



Е. В. Нужнов, Д. С. Юрко

**ОБОБЩЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ПРОЦЕССОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПЕРЕГРУЗКИ
КОРАБЕЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ
НА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНЗИТНЫХ ТЕРМИНАЛАХ**

Рассмотрены проблемы информационной поддержки и автоматизации перегрузочных процессов на мультимодальных контейнерных терминалах в их водной зоне (на причальном фронте); представлены организация и алгоритмы процессов автоматизированного планирования загрузки, полной и частичной погрузки и выгрузки контейнеров на транзитном терминале.

This article considers the problems of information support and automation of loading and unloading processes in the sea zone of multimodal container terminals (berthage). The authors present the organization and algorithms of automated loading planning and complete and partial container loading and unloading at the transit terminal are presented.

Ключевые слова: контейнер, транзитный контейнерный терминал, секция, штабель, ряд, погрузка, выгрузка.

Key words: container, transit container terminal, bay (section), stack, row, loading, unloading.

Введение

Мультимодальный (смешанный) транзитный контейнерный терминал (ТКТ) осуществляет прием, перегрузку и вывоз грузов, упакованных в контейнеры или другие трехмерные вместители, на различных типах транспортных средств (водных, железнодорожных, автомобильных, авиационных и др.) [1–3]. Если при этом перевозки на отдельных видах транспорта осуществляет не одна компания, то такие перевозки считаются интермодальными [4].

Предлагается комбинированный общий подход к решению упомянутых задач обработки корабельных контейнеров для различных типов контейнеровозов, вариантов их секционирования, а также трехмерного расположения и установки на них контейнеров [5].

Представлены обобщенные условия и модели описания расположения контейнеров в грузовом объеме судна. Описаны статические и динамические алгоритмы, стратегии, правила и эвристики автоматизированного решения задач планирования загрузки (распределения контейнеров по секциям) судна, полной и частичной перегрузки (погрузки и выгрузки) контейнеров на отдельных ТКТ на маршруте его следования. В их рамках на уровне периодических автоматических программных или аппаратных проверок может учитываться общая продольная и поперечная остойчивость судна.

Вопросы автоматизации процессов перевалки грузов в автомобильной зоне ТКТ рассмотрены в [6–8].

1. Организация водных контейнерных перевозок



Рис. 1. Контейнеровоз [9]

Особую актуальность имеют водные (океанские, морские, озерные и речные) перевозки грузов, значительную долю которых составляют контейнерные перевозки по заранее установленным маршрутам на специализированных судах-контейнеровозах все более растущей вместимости (рис. 1).

Контейнеровозы бывают двух типов: морские (большой или предельной вместимости для обслуживания магистральных перевозок) и фидерные (меньшей вместимости для связи локальных терминалов с магистралью). Обычно используются ISO-контейнеры различной вместимости, наиболее часто – 20-футовые (TEU, являются международной единицей измерения вместимости судов-контейнеровозов) и 40-футовые. Известны разные схемы размещения контейнеров в трюме и на палубе (рис. 2).

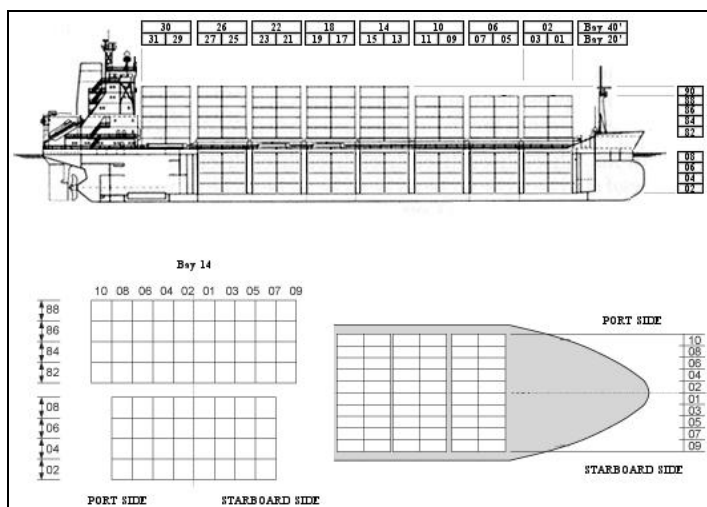


Рис. 2. Схемы размещения контейнеров [11]

Контейнеры обычно располагаются:

- своей длинной стороной вдоль (редко – поперек) бортов судна;
- поперечными секциями (длиной в один 40-футовый контейнер или в два TEU) от бака к корме. Нечетные номера секций (01, 03, ...) используются для TEU, а четные (02, 04, ...) – для 40-футовых контейнеров. Новые причальные перегрузочные краны допускают одновременную погрузку/выгрузку TEU парами в секцию на места 40-футовых;



– рядами в каждой секции, до 26 и более. Ряды нумеруются от продольной центральной вертикальной плоскости судна, причем ряды левого борта нумеруются четными числами (02, 04, ...), правого – нечетными (01, 03, ...), а центральный ряд (при его наличии) – 00 (см. рис. 2);

– вертикальными ярусами (штабелями) контейнеров в количестве 3–9 и более (ближние к бортам штабели – на 1–2 меньше других);

– по всем зонам трюма и палубы равномерно – для соблюдения общей поперечной и продольной остойчивости судна, например, не сосредоточивать контейнеры только по одному борту, на корме или баке.

Как известно, при перевозке контейнеров составляется план погрузки-выгрузки (ППВ). Он должен быть корректным, а число погружаемых контейнеров не должно нарушать возможности вместимости судна.

2. Матричная модель процесса перегрузки контейнеров

Общий ППВ маршрута должен:

– отражать динамику погрузки на ТКТ, например число погружаемых контейнеров и процент от общего их числа;

– отражать удобство и скорость перегрузки в отдельных ТКТ;

– выявлять общие тенденции заполнения грузового пространства;

– выявлять желательные участки, когда сначала проводятся дальние погрузки, затем – ближние;

– выявлять нежелательные участки, когда сначала проводятся ближние погрузки, затем – дальние, что потребует перестановки;

– исключать появление участков погрузок в самые дальние ТКТ с помощью вертикальной загрузки штабелей.

ППВ представим матрицей $W(a, b)$, где $a = 1, 2, \dots, (N + 1)$; N – число ТКТ на маршруте; $b = 0, 2N$. Пример матрицы $W(5, 10)$ для решения задачи динамического планирования частичной перегрузки с ресурсом погрузки (РП) или вместимостью 100 TEU на маршруте с $N = 4$ ТКТ приведен на рисунке 3, где T_i – ТКТ с номером i ; номер 0 имеет порт начала маршрута; V_i/Π_i – выгрузка/погрузка на ТКТ с номером i .

Процессы/ТКТ	T_1	T_2	T_3	T_4	РП
V_0					100
Π_0	20	20	40	20	0
V_1	20				20
Π_1				20	0
V_2		20			20
Π_2			20		0
V_3			60		60
Π_3			60		0
V_4				100	100
Π_4					

Рис. 3. Матрица W для $N = 4$



Из анализа матрицы следует, что погрузка в дальние ТКТ P_1 до T_4 и P_2 до T_3 при некоторых соотношениях числа контейнеров на разные ТКТ в некоторых секциях может вести к дополнительным перестановкам.

3. Особенности и стратегии планирования загрузки судна по секциям и перегрузки контейнеров на отдельном ТКТ

В связи с необходимостью частичной перегрузки контейнеров на отдельных ТКТ особую важность приобрели различные стратегии общей организации и планирования их первоначального и последующего трехмерного размещения в грузовом объеме судна. Подобные стратегии должны способствовать сохранению и увеличению общей устойчивости судна; исключению или уменьшению числа дополнительных перестановок контейнеров на отдельных ТКТ для освобождения временно заблокированных контейнеров, требующих выгрузки.

Необходимость частичной перегрузки контейнеров на отдельном ТКТ накладывает жесткие ограничения на их взаимное трехмерное размещение на борту судна. При ярусном расположении не каждый контейнер может быть непосредственно доступен для его подъема и выгрузки, что требует предварительного упорядочения контейнеров в штабеле или оперативного перемещения одного или нескольких других контейнеров, мешающих его подъему. Поэтому при погрузке на борт отдельный контейнер (чтобы не мешать выгрузке остальных) должен располагаться в штабеле тем ниже, чем дальше он перевозится и чем позже потребует его выгрузить.

Перегрузка может ухудшать общую устойчивость судна, требуя учета этого фактора безопасности или перераспределения отдельных контейнеров при их очередной перегрузке на ТКТ.

Обычно процесс перегрузки ведется параллельно несколькими причальными кранами-перегрузчиками, каждый из которых обслуживает одну или (при дефиците кранов) несколько секций контейнеров на судне (рис. 4). Предпочтительно использовать на секцию по одному крану или меньше, если не все секции требуют перегрузки на отдельных ТКТ. Масштабы процесса перегрузки отражает рисунок 5.



Рис. 4. Причальные краны-перегрузчики



Рис. 5. Перегрузка контейнеров [12]



При заранее известном числе кранов на отдельном ТКТ процесс перегрузки может быть реализован в одном из двух вариантов как результат предварительного (статического) планирования загрузки (распределения контейнеров по секциям) судна с его исполнением на каждом ТКТ или оперативного (динамического) планирования загрузки и дозагрузки для каждого ТКТ с учетом форс-мажорных нарушений ППВ, реальной производительности (времени и расстояний маневров, переноса контейнеров и холостого хода, а также простоев) отдельных кранов и других значимых обстоятельств.

Цели планирования загрузки: распределение погрузаемых контейнеров по секциям судна; исключение или минимизация числа блокировок контейнеров при их последующей выгрузке; уменьшение числа требуемых причальных кранов-перегрузателей на ТКТ.

Ключевую роль в процессе планирования загрузки играет номер порта назначения (НПН) контейнера. С учетом НПН заслуживают внимания следующие стратегии планирования загрузки: последовательное назначение в секцию контейнеров с одинаковым НПН до ее заполнения; последовательное назначение в секцию контейнеров с одинаковым НПН. На основе этих стратегий сформулируем следующую эвристику планирования первоначальной загрузки (Э1). Обозначим через s_0 число секций судна, $s = 1, 2, \dots, s_0$ — текущий номер секции, N_s — емкость секции s , i_0 — число групп контейнеров с одинаковым НПН, $i = 1, 2, \dots, i_0$ — текущий номер группы, G_i — число контейнеров в группе.

1. Начало. Упорядочить все контейнеры по убыванию НПН.

2. Выделить группы контейнеров с одинаковым НПН. Присвоить начальные значения параметров $i = 1, s = 1$.

3. По всем незаполненным s , если $G_i \geq N_s$, то назначить контейнеры группы в очередную незаполненную секцию, $G_i = G_i - N_s$, и возвратиться к 3, иначе — перейти к 4.

4. Оставшиеся контейнеры группы назначить в очередную незаполненную секцию, вычислить остаток емкости секции $N_s = N_s - G_i$, $i = i + 1, s = s + 1$, и, если $i \leq i_0$, возвратиться к 3, иначе — перейти к 5.

5. Конец.

Далее с учетом результатов предварительно рассчитанной или реальной перегрузки на отдельных ТКТ должна использоваться эвристика частичной дозагрузки всех секций, рассмотренная далее в разделе 8.

4. Условия установки контейнеров в грузовом объеме судна для быстрой последующей частичной выгрузки на ТКТ

Для ускорения процесса частичной выгрузки в идеале в каждом штабеле контейнеры должны быть предварительно или отдельной дополнительной операцией упорядочены так, чтобы:

- сверху вниз значения их НПН возрастали: условие 1 (У1);
- все они имели одно и то же значение НПН: условие 2 (У2);
- при частичном заполнении штабеля по У2 для последнего порта



маршрута (с максимальным значением НПН) пустые позиции заполнять только контейнерами, доставляемыми на следующий за текущим ТКТ маршрута: условие 3 (У3) (рис. 6).

	(У1)	(У3)	(У2)	
	НПН = 7	2	9	
	8	2	9	
	9	2	9	
	10	2	9	
	10	10	9	
04	02	00	01	03

Рис. 6. Примеры выполнения условий У1 – У3 в штабелях рядов 02, 01 и 00

При невыполнении У1 возникают вертикальные блокировки контейнеров и неизбежны излишние временные перестановки блокирующих контейнеров с непроизводительными затратами времени. У2 и У3 создают благоприятные условия выгрузки для следующих ТКТ. Итак, для быстрой частичной выгрузки необходимых контейнеров на отдельном ТКТ требуется набор эвристик выполнения основных операций частичной выгрузки-погрузки, включающий следующие (Э):

Э1 – статическое планирование первоначальной загрузки: распределение контейнеров по секциям судна;

Э2 – динамическая дозагрузка: распределение контейнеров по секциям и штабелям на каждом ТКТ;

Э3/Э4 – формирование и сопровождение очереди частичной выгрузки/погрузки контейнеров секции;

Э5 – заполнение секции контейнерами;

Э6 – освобождение искомого контейнера в штабеле секции, заставленного сверху другими, для поднятия и выгрузки;

Э7 – поиск места для контейнера в зависимости от значения НПН.

5. Динамическая частичная перегрузка контейнеров на ТКТ

Пусть у судна максимальная вместимость N контейнеров. При швартовке на ТКТ t_i на борту P_i контейнеров, а также резерв $Q_i = N - P_i$, который допустимо взять на борт. ППВ может состоять как:

1) *неизменяемый (статический)*, когда все расчеты перемещений контейнеров при операциях частичной их выгрузки и погрузки на отдельных ТКТ делаются один раз заблаговременно;

2) *изменяемый (динамический)*, когда расчет перемещений контейнеров на ТКТ t_i должен быть завершен до причаливания к нему;

3) *комбинированный*, включающий статическую составляющую, но допускающий динамическую вариацию погрузки в рамках общей вместимости. Такой ППВ максимально отвечает реальным особенностям и внеплановым ситуациям и рассчитывается как динамический вариант. Вероятность его использования растет при уменьшении вместимости.

На очередном ТКТ t_i в соответствии с ППВ производится частичная выгрузка доставленных R_i контейнеров и загрузка новых S_i контейнеров, подлежащих доставке в другие ТКТ на маршруте. При этом долж-



но соблюдаться ограничение $Q_i + R_i \geq S_i$. Оно может учитывать варианты, когда на борт «временно» берутся дополнительные контейнеры с расчетом на их выгрузку перед плановой загрузкой на ТКТ t_j .

ППВ, а также общая задача частичной перегрузки контейнеров на отдельных ТКТ маршрута могут иметь статический, динамический или комбинированный (частично динамический) характер [13; 14]. Статическая задача решается один раз после формирования статического ППВ на маршруте. Однако в реальных условиях иногда статику процесса доставки могут нарушать различные форс-мажорные обстоятельства, связанные с отсутствием контейнеров под погрузку в срок, или дополнительные щедро оплачиваемые предложения клиентов взять на борт небольшое число «попутных» или приоритетных контейнеров, да еще при наличии либо динамическом возникновении незаполненных ресурсов перевозки. Динамическая (и комбинированная) задача должна решаться каждый раз до захода на очередной ТКТ с учетом реальной предстоящей ситуации частичной выгрузки и погрузки контейнеров.

6. Общие стратегии размещения контейнеров в секции

С учетом отмеченных особенностей и факторов (числа контейнеров с равным НПН) возможны четыре стратегии заполнения секции.

1. *Вертикального заполнения рядов*, когда все ярусы штабелей секции (на отдельных ТКТ) заполняются контейнерами, предназначенными для одного ТКТ выгрузки, то есть по У2. При этом оставшиеся свободными ярусы заполняются по У3. Эта стратегия удобна, когда общее число контейнеров, доставляемых на определенный ТКТ, соизмеримо с емкостью целой секции судна, а также когда это правило заполнения можно использовать на маршруте многократно.

2. *Горизонтального упорядоченного распределения контейнеров по рядам* так, чтобы в каждом ряду в штабелях снизу вверх стояли контейнеры в порядке, обратном порядку выгрузки, то есть по У1. Нарушение У1 неизбежно приведет к дополнительным перестановкам отдельных блокирующих контейнеров в транзитных терминалах на маршруте.

3. *Комбинированная стратегия*, когда одни ряды ярусов загружаются на основе стратегии 1 (У2 + У3), другие — на основе стратегии 2 (У1);

4. *Вертикального заполнения специально сформированными партиями доставки*, упорядоченными в последовательности, обратной последовательности выгрузки. Это совместная модификация стратегий 1 и 2.

7. Общий алгоритм перегрузки контейнеров на ТКТ

Прибывший на ТКТ контейнеровоз в целях ускорения погрузки/выгрузки параллельно обслуживают несколько кранов. Обычно это причальные краны-перегрузчики ТКТ, хотя контейнеровоз может иметь до трех собственных кранов. Далее будем рассматривать только более производительный вариант с причальными кранами-перегрузчиками ТКТ. Такой кран передвигается вдоль причала по рельсам, имеет откидную стрелу и обычно обслуживает одну секцию контейнеров судна.



Информационной основой перегрузки контейнеров является общий ППВ в части, касающейся данного ТКТ. Укрупненный алгоритм перегрузки контейнеров на ТКТ включает три этапа.

1. Если требуется выгрузка контейнеров, она выполняется выделенными кранами параллельно.

2. Производится параллельная погрузка контейнеров в секции рабочего объема судна по алгоритму заполнения секции (Э5).

3. Уточняются план выгрузки и ресурсы погрузки (число контейнеров, погружаемых в каждую секцию) для следующего ТКТ на маршруте.

Суть алгоритма заполнения секции (Э5) такова.

1. Все назначенные к погрузке в секцию контейнеры упорядочиваются в очередь погрузки по убыванию значения их НПН (в целях соблюдения общей тенденции У1).

2. По очереди погрузки в следующий по номеру ряд (00, 01, ...) устанавливаются контейнеры на основе стратегии 1 (У2 + У3). Такой порядок заполнения рядов выбран для увеличения остойчивости судна. При отсутствии для заполнения штабеля по У3 контейнеров до ближайшего ТКТ на эту роль временно назначается следующий ТКТ.

3. Оставшиеся контейнеры очереди погрузки, нарушающие стратегию 1, устанавливаются на основе У1.

Примеры. Пусть контейнеровоз имеет 5 секций штабелей контейнеров. Вариант распределения контейнеров по секциям дан на рисунке 7 (носовая часть слева; сверху — количество контейнеров в каждой секции).

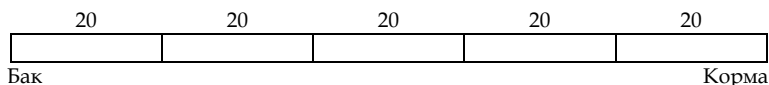


Рис. 7. Емкости 5 секций контейнеров судна (вид на левый борт)

Пусть в условной секции, имеющей 5 рядов и 4 яруса, число контейнеров в различные ТКТ $N(T_1) = 4$, $N(T_2) = 4$, $N(T_3) = 8$, $N(T_4) = 4$. Заполнение секции снизу вверх по ярусам и штабелям приведено на рисунке 8 сверху, где номера К1 – К20 – условные.

К20 (1)	К12 (3)	К4 (4)	К8 (3)	К16 (2)
К19 (1)	К11 (3)	К3 (4)	К7 (3)	К15 (2)
К18 (1)	К10 (3)	К2 (4)	К6 (3)	К14 (2)
К17 (1)	К9 (3)	К1 (НПН=4)	К5 (3)	К13 (2)
К20 (1)	К12 (3)	К4 (4)	К8 (1)	К16 (1)
К19 (2)	К11 (3)	К3 (4)	К7 (4)	К15 (3)
К18 (2)	К10 (3)	К2 (4)	К6 (4)	К14 (3)
К17 (2)	К9 (3)	К1 (4)	К5 (4)	К13 (3)
04	02	00	01	03
Левый борт				Правый борт

Рис. 8. Заполнение секции по Э5 (вверху) и при другом распределении по ТКТ (внизу)



При другом распределении контейнеров по различным ТКТ $N(T_1) = 3$, $N(T_2) = 3$, $N(T_3) = 7$, $N(T_4) = 7$ результат заполнения секции показан на рисунке 8 внизу.

8. Динамическая дозагрузка секций на отдельных ТКТ

Предварительное (статическое) планирование дозагрузки судна для отдельных ТКТ без учета результатов размещения контейнеров в секции по штабелям также может вызывать впоследствии нежелательные дополнительные перестановки заблокированных контейнеров при их выгрузке. В неблагоприятных ситуациях успех может принести эвристика динамической дозагрузки контейнеров на отдельных ТКТ (Э2), основанная на Э5. Она имеет следующие особенности.

1. После частичной выгрузки контейнеров перед процедурой дозагрузки производится оптимизация по секциям их расположения в штабелях в рамках стратегии (У2 + У3) для благоприятной дозагрузки.

2. Все назначенные к погрузке контейнеры упорядочиваются в очередь по убыванию значения их НРН (соблюдение тенденции У1).

3. Все незаполненные штабели всех секций с номерами (секция, ряд) упорядочиваются по возрастанию степени их заполнения.

4. По очереди дозагрузки в следующий штабель устанавливаются контейнеры на основе стратегии 1 (У2 + У3). При отсутствии по У3 контейнеров до ближайшего ТКТ назначается следующий ТКТ.

5. Оставшиеся контейнеры очереди погрузки, нарушающие стратегию 1, устанавливаются на основе У1.

Заключение

Достоинство предлагаемого подхода состоит в том, что представленные алгоритмы (при необходимости — с минимальными модификациями) могут быть использованы для различных вариантов секционирования контейнеровозов, трехмерного расположения и установки контейнеров на них. Это дает возможности их эффективной реализации и совершенствования, а также разработки новых общих подходов к решению описанных задач с учетом эволюционного развития ТКТ, контейнеровозов и погрузочно-разгрузочной техники.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-07-00450 офу_м.

Список литературы

1. Нужнов Е.В., Юрко Д.С., Каграманова М.С. Организация перегрузочных процессов и управления функционированием портового автоматизированного контейнерного терминала // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT'13. М., 2013. Т. 3. С. 43–50.

2. Юрко Д.С., Нужнов Е.В. Возможности и средства поддержки функционирования транзитного портового автоматизированного контейнерного терминала // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2013. № 2 (12). С. 87–95.



3. Горобец С. Путь к причалу. Новые технологии в портовых терминалах мира // Склад и техника. 2007. № 1. Разд. «Современные технологии». URL: http://www.sitmag.ru/article/technology/2007_01_A_2007_03_28-17_21_02/ (дата обращения: 14.02.2015).

4. Мультимодальные перевозки это? – определение и терминология // ТранспортММ. URL: <http://www.transportmm.ru/multimodalnye-perevozki/21-multimodalnye-perevozki.html> (дата обращения: 29.01.2015).

5. Нужнов Е. В., Юрко Д. С. Возможности и средства динамического планирования и перегрузки контейнеров на смешанных транзитных терминалах // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT'14. М., 2014. Т. 2. С. 49 – 56

6. Луцан М. В., Нужнов Е. В. Методы и средства обработки очередей контейнеров на автоматизированном грузовом терминале // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 7. С. 179 – 184.

7. Луцан М. В., Нужнов Е. В. Интеллектуальная информационная система поддержки деятельности грузового терминала // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 48 – 55.

8. Нужнов Е. В., Луцан М. В. Информационная среда поддержки автоматизированного грузового терминала на основе использования интеллектуальных агентов // Интеллектуальные системы. Вып. 6 / под ред. В. М. Курейчика. М., 2013. С. 227 – 242.

9. Контейнеровоз. 2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Контейнеровоз> (дата обращения: 06.02.2015).

10. Как устроены морские суда // Контейнерные суда. 2014. URL: <http://www.seaships.ru/container.htm> (дата обращения: 29.01.2015).

11. Система нумерации расположения контейнеров. 2014. URL: <http://www.containership.ru/types/position.htm> (дата обращения: 08.02.2015).

12. Кузнецов А. Л., Погодин В. А., Серова И. В. Автоматизация операций на современных контейнерных терминалах: состояние и перспективы // Контейнерный бизнес. 2008. № 3 (15). URL: http://wingi.ru/firms_profile/firm_id-3700/blog-150/viewMsg-306/ (дата обращения: 24.02.2015).

13. Бова В. В., Курейчик В. В., Лежебоков А. А. Многоуровневый алгоритм решения задач транспортной логистики на основе методов роевого интеллекта // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2013. № 3 (51). С. 113 – 118.

14. Запорожец Д. Ю., Курейчик В. В. Гибридный алгоритм решения задач транспортного типа // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 7 (144). С. 80 – 85.

Об авторах

Евгений Владимирович Нужнов – канд. техн. наук, проф., Южный федеральный университет, Таганрог.

E-mail: nev@tgn.sfedu.ru

Дмитрий Сергеевич Юрко – асп., Южный федеральный университет, Таганрог.

E-mail: yurko.dmt@gmail.ru

About the authors

Dr Evgeniy Nuzhnov, Professor, Southern Federal University, Taganrog.

E-mail: nev@tgn.sfedu.ru

Dmitry Yurko, PhD student, Southern Federal University, Taganrog.

E-mail: yurko.dmt@gmail.ru