, г. Янино-1; ООО «Логистический парк «Янино»; директор по развитию и управлению рисками; atkcs1@ya.ru.

**Попов Герман Борисович** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; аспирант кафедры портов и грузовых терминалов; german\_bp@mail.ru.



*A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, A. S. Tkachenko, G. B. Popov*

### SIMULATION MODELLING AS A DRY CARGO TERMINALS' CALCULATION TOOL

**Abstract.** Making decisions based on intuitive analytical methods is becoming a dangerous practice in modern conditions of competition and high capital capacity of cargo terminals operation. Such methods are allowing to evaluate an average of performance indicators for cargo terminals at very best, while their market stability is becoming gradually more dependent on the pattern of distribution around the averages. This research proposes a method of cargo terminal performance analysis, based on the simulation modelling. The importance of focusing on cargo flows through the terminal, instead of modelling only the operational processes of a certain cargo terminal, is emphasized. The paper describes the approach to creating such models of distribution around the averages. The proposed model structure is targeted at a wide range of "dry port" type container terminals. There have been analyzed all possible traffic flows which require different capacities and technological resources for handling at the terminal. A standard description of the freight routes passing through the terminal as a simulated model provides low labor-intensiveness of planning experiments which helps easily change the cargo handling flow chart of the terminal analyzed. The



efficiency of the simulation modelling method for calculating technological parameters of dry cargo terminals has been approved in the course of implementing several large projects.

**Key words:** simulation modelling, cargo terminal, "dry port", traffic flow, technological operations, adequacy proof.

#### REFERENCES

1. Kuznetsov A. L. Genesis agentnogo imitatsionnogo modelirovaniia v khode razvitiia metodov tekhnologicheskogo proektirovaniia portov i terminalov [Genesis of agent simulation modelling in developing methods of process engineering of ports and terminals]. *Ekspluatatsiia morskogo transporta: ezhekvartal'nyi sbornik nauchnykh statei*, 2009, no. 4 (58), pp. 3-7.
2. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V. i dr. *Morskaia konteinernaia transportno-tekhnologicheskaiia sistema: monografiia* [Marine container transporting system: monograph]. Saint-Petersburg, Izd-vo MANEB, 2017. 320 p.
3. Nevins M. R., Macal C. M., Love R., Brogen M. J. Simulation, animation and visualization of seaport operations. *Simulation*, 1998, no. 71 (2), pp. 96-106.
4. Legato P., Trunfio R. A simulation modelling paradigm for the optimal management of logistics in container terminals. *Proceedings of the 21st European Conference on Modelling and Simulation (Prague, Czech Republic, June 4th–6th, 2007)*. Prague, Czech Republic. Pp. 479-488.
5. Najib M., El Fazziki A., Boukachour J. A container terminal management system. *Proceedings of the 14th International Conference on Harbour Maritime and Multimodal Logistics M&S*, 2012. Pp. 118-127.
6. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Shcherbakova-Sliusarenko V. N. Evoliutsiia pokazatelei, kharakterizuiushchikh ekspluatatsionnuu rabotu portov i terminalov [Evolution of figures characterizing operation of ports and terminals]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2015, no. 6 (34), pp. 7-16.
7. Kuznetsov A. Classification of modern container handling technologies. *Cargo systems*, June 2009, pp. 32-33.
8. Hester P., Diallo S. Towards a Theory of Multi-method M&S Approach: Part I. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, edited by A. Tolk, S. Diallo, I. Ryzhov, L. Yilmaz, S. Buckley, and J. Miller. 2014. Pp. 1652-1663.

The article submitted to the editors 26.10.2017

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuznetsov Alexander L'vovich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ports and Cargo Terminals; Thunder1950@yandex.ru.

**Kirichenko Alexander Viktorovich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Ports and Cargo Terminals; a.v.kirichenko@mail.ru.

**Tkachenko Andrei Stanislavovich** – Russia, 188689, Leningrad region, Yanino village - 1; "Logistics Park "Yanino", LLC; Director of Risk Development and Management; atkcsl@ya.ru.

**Popov German Borisovich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Postgraduate Student of the Department of Ports and Cargo Terminals; german\_bp@mail.ru.

