

**На правах рукописи**

**ВАЛЕЕВ Руслан Сагитович**

**УПРАВЛЕНИЕ ПОГРУЗКОЙ КОНТЕЙНЕРОВ  
НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ  
ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ РОБОТИЗИРОВАННОГО  
КОМПЛЕКСА**

**Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Уфа – 2010**

Работа выполнена  
на кафедре вычислительной математики и кибернетики  
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.  
**Юсупова Нафиса Исламовна**

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.  
**Султанов Альберт Ханович** ,  
зав. кафедрой телекоммуникационных  
систем Уфимского государственного авиаци-  
онного технического университета

канд. техн. наук  
**Камильянов Артур Рамилевич** ,  
инженер-программист  
ООО «ДатаТех» группы компаний АйТи

Ведущая организация ГОУ ВПО «Уфимский государственный  
нефтяной технический университет»

Защита диссертации состоится 17 декабря 2010 г. в 10 часов  
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03  
Уфимского государственного авиационного технического университета  
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, проф.

В. В. Миронов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Задача управления загрузкой контейнеров характеризуется непрерывным повышением требований к эффективности решения задачи размещения грузов с учетом их физических характеристик, а также требованием полной автоматизации загрузки на базе роботизированных комплексов. К основным физическим характеристикам грузов относят их габаритные размеры, вес, координаты центра тяжести. Совокупность упакованных грузовых единиц называется транспортным пакетом. Контейнер может содержать множество транспортных пакетов. От эффективности загрузки объема контейнера транспортными пакетами зависит стоимость его доставки, а учет технологических требований к смещению центра тяжести загруженного контейнера позволяет снизить риск его потери во время транспортировки, риск связан с нарушением устойчивости транспортного средства в процессе его перемещения. Управление загрузкой контейнера на базе роботизированного комплекса позволяет повысить качество и надежность выполнения технологических процессов в условиях жестких требований к эффективному использованию объема контейнера и технологических ограничений по смещению центра тяжести загруженного контейнера.

Фундаментальные научные результаты в области робототехнических комплексов отражены в работах следующих отечественных и зарубежных ученых: С. Л. Зенкевича, Б. Г. Ильсова, Р. А. Мунасыпова, Н. И. Юсуповой, А. С. Ющенко, Н. Woern, J. Craig и др.

Научные результаты в области методов определения положения центра тяжести летательных аппаратов, морских сухогрузов, определения смещения центра тяжести груза в железнодорожных вагонах отражены в работах отечественных и зарубежных ученых: А. Н. Романова, Ф. И. Гиревко, Д. Г. Заворотного, А. Imai, E. Nishimura и др.

Задачи размещения грузовых единиц отражены в работах отечественных и зарубежных ученых: Э. А. Мухачевой, И. В. Романовского, А. А. Петунина, E. E. Bischoff, P. Gilmore, R. Gomory и др.

Решение задачи управления загрузкой в контейнеры с учетом их физических характеристик является междисциплинарной предметной областью, в которой используются методы решения задач теории исследования операций, современной теории обработки и управления информацией в технических системах, что определяет сложность решения задач в данной предметной области, так как в ней сохраняются нерешенные задачи различных научных областей, а также появляются новые задачи, вызванные их взаимным влиянием.

К нерешенным задачам следует отнести принципы построения информационно-управляющей системы поддержки основных этапов сопровождения грузов при их хранении и транспортировке на базе роботизированных комплексов, а также методы и алгоритмы решения многокритери-

альной задачи размещения грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик. Эффективное решение этих задач возможно на базе применения основных принципов системного анализа, информационных моделей и эволюционных алгоритмов.

Таким образом, решение задачи управления загрузкой контейнеров с учетом их физических характеристик на базе роботизированного комплекса является актуальной и своевременной.

### **Цель работы**

Целью диссертационной работы является повышение эффективности решения задачи управления размещением грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик на базе высокоэффективного метода размещения грузов в контейнере и автоматизации процессов погрузки с применением роботизированного комплекса.

### **Задачи исследования**

Исходя из поставленной цели работы определен следующий перечень решаемых задач:

1. Разработать концепцию построения информационно-управляющей системы поддержки сопровождения грузов при их хранении и транспортировке на базе системного подхода, информационных моделей и учета их физических характеристик.

2. Формализовать задачу размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик на базе концептуальной и содержательной постановок. Выбрать формальные критерии для оценки эффективности решения задачи размещения грузов в контейнере.

3. Разработать многоуровневый метод решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик.

4. Разработать алгоритмы для реализации решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик.

5. Исследовать эффективность предложенного метода и алгоритмов с помощью численного эксперимента. Реализация и внедрение полученных теоретических результатов в виде моделей, алгоритмов прикладных программ управления погрузкой грузов в контейнерах, обеспечивающих эффективность поставленных задач.

### **Методы исследования**

При работе над диссертацией использовались методы системного анализа для решения задачи построения информационно-управляющей системы погрузки грузов в контейнеры; методы обработки информации при поиске эффективных решений оптимизационных задач на основе модифицированного алгоритма решения задачи о рюкзаке, различных эвристических алгоритмов поиска решений поставленных задач. Использовался экспериментальный подход для анализа смещения центра тяжести груза с применением робота-манипулятора. При разработке алгоритмов и программ-

ного обеспечения использовались принципы объектно-ориентированного программирования. Для оценки эффективности полученных результатов использовались стандартные методы оценки результатов на базе численного эксперимента.

### **Основные научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Концепция построения информационно-управляющей системы поддержки сопровождения грузов при их хранении и транспортировке.
2. Формализация задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик на базе концептуальной и содержательной постановок.
3. Многоуровневый метод решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик.
4. Алгоритмы решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик.
5. Программная реализация и результаты оценки эффективности исследовательского прототипа роботизированной системы погрузки в контейнеры.

### **Научная новизна результатов**

1. Предложена концепция построения информационно-управляющей системы сопровождения грузов при их хранении и транспортировке на основе вертикальной декомпозиции процессов управления роботизированным комплексом погрузки. Достижение цели управления обеспечивается на основе решения многокритериальной задачи размещения с учетом физических характеристик грузов.
2. Предложена формализованная постановка задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанная на представлении данной задачи как задачи многокритериальной дискретной оптимизации. При данной постановке задачи управления погрузкой в контейнер учитываются технологические требования к плотному размещению объектов и требования к области возможного отклонения центра тяжести контейнера.
3. Предложен многоуровневый метод решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанный на решении двухкритериальной задачи дискретной оптимизации на основе последовательной комбинации решения задачи плотного размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, а также перестановок и вращений грузов в рамках полученного решения задачи плотного размещения грузов в контейнере для обеспечения достижения критерия расположения центра тяжести контейнера в границах заданной области.
4. Предложены алгоритмы для реализации решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик на основе решений задачи о рюкзаке и эволюционных алгоритмов комбинаторной оптимизации. Их совместное использование на основе эвристических правил

и критериев оптимизации позволяет адаптировать ход решения задачи управления размещением грузов в контейнере с учетом номенклатуры контейнеров и грузов.

### **Обоснованность и достоверность результатов диссертации**

Обоснованность результатов, полученных в диссертационной работе, базируется на использовании апробированных научных положений, методов исследования, корректном применении математического аппарата, согласовании новых научных результатов с известными теоретическими положениями.

Достоверность теоретических положений и выводов подтверждается результатами апробации разработанных алгоритмов размещения.

### **Практическая значимость результатов**

Практическая значимость полученных результатов заключается в повышении эффективности функционирования роботизированной системы погрузки грузов в контейнеры, а также снижении возможности потери грузов при хранении и движении транспортных средств.

Использование предложенного метода двухкритериальной оптимизации позволяет использовать его в роботизированных системах, так как его реализация имеет полиномиальную алгоритмическую сложность.

Предложенные в работе алгоритмы реализованы с помощью различных программных систем *Delphi*, *Matlab* и показали свою эффективность в ходе моделирования и натурального эксперимента.

Результаты диссертационной работы использовались для решения задач рационального размещения грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик в ООО НПФ «РД Технология» в виде методов, алгоритмов и компьютерных программ

### **Связь исследований с научными программами**

Исследования выполнялись с 2007 по 2010 г. на кафедре математики и кафедре вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, а также в рамках совместных научных проектов Уфимского государственного авиационного технического университета и Института управляющих вычислительных систем робототехники Технического университета Карлсруэ (Германия). Работа поддержана грантами Президента РФ НШ-65497.2010.9, РФФИ 10-07-91330-ННУО, ИФ ВК 03 10 ХК.

### **Апробация работы**

Основные научные и практические результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных и российских научных конференциях и семинарах:

- Международная уфимская зимняя школа-конференция по математике и физике для студентов, аспирантов и молодых ученых, Уфа, 2005;

- 32-я международная молодежная конференция «XXXII Гагаринские чтения», Москва, 2006 ;
- Всероссийская молодежная научная конференция «Мавлютовские чтения», Уфа, 2007;
- 9-я международная конференция по информатике и информационным технологиям (CSIT'2007,2010), г. Уфа, 2007; Москва–С.-Петербург, 2010.
- 14-я Байкальская международная школа-семинар «Методы оптимизации и их приложения», Иркутск–Северобайкальск, 2008;
- Всероссийская конференция «Проблемы оптимизации и экономические приложения», Омск, 2009;
- 13-й Международный симпозиум по задачам информационного управления в производстве (IFAC), Москва, 2009;
- Всероссийская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций» (DOOR-2010), Республика Алтай, 2010.

### **Публикации**

Результаты диссертационной работы отражены в 15 публикациях, в том числе в 1 статье из списка ВАК РФ, 13 материалах международных и российских конференций, 1 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного материала, библиографического списка и содержит 130 страниц основного текста. Библиографический список включает 108 наименований литературы.

**Выражаю благодарность** профессору Э. А. Мухачевой за консультации и советы при выполнении исследований в области задач дискретной оптимизации.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования в области решения задач управления размещения грузов в контейнерах, разработкой методов и алгоритмов обработки информации при размещении грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик: габаритных размеров, веса и расположения центра тяжести на базе роботизированных комплексов. Формулируется цель работы и решаемая в ней задача, обсуждается научная новизна и практическая ценность выносимых на защиту результатов.

**В первой главе** проводится анализ существующих подходов решения задач управления погрузкой грузов в контейнере.

На основе проведенного анализа принципов, методов и алгоритмов сделан вывод о том, что на сегодня в этой области существует целый ряд нерешенных задач.

С учетом вышеизложенного, в работе формулируются основные принципы построения роботизированных комплексов для решения задач управления погрузкой грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик: габаритных размеров, веса и расположения центра тяжести на базе роботизированных комплексов.

**Во второй главе** предложена концепция построения информационно-управляющей системы сопровождения грузов при их хранении и транспортировке на основе вертикальной декомпозиции процессов управления роботизированным комплексом погрузки и учета физических характеристик грузов. Отмечается, что достижение цели управления основано на решении многокритериальной задачи размещения грузов в контейнере при их хранении и транспортировке с учетом физических характеристик грузов.

Предложена формализованная постановка задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанная на представлении данной задачи как задачи многокритериальной дискретной оптимизации. Делается вывод, что в отличие от известных постановок данная постановка позволяет решить задачу управления погрузкой с учетом всех технологических требований, предъявляемым к результатам погрузки контейнера.

Предлагается иерархическая архитектура построения информационной системы управления рациональным размещением грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик на базе роботизированного комплекса погрузки.

На рис. 1 представлена структурная схема САУ роботизированным комплексом погрузки. САУ имеет иерархическую структуру, состоящую из следующих основных уровней: уровня планирования, уровня координации, уровня исполнения.

Для достижения глобальной цели рационального размещения грузов в контейнере с учетом физических характеристик необходимо на уровне планирования решить следующие задачи: планирование размещения грузов в контейнер, планирование траекторий движений робота-погрузчика, размещения грузов с учетом физических характеристик, анализа трехмерных сцен, коррекции траекторий движения. На уровне координации разработанной САУ решаются следующие задачи: управление манипуляционной системой, коррекция задачи управления погрузочными операциями. На исполнительном уровне решается задача анализа физических характеристик груза с помощью силомоментного датчика, а также задача захвата груза.



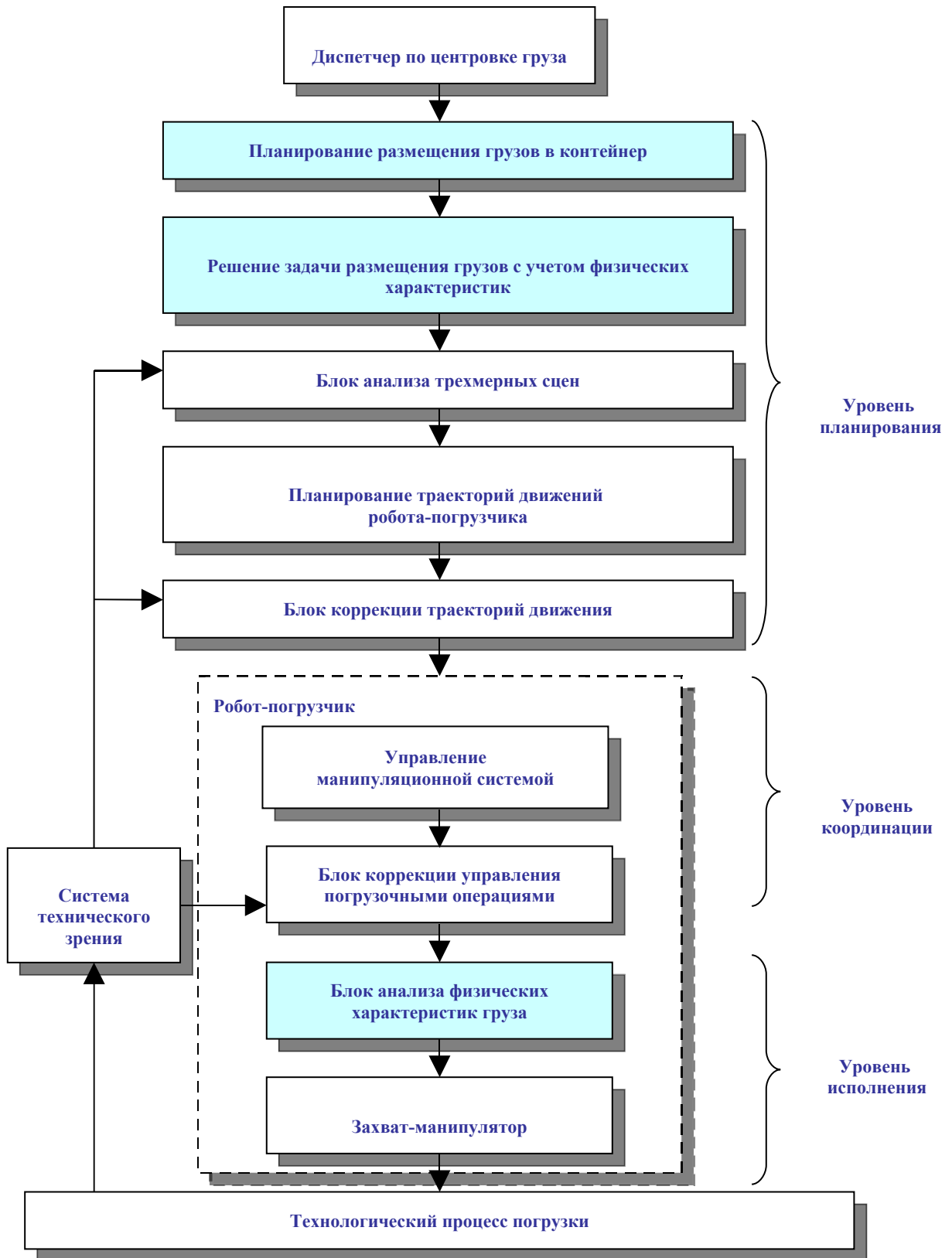


Рисунок 1 – Структурная схема САУ роботизированным комплексом погрузки

Предлагается математическая модель задачи плотного размещения грузов в контейнеры с учетом положения центра тяжести грузов.

В качестве исходной информации для этой модели используется следующий набор данных:

$$\langle W, L, H, n, w, l, h, m, C \rangle, W, L, H, n, w, l, h, m, C \in Z^+,$$

где  $W$  – ширина загружаемого контейнера;  $L$  – длина загружаемого контейнера;  $H$  – высота загружаемого контейнера;  $n$  – количество грузовых единиц;  $w = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_n)$  – вектор ширин грузов;  $l = (l_1, \dots, l_i, \dots, l_n)$  – вектор длин грузов;  $h = (h_1, \dots, h_i, \dots, h_n)$  – вектор высот грузов;  $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$  – вектор масс грузов, где  $m_i$  – масса  $i$ -го груза;  $C = (cg_1, cg_2, \dots, cg_n)$  – упорядоченное множество векторов координат центров тяжести заданных грузов;  $cg_i = (x_{iu,m}, y_{iu,m}, z_{iu,m})$  – вектор координат центра тяжести  $i$ -го груза по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

Решение рассматриваемой задачи представляется в виде набора данных:

$$\langle X, Y, Z, CG \rangle, X, Y, Z, CG \in Z^+,$$

где  $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ ,  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n)$ ,  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n)$  – векторы координат переднего левого нижнего угла размещенных грузов;  $CG = (X_{u,m}, Y_{u,m}, Z_{u,m})$  – координаты расположения центра тяжести загруженного контейнера в допустимой области  $G$ , представляемую в нашем случае в виде цилиндра

$$G = (x - L/2)^2 + (y - W/2)^2 = R^2, \quad (1)$$

$$h_1 \leq z \leq h_2,$$

где  $R$  – радиус основания цилиндра,  $h_1, h_2$  – границы значения допустимой высоты цилиндра.

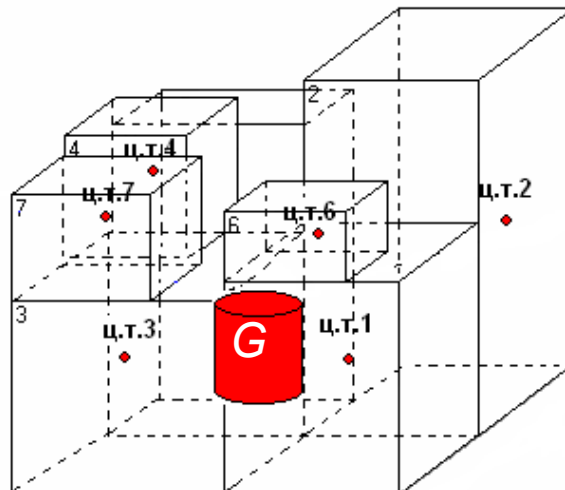


Рисунок 2 – Пример размещения грузов в контейнере с заданной допустимой областью  $G$  расположения центра тяжести контейнера

На рис. 2 представлен пример размещения грузов с заданной допустимой областью  $G$  расположения центра тяжести контейнера.

Предложен многоуровневый метод решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанный на решении двухкритериальной задачи дискретной оптимизации на основе последовательной комбинации решения задачи плотного размещения грузов в контейнере и размещения их с учетом их физических характеристик. В отличие от известных методов размещения грузов учитывается критерий плотного размещения грузов в заданном объеме контейнера, а также решается задача переупаковки грузов на основе их перестановок и вращений для удовлетворения критерию расположения центра тяжести контейнера в границах заданной области  $G$ .

Обобщенное представление алгоритмической структуры решения задачи размещения грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик представлено на рис.3.



Рисунок 3 – Обобщенное представление алгоритмической структуры решения задачи размещения грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик

В качестве первого критерия оптимизации для решения задачи размещения грузов с учетом их физических характеристик выбрано плотное размещение грузов в объеме контейнера, в рамках которого необходимо решить следующие две подзадачи.

Задача 1. Размещение грузов в контейнеры без ограничения их высоты.

Дано: набор исходных данных  $\langle W, L, H, n, w, l, h \rangle$ .

Требуется: минимизировать высоту занятой части контейнера

$$H = \max_{i=1, \dots, n} (z_i + h_i) \rightarrow \min_P, \quad (2)$$

где  $P$  – множество различных размещений грузов.

Решение задачи рассматривается при следующих ограничениях:

$$1^0. ((x_{jl} = x_j) \vee (x_{jl} = x_j + l_j)) \wedge ((y_{jl} = y_j) \vee (y_{jl} = y_j + w_j)) \wedge ((z_{jl} = z_j) \vee (z_{jl} = z_j + h_j)),$$

где  $(x_{jl}, y_{jl}, z_{jl})$  – координаты  $l$ -й вершины  $j$ -го груза для  $j=1, \dots, n$ .

$$2^0. (x_i \geq (x_j + l_j) \vee x_j \geq (x_i + l_i)) \vee (y_i \geq (y_j + w_j) \vee y_j \geq (y_i + w_i)) \vee (z_i \geq (z_j + h_j) \vee z_j \geq (z_i + h_i)),$$

для  $i \neq j, i, j = 1, \dots, n$ .

$$3^0. (x_i \geq 0) \wedge (y_i \geq 0) \wedge (z_i \geq 0) \wedge (L \geq (x_i + l_i)) \wedge (W \geq (y_i + w_i)),$$

для  $i=1, \dots, n$ .

Задача 2. Размещение грузов в контейнеры ограниченной высоты.

Дано: набор исходных данных  $\langle W, L, H, n, w, l, h \rangle$ .

Требуется: минимизировать количество упакованных контейнеров

$$N \rightarrow \min_P, \quad (3)$$

где  $P$  – множество различных размещений грузов.

Решение задачи рассматривается при следующих ограничениях:

$$1^0 - 3^0 \text{ Задачи 1};$$

$$4^0. (x_i \geq 0) \wedge (y_i \geq 0) \wedge (z_i \geq 0) \wedge (L \geq (x_i + l_i)) \wedge (W \geq (y_i + w_i)) \wedge (H \geq (z_i + h_i)).$$

В качестве второго критерия оптимизации для решения задачи размещения грузов с учетом их физических характеристик выбран критерий размещения грузов с учетом их центров тяжести.

Решение задачи предлагается рассматривать в следующей постановке: задан следующий набор исходных данных  $\langle X, Y, Z, m, C \rangle$ , где  $X, Y, Z$  – векторы координат переднего левого нижнего угла размещенных грузов. Необходимо минимизировать отклонение центра тяжести упакованного контейнера от его геометрического центра (точки пересечения диагоналей):

$$d = \sqrt{(X_{ц.м.} - L/2)^2 + (Y_{ц.м.} - W/2)^2 + (Z_{ц.м.} - H/2)^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где

$$X_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ц.м.}^i * m_i)}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad Y_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ц.м.}^i * m_i)}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad Z_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^n (z_{ц.м.}^i * m_i)}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

$X_{ц.м.}, Y_{ц.м.}, Z_{ц.м.}$  – координаты центра тяжести загруженного контейнера;

$x_{ц.м.}^i, y_{ц.м.}^i, z_{ц.м.}^i$  – координаты центра тяжести  $i$ -го груза;

$m_i$  – масса  $i$ -го груза.

Решение данной задачи рассматривается при следующих ограничениях:

$$(x - x_{цм})^2 + (y - y_{цм})^2 \leq R^2, \tag{5}$$

$$h_1 \leq Z_{ц.м.} \leq h_2.$$

В конце главы делается вывод о необходимости разработки алгоритмов, обеспечивающих эффективную реализацию предложенного метода с учетом различной номенклатуры контейнеров и грузов.

**В третьей главе** предложены алгоритмы для реализации решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, базирующиеся на решении задач дискретной оптимизации на основе решения задачи о рюкзаке и эволюционных алгоритмов.

**Алгоритм размещения грузов (ЗДВРПWL)**

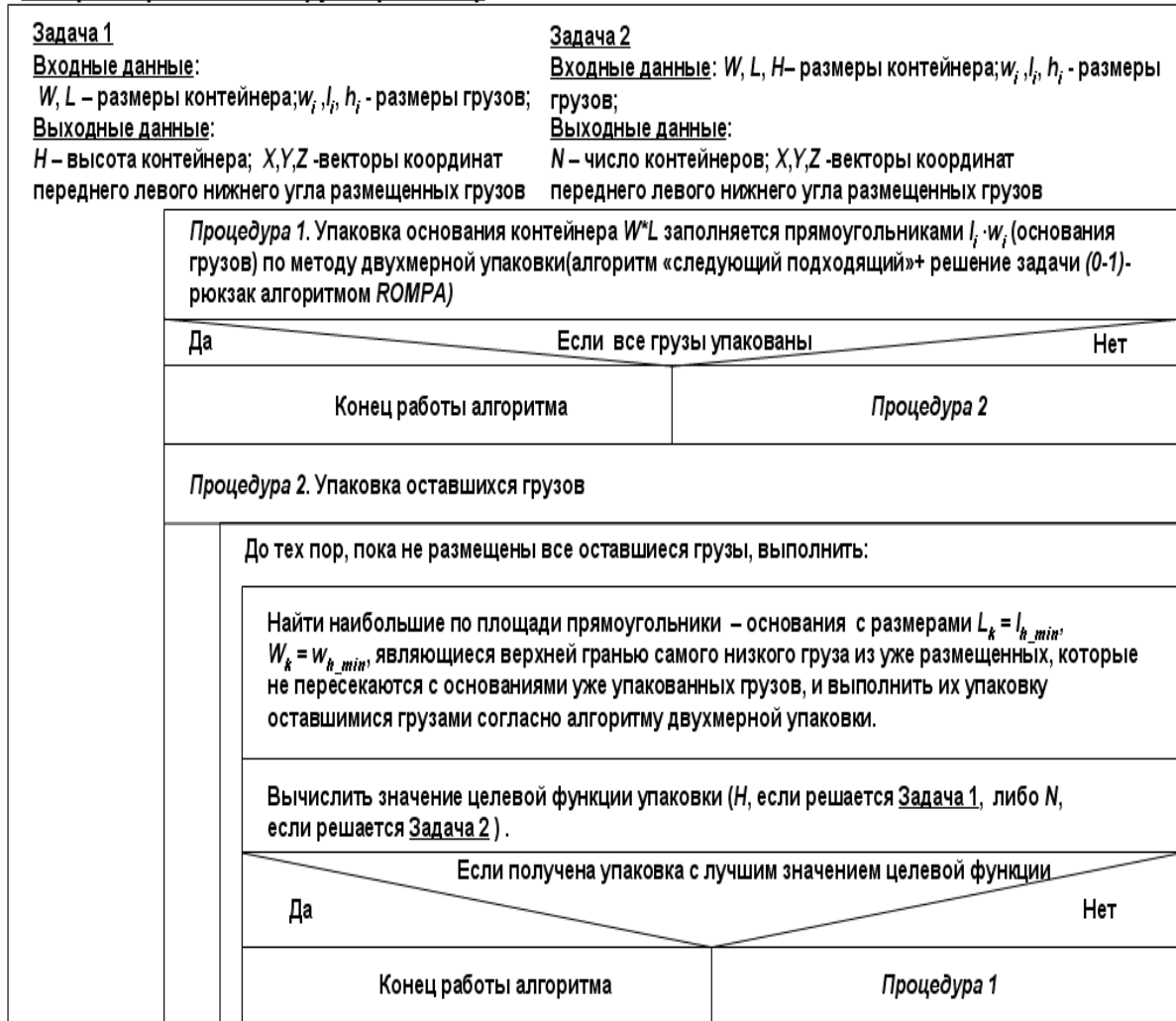


Рисунок 4 – Структурограмма алгоритма размещения грузов в контейнеры

Отмечается, что в отличие от известных подходов, выбор их комбинации определяется применением эвристических правил и критериев, что позволяет адаптировать ход решения задачи в зависимости от различной номенклатуры контейнеров и грузов.

Структурограмма алгоритма размещения грузов в контейнеры представлена на рис. 4.

В рамках выполненных исследований выполнен анализ эффективности работы предложенного алгоритма размещения грузов в контейнеры.

На рис. 5 представлены результаты численного эксперимента.

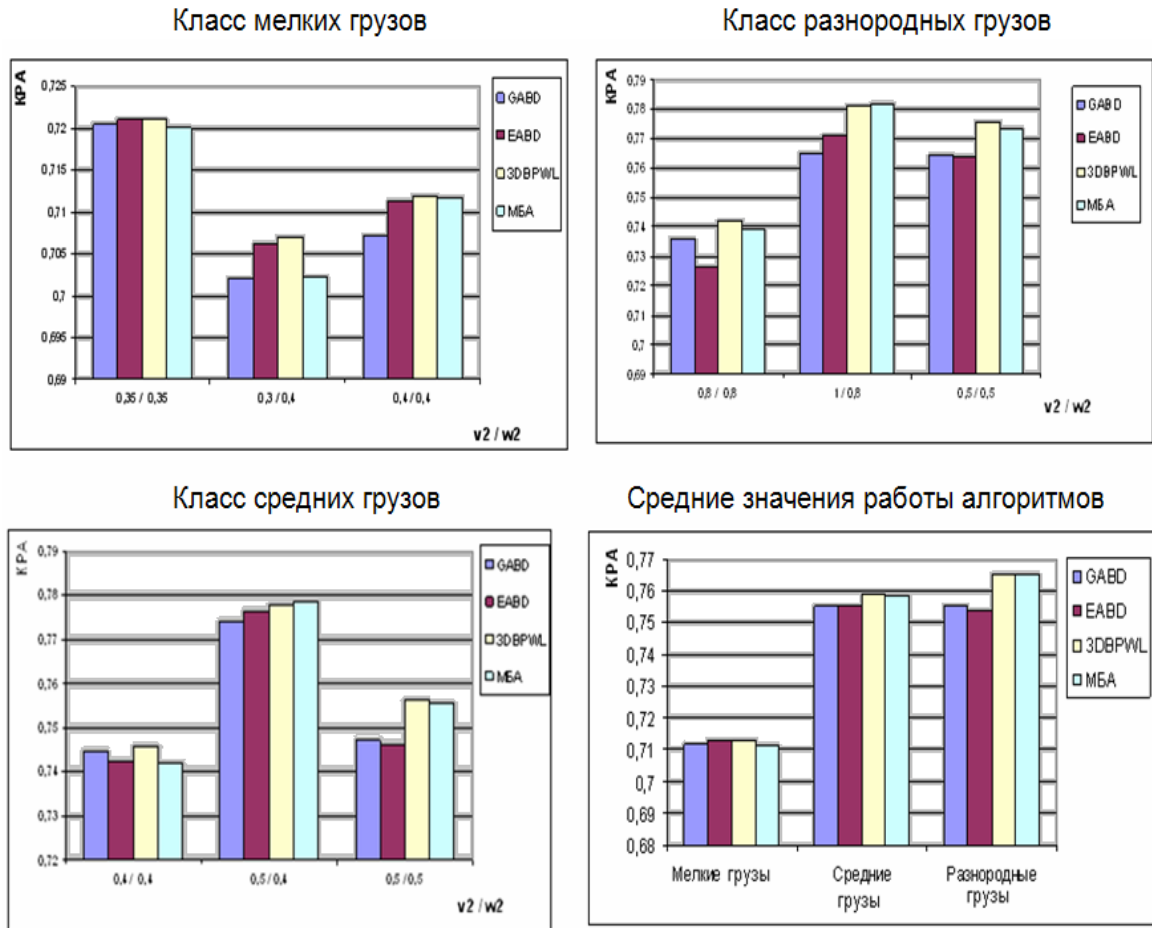


Рисунок 5 – Результаты анализа эффективности алгоритма трехмерного размещения

Структурограмма алгоритма размещения грузов на основе эволюционного алгоритма (1+1)-EA представлена на рис. 6.

На рис. 7 представлен пример реализации предложенного двухэтапного метода размещения контейнеров на базе разработанных алгоритмов для 12 грузовых единиц.

В конце главы делается вывод об эффективности разработанных алгоритмов управления размещением грузов в контейнерах с учетом их физических характеристик.

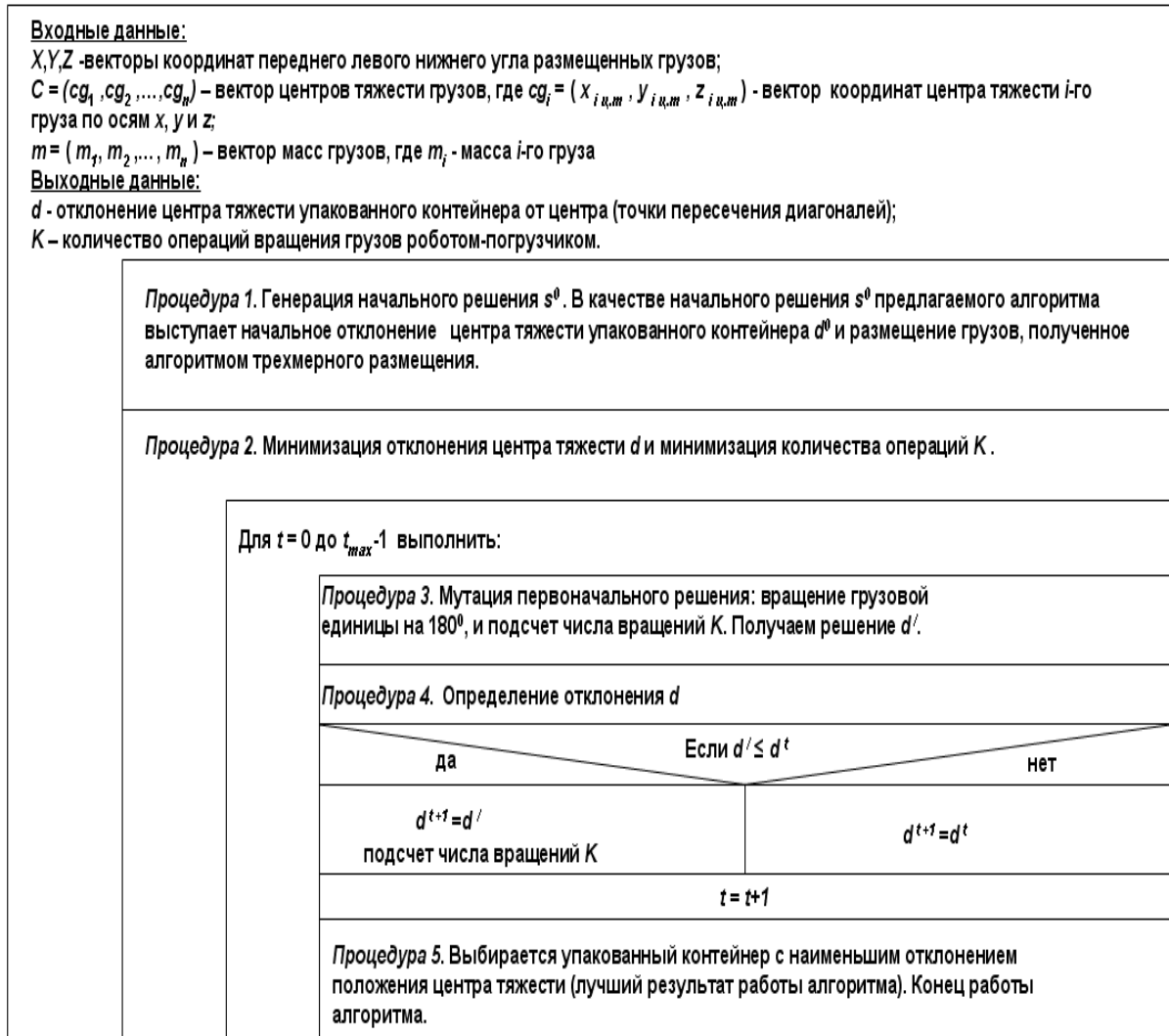


Рисунок 6 – Структурограмма алгоритма размещения с учетом центра тяжести контейнера на основе эволюционного алгоритма (1+1) – EA

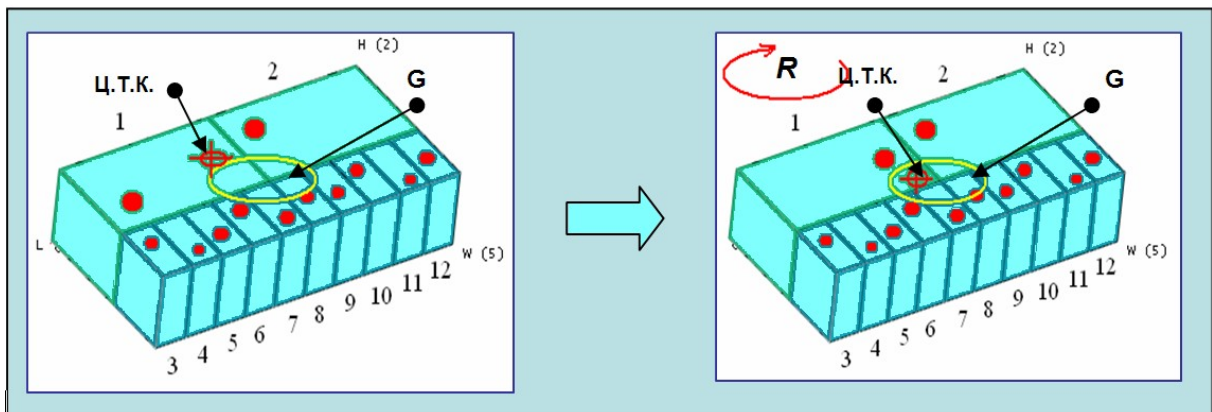


Рисунок 7 – Пример решения задачи многокритериальной оптимизации на базе разработанного метода погрузки контейнеров

Делается также вывод о необходимости разработки роботизи-рованного комплекса для автоматизации решения задачи управления погрузкой в контейнеры.

**В четвертой главе** выполнено исследование эффективности предложенного метода управления размещением грузов в контейнерах и алгоритмов на реальных примерах, при этом учитывались возможные отклонения размеров грузов и контейнеров от заданных.

Рассматривается программный прототип решения задачи управления погрузкой грузов в контейнеры на базе пакетов *Matlab, Delphi*, в которых реализованы элементы предложенной информационно-управляющей системы: модуль считывания данных с силомоментного датчика и вычисления координат центра тяжести грузовой единицы, а также модуль решения задач оптимизации размещения грузов в контейнерах.

В конце главы на основе результатов численного эксперимента делается вывод об эффективности предложенных алгоритмов решения управления погрузкой грузов в контейнеры.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена концепция построения информационно-управляющей системы сопровождения грузов при их хранении и транспортировке на основе вертикальной декомпозиции процессов управления роботизированным комплексом погрузки, анализом физических характеристик грузов на различных этапах сопровождения. Показано, что данный подход позволяет обеспечить достижение цели управления на основе решения многокритериальной задачи размещения с учетом физических характеристик грузов на различных этапах сопровождения грузов: хранения и транспортировки.

2. Предложена формализованная постановка задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанная на представлении данной задачи как задачи многокритериальной дискретной оптимизации, что позволяет решить задачу управления погрузкой с учетом основных технологических требований при сопровождении грузов.

3. Разработан многоуровневый метод решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик, основанный на решении двухкритериальной задачи дискретной оптимизации на основе последовательной комбинации решения задачи плотного размещения грузов, а также перестановок и вращений грузов в рамках полученного решения задачи плотного размещения грузов в контейнере, что позволяет обеспечить выполнение критерия расположения центра тяжести контейнера в границах заданной области.

4. Разработаны алгоритмы для реализации решения задачи размещения грузов в контейнере с учетом их физических характеристик на основе решений задачи о рюкзаке и эволюционных алгоритмов комбинаторной оптимизации, что позволяет обеспечить эффективное решение с учетом номенклатуры контейнеров и грузов.



5. Предложенные в работе теоретические положения реализованы в виде алгоритмов и прикладного программного обеспечения управления погрузкой грузов в контейнеры. Предложенная роботизированная система погрузки грузов в контейнеры позволяет повысить эффективность решения задачи управления погрузкой на 10 – 15%.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикация из списка ВАК*

1. Локальный поиск размещения товарных позиций на базе анализа их номенклатурной принадлежности / Э.А. Мухачева, Р.С. Валеев // Информационные технологии. 2010. № 6. С. 18–23.

### *Другие публикации*

2. Планирование оперативных перевозок грузов малым потребителям / Р. С. Валеев // Материалы международной зимней школы-конференции по математике и физике для студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа, 2005. С. 10–13.

3. Оптимальное размещение элементов на основе эволюционного алгоритма / Р. С. Валеев // XXXII Гагаринские чтения : материалы междунар. молодежн. конф., М. : МАТИ, 2006. С. 5.

4. Использование топологических структур для конструирования плотных упаковок / Р. С. Валеев // Мавлютовские чтения : матер. Всерос. молодежн. науч. конф., Уфа : УГАТУ, 2007. С. 12.

5. Применение топологических структур для построения прямоугольных упаковок / Р. С. Валеев // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2007) : матер. 9-й Международ. конф., Красноусольск – Уфа : УГАТУ, 2007. С.34 –38. (Статья на англ. яз.)

6. Локальный поиск ортогональных упаковок с использованием решений задачи (0-1)-рюкзак / А. Ф. Валеева, Р. С. Валеев, Э. А. Мухачева // Методы оптимизации и их приложения, Иркутск-Северобайкальск тр. XIV Байкальск. междунар. shk.-сем., 2008. С. 338–346.

7. Задача ортогональной упаковки поиска решений в окрестности с эффективной нижней локальной границей / Р. С. Валеев // Актуальные проблемы в науке и технике. // Сб. ст. 3-й Всерос. зимн. shk.-сем. аспирантов и молодых ученых (20–23 февраля 2008). Уфа : Диалог. 2008. Т.1. С. 94–97.

8. Локальный поиск ортогональных упаковок с использованием задачи о (0-1)-рюкзаке / Р. С. Валеев // Проблемы оптимизации и экономические приложения : Всерос. конф. Омск, 2009. С. 215.

9. Локальный поиск ортогональных упаковок: использование точных решений задачи о (0-1) рюкзаке / А. Ф. Валеева, Р. С. Валеев, А. С. Филипова // Проблемы управления информацией в производстве : тр. 13-го симп. ИФАК. М. : ИПУ РАН, 2009. С. 1137–1141. (Статья на англ. яз.)

10. Нижние границы для задачи упаковки / В. М. Картак, М. А. Месягутов, Р.С. Валеев // Проблемы управления информацией в производстве : тр. 13-го симп. ИФАК. М. : ИПУ РАН, 2009. С. 2003–2007. (Статья на англ. яз.)
11. Обзор основных моделей теории логистики / Р. С. Валеев // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2009. Вып. 6. С. 119–124.
12. Рациональное размещение грузов в контейнер с требованиями к положению центра тяжести на основе роботизированного комплекса / Р. С. Валеев, Б. Хайн, Х. Вёрн // Дискретная оптимизация и исследование операций : матер. Всерос. конф. Республика Алтай: ИМ СО РАН, 2010. С. 111. (Статья на англ. яз.)
13. Рациональное размещение грузов в контейнере с учетом требований размещения центра тяжести на базе роботизированного комплекса / Р. С. Валеев, Б. Хайн, Х. Вёрн // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2010) : матер. 12-й Международ. конф., М. – СПб., 2010. Т.2. С. 16-20. (Статья на англ. яз.)
14. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2010615518. Вычисление центра тяжести груза с применением силомоментного датчика / Р. С. Валеев // М.: Роспатент, 29 июня 2010.
15. Размещение грузов с учетом их физических характеристик с помощью роботизированного комплекса / Н. И. Юсупова, Р. С. Валеев // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2010) : матер. 12-й Международ. конф., М. – СПб., 2010. Т. 3. С. 30–33. (Статья на англ. яз.)

Диссертант

Р. С. Валеев

ВАЛЕЕВ Руслан Сагитович

УПРАВЛЕНИЕ ПОГРУЗКОЙ КОНТЕЙНЕРОВ  
НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ  
С ПОМОЩЬЮ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати 13.11.2010. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр. – отт. 1,0. Уч. – изд. л. 0,9.  
Тираж 100 экз. Заказ № 451.  
ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Центр оперативной полиграфии  
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12