

УДК 519.711.3:656.073.28
DOI: 10.34046/aumsuomt99/10

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ТАМОЖЕННЫХ ЦЕЛЕЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ШТАБЕЛЯ КОНТЕЙНЕРОВ НА ЯЗЫКЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

А.Ж. Радочинская, аспирант

Т.Е. Маликова, доктор технических наук, доцент

В статье рассмотрен наглядный пример использования математического моделирования для анализа операций на контейнерном терминале морского порта. В качестве объекта исследования выбрана вспомогательная операция – формирование в зоне хранения контейнерного терминала штабеля контейнеров в отношении которых назначены формы таможенного контроля. С операционной точки зрения формирование штабеля для таможенных целей является трудоемкой технологической операцией, так как она связана с селективным поиском и изъятием из общего штабеля одного или сразу нескольких контейнеров, составляющих вывозимую в зону таможенного осмотра (досмотра) неделимую товарную партию. Результатом исследования является математическая модель поиска и выемки целевых контейнеров из штабеля в зоне хранения терминала посредством детерминированных конечных автоматов, а также доказательство адекватности модели на реальных прототипах. Применение указанного математического аппарата в приложении к моделированию технологических процессов позволяет представить единую логику управления процессом престаккинг в зоне хранения, а также разработать алгоритм автоматического управления складирующим оборудованием. Предложенная модель является универсальной, так как рамки ее применимости можно расширить, например, применить для анализа операций на тыловом грузовом фронте при обработке железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: контейнерный терминал, анализ операций, перегрузочное оборудование, штабель контейнеров, математическое моделирование.

THE MODEL OF A SUBSIDIARY CONTAINER STACK FORMATION FOR CUSTOMS PURPOSES USING FINITE-STATE MACHINE DESCRIPTION LANGUAGE

A.Zh. Radochinskaia, T.E. Malikova

The paper considers a direct example of the use of mathematical modeling to analyze operations at a seaport container terminal. A subsidiary procedure of formation of a stack of containers subject to some form of customs inspection at a container terminal storage area formation has been chosen the target of research. As far as procedures are concerned, the formation of a stack for customs inspection is a labor-consuming technological process as it involves selective search and withdrawal from a common stack of one or even several containers that make up an indivisible lot to be exported to the customs inspection (searching) zone. The outcome of the research is a mathematical model of searching and withdrawing containers in question from a stack in the terminal storage area by means of deterministic finite-state machines, as well as substantiating the model validity with real prototypes. The application of this mathematical apparatus to the technological process modeling allows one to present a unified logic for controlling the prestacking process in the storage area, as well as to develop a stacking facility automatic control algorithm. The proposed model is a universal one, since the scope of its application can be enhanced, for example, to be applied to analyze operations at the backyard cargo handling complex when handling railway rolling stock.

Keywords: container terminal, operation analysis, handling equipment, container stack, mathematical simulation.

Введение (Introduction)

Концепция автоматизированной комплексной грузопереработки является одним из главных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и хранения контейнерных грузов. Системы автоматизации, применяемые на терминалах морских портов, могут в разной степени включать в себя функции управления контейнерным потоком, планирования погрузо-разгрузочных работ на судах, автоматизации работы складирующего оборудования, планирования работы склада терминала и многие другие. На традиционных механизированных терминалах большая часть перечисленных выше задач решается с непосредственным участием человека. Это приводит к неравномерности в интенсивности погрузочно-разгрузочных работ, а также повышает отрицательное влияние челове-

ческого фактора как на показатели производительности, так и на обоснованность принимаемых управляющих решений. Исходя из выше изложенного, можно сказать: «Будущее за автоматизированными складскими комплексами!». Однако обзор научных работ [1] - [3], выполненных за последнее время, убеждает в обратном: «Полный отказ от механизированной грузопереработки на причалах порта является ошибкой!». Приведем аргументы в пользу последнего утверждения.

Сравнительный анализ показателей эффективности работы автоматизированных и механизированных контейнерных терминалов, представленный в работе [1], выявил следующий интересный факт. С одной стороны, показатели работы морского грузового фронта автоматизированных контейнерных терминалов выше, чем аналогич-

ные показатели механизированных систем. С другой стороны, показатели эффективности работы [4] тыловых складских зон автоматизированных терминалов примерно одинаковы (бенчмарк по площади) или ниже (бенчмарк по грузообороту на единицу складской техники и терминальных тягачей), чем для механизированных складских комплексов. Таким образом, в данной работе было обосновано, что применение механизированной системы грузопереработки в тыловых зонах терминала более предпочтительно.

Кроме того, авторитетное мнение специалистов [2, 3] состоит в том, что применение автоматизированной комплексной грузопереработки наиболее выгодно либо для стран с высоким уровнем оплаты квалифицированного труда, либо для развивающихся стран, испытывающих недостаток в квалифицированной рабочей силе. В первом случае эффективность достигается за счет экономии заработной платы из-за роботизации технологических операций. Во втором случае – потери из-за некачественно выполненных операций значительно превосходят выигрыш, получаемый за счет дешевой рабочей силы. Для России характерна высокая оплата труда ИТ специалистов, по сравнению с зарплатой стивидорного персонала, и как следствие, ожидаемая экономия фонда оплаты труда от внедрения автоматизированной системы грузопереработки будет ниже ожидаемого.

Исходя из выше изложенного, автоматизацию технологических операций в тыловых зонах терминала необходимо рассматривать не как самоцель, а как средство оптимизации работы склада и снижения логистических затрат [5]. В проектах автоматизации следует большое внимание уделять обоснованному выбору степени автоматизации и использовать частичную автоматизацию в сочетании с современными возможностями информационных технологий. Концепция сплошной компьютеризации операций механизированного склада пока еще пребывает на стадии разработки и тестирования. Идея привлекательна тем, что обещает соединить уровень управления, достигаемый в автоматизированном складе, с операционной гибкостью механизированной системы. Основным видом оборудования на по-прежнему остаются ричстакеры (RS), автоконтейнеровозы (SC), складские перегружатели на пневмоколесном (RTG) или рельсовом (RMG) ходу. Планировка и конструкция склада в основном остаются теми же, как в обычных механизированных складах. Разница только в том, что все перемещения и операции основного складского оборудования подчинены управляющим командам компьютера [6]. В данном случае основным средством автоматизации является разработка системы управления технологическими процессами терминальной грузопереработки в современных системах компьютерного моделирования.

Технологии и стратегии управления терминала в компьютеризированной системе как правило описываются в виде математических моделей

объекта управления высокой размерности и различной природы [7] - [9]. На выбор математического аппарата для реализации процесса моделирования существенно влияет как сложность создаваемой модели, а так и востребованность дальнейшей перспективе программного продукта как инструментария в практической деятельности [10, 11]. Из-за своей востребованности продолжают развиваться модели традиционных направлений – ключевых технологических зон терминала (морского грузового фронта [12], складской зоны [13, 14], и др.), обоснования применения портового перегрузочного оборудования [15, 16]. Появляются новые направления, на пример, модели бизнес-процессов, предназначенные для исследования различных управленческих аспектов функционирования контейнерных терминалов [17], или локальные модели вспомогательных технологических процессов [18, 19].

Следует отметить, что последнее направление в моделировании процессов работы терминалов появилось сравнительно недавно и как следствие менее развито по сравнению с традиционными направлениями, в частности, комплексными моделями ключевых технологических зон. Однако, именно моделирование вспомогательных технологических процессов терминала наиболее востребовано при переходе к компьютеризированной системе грузопереработки на терминале морского порта. Таким образом, существует актуальная для морского транспорта задача – разработка локальных математических моделей вспомогательных технологических процессов, позволяющих организовать компьютерное управление основными видами механизированного оборудования склада.

Исходя из выше изложенного объектом моделирования в данной работе был выбран один из вспомогательных технологических процессов контейнерного терминала, а именно процесс взаимодействия с контролирующими органами при таможенном оформлении импортного контейнерного потока и разработана локальная модель процесса формирования в зоне хранения контейнерного терминала штабеля контейнеров в отношении которых назначены такие формы таможенного контроля, как осмотр и досмотр.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Известно, что весь грузопоток, прибывающий на терминал порта, делится по направлению на экспорт, импорт и каботаж. В отношении части импортного грузопотока таможенные органы выполняют ряд контрольных мероприятий, основными из которых являются: документальный контроль [20, 21], осмотр и досмотр товара в тесном взаимодействии с сотрудниками терминала порта прибытия в следующей последовательности операций [22].

По прибытию судна в порт выполняется разгрузка судна с помещением контейнеров в

зону хранения импортного груза. Возможен вариант хранения без деления груза по направлениям (пример, контейнерный терминал порта Владивосток). В свою очередь участники внешнеэкономической деятельности подают в контрольные органы необходимые документы и сведения о прибывшем товаре [23]. Таможенные органы проводят документальный контроль поступивших сведений, и для товаров, которые попали под профиль риска, назначается одна из форм таможенного контроля: либо осмотр контейнера с применением досмотрового комплекса, либо досмотр товара внутри контейнера. Затем составляется заявка на контейнеры с указанием их номеров, в отношении которых будет проведена одна из двух (осмотр, досмотр) форм таможенного контроля. Сформированная заявка направляется в оперативный отдел контейнерного терминала. Дежурный оператор терминала на основании полученной информации дает распоряжение докерам сформировать на площадках таможенного осмотра и досмотра вспомогательные штабели из контейнеров с номерами, указанными в заявке, с учетом назначенной для каждого из них формы контроля.

Так как объектом моделирования в данном технологическом процессе выбрана вспомогательная операция – формирование в зоне хранения контейнерного терминала штабеля контейнеров в отношении которых назначены формы таможенного контроля (таможенный осмотр или таможенный досмотр), рассмотрим ее выполнение более подробно.

С операционной точки зрения формирование штабеля для таможенных целей является трудоемкой технологической операцией, так как она связана с селективным поиском и изъятием из общего штабеля одного или сразу нескольких контейнеров, составляющих вывозимую в зону таможенного осмотра (досмотра) неделимую товарную партию [22]. Усложнение процесса выборки контейнеров (селекция по принципу товарной партии, указанной в таможенной декларации на товары) объясняется тем, что в отношении импортных контейнеров, прибывших в порт по единой декларации, операции таможенного контроля осуществляются одновременно. Например, в таможенной декларации заявлена товарная партия из пяти контейнеров. Если в зону таможенного контроля доставили только четыре контейнера из пяти, то таможенный осмотр (досмотр) в отношении них не будет производиться пока не доставят пятый контейнер, принадлежащий к той же товарной партии.

Из-за сложной организации выборки контейнеров для таможенных целей в зоне хранения контейнерного терминала применяется «престакинг», т. е. формирование в свободный промежуток времени между выполнением погрузо-разгрузочных работ вспомогательного штабеля контейнеров, в отношении которых назначен таможенный контроль (осмотр или досмотр), с учетом понятия товарной

партии. Престакинг может выполняться на терминале параллельно с иными технологическими операциями или иметь более низкий приоритет по сравнению с другими операциями осуществляться в свободное (например, ночное) время [24].

Для построения модели процесса формирования вспомогательного штабеля сформулируем основные правила размещения и хранения контейнеров на терминале (входные параметры модели). Во-первых, будем считать, что контейнеры, в момент их выгрузки с борта судна, размещаются в зоне хранения по методу свободных мест (в заранее определенные для них свободные ячейки штабеля). Во-вторых, все штабели в зоне хранения сформированы в высоту до пяти ярусов по аналогии с реальным прототипом модели (в данном случае в качестве реального прототипа выбран контейнерный терминал порта Владивосток). Так как высота штабеля зависит от технических характеристик применяемых контейнерных перегружателей и допустимых нагрузок на складскую площадь в конкретном порту, поэтому в других портах высота штабеля может отличаться. Однако указанное отличие не влияет на ход рассуждений при построении модели, т. е. на применимость модели для других терминалов. В-третьих, количество рядов в штабеле ограничим числом, например, пять, для простоты моделирования. В дальнейшем используя метод математической индукции можно распространить рассуждения на произвольное количество рядов в штабеле (количество равно n). Динамическая модель формирования вспомогательного штабеля для таможенных целей была формализована на языке конечных автоматов. Эффективность применения конечных автоматов для задач такого класса подробно рассмотрена в работе [25].

Математическая модель (Mathematical model)

Детерминированный конечный автомат $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ (ДКА) поиска и выемки затребованного контейнера (из списка заявки, составленной таможенными органами) опишем в виде диаграммы переходов (функции переходов δ), которая представляет собой следующий граф (рис. 1).

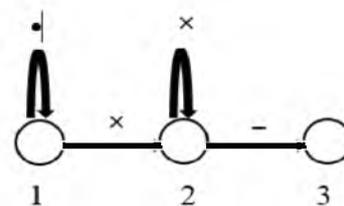


Рисунок 1 – Диаграмма переходов ДКА поиска и выемки контейнера из штабеля хранения

В таблице 1 приведена интерпретация остальных компонентов конечного автомата A : множества состояний Q , множества входных символов Σ , начального состояния q_0 и множества допускающих состояний F .

Таблица 1 – Компоненты конечного автомата поиска и выемки контейнера из штабеля в зоне хранения

Множества	Элементы	Интерпретация
Q	q_1	Перемещение перегружателя вдоль рядов штабеля
	q_2	Выемка контейнера из яруса штабеля
	q_3	Вывоз контейнера во вспомогательный штабель
Σ	•	Переместиться на один ряд вправо
	×	Снять верхний контейнер
	-	Вывести контейнер во вспомогательный штабель
	q_0	Нахождение перегружателя возле первого левого ряда (автомат – в начальной вершине графа q_1)
F	f_1	Перемещение перегружателя в заданный ряд
	f_2	Выемка контейнера из заданного яруса
	f_3	Перемещение контейнера по терминалу до вспомогательного штабеля

Обсуждение (Discussion)

Рассмотрим работу автомата, представленного на рис. 1. Предположим, что необходимо достать контейнер, расположенный в первом ряду и в третьем ярусе штабеля, а затем переместить его во вспомогательный штабель, формируемый в зоне таможенного осмотра (досмотра) терминала. Ряды штабеля считаем по возрастающей слева на право, а ярусы сверху вниз, т. е. верхний ярус будет первым и т. д.

Для выполнения этих операций в автомат подается последовательность входных символов a_1, a_2, \dots, a_n . Обозначим эту последовательность как строку s_{ij} , у которой i -й индекс соответствует порядковому номеру ряда, а j -й индекс – порядковому номеру яруса штабеля. Таким образом, в автомат будет подаваться строка управления s_{13} (рис. 2).

S	1	3		×	×	×	-
-----	---	---	--	---	---	---	---

Рисунок 2 – Строка управления s_{13} , составленная из элементов множества входных символов Σ конечного автомата

Начальное состояние автомата q_0 определено как «нахождение перегружателя возле первого левого ряда (автомат – в начальной вершине графа q_1)», следовательно, перегружатель изначально находится возле первого ряда, а автомат находится в начальном состоянии, т. е. в первой вершине графа (рис. 1). После обработки первого символа $a_1 = \times$ управляющей строки s_{13} , перегружатель снимет верхний контейнер в первом ряду, а автомат перейдет по ребру во вторую вершину графа (элемент q_2 из табл. 1). Обработав символ строки $a_2 = \times$, автомат выполнит проход по петле и останется во второй вершине, а перегружатель снимет второй сверху контейнер в первом ряду. Третий символ управляющей строки снова \times , следовательно, автомат совершает проход по петле и останется по-прежнему во второй вершине, а перегружатель снимает третий по счету контейнер в первом ряду штабеля. Четвертый символ управляющей строки, заставляет автомат совершить проход по ребру в третью вершину графа (элемент q_3

из табл. 1), т. е. выполняется операция вывоза последнего снятого контейнера в зону досмотра (осмотра).

Пусть необходимо достать контейнер, расположенный в третьем ряду и во втором ярусе штабеля, а затем переместить его во вспомогательный штабель, формируемый в зоне таможенного осмотра (досмотра) терминала. Это означает, что в автомат подается управляющая строка s_{32} , со следующей последовательностью элементов (рис. 3).

S	3	2		•	•	×	×	-
-----	---	---	--	---	---	---	---	---

Рисунок 3 – Строка управления s_{32} , составленная из элементов множества входных символов Σ конечного автомата

Автомат находится в начальном состоянии q_0 , т. е. в первой вершине графа (рис. 1), а перегружатель – возле первого ряда штабеля. Последовательная обработка двух первых символов строки s_{32} (рис. 3), заставляет автомат два раза пройти по первой петле и в результате остаться в первой вершине. За один проход автомата по первой петле перегружатель перемещается на один ряд вправо, следовательно, за два прохода – будет находиться возле третьего ряда штабеля. Третий и четвертый символы строки s_{32} , заставят автомат сначала переместиться по ребру во вторую вершину, а затем выполнить проход по второй петле и остаться во второй вершине графа переходов. Проход по ребру во вторую вершину равнозначен операции снятия верхнего контейнера из третьего ряда штабеля (табл. 1), а проход по второй петле – выемку второго контейнера из этого же ряда. И наконец, последний символ рассматриваемой строки заставляет перейти автомат по ребру в третью вершину графа, что равносильно выполнению операции вывоза второго по счету снятого контейнера в зону осмотра (досмотра).

Исходя из выше изложенного, были сформулированы правила управления для конечного автомата $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ поиска и выемки контейнера из штабеля хранения (табл. 2).

Таблица 2 – Последовательности входных символов ДКА

Порядковый номер		яруса, $j = \overline{1; m}$				
ряда, $i = \overline{1; n}$		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
		Управляющая строка (последовательность из множества входных символов $\Sigma = \{ \bullet; \times; - \}$)				
1-й		x-	xx-	xxx-	xxxx-	xxxxx-
2-й	•	x-	xx-	xxx-	xxxx-	xxxxx-
3-й	••	x-	xx-	xxx-	xxxx-	xxxxx-
4-й	•••	x-	xx-	xxx-	xxxx-	xxxxx-
5-й	•••	x-	xx-	xxx-	xxxx-	xxxxx-
...
k-й		$(k, j) = (k - 1; j; 1)$				
...
n-й	n - 1	j-	j-	j-	j-	j-

Диаграмма переходов ДКА (рис. 1) и последовательности входных символов $\Sigma = \{ \bullet; \times; - \}$ (табл. 2) однозначно описывают работу перегружателя в процессе поиска, выемки и транспортировки заявленных контейнеров из штабеля хранения, т. е. по своей сути является математической моделью этого технологического процесса.

Однако, престакинг в зоне хранения предполагает не только выполнение производительных операций, таких как поиск, выемка, транспортировка целевых (заявленных на досмотр/осмотр) контейнеров, формирование из них вспомогательного штабеля, но и возврат на прежние места в штабель хранения дополнительно перемещенных контейнеров (непроизводительные операции), которые блокировали доступ перегружателя к целевому контейнеру. Учтем эти дополнительные операции в построенной модели, т. е. дополним последовательность входных символов Σ элементом o , кодирующим операции возврата в штабель хранения дополнительно перемещенных контейнеров. Дополненная диаграмма переходов ДКА показана на рис. 4.

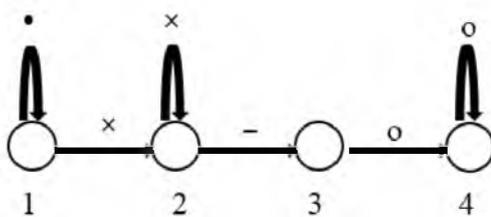


Рисунок 4 – Диаграмма престакинга ДКА

Выполним проверку работы автомата, показанного на рис. 4. Вернемся к строке s_{32} (рис. 3). Это строка управляет выемкой целевого контейнера, расположенного в третьем ряду и втором ярусе штабеля. Над искомым контейнером находится только один блокирующий контейнер, расположенный в первом ярусе, следовательно, в конце управляющей строки необходимо добавить только один дополнительный элемент (рис. 5).

S	3	2		•	•	x	x	-	o
---	---	---	--	---	---	---	---	---	---

Рисунок 5 –Пример строки управления s_{32} для расширенного ДКА

Согласно строке управления (рис. 5) ДКА считав два первых символа выполнит двойной обход первой петли на диаграмме переходов (рис. 4) и останется в первой вершине. В свою очередь перегружатель переместится из первого к третьему ряду штабеля. Обработав третий символ командной строки, автомат выполнит переход по первому ребру во вторую вершину, а перегружатель снимет блокирующий контейнер, находящийся в первом ярусе третьего ряда. Доступ к целевому контейнеру будет открыт. Четвертый символ заставит автомат выполнить переход по второй петле и оставит его во второй вершине графа переходов. Перегружатель снимет целевой контейнер из второго яруса. Считав пятый символ в строке автомат выполнит переход по второму ребру и окажется в третьей вершине. Перегружатель переместит целевой контейнер во вспомогательный штабель и вернется к третьему ряду штабеля хранения. Шестой символ заставит автомат выполнить переход по третьему ребру в четвертую вершину. Перегружатель поставит блокирующий контейнер во второй ярус третьего ряда, т. е. выполнит непроизводительную операцию возврата блокирующего контейнера на место хранения.

Выводы (Conclusion)

- В результате проведенного исследования:
- рассмотрены преимущества внедрения компьютеризированной системы грузопереработки в работу терминала порта;
 - выявлено, что основной проблемой при внедрении компьютеризированной системы грузопереработки в зоне хранения терминала является слабое развитие математического моделирования в области локальных (вспомогательных) технологических процессов;
 - разработана математическая модель поиска и выемки целевых (для таможенных целей) контейнеров из штабеля в зоне хранения терминала на языке детерминированных конечных автоматов.

Следует отметить, что предложенная модель позволяет представить логическую последовательность выполняемых операций в виде ко-

нечно-автоматного графа функционирования складского оборудования, а также разработать алгоритм автоматического управления процессом престакинга в зоне хранения. Кроме того, она является универсальной, так как рамки ее применимости можно расширить, например, применить для анализа операций на тыловом грузовом фронте при обработке железнодорожного подвижного состава.

Недостатком построенной модели является –двухмерность в описании технологического процесса расформирования штабеля, тогда как исследуемый объект (штабель) является по своей сути трехмерным (длина, ширина, высота). Данный недостаток легко устранить. Во-первых, расширить множество входных символов Σ модели дополнительным элементом «переместиться на один ряд вглубь». Во-вторых, в соответствии с этим внесенным дополнением изменить последовательность ребер в диаграмме переходов ДКА.

Литература

- Кузнецов А. Л. Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов / А.Л. Кузнецов, А.В. Галин, В.Н. Щербакова-Слюсаренко, Г.Б. Попов // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 76–83. DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.011.
- Petrlíć A. Benchmarking Analysis of Factors Influencing Container Traffic in the Port of Rijeka / A. Petrlíć, N. Pavletić // *Scientific Journal of Maritime Research*. – 2019. – Vol. 33. – Is. 2. – Pp. 119–129. DOI: 10.31217/p.33.2.1.
- Wiegman B. Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range / B. Wiegman, S. Dekker // *Benchmarking: An International Journal*. – 2016. – Vol. 23. – Is. 1. – Pp. 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.
- Кузнецов А. Л. Бенчмаркинг-показатели в технологическом проектировании контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2018. – Т. 10. – № 1. – С. 7–19. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-7-19.
- Деружинский В.Е. Инновационные транспортно-складские технологии и их эффективность в цепях поставок / В.Е. Деружинский, А.П. Шрамко, Ю.Г. Токмазов // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2016. – №3(80). – С. 3-7.
- Деружинский В.Е. Актуальные аспекты автоматизации и роботизации погрузо-разгрузочных и транспортно-складских операций / В.Е. Деружинский, А.П. Шрамко, Н.Е. Мальцева // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2016. – № 4(81). – С. 13-29.
- Маликова Т. Е. Использование теории графов при разработке математических моделей систем «смещающийся груз-спецустройство» / Т. Е. Маликова // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. – 2012. – № 2. – С. 39–42.
- Вольнов И. Н. Катастрофа сборки и моделирование морских динамических объектов в экстремальных ситуациях / И. Н. Вольнов, А. С. Шпак // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. – 2018. – № 57. – С. 184–190.
- Santosa B. Solving the Container Stowage Problem (CSP) using Particle Swarm Optimization (PSO) / Santosa B., Matsaini // – *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018 – Vol. 337. – Conference 1. – DOI: 10.1088/1757-899X/337/1/012002.
- Янченко А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 57-67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
- Кузнецов А. Л. Планирование имитационных экспериментов в задачах исследования операционных стратегий контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов, А. А. Радченко // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. – 2020. – № 4. – С. 105–112. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-105-112.
- Купцов Н. В. Разработка модели вероятностной оценки пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / Н. В. Купцов, А. Л. Кузнецов, А. В. Шатилин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2020. – Т. 12. – № 1. – С. 17–34. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.
- Кузнецов А.Л. Методика расчета технологических параметров склада морского порта методами имитационного моделирования / А. Л. Кузнецов, С. С. Валькова // *Транспортное дело России*. – 2019. – № 2. – С. 98–101.
- Янченко А.А. Дискретно-событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А.А. Янченко, Т.Е. Маликова // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2017. – № 4 (85). – С. 25–31.
- Эглит Я. Я. Выявление аварийных ситуаций при использовании портового перегрузочного оборудования с помощью заданного алгоритма / Я.Я. Эглит [и др.] // *Транспортное дело России*. – 2018. – № 6. – С. 213–216.
- Зуб И. В. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Н. Н. Стенин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2020– Т. 12. – № 6. – С. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
- Кузнецов А. Л. Подход к моделированию контейнерных терминалов на основе бизнес-процессов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2020. – Т. 12. – № 6. – С. 1039–1050. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1039-1050.
- Янченко А. А. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, И. Н. Вольнов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.

19. Кузнецов А. Л. Анализ стратегий складирования поврежденных контейнеров / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 37–44. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-37-44.
20. Маликова Т. Е. Применение технологии предварительного информирования таможенных органов при морских внеплановых грузоперевозках / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 33–45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
21. Янченко А. А. К вопросу внедрения технологии предварительного информирования в линейном судоходстве / А. А. Янченко, А. Ж. Радочинская // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2015. — № 4. — С. 19–23.
22. Янченко А. А. Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, А. В. Кузьмин // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток: сб. науч. тр. X Регион. науч. конф., посвященной 25-летию ФТС России. — Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. — С. 257–262.
23. Азовцев, А.И. Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании / А.И. Азовцев, Т.Е. Маликова, А.И. Филиппова, А.А. Янченко // Морские интеллектуальные технологии. — 2016. Т. 1. — № 3 (33). — С. 327–332.
24. Кузнецов А. Л. Планирование работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов методами имитационного моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 243–253. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253.
25. Шальто А. А. Применение динамического программирования при решении задач на конечных автоматах / А. А. Шальто, С. А. Орпанский // Компьютерные инструменты в образовании. — 2006. — № 4. — С. 26–35.
1. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Galin, Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko, and German B. Popov. “Benchmarking analysis for automated and non-automated container terminals.” *Marine intellectual technologies* 1.1 (2021): 76–83. DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.011.
2. Petrić A., N. Pavlečić. “Benchmarking Analysis of Factors Influencing Container Traffic in the Port of Rijeka.” *Scientific Journal of Maritime Research* 33.2 (2019): 119–129. 10.31217/p.33.2.1.
3. Wiegmans B., S. Dekker. “Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range.” *Benchmarking: An International Journal* 23.1 (2016): 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.
4. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. “Benchmarking indicators in technological design of container terminals.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 10.1 (2018): 7–9. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-7-19.
5. Deruzhinsky, V.E., A.P. Shramko, and Y.G. Tokmazov. “Innovative warehouse technologies and their effectiveness in supply chains.” *Ekspluatatsiyamorskogotransporta* 3 (80) (2016): 3–7.
6. Deruzhinsky, V.E., A.P. Shramko, and N.E. Maltseva. “Actual aspects of automation and robotization of loading and unloading, transport and storage operations.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (81) (2016): 13–29.
7. Malikova, T. E. “Using the theory of graphs in developing mathematical models of the systems «shifting cargoes – special equipment».” *Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East* 2 (2012): 39–42.
8. Volnov, I.N., and A.S. Shpak “Assembly catastrophe and modeling of marine dynamic objects in extreme situations.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 57 (2018): 184–190.
9. Santosa B., and Matsaini “Solving the Container Stowage Problem (CSP) using Particle Swarm Optimization (PSO).” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2018 – Vol. 337. — Conference 1. — DOI: 10.1088/1757-899X/337/1/012002.
10. Yanchenko, A. A., T. E. Malikova, and D. A. Oskin. “Experimental studies of the impact of a container terminal zoning on its operation efficiency under the conditions of the free port Vladivostok.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 11.1 (2019): 57–67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
11. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, A. D. Semenov, and A. A. Radchenko. “Planning simulation experiments in problems of studying operational strategies of container terminals.” *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaja tekhnika i tekhnologii* 4 (2020): 105–112. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-105-112.
12. Kuptsov, Nikolay V., Aleksandr L. Kuznetsov, and Andrey V. Shatilin. “Development of a model for the probabilistic assessment of annual throughput of the marine loading complex of the export coal terminal.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.1 (2020): 17–34. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.
13. Kuznetsov, A. L., and S. S. Valkova. “Method of calculation of technological parameters of the sea port warehouse methods of imitation modeling.” *Transport business in Russi* 2 (2019): 98–101.
14. Yanchenko, A.A., and T.E. Malikova. “A discrete-event model for operations in container terminals.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (85) (2017): 25–31.
15. Eglit Y., A. Kovtun, A. Dmitriev, and E. Denisova. “Identification of emergency situations when the use of port cargo handling equipment using the specified algorithm.” *Transport business in Russi* 6 (2018): 213–216.
16. Zub, Igor V., Yuri E. Ezhov, and Nikolay N. Stenin. “Model for selecting the port cargo handling equipment on the basis of modeling the port technological line.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.

References

17. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. "Approach to container terminal simulation modelling based on business processes." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1039–1050. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1039-1050.
18. Yanchenko, Anna A., Tatiana E. Malikova, and Igor N. Volnov. "Developing the model for study of terminal zoning impact on its operating efficiency." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flotaimeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
19. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, and A. D. Semenov. "Analysis of damaged containers stacking strategies." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 13.1 (2021): 37–44. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-37-44.
20. Malikova, T. E., and A. A. Yanchenko. "The implementation of preliminary informing technology of customs authorities in sea spot cargo transportation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 33–45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
21. Yanchenko, A. A., and A. Z. Radochinskaya. "K voprosu vnedreniya tehnologii predvaritel'nogo informirovaniya v linejnom sudohodstve." *Transport Aziatsko-Tihookeanskogo regiona* 4 (2015): 19–23.
22. Yanchenko, A. A., T. E. Malikova, and A. V. Kuzmin. "The Algorithm for Ship Clearance at Port According to the Technology of Preliminary Informing Customs Authorities under the Conditions of the Free Port of Vladivostok." *Territorii operezhayushchego sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya v Rossiiskoi Federatsii i svobodnyi port Vladivostok sbornik nauchnykh trudov X Regional'noi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 25- letiyu FTS Rossii. Vladivostok: Vladivostokskii filial Rossiiskoi tamozhennoi akademii*, 2016: 257–262.
23. Azovtsev, A. I., T. E. Malikova, A. I. Filippova, and A. A. Yanchenko. "The development of infological customs preliminary informing data base model for shipping company." *Marine Intellectual Technologies* 3.1(33) (2016): 327–332.
24. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. "Application the simulation modeling methods for planning a container terminal internal operations." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 243–253. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253.
25. Shalyto, A.A., and S. A. Orshansky. "Primenenie dinamicheskogo programmirovania pri reshenii zadach na konechnykh avtomatah." *Computer tools in education* 4 (2006): 26–35.