

На правах рукописи



Захарова Екатерина Михайловна

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
В ЗАДАЧАХ РАСПИСАНИЯ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Специальность: 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка
информации
(информационные и технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018 г.

Работа прошла апробацию на кафедре «Инфокоммуникационные системы и сети» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор
Пащенко Федор Федорович

Работа представлена «25» июня 2018 г. в Аттестационную комиссию федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» для рассмотрения советом по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук в соответствии с п. 3.1 ст. 4 Федерального закона «О науке и государственной научно-технической политике»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Данная работа посвящена моделированию алгоритмов оптимизации для системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте, а также построению эффективного расписания для управления железнодорожными перевозками с использованием адаптивных алгоритмов. Железнодорожный транспорт в России представляет крупнейшую транспортную сеть с высокой степенью интенсивности перевозок: 35% мирового грузооборота и около 18% пассажирооборота при наличии 7% протяженности железных дорог мира. Однако системы, основанной на единой онтологии, базе данных и способной решать задачи, представленные в данной области, в России не существовало до 2012 года, когда было решено создать подобную систему. Задача развития данной автоматизированной системы для других, еще не реализованных задач управления, является наиболее востребованной в области перевозок, так как позволит повысить эффективность использования транспортного парка. Методы теории искусственного интеллекта в настоящее время все шире применяются в управлении на железнодорожном транспорте. Особенно эффективен данный подход в области построения автоматизированных систем управления. Он позволяет создать гибкую, адаптированную систему управления, обрабатывающую большие объемы данных и производящей расчеты в сотни раз быстрее ручных операций в реальном времени.

Существует несколько современных типов железных дорог помимо стандартной двухколейной дороги, например, монорельс, маглев и железная дорога типа H-Bahn. Последний вид относится к подвесной железной дороге, поезда на которой управляются с помощью автоматизированной системы, без машиниста. На данный момент существуют всего лишь две подобные системы, которые расположены в Германии. Проектирование подобной системы ведется и в России, поэтому разработка подобных систем является крайне актуальной. Разрабатываемая система управления применима как к обычному рельсовому транспорту, так и к подобным подвесным системам и другим типам железных дорог.

Задача обеспечения локомотивным парком и задача содержания его в необходимом эксплуатационном состоянии – одна из важнейших задач транспортной компании, особенно в России, где железнодорожные перевозки обеспечивают основной поток пассажирских и товарных перевозок. Создание систем поддержки принятия решений также актуально вследствие того, что до сих пор всё делалось вручную сотрудниками подразделений управления железных дорог, в связи с чем зачастую из-за большого объема информации и невозможности наперед рассчитать состояние всего транспортного парка эффективность и время принятия решений не удовлетворяет современным условиям при высокой интенсивности перевозок. Поэтому руководством Российских железных дорог (РЖД) было принято решение создать систему, автоматизирующую процессы принятия решений и позволяющую не только рассчитать текущее состояние парка, но и спрогнозировать его поведение на более дальние горизонты для своевременного принятия мер по выполнению планов перевозок.

Степень разработанности темы. Задачам оптимизации планирования работы в области железнодорожных перевозок посвящены многочисленные отечественные и зарубежные исследования. Исследованию математических моделей управления посвящено множество работ, однако системы, позволяющей решать подобные задачи в специфике российских железных дорог, разработано и реализовано не было. Данная работа посвящена анализу

технологического процесса этих перевозок, систематизации правил и требований к системе, моделированию и дальнейшей разработке автоматизированной системы для решения вышеописанных задач.

Цели и задачи исследования. Разработка подсистем единой Интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) для решения следующих теоретических и прикладных задач:

- задача планирования необходимого локомотивного парка на заданный период для конкретных полигонов РЖД. В связи с большим объемом грузовых перевозок железнодорожным транспортом перед компанией ставится задача обеспечения такого количества локомотивного парка, которое способно осуществить заданный объем перевозок. При этом планирование осуществляется на различных горизонтах планирования, начиная с года и заканчивая месяцем, для получения вначале общего, а затем более детального списка мер по приведению текущего объема локомотивного парка к требуемому количеству. В дополнение к этому проводится анализ состояния каждого элемента парка – тягово-подвижного состава (ТПС) для выявления тех локомотивов, для работы которым потребуется дополнительное техническое обслуживание;
- задача планирования и прогнозирования ремонтов локомотивного парка на заданный период, как количественно, так и качественно, для каждого ТПС в эксплуатируемом парке для дальнейшего распределения их на ремонтные предприятия. Большой объем перевозок требует содержать огромное количество локомотивов. Однако недостаточно просто привести содержание парка ТПС к необходимому количеству, необходимо так же и поддержание каждого элемента данного парка в рабочем состоянии. Для этого каждый локомотив должен периодически проходить техническое обслуживание в соответствии технологическим стандартам в связи с чем для каждого локомотива должен быть рассчитан календарь проведения различных типов ремонтов с учетом текущего и среднего пробегов и циклограммы ремонтов ТПС;
- задача распределения ремонтов на заданный период, решающая задачу распределения полученного ранее графика ремонтов между ремонтными предприятиями в соответствие заданным технологическим, экономическим и временным ограничениям. Предыдущие две подсистемы решают задачу обеспечения необходимого локомотивного парка и расчета графика проведения необходимого технического обслуживания. Однако возможности ремонтных предприятий ограничены, и поэтому необходимо заранее планировать ремонтные мероприятия не только для каждой единицы ТПС, но и для всего парка в целом для обеспечения их оптимального распределения по соответствующим предприятиям, чтобы максимально заполнить мощности ремонтных заводов и провести максимально возможное количество технического обслуживания и ремонтов;
- задача подбора локомотивов под поезда с подобранными нитками вариантного графика (маршрутами поездов с указанием станций и времен прибытия на них). Наиболее критичными к эффективности и времени ее решения являются задачи планирования перевозок на короткий период, например, сутки. Первичной задачей планирования временного графика движения грузовых поездов является задача их

распределения по доступным временным окнам графика движения. При этом следует не только распределить необходимое количество поездов, но и сделать это, следуя технологическим особенностям грузовых железнодорожных перевозок, а также для повышения эффективности использования тяговых ресурсов;

- задача подбора явок (времени следующего выхода на работу) для локомотивных бригад, решающая проблему подбора следующей явки для бригады, сдавшей смену, а также заполнения норм явок для различных смен. После определения точного маршрута следования поезда и локомотивов, способных провезти поезд по этому участку в заданные временные интервалы, начинается последний этап полного формирования данного состава – подбор локомотивных бригад. Однако для этого снова необходимо решить задачу обеспечения станций необходимым количеством бригад, которые способны выйти в требуемые смены, при этом соблюдая все нормы режима труда и отдыха, установленных трудовым кодексом (ТК) страны и особенностями работы на железной дороге. Для этого необходимо для каждой бригады рассчитать продолжительность ее работы, вследствие чего рассчитывается и ее отдых, а также решаются дополнительные задачи по выводу некоторых бригад с отдыха для заполнения норм явок для конкретной станции.

Объекты исследования: тяговые ресурсы, включающие в себя различные виды поездов, локомотивов и составляющих их секций, локомотивные бригады, процессы управления данными ресурсами в зависимости от поставленных задач.

Область исследования: процессы управления транспортными перевозками РЖД, модели и методы построения эффективного расписания и распределения ресурсов, а также назначения конкретных единиц на определенные перевозки.

Научная новизна диссертации заключается в развитии и разработке дополнительных подсистем автоматизированной системы управления ИСУЖТ, помогающей оперативно-диспетчерскому персоналу и руководству подразделений решать сформулированные выше задачи. Для их решения были проанализированы технологические процессы управления на железной дороге, выявлены проблемы и сформулированы требования к разрабатываемым подсистемам. В диссертации разработаны подсистемы, автоматизирующие процессы принятия управленческих решений:

- подсистема «Управление ремонтами ТПС» для решения задачи построения графиков ремонтов для каждого локомотива в транспортном парке и их распределения по соответствующим ремонтным предприятиям;
- подсистема «Комплексная задача обеспечения ТПС» для решения задачи планирования локомотивного парка на заданный период для обеспечения требуемого объема перевозок;
- подсистема «Оперативное управление эксплуатационной работой» для решения задачи привязки конкретных локомотивов для поездов с определенными нитками вариантного графика;
- подсистема «Подбора явок локомотивных бригад» для решения задачи планирования следующей явки для локомотивных бригад с учетом нормативов времени отдыха и работы бригад.

Для каждой подсистемы была построена своя модель и разработан свой алгоритм решения, которые позволили не только автоматизировать расчет, но и найти необходимое решение с учетом всех технологических особенностей каждой задачи, которые подробно рассмотрены в работе.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что были разработаны, модифицированы и применены следующие алгоритмы:

- модифицированный алгоритм аукционов с использованием метода Хуана в качестве критерия останова для решения транспортной задачи передислокации локомотивов между депо;
- гибридный генетический алгоритм для поиска оптимального решения задачи подбора локомотивов и локомотивных бригад на сформированные поезда, использующий “жадный” алгоритм;
- алгоритм построения мультиагентной системы для распределенного решения транспортной задачи с помощью метода аукционов, а также для решения задачи планирования локомотивного парка;
- нейро-нечеткий алгоритм для построения системы прогнозирования объемов перевозок.

Практическая значимость работы подтверждается результатами внедрения разработанных подсистем программного обеспечения для решения поставленных задач для депо Восточного полигона. Разработанные подсистемы управления служат базой для обеспечения качественного управления и содержания необходимого количества тяговых ресурсов на железнодорожном транспорте. Результатами их работы является повышение экономической эффективности использования тяговых ресурсов для железнодорожных перевозок.

Методология и методы исследования. Основой теоретических и прикладных исследований диссертации являются: общая теория систем, теория управления, методы теории оптимизации, теория множеств, методы искусственного интеллекта, методы нечеткой логики и нейронных сетей, релаксационных алгоритмов, теория мультиагентных систем, компьютерные методы обработки и моделирования, а также разработки приложений с помощью программ и языков программирования: Java в среде разработки IntelliJ IDEA.

Положения, выносимые на защиту.

- модель автоматизации процессов прогнозирования и построения графика проведения ремонтов тяговых ресурсов, а также их распределения по ремонтным предприятиям;
- модель автоматизации процессов управления перевозками на железнодорожном транспорте для обеспечения необходимого количества тяговых ресурсов для заданного объема движения;
- постановка задачи подбора локомотивов на сформированные поезда с указанными нитками вариантного графика;
- методы и алгоритмы, решающие выше поставленные задачи, архитектура решения и разработанных подсистем, их взаимодействие;

- модифицированный алгоритм аукционов; гибридный генетический алгоритм; алгоритм построения мультиагентной системы для распределенного решения транспортной задачи; нейро-нечеткий алгоритм прогнозирования.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке и формализации задач управления локомотивным парком и контингентом локомотивных бригад в области железнодорожного транспорта, формализации технического задания и описания автоматизируемых бизнес-процессов в данной области, в разработке программного обеспечения, научных экспериментах, апробации результатов исследования, обработке и интерпретации получаемых данных.

Степень достоверности результатов исследования подтверждена математическим обоснованием и имитационным моделированием, оценкой ведущих специалистов в данной области, внедрением данного комплекса подсистем в опытную эксплуатацию.

Апробация результатов работы. Результаты диссертации соответствуют Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (РФ) - 7. Транспортные и космические системы, Перечню критических технологий РФ (13.Технологии информационных, управляющих, навигационных систем), выполнены в рамках работ по гранту 13-01-13105 офи_м_РЖД " Качественный анализ и моделирование алгоритмов оптимизации мультиагентной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте": внедрены в ИСУЖТ на Восточном полигоне в опытной эксплуатации.

Выполненные исследования были использованы при разработке технических решений в рамках выполнения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок технических решений для транспортной системы Н-Bahn. Результаты диссертационной работы были получены и применены в рамках выполнения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок - уникальный идентификатор RFMEFI58214X0003 при поддержке Министерства образования и науки РФ. Апробация работ подтверждена соответствующим актом, выданным ООО "Инновационная компания ГМК".

Материалы диссертационной работы были доложены и обсуждены на следующих международных конференциях и семинарах: 4th International Conference ICDQM-2013, Life Cycle Engineering and management, June 27-28 2013. Belgrade, Serbia; Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013), 30 сентября – 2 октября 2013 г., Москва; Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос», 9-11 апреля 2013г., Днепропетровск, Украина; the 5th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN-2014), Halifax, Nova Scotia, Canada on September 22-25, 2014; the 6th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks, September 27-30, EUSPN-2015, Berlin, Germany; AICT-2016 Conference Printed Proceedings. Baku, 2016; AICT-2017 Conference Printed Proceedings. Moscow, 2017; the 7th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN, 2016), London, 2016; the 8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, May, 2017, Madeira, Portugal.

А также на следующих Российских конференциях: 55-я научная конференция МФТИ, 19-25 ноября 2012, Долгопрудный; ИСУЖТ-2012, 15-16 ноября 2012, Москва; ИСУЖТ-2013, 21–22 октября 2013, Москва; УБС-10, 5-7 июня 2013, Уфа; ИСУЖТ-2014, 19 ноября 2014г., Москва; 57-я научная конференция МФТИ, 24-29 ноября 2014, Долгопрудный; 58-я научная

конференция МФТИ с международным участием, 23–28 ноября 2015 года, Долгопрудный; ИСУЖТ-2015, 18 ноября 2015 г., Москва; Пятая научно-техническая конференция с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте, Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2016, 17-18 ноября 2016, г. Москва.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 работ: 10 статей в центральных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации (ВАК РФ) для опубликования результатов диссертаций (в том числе 8 статей в журналах из перечня Scopus и Web of Science) и 19 статей, опубликованных в изданиях, выпускаемых в Российской Федерации и за рубежом.

Основное содержание работы: диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, одного приложения (акт о внедрении результатов работы), списка литературы из 89 наименований. Общий объем работы составляет 154 страниц. Работа содержит 16 иллюстраций и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели, основные задачи и новизна диссертации, выделены основные положения, выносимые на защиту, кратко изложены основные результаты, показана их теоретическая и практическая ценность, описаны основные результаты исследования и степень разработанности основных проблем, рассмотренных в диссертационной работе.

В первой главе проведен обзор существующих теоретических подходов и методов, используемых в работе, в том числе методы теории построения систем поддержки принятия решений, постановка и основные методы решения транспортной задачи, методы теории искусственного интеллекта и нейро-нечетких систем, методы оптимизации, теория мультиагентных систем.

Во второй главе дано общее описание системы, частью которой являются разработанные в рамках работы подсистемы, основная идеология её создания и описание требуемых для решения задач. Основная задача единой Интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) – автоматизировать процессы управления с целью повышения эффективности и быстродействия принятия и представления решений, прогнозирования состояния транспортного парка и транспортных ситуаций, быстрого анализа возникающих нештатных ситуаций, а также других возникающих задач управления. Основные преимущества системы представлены на рисунке 1.

Без автоматизированной системы управления

Сотрудник железной дороги должен сам:

- Получать информацию из множества различных баз данных
- Обрабатывать полученный объем информации:
 - Прогнозировать график технического обслуживания для каждой единицы парка
 - Контролировать выполнение нормы явок локомотивных бригад
 - Контролировать наличие необходимого парка для текущего и прогнозируемого объема перевозок
 - Другие задачи управления
- Осуществлять постоянный контроль изменений ситуации на дороге

С автоматизированной системой управления

Сотрудник железной дороги должен сам:

- Отправлять запрос в систему
- Получать и анализировать полученный результат
- Реагировать на изменения, о которых сообщает система

Рисунок 1. Сравнительная схема распределения обязанностей сотрудника железной дороги с АСУ и без

В параграфе 2.1 рассмотрена задача планирования содержания локомотивного парка на заданный период. Сформулирована постановка задачи, описаны основные технологические требования, построена архитектурная модель автоматизированной системы управления (АСУ) с интеграцией в нее системы поддержки принятия решений (СППР) для получения решения, а также решена транспортная задача, которая в свою очередь связана с одним из этапов получения общего решения. Конечным итогом работы данной подсистемы является список мероприятий, позволяющий наиболее точно привести количество локомотивного парка к требуемому в заданном периоде, который включает в себя список секций, содержащий в себе информацию о том, какое мероприятие необходимо провести каждому ТПС из списка для решения данной задачи: секция может уйти в консервацию или выйти из нее, может быть списана, нуждается в проведении технологического обслуживания по продлению срока службы (ПСС), передислоцирована из дирекции с избытком в дирекцию с недостатком.

Задача распределения локомотивов между дирекциями с недостатком и дирекциями с избытком решается с помощью метода аукциона с использованием метода Хуана для определения завершения работы алгоритма, а также посредством построения мультиагентной системы. Основными агентами в данном случае являются дирекции, которые хранят в себе информацию о состоянии своего локомотивного парка и каждого элемента в нем, а также об алгоритме поведения при инициализации какого-либо мероприятия. Дирекции с дефицитом являются потребителями в условиях метода аукциона, а дирекции с профицитом – поставщиками. Дирекции с дефицитом содержат информацию о наборе уже распределенных пар <локомотив, значение функции полезности>, при получении которых дирекции с

профицитом подбирают доступные для дислокации локомотивов. Однако часто возникают случаи "конкуренции" дирекций с дефицитом на одни и те же локомотивы. В этом случае необходимо определить куда выгоднее направить данную транспортную единицу. Данное решение принимается на основе расчета нового значения полезности по следующей формуле:

$$u_i^{new} = u_i^{old} + b_{ij} + \varepsilon,$$

где u_i^{new} и u_i^{old} новое и старое значение функции полезности соответственно, ε – сколь угодно малая величина, а b_{ij} – разность между наилучшим выбором и выбором, по величине стоящем на втором месте после наилучшего. Так как данная величина постоянно растет, то в итоге этот процесс останавливается.

В параграфе 2.2 рассмотрена задача планирования расписания ремонтов на заданный период для всего локомотивного парка с учетом технологических особенностей, построена модель АСУ с интеграцией с системой поддержки принятия решений (СППР) для получения данного решения. Дана постановка задачи, описана архитектурная модель решения, описаны основные технологические особенности планирования графика проведения ремонтов в соответствие с циклограммой ремонтов и с учетом текущего и среднемесячного пробегов для каждого конкретного локомотива. Конечным итогом работы подсистемы является получение графика необходимых ремонтов для каждой секции локомотивного парка на заданный период с учетом всех технологических особенностей их прогнозирования.

В параграфе 2.3 рассмотрено решение задачи распределения полученных на предыдущем этапе ремонтов на основе решения транспортной задачи с наибольшей эффективностью распределения. При решении задачи был использован алгоритм аукционов для повышения эффективности использования мощностей ремонтных предприятий.

Метод аукционов является методом параллельной релаксации для решения классической задачи о назначениях. Основная идея — это процесс, схожий с реальным аукционом. После определения всех ставок выбирается тот, кто предложил самую высокую цену (в данном случае цена представляет собой значение функции полезности). В работе используется модифицированный метод аукционов для решения линейной транспортной задачи.

Цена конкретного участника должна быть выше текущей цены объекта. Таким образом, данный подход обеспечивает механизм повышения цены объекта. Алгоритм постепенно прогрессирует для получения конечного решения - завершения торгов и назначения всех объектов конкретным людям.

В случае использования данного метода для решения распределения ремонтов, алгоритм можно представить следующим образом:

Есть N ремонтных предприятий и N ремонтов локомотивов для распределения задачи. Для каждого ремонтного предприятия существует непустое подмножество $A(i)$ ремонтов локомотивов, которые могут быть присвоены ей. Решение S представляет собой набор пар <ремонтное предприятие - ремонт локомотива> (i, j) таких, так что:

- $j \in A(i)$ для всех $(i, j) \in S$;
- каждое ремонтное предприятие i имеет не более одной пары $(i, j) \in S$;
- каждый объект j имеет не более одной пары $(i, j) \in S$.

Полное назначение - это набор из N пар <ремонтное предприятие, ремонт локомотива>. В контексте данного назначения S ремонтное предприятие i назначено, если существует такой ремонт j , что $(i, j) \in S$.

Существует некоторое заданное целочисленное значение a_{ij} , в котором ремонтное предприятие i связано с ремонтом $j \in A(i)$. Необходимо найти полное назначение, которое: максимизирует следующую функцию для всех завершенных назначений S :

$$\sum_{(i,j) \in S} a_{ij} \quad (1).$$

Эта задача называется основной задачей назначения. Здесь и используется алгоритм аукционов, который решает проблему двойного назначения:

- минимизировать $\sum_{i=1}^N r_i + \sum_{i=1}^N p_i$;
- при условии $r_i + p_i \geq a_{ij}, \forall i$ и $j \in A(i)$.

"Двойная переменная" p_j называется ценой j . Вектор p с координатами $p_j, j = 1, \dots, N$, называется вектором цены. Для данного вектора цен p решение задачи минимально, когда r_i равно максимальному значению $a_{ij} - p_j$ при $j \in A(i)$. Следовательно, p_j единственные переменные оптимизации для двойной задачи назначения. Для заданного вектора значение пары ремонта $j \in A(i)$ и i -го ремонтного предприятия задается следующим образом:

$$v_{i,j} = a_{ij} - p_j \quad (2)$$

Прибылью π_i для ремонтного предприятия i является максимальное значение объектов $j \in A(i)$:

$$\pi_i = \max_{j \in A(i)} v_{i,j}. \quad (3)$$

Из теории линейного программирования мы имеем, что полное назначение $S = \{(i, j) | i = 1, \dots, N\}$ и вектор цен p являются соответственно решением для первичного и двойного оптимального одновременно тогда и только тогда, когда:

$$\pi_i = \max_{k \in A(i)} \{a_{ik} - p_k\} = a_{ij} - p_j, \text{ для каждого } (i, j) \in S, \quad (4)$$

то есть тогда и только тогда, когда каждое ремонтное предприятие достигает своей максимальной прибыли и при этом выбирает объект с максимальным значением. Это называется условием дополняющей нежесткости (complementary slackness condition). Это условие позволяет ремонтному предприятию выбирать объект с максимальной ценой. Формально, в этом случае вектор S и вектор цен p удовлетворяют условиям ε -дополняющей нежесткости (ε -CS), если:

$$\pi_i - \varepsilon = \max_{k \in A(i)} \{a_{ik} - p_k\} - \varepsilon \leq a_{ij} - p_j, \text{ для каждого } (i, j) \in S, \quad (5)$$

То есть полное присваивание S удовлетворяющее этому условию вместе с некоторым вектором цен является оптимальным если $\varepsilon < \frac{1}{N}$.

Результатом работы данной подсистемы является график проведения конкретных ремонтов. Для каждого элемента графика указаны: локомотив, для которого проводится

ремонт, тип ремонта, дата проведения, а также ремонтное предприятие, на которое необходимо передислоцировать данный локомотив (или не нужно, если локомотив уже находится на станции, на которой есть подходящее ремонтное предприятие) провести данное обслуживание.

В параграфе 2.4 рассмотрены основные принципы теории нечетких множеств и нейронных сетей для построения нейро-нечетких моделей для формализации сложных и нелинейных систем. Большинство современных технологических процессов помимо точного расчета и планирования также нуждаются и в прогнозировании ситуаций на основе уже имеющихся данных, однако при этом они имеют свои специфические особенности, такие как: сложность, нелинейность, слабая изученность связей внутри системы, высокая инерционность, запаздывания. Все эти условия вносят в моделирование подобных систем неопределенность, которая в свою очередь приводит к тому, что привычный детерминированный подход является не только некорректным, но и не способным к моделированию таких систем в целом. Для решения подобных проблем является использование качественной информации для описания систем. Одной из наиболее известных нечетких моделей является модель Такаги-Суджено, представленная в следующем виде:

$$R^\theta: \text{если } y(t-1) \text{ есть } Y_1^\theta, \dots, y(t-r) \text{ есть } Y_r^\theta \\ u(t) \text{ есть } U_1^\theta, \dots, u(t-s) \text{ есть } U_s^\theta \\ \text{то } y^\theta = a_0^\theta + \sum_{i=1}^r a_i^\theta y(t-i) + \sum_{i=0}^s b_i^\theta u(t-i), \theta = 1, \dots, n.$$

Данная модель обладает следующими преимуществами:

- к ней применимы известные методы параметрической идентификации для нечеткой динамической модели;
- способна с высокой точностью описать даже нелинейные динамические процессы несмотря на линейную правую часть системы;
- имеет повышенную устойчивость к помехам и погрешностям измерения за счет усредняющих свойств механизма вывода, а также специфического вида функций принадлежности.

Поскольку современные и зачастую плохо формализуемые системы функционируют в условиях неопределенностей для построения правил выводов системы принятия решений наряду с аналитическими алгоритмами выгодно использовать нечеткую логику и нейронные сети. В практическом значении данный подход позволяет заранее прогнозировать различные ситуации на основе уже имеющихся данных для заблаговременного отслеживания критических ситуаций.

В параграфе 2.5 рассмотрена задача подбора конкретных локомотивов для сформированных грузовых поездов. Данная задача была решена с использованием генетического алгоритма и на основе теории мультиагентных систем. Архитектура мультиагентной системы представлена на рисунке 2.

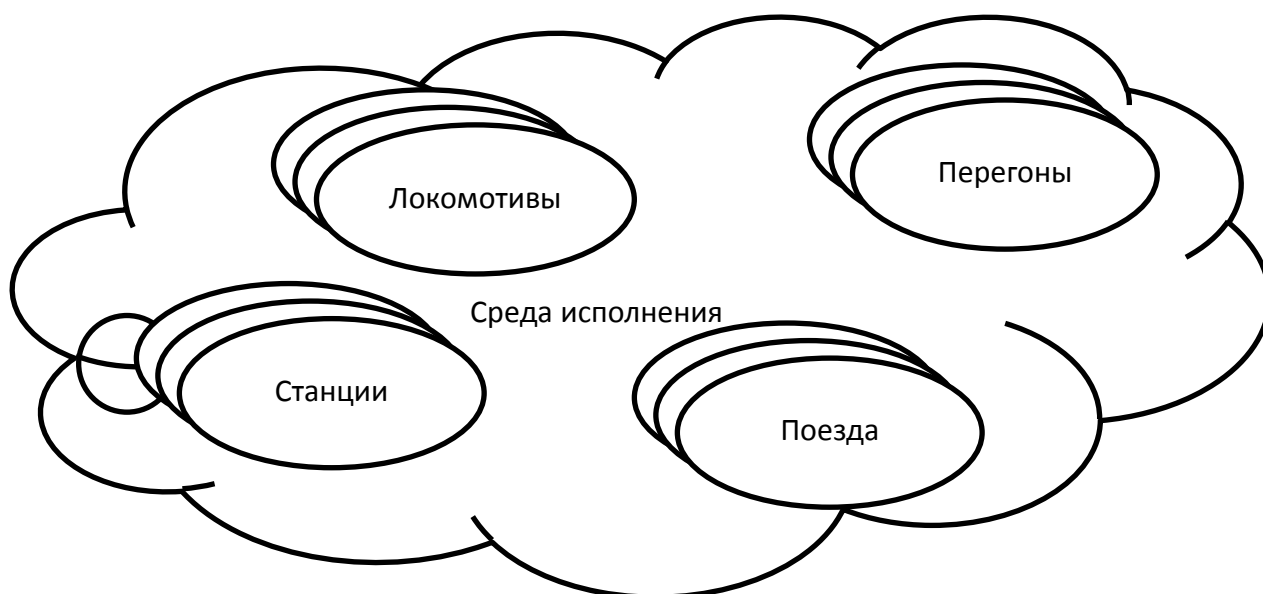


Рисунок 2. Архитектура мультиагентной системы

Результатом работы данной подсистемы является набор локомотивов для каждого конкретного поезда, которые смогут осуществить движение по всему маршруту от станции формирования до станции назначения в заданные временные интервалы. При этом осуществляется оптимизация подбора на основе расчета суммарной функции полезности, которая, к примеру, минимизирует время простоя поезда. Рассмотрим суммарную целевую функцию как многомерную функцию векторного аргумента $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$, где вектор x есть решение задачи назначения конкретных локомотивов на сформированные составы поездов. Данный вектор в свою очередь представлен в виде столбца $(loco_1, \dots, loco_i, \dots, loco_m)^T$, где $loco_i$ – номер локомотива, назначенного на i -й план, m — количество планов пересылки поездов на всем участке планирования. Тогда для решения данной поставленной задачи оптимизации прикрепления локомотивов на сформированные поезда необходимо решить общую задачу поиска экстремума вышеупомянутой функции на заданных ограничениях.

Данная подсистема позволяет находить оптимальное решение, построенное с учетом следующих ограничений:

- ограничение по множеству номеров локомотивов;
- ограничение по множеству планов;
- ограничение по параметрам локомотивов;
- ограничение по параметрам планов.

Данное решение должно полностью удовлетворять множеству ограничений, связанных с технологическими особенностями в железнодорожном комплексе, например:

- ограничение на количество локомотивов, отправляющихся в заданный отрезок времени;
- ограничение на оставшийся пробег в связи временем проведения технического обслуживания;

- ограничение на мощности локомотивов и вес поезда – тяжелые поезда нельзя везти локомотивами с малой мощностью.

Формулировка данной проблемы выглядит следующим образом: необходимо найти экстремум целевой функции $f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_m)$ при ограничениях вида $g_i(x_1, \dots, x_i, \dots, x_m) \leq b_i$ для вектора переменных $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_m)^T$. Совокупность допустимых решений задачи называется областью допустимых решений (ОДР) D . Окончательным решением задачи является пара $(x^*, f^*(x^*))$, состоящая из оптимального решения и оптимального значения целевой функции.

Вследствие этого для решения задачи оптимизации плана прикрепления локомотивов к сформированным поездам необходимо решить общую задачу поиска экстремума вышеупомянутой функции на заданных ограничениях, которую можно сформулировать следующим образом:

$$X^* = \arg \max F(X) \quad (6)$$

$$\text{при ограничениях вида } g_j(X^*) \leq b_j, j = 1, \dots, k, \quad (7)$$

где X^* - искомое решение; $g_j(X) \leq b_j$ – заданные ограничения; k – количество ограничений, $F(X)$ – целевая функция

$$F_i = \sum_{i,j} u_{i,j}, \quad (8)$$

элементы которой имеют следующий вид:

$$u_{ij} = C_1 T_s(x_i) + C_2 T(x_i) + C_3 T_{w_j}(x_i), \quad (9)$$

где u_{ij} – функция полезности, где i – идентификатор локомотива, j – идентификатор поезда, C_1, C_2, C_3 – вес соответствующего критерия (назначается экспертами); $T_s(x_i)$ – время, которое локомотив может пройти с учетом его дальнейшей дислокации на ремонт в ближайшее ремонтное предприятие, имеющее мощности для проведения такого технического обслуживания; $T(x_i)$ – время движения локомотива на данном участке; $T_{w_j}(x_i)$ – время ожидания локомотивом следующего поезда (время простоя).

Данная задача была решена с использованием предложенного в работе гибридного генетического алгоритма, в котором каждая особь являлась целостным решением назначения всех поездов на нитки и качественно оценивалась с помощью суммарной функции полезности (8).

Алгоритм генерирует популяции, в каждой из которых создается несколько решений-особей, которые в дальнейшем подвергаются операции скрещивания - кроссовера: в каждой паре особей выбираются наилучшие гены – пары назначений поезд-локомотив с учетом возможности такого гена. В добавлении к этому в некоторые моменты времени особь может "мутировать" – выбрать какое-либо назначение поезд-локомотив и заново рассчитать те гены, которые следуют позже времени формирования данной пары. Для создания одной особи родительской популяции используется следующий механизм привязки локомотивов на поезда: подсистема получает на вход объемный план (с точностью до часа) пересылки локомотивов с поездом или резервом, а также на вход передаются сформированные ранее детальные маршруты поездов с подобранными под них нитками вариантного графика.

Для каждого момента времени, в которое по плану должен отправиться хотя бы один локомотив, составляется список станций отправления. В свою очередь для каждой станции рассчитывается функция оценки всех существующих на этой станции комбинаций

“локомотив-план”. Из всех возможных вариантов назначения локомотивов на данной станции планировщик выбирает случайный, но допустимый вариант. В конечном итоге для получения одного конечного решения план-локомотив создается матрица назначений:

$$M_{\text{Population_id}} = \begin{pmatrix} m_1(\text{PlanId}_1, \text{LocoId}_1, \text{PopulationId}, \text{Assign}_1) & & \\ & \dots & \\ m_i(\text{PlanId}_i, \text{LocoId}_i, \text{PopulationId}, \text{Assign}_i) & & \end{pmatrix},$$

где PlanId –номер плана пересылки, LocoId –номер локомотива, назначенного на план PlanId, PopulationId –номер популяции, Assign – параметр, отвечающий за результат поиска хотя бы одного локомотива. Если Assign = 1, значит на данный план назначен локомотив, 0 – в обратном случае.

Для каждой особи рассчитывается суммарная функция полезности $F(X) = \sum_i u_i(x_i)$, равная сумме полезностей всех пар план-локомотив, которая в свою очередь является значением функции приспособленности особи и используется в качестве параметра оценки при отборе особей.

После создания первых популяций, остальные генерируются на основе операции кроссовера. Из стартовой популяции отбираются два родителя – Parent₁ и Parent₂. Дочерняя особь Child_1 генерируется следующим способом:

$$m_i^{\text{child}_1} = \begin{cases} m_i^{\text{Parent}_1}, & \text{если } \text{Assign}_{\text{Parent}_1} = 1 \\ m_i^{\text{Parent}_2}, & \text{если } \text{Assign}_{\text{Parent}_2} = 1 \text{ и } \text{LocoId}_{\text{PlanId}}^{\text{Parent}_1} \neq -100. \\ m_i^{\text{Parent}_1}, & \text{если } \text{Assign}_{\text{Parent}_2} = 0 \text{ и } \text{Assign}_{\text{Parent}_1} = 0 \end{cases}$$

Опишем данный процесс подробнее. Выбираем родителя Parent₁ и просматриваем его генотип. Если для i-го гена существует назначение (LocoId_i, PlanId_i), то есть Assignⁱ_{Parent₁} = 1, то дочерняя особь копирует это ген. Если же Assignⁱ_{Parent₁} = 0, то алгоритм переходит ко второму родителю Parent₂. В случае, когда Assignⁱ_{Parent₁} = 0 и Assignⁱ_{Parent₂} = 0 в дочерней особи не будет назначения локомотива на PlanId_i, то есть план остается невыполненным. Если же Assignⁱ_{Parent₂} = 1, то алгоритм делает следующее:

- Проверяет, привязан ли данный локомотив LocoId_i к какому-либо плану PlanId_j в генотипе первого родителя Parent₁ и в зависимости от этого:
 - Если существует привязка данного локомотива, то план остается невыполненным
 - Если данный локомотив не был назначен ни на один план для Parent₁, то дочерняя особь копирует ген родителя Parent₂ для этой пары (LocoId_i, PlanId_i).

Полезность каждой сгенерированной особи вычисляется следующим образом:

$$U_{\text{child}_1}(\text{LocoId}, \text{PlanId}) = \begin{cases} U_{\text{parent}_1}(\text{LocoId}, \text{PlanId}), & \text{если } m_i^{\text{child}_1} = m_i^{\text{Parent}_1} \text{ и } \text{Assign}_{\text{Parent}_1} = 1 \\ U_{\text{parent}_2}(\text{LocoId}, \text{PlanId}), & \text{если } m_i^{\text{child}_1} = m_i^{\text{Parent}_2} \text{ и } \text{Assign}_{\text{Parent}_2} = 1 \\ 0, & \text{если } \text{Assign}_{\text{Parent}_2} = 0 \text{ и } \text{Assign}_{\text{Parent}_1} = 0 \end{cases}$$

Для каждой особи также рассчитывается суммарная функция полезности $F_i = \sum_{ij} u_{ij}$ как сумма функций полезности всех назначений (LocoId_i, PlanId_j) для данной особи.

Однако с некоторой вероятностью в популяции может произойти мутация. Для каждой новой созданной особи случайным образом определяется ген – PlanId и его параметр CurrentTime_{PlanId}, с которого начинается перепланирование назначения для планов, следующих после указанного времени.

Алгоритм останавливает свою работу при достижении одного из условий:

- достигнут конечный размер популяции;
- улучшение функции полезности с новой особью не превышает заданной ΔF .

В связи с большим количеством информации, одновременно хранящейся в памяти планировщика, а также большим количеством данных, в данном алгоритме используется первый критерий останова. Лучшая особь с максимальной функцией полезности выбирается из списка всех сгенерированных особей. Если таких особей несколько, то из особей-победителей выбирается та, что имеет наибольшее количество пар назначений поезд-локомотив (LocoId, PlanId).

В параграфе 2.6 рассмотрено решение задачи подбора явок локомотивных бригад с учетом нормативов и особенностей рабочего режима. Результатом работы данной подсистемы является список бригад с указанием смен их выхода, статуса выхода – после полноценного отдыха или его сокращения. В дополнение к этому выводится информация о нормах явок в каждом депо для того, чтобы начальник депо смог скорректировать текущую ситуацию в случае недостатка таковых. Основными трудностями при решении данной задачи являются требования к соблюдению труда и отдыха, которые необходимо анализировать для каждой бригады, а также ограничения к разрешенным направлениям следования бригад.

В параграфе 2.7 была рассмотрена монорельсовая подвесная дорога типа H-Bahn и актуальные задачи в управлении подвесным монорельсовым транспортом. Построенные подсистемы планирования локомотивного парка и прогнозирования расписания проведения технологического обслуживания способны решать указанные задачи, что позволяет применять их и для данного вида транспорта.

В третьей главе рассмотрены основные результаты работы построенных подсистем АСУ СППР на данных Восточно-Сибирской железной дороги.

Для подсистемы планирования локомотивного парка на заданный период были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 Результаты работы подсистемы планирования локомотивного парка на заданный период – решение по дирекциям

Код региона	Норма содержания	Фактический парк	Парк после проведения мероприятий
Reg_1	1061	1214	1061
Reg_2	1290	1118	1290
Reg_3	1601	1674	1601
Reg_4	1664	940	1664

По результатам работы данной подсистемы видно, что после проведения необходимых мероприятий количество локомотивного парка было сведено к требуемому на заданном периоде.

Для подсистемы планирования ремонтов были получены следующие результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты работы подсистемы планирования и распределения ремонтов локомотивного парка на заданный период

Необходимо ремонтов	18614
Распределено ремонтов	17205
Осталось не распределено	287

Данное решение является хорошим результатом по оценке технологических экспертов (начальников станций, сотрудников подразделений управления железной дороги) и помогает заранее предугадать незапланированные ремонты и их количество для принятия дальнейших решений об увеличении мощности ремонтных предприятий.

Для подсистемы решения задачи подбора локомотивов для сформированных поездов были получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Имитационные данные и результаты работы подсистемы оптимизации решения о назначениях локомотивов на сформированные поезда (P – максимальный размер одной популяции, M – максимальное количество популяций, D – количество смертей в поколении)

	Без ГА	Генетический алгоритм				
Параметры ГА		P = 15, M = 10, D = 4	P = 20, M = 10, D = 4	P = 20, M = 10, D = 4	P = 15, M = 20, D = 4	P = 15, M = 20, D = 4
Критерий оптимизации		Функция полезности		Количество назначений		
Суммарная полезности функция	139440	335760	210480	-109920	-109920	414960
Всего назначено локомотивов	27	14	16	47	47	13
Время работы	1 мин., 13 сек.	15 мин, 24 сек	22 мин, 56 сек	19 мин, 13 сек	9 мин, 29 сек	10 мин, 31 сек

Из результатов моделирования видно, что план привязки локомотивов изменяется в зависимости от выбора параметра, по которому проводится оптимизация.

Результатами работы подсистемы подбора явок является график явок локомотивных бригад, необходимых для обеспечения движения на следующие сутки с указанием типа полученного бригадой отдыха, а также итоговая ситуация по направлениям с указанием даты начала смены. На вход были поданы несколько бригад, находящихся на отдыхе или работающих, которым необходимо спрогнозировать следующую явку, а также норы явки для определенных направлений. Конечным решением является график явок бригад с указанием идентификатора бригады, направления, а также успела ли полностью отдохнуть бригада. При этом для бригад, которым не были найдены соответствующие норы, явка ставится по его именному графику.

В заключении подводятся основные итоги диссертационного исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Систематизированы проблемы построения и оптимизации систем управления и принятия решений на железнодорожном транспорте, сформулированы функциональные требования.
2. Сформулированы принципы планирования, построения графиков ремонтов, прогнозирования и управления для обеспечения ресурсами перевозочного процесса, позволяющие выделить частные и общие подходы решения поставленных задач управления в различных условиях и с учетом необходимых технологических ограничений.
3. Построена и реализована математическая модель подсистемы «Управления ремонтами ТПС» Интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ), использующей алгоритм аукционов и методы решения транспортных задач для автоматизации поиска оптимального маршрута и формирования графика проведения ремонтов с указанием мест их назначения на заданные периоды.
4. Построена и реализована математическая модель подсистемы «Комплексная задача обеспечения ТПС» ИСУЖТ для решения задачи обеспечения требуемого объема перевозок необходимым количеством эксплуатируемого локомотивного парка на заданный период при учете технологических ограничений и возможности ручной корректировки пользователем.
5. Обоснована целесообразность применения разработанных подсистем для использования их в автоматизации управления транспортным парком в монорельсовой системе типа H-Bahn.
6. Обоснована целесообразность и разработана методология применения теории мультиагентных систем и методов искусственного интеллекта для формализации требований, и разрабатываемых алгоритмов с учетом особенностей систем управления на железнодорожном транспорте.
7. Построена и реализована математическая модель подсистемы «Оперативного управления эксплуатационной работой» ИСУЖТ, использующей гибридный генетический алгоритм для поиска решения оптимальной назначения локомотивов и локомотивных бригад на сформированные поезда.
8. Построена и реализована математическая модель подсистемы «Планирования следующей явки локомотивных бригад» ИСУЖТ, учитывающей технологические нормы явок и режима труда и отдыха согласно трудовому кодексу.

Данная работа посвящена построению подсистем для единой автоматизированной системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ, которая призвана обеспечить контроль и управление в сфере железнодорожных перевозок в России. Были актуализированы основные задачи управления содержанием локомотивного парка для заданного объема перевозок, построены алгоритмы их решения. Было проведено исследование основ теории искусственного интеллекта, истории ее развития, описаны ее основные подходы и принципы, был проведен обзор теории мультиагентных систем и их применения в сфере интеллектуализации процессов управления на железнодорожном транспорте, в частности при

построении систем управления для монорельсовой подвесной дороги типа H-Bahn, а также обзор теории построения систем поддержки принятия решений. Предложены алгоритмы решения поставленных управленческих задач и их реализация на языке Java и Jason, а также приведены результаты тестирования данных систем на практике на данных Восточного полигона.

Основные публикации по теме диссертации.

Список научных статей, опубликованных в журналах, входящих в перечень Высшей Аттестационной Комиссии России

1. Минашина И.К., Захарова Е.М., «Обзор методов многомерной оптимизации», научный электронный журнал "Информационные процессы", т. 14(3), стр. 256-274, 2014
2. Кузнецов Н.А., Пашченко Ф.Ф., Рябых Н.Г., Минашина И.К., Захарова Е.М., «Алгоритмы оптимизации в задачах планирования на рельсовом транспорте», научный электронный журнал "Информационные процессы", т.14 (4), стр. 307-318, 2014
3. Pashchenko, N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, N.G. Ryabykh, E.M. Zakharova, Intelligent Control System For The Rail Transportations, AICT2016 Conference Printed Proceedings, Baku, Curran Associates, Inc., v.1, p. 383-387. 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2016), Baku, Azerbaijan, 2016

Статьи в журналах/сборниках из перечня Web of Science/Scopus

4. F.F. Pashchenko, A.F. Pashchenko, N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, E.M. Zakharova, Analysis of the adaptive algorithms behavior applied to the railway optimization problems, Procedia Computer Science, v. 109, p. 560-567, ISSN 1877-0509, 2017
5. Захарова Е.М., Пашченко Ф.Ф., Такмазьян А.К., Минашина И.К., Кузнецов Н.А. Intelligent Control Systems for the Rolling Equipment Maintenance of Rail Transport, Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2017, Moscow), v.1, стр. 423-425, 2017
6. N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, F.F. Pashchenko, N.G. Ryabykh, E.M. Zakharova «Optimization Algorithms in Scheduling Problems of the Rail Transport», ISSN 1064-2269, Journal of Communications Technology and Electronics, v. 60, №. 6, p. 637–646, Pleiades Publishing Inc., 2015
7. Zakharova, E.M., Minashina, I.K. Review of multidimensional optimization methods, Journal of Communications Technology and Electronics, 2015; v. 60(6), p.625-636. DOI: 10.1134/S1064226915060194
8. N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, F.F. Pashchenko, N.G. Ryabykh, E.M. Zakharova, Design and Analysis of Optimization Algorithms for Multi-agent Railway Control System, Procedia Computer Science, v. 37, p. 211-219, ISSN 1877-0509, 2014
9. F.F. Pashchenko, N.A. Kuznetsov, N.G. Ryabykh, I.K. Minashina, E.M. Zakharova, O.A. Tsvetkova, Implementation of Train Scheduling System in Rail Transport using Assignment Problem Solution, Procedia Computer Science, v. 63, p. 154-158, ISSN 1877-0509, 2015
10. N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, N.G. Ryabykh, E.M. Zakharova, F.F. Pashchenko, Design and Comparison of Freight Scheduling Algorithms for Intelligent Control Systems, Procedia Computer Science, v. 98, p. 56-63, ISSN 1877-0509, 2016

Список научных статей, опубликованных в изданиях, выпускаемых в Российской Федерации и за рубежом

11. Захарова Е.М. «Использование алгоритма стохастической аппроксимации для оценки параметров нейро-нечетких моделей», труды 55-й научной конференции МФТИ

- «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук», «Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе», «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики и астрономии». Радиотехника и кибернетика, т. 2, МФТИ, 2012
12. Пашенко Ф.Ф., Минашина И.К., Захарова Е.М., «Использование релаксационных алгоритмов для оценки параметров в нейро-нечетких моделях», Вестник Международной академии системных исследований, стр. 112-118, 2013
 13. Пашенко Ф.Ф., Минашина И.К., Захарова Е.М., «Нейро-нечёткое моделирование пассажиропотоков», Вестник МАСИ, т.15, ч.1, стр.102-107, 2013
 14. Пашенко Ф.Ф., Минашина И.К., Захарова Е.М. «Нейро-нечёткое моделирование пассажиропотоков», сборник трудов первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте», ИСУЖТ-2012, стр. 105-108, 2012
 15. Минашина И.К., Захарова Е.М. «Нейро-нечеткое моделирование в управлении пассажироперевозками», сборник конференции «Управление большими системами» УБС-10, Уфа, т. 1, стр. 251, 2013
 16. Минашина И.К., Захарова Е.М. «Использование релаксационных алгоритмов для оценки параметров в нейро-нечетких моделях» сборник конференции «Управление большими системами» УБС-10, Уфа, т.1, стр. 247, 2013
 17. Пашенко Ф.Ф., Минашина И.К., Захарова Е.М., «Нейро-нечеткое моделирование пассажиропотоков», Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013), институт проблем управления. им. В.А. Трапезникова, т. 2, стр. 144, ISBN 978-5-91450-138-6, 2013
 18. Пашенко Ф.Ф., Кузнецов Н. А., Минашина И. К., Захарова Е. М. «Использование релаксационных алгоритмов для оценки параметров нейро-нечетких моделей», 4th International Conference ICDQM-2013, Proceedings, Belgrade, Serbia, p.94-100, 2013
 19. Н.А.Кузнецов, В.СТР. Козякин, П.Ю.Чеботарев, П.О.Скобелев, Н.И. Капустин, В.А. Матвиенко, Н.Г.Рябых, Н.А. Гречишкина, О.М.Цыганова, Е.М.Захарова, И.К. Минашина «Качественный анализ и моделирование алгоритмов оптимизации мультиагентной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте», Труды второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2013», стр. 58-61, 2013
 20. Ф.Ф. Пашенко, И.К. Минашина, Е.М. Захарова. «Построение алгоритмов оптимизации планирования перевозочных процессов», международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос», Днепропетровск, 2013
 21. Пашенко Ф.Ф., Кузнецова Н.А., Рябых Н.Г., Захарова Е.М., Минашина И.К., «Моделирование алгоритмов оптимизации мультиагентной системы управления перевозочным процессом», Вестник МАСИ, Информатика, Экология, Экономика, т.16, №1, стр.9-15, 2014
 22. Пашенко Ф.Ф., Захарова Е.М., Минашина И.К., Рябых Н.Г., «Моделирование алгоритмов оптимизации перевозочным процессом на железнодорожном транспорте», Вестник МАСИ, Информатика, Экология, Экономика, т.16, №1, стр.90-99, 2014
 23. Минашина И.К., Захарова Е.М., «Разработка и анализ алгоритмов оптимизации в задачах планирования на железнодорожном транспорте», Труды третьей научно-

- технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2014», стр. 24-29, 2014
24. Рябых Н.Г., Захарова Е.М., Минашина И.К., Корчагин Т.А., «Реализация привязки поездов на нитки вариантного графика с помощью решения задачи о назначениях», Труды третьей научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2014», стр. 48-51, 2014
25. Машталер Ю.А., Матвиенко В.А., Алтунин В.П., Такмазьян А.К., Захарова Е.М., "Планирование и мониторинг содержания локомотивов на установленную сменно-суточную потребность", труды 3-й научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте – ИСУЖТ-2014, ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, ч. 1, стр. 48-51, 2014
26. Захарова Е.М., Минашина И.К., Такмазьян А.К., Алтунин В.П., «Планирование и прогноз содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса», Труды четвертой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2015», стр. 37 – 41, 2015
27. Захарова Е.М., Матвиенко В.А., Симонов А.В., Минашина И.К., Бородулин С.Т.В., «О подходе к эффективному планированию содержания локомотивных бригад для обеспечения перевозочного процесса на больших временных горизонтах», Труды пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2016», стр. 103 – 106, 2016

Тезисы

28. Рябых Н.Г., Захарова Е.М., Минашина И.К., Ф.Ф.Пашенко, Реализация привязки поездов на нитки вариантного графика с помощью решения задачи о назначениях, Тезисы 58-й научной конференции МФТИ (Долгопрудный, 2015). Москва–Долгопрудный–Жуковский: МФТИ, 2015
29. Захарова Е.М., Минашина И.К., А.К. Такмазьян, Ф.Ф.Пашенко, Планирование и прогноз содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса, Тезисы 58-й научной конференции МФТИ (Долгопрудный, 2015). Москва–Долгопрудный–Жуковский: МФТИ, 2015
30. Захарова Е.М., Минашина И.К., «Анализ и разработка оптимизационных алгоритмов для мультиагентной системы в железнодорожном комплексе», Труды 57-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции с международным участием "Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики", Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием "Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе". Радиотехника и кибернетика, МФТИ, стр.182-184., 2014

Гранты

31. «Интеллектуальные информационные технологии моделирования технологических процессов и оборудования электрических станций», РФФИ №14-19-01772, Победитель конкурса 2014 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами»
32. «Когнитивные технологии в проектах автоматизации диспетчерского управления на железнодорожном транспорте», №13-07-13167 офи_м_РЖД
33. Исследование в рамках выполнения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок - уникальный идентификатор RFMEFI58214X0003 при поддержке Министерства образования и науки РФ

Научное издание

Захарова Екатерина Михайловна

**Разработка алгоритмов планирования и управления в задачах расписания
на железнодорожном транспорте**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Московский физико-технический институт
(государственный университет)
141701,

Московская область, г. Долгопрудный
Институтский переулок, д.9
<https://mipt.ru>