

На правах рукописи



**РАССАДНИКОВА Екатерина Юрьевна**

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА  
С УЧЕТОМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)**

**Специальность:**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**Уфа – 2015**

Работа выполнена  
на кафедре вычислительной математики и кибернетики  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель: д-р техн. наук, доц.  
**СМЕТАНИНА Ольга Николаевна**

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.  
**ФИЛИППОВА Анна Сергеевна**  
ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы»,  
профессор кафедры прикладной информатики

канд. техн. наук  
**МАССЕЛЬ Алексей Геннадьевич**  
ФГБОУ ВПО «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук»,  
старший научный сотрудник отдела энергетической безопасности, лаборатории информационных технологий в энергетике

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Защита диссертации состоится 17 июня 2015 г. в 12<sup>00</sup> час.  
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03 на базе ФГБОУ ВПО  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»  
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»  
и на сайте <http://www.ugatu.su>.

Автореферат разослан 14 мая 2015 г.

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



**В.В. Миронов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы**

Среди ключевых задач производственного предприятия, за счет решения которых можно снизить общие затраты, выделяют задачу повышения эффективности транспортировки. Одной из составляющих процесса транспортировки в целом является транспортировка готовой продукции с обеспечением ранее оговоренного срока доставки и уровня безопасности. Вопросы транспортной стратегии рассмотрены в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734–р «О Транспортной стратегии Российской Федерации» на период до 2030 года.

Для повышения эффективности транспортного процесса при перевозке готовой продукции компании используют так называемые системы управления транспортом (Transportation Management System (TMS)). Применение TMS позволяет компаниям за счет обеспечения поддержки управленческих решений сократить временные простои используемых для перевозки транспортных средств (ТС) и снизить их количество, обеспечить безопасную перевозку готовой продукции, и снизить стоимостные затраты на транспортировку.

Функциональными возможностями TMS являются планирование и подготовка принятия решений (по оптимизации маршрутов транспортных средств, входящему и исходящему режиму транспортировочных операций и др.), мониторинг, анализ, составление отчетности. Важное место занимают функции планирования и оптимизации транспортного процесса (ТП).

Исследованию различных аспектов планирования и поддержки принятия решений в транспортном процессе (ТП) посвящены исследования и публикации отечественных и зарубежных ученых и специалистов, среди которых можно отметить Б. А. Аникина, Д. Дж. Бауэрсокса, Г. Л. Бродецкого, Д. Дж. Клосса, В. С. Лукинского, Ю. М. Неруша, В. И. Сергеева, В. И. Степанова, Н. Ф. Титюхина, Р. Б. Хэндфильда, Г. Лапорте, Н. Паркера, Э. Конвей, Р. Пасвель, Т. В. Левину, Л. Р. Черняховскую, Б. Г. Ильясова и др.

Вопросами поддержки принятия решений в управлении ТП при перевозке опасной продукции занимались К. Зографос, К. Андроутсополос, Е. Еркут и др. Часть работ В. Вертера, А. Бетгинелли, Г. Рихини, Р. Дондо, Ж. Керда, Г. Кларка, Ж. Райта, Н. Младеновича, Ю. Кочетова, Е. М. Бронштейна посвящена задачам маршрутизации транспорта.

Не смотря на значительные успехи в решении задач планирования ТП, по-прежнему актуальны исследования, направленные на комплексное планирование транспортного процесса, формирование рациональных маршрутов доставки грузов и организацию поддержки управленческих решений в данной области с использованием системы поддержки принятия решений (СППР).

### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования является процесс транспортировки готовой продукции предприятия. Предметом исследования являются модели и методы планирования транспортного процесса для перевозки готовой продукции, обеспечивающие поддержку принятия решений.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности деятельности предприятия в области планирования транспортного процесса для перевозки готовой продукции, за счет использования разработанной СППР.

Для достижения поставленной цели требуется решить **задачи**:

1. Разработать подход к организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции с учетом специальных ограничений.
2. Разработать системные модели для реализации предлагаемого подхода.
3. Разработать структурную схему СППР при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции.
4. Разработать информационное и математическое обеспечение СППР при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции.
5. Разработать программную реализацию предложенного подхода и провести анализ эффективности его использования.

**Научная новизна результатов работы** заключается в следующем:

1. Предложенный подход к организации поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, в отличие от известных, при обеспечении решения подзадач планирования учитывает специальные ограничения, связанные с особенностью транспортировки опасных грузов и необходимостью своевременной доставки грузов потребителю в требуемом количестве.
2. Разработанные системные модели для организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции в рамках логистической транспортной подсистемы представлены в виде иерархии бизнес-процессов транспортировки готовой продукции с учетом комплекса специальных ограничений предприятий, выпускающих готовую продукцию, относящуюся к классу опасных.
3. Разработанная структурная схема СППР при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, в отличие от стандартных, дополнительно включает подсистемы для решения комплексной задачи планирования с использованием внешней по отношению к СППР информации из баз данных оперативной системы предприятия и информационных Интернет-ресурсов, полученных из поисковой географической системы Яндекс.карты, внутренней информации баз данных СППР, предусматривает участие эксперта в оценивании транспортных режимов и логистических перевозчиков.
4. Разработанное информационное обеспечение, в виде совокупности информационных ресурсов и информационных баз, отличается содержательной компонентой, и в комплексе со средствами поиска, хранения, обработки, передачи информации и предложенным математическим обеспечением в виде совокупности математических моделей, учитывающих специальные ограничения, и методов (иерархии Саати с модифицированной 5-ти балльной шкалой, процедуры локального поиска со случайно выбранной окрестностью, предпочтений и замещений Кини - Райфа), обеспечивают решение подзадач планирования транспортного процесса для перевозки готовой продукции, и как следствие, организации поддержки принятия решения при планировании транспортного процесса.

### **Практическая значимость**

1. Практическую ценность представляет подход к организации поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, который за счет использования СППР позволяет повысить эффективность транспортного процесса на этапе планирования с учетом специальных ограничений за счет снижения затрат на доставку готовой продукции на 6–8 %, повышения безопасности доставки готовой продукции, сокращения времени простоя в процессе доставки на 7–9 %.

Разработанные методы решения задач являются инвариантными и могут быть легко адаптированы под конкретное предприятие, предъявляющее некоторые дополнительные реальные ограничения.

2. Практическую ценность составляет программная реализация предложенного подхода, реализующая предложенные методы для комплексной задачи планирования транспортным процессом для перевозки готовой продукции при наличии специальных ограничений.

Описанные результаты диссертационной работы внедрены в ООО «АНК», ООО «ХИМАКС» и в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

### **Методы исследования**

В работе применялись методы системного анализа, решения задач дискретной оптимизации и теории графов, управления и принятия решений. Оценка эффективности предложенного подхода к организации планирования транспортного процесса для перевозки готовой продукции осуществлялась с помощью численных экспериментов на случайно сгенерированных данных, приближенных к реальным условиям.

### **На защиту выносятся:**

1. Подход к организации поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, который обеспечивает решение комплексной задачи по выбору транспортного режима, логистического перевозчика, по формированию рационального маршрута с учетом ресурсных, технологических и дорожных ограничений.

2. Комплекс системных моделей для организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции в виде иерархии моделей бизнес – процесса планирования транспортировки готовой продукции.

3. Структурная схема СППР при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, включающая в дополнение к стандартным элементам подсистемы выбора транспортного режима, логистического перевозчика, формирования рационального маршрута, информационные базы с данными об ограничениях, и предусматривающая участие эксперта при оценивании транспортных режимов и логистических перевозчиков.

4. Информационное обеспечение, включающее информационные базы, информационные ресурсы поисковой географической системы Яндекс.карты, и математическое обеспечение СППР в виде совокупности математических моделей комплексной задачи планирования транспортного процесса для перевозки

готовой продукции, учитывающих специальные ограничения, и методы (*Ch\_transport*, *OPT\_Route*, *Ch\_carrier*) решения каждой подзадачи.

5. Программная реализация предложенного подхода по организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции, обеспечивающая решение комплексной задачи планирования транспортного процесса с использованием разработанных моделей и методов и результаты анализа эффективности предложенного подхода.

### **Достоверность и апробация полученных результатов**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях и семинарах различного уровня: 15-ая Байкальская международная школа – семинар: методы оптимизации и их приложения, Байкал, пос. Листвянка, Россия, 2011; Международная конференция по методам оптимизации и приложениям «*Optimization and applications*», г. Петровац, Черногория, 2011, г. Кошта да Капарика, Португалия, 2012; Международная конференция «Информационные технологии и системы», оз. Банное, Россия, 2012, 2014; 5-ая всероссийская конференция «Проблемы оптимизации и экономические приложения», Омск, Россия, 2012; Международная конференция «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений», Уфа, Россия, 2013, 2014; Международная конференция «Компьютерные науки и информационные технологии», Москва – С. Петербург, 2010, Гармиш – Партенкирхен, 2011, Уфа – Гамбург – Норвежские фьорды, 2012, Вена – Будапешт – Братислава, 2013.

### **Публикации**

Основные положения и результаты исследований по теме диссертации опубликованы и непосредственно отражены в 27 публикациях, из них 4 – в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия» (в соавторстве с Амирхановым Т.Р., свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 201361603, М.: Роспатент. 2013).

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

Работа является частью научных исследований, выполненных в рамках инициативных научных проектов, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований по темам «Алгоритмическое и программное обеспечение поддержки принятия решений в задачах управления сложными социально – экономическими системами при наличии слабо структурированных данных», «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем»; в рамках НИР по теме «Разработка инструментальных средств поддержки принятия решений для различных видов управленческой деятельности в промышленности в условиях слабоструктурированной информации на основе технологий распределенного искусственного интеллекта»; в рамках хоздоговора по теме «Разработка логистической системы для решения задач оптимизации перевозок и размещения грузов». Предложенная в работе модифицированная модель нахождения рациональных маршрутов была получена во время стажировки, финансируемой международной программой

Erasmus Mundus Multic, в Рурском университете Бохума на кафедре исследования операций под руководством профессора Brigitte Werners.

### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, в том числе библиографический список из 131 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность выполненной диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, положения, выносимые на защиту, указана научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** проведен анализ проблемы организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки готовой продукции (ГП) и выявлены основные недостатки в планировании ТП для перевозки ГП: задержки в обслуживании клиентов; нерациональное использование имеющихся транспортных средств; большие затраты на поиск способов дополнительных возможностей транспортировки готовой продукции; большие объемы информации, по результатам обработки которой принимаются решения при планировании ТП.

Результаты анализа различных концепций и методик, применяемых для поддержки принятия решений при планировании ТП, показали, что для эффективного планирования ТП необходимо разработать подход к организации поддержки принятия решений при планировании транспортным процессом на основе решения комплексной задачи планирования ТП для перевозки ГП, включающей следующие подзадачи: выбор способа транспортировки и вида транспорта, формирование рациональных маршрутов, выбор логистических перевозчиков для доставки ГП.

Приведены результаты анализа различных методов и методик, применяемых для решения задач выбора способа транспортировки и вида транспорта, выбора логистического перевозчика (ЛП) для доставки ГП, которые сводятся к многокритериальным задачам принятия решения, что в свою очередь влечет за собой необходимость обеспечения лица, принимающего решения, информационной поддержкой. Задача формирования рациональных маршрутов сводится к задаче маршрутизации транспорта с дополнительными ограничениями и относится к *NP*-трудным задачам комбинаторной оптимизации.

Отражены результаты проведенного анализа известных программных средств, обеспечивающих поддержку принятия решений при планировании ТП для перевозки ГП, которые показали, что нет единой клиентоориентированной системы, позволяющей интегрировать различные математические модели для решения задач планирования ТП, учитывающего особенности осуществления транспортировки нефтехимической продукции.

**Вторая глава** посвящена разработке подхода к организации поддержки управленческих решений с использованием СППР при планировании ТП для

перевозки ГП и системных моделей для реализации данного подхода.

Представлены результаты анализа системы управления материальными потоками предприятия с использованием системного подхода, которые показали, что процесс движения материального потока порождает большой объем информации, определяемой количеством поставщиков, потребителей, дистрибьютеров, организационно-правовой структурой предприятия, номенклатурой материальных ресурсов, готовой продукции, а также внешней средой. При рассмотрении вопросов управления материальными потоками при закупке, складировании, производстве, сбыте (распределении), нельзя не затронуть и другие виды потоков – финансовые и информационные.

Взаимодействие потоков, как объектов изучения логистики, в процессах хозяйственно-экономической деятельности предприятия рассмотрено в рамках звеньев цепочки поставок, которые, в свою очередь, являются элементами логистической системы. Логистическая система относится к классу открытых и сложных систем. Открытая система – за счет взаимодействия с огромным количеством поставщиков и потребителей, сложная – за счет деления на множество подсистем: логистика снабжения, запасов, производственная, распределительная, складирования, транспортная.

Логистическая система характеризуется: наличием общей цели (эффективное управление цепями поставок); делением системы на относительно большие части – подсистемы; возможностью оценить качество функционирования каждой подсистемы в зависимости от прилагаемых управляющих воздействий и всей системы в зависимости от качества функционирования каждой подсистемы; наличием развитых внутренних и внешних связей; иерархической структурой управления.

Показано место логистической системы в системе управления предприятием, а также место транспортной логистики в логистической системе предприятия.

Определено значение функции планирования транспортного процесса в рамках его управления.

Выявлены и структурированы причинно-следственные связи между транспортным процессом и влияющими на него факторами, а также способы достижения эффективного планирования с помощью «диаграммы Исикавы» (рис. 1).

В системе управления транспортировкой готовой продукции в качестве процесса управления выступает транспортный процесс и его обеспечение. За счет управления, правильной организации и корректного обеспечения данного процесса можно достичь повышения сервиса обслуживания и снижения издержек, связанных с перевозкой ГП. Особое место отводится этапу планирования транспортировки ГП. Под субъектом управления понимается лицо, принимающее решение при управлении транспортным процессом, и, в частности, при его планировании. В зависимости от конкретной задачи управления в качестве ЛПР могут выступать логисты, специалисты и менеджеры логистических отделов на промышленных предприятиях.



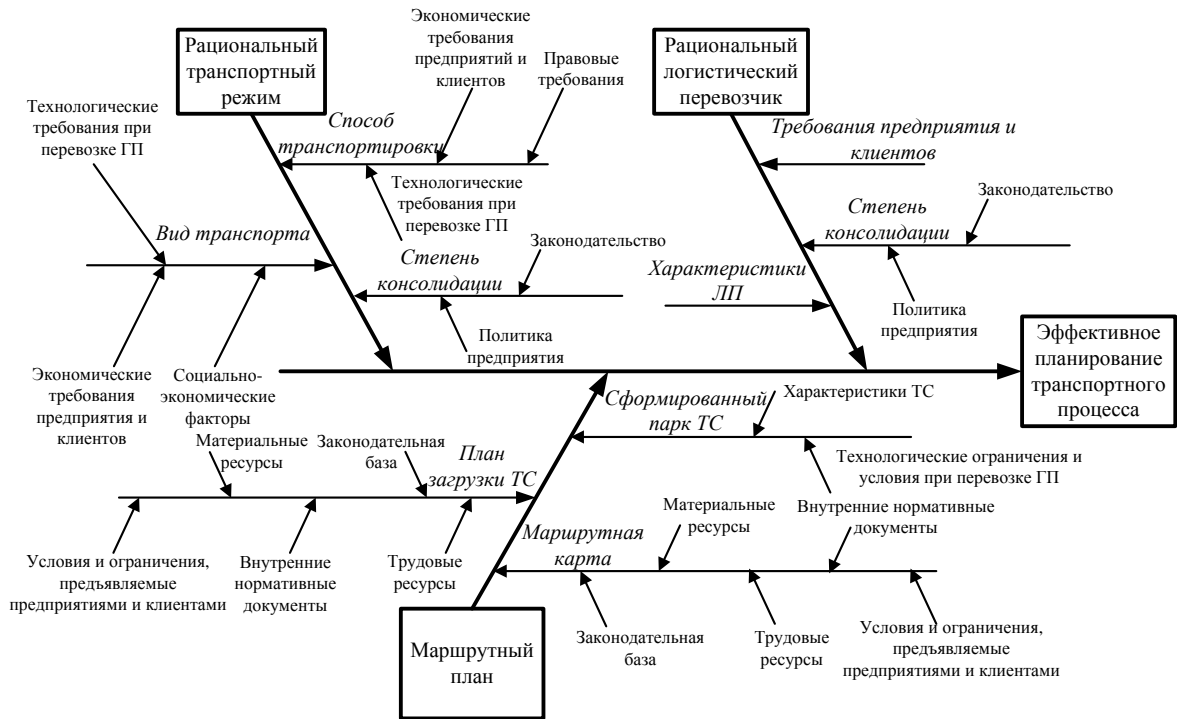


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы выявления способов достижения эффективного планирования ТП

Показано, что с точки зрения теоретико-множественного подхода, процесс управления ТП может быть представлен как система:  $\langle W_{Oy}, Q, R, F_{Oy}, O_{Oy} \rangle$ , где  $W_{Oy} = \{w_{пу}\}$  – множество компонентов процесса управления;  $R = \{r\}$  – множество состояний элементов  $W_{Oy}$ ;  $Q = \{q\}$  – множество воздействий на  $W_{Oy}$ ;  $F_{Oy} = \{f_{пу}\}$  – множество отображений на  $W_{пу}$ ,  $Q$  и  $R$ ;  $O_{Oy} = \{o_{пу}\}$  – множество отношений над элементами  $W_{пу}$ ,  $Q$  и  $R$  (рис. 2). Множество состояний  $R$  отражает показатели эффективности транспортировки (уровень безопасности, временные и стоимостные затраты на обслуживание заказов), и включает в себя два основных подмножества  $\{X, Y\}$ , где  $X$  – данные мониторинга,  $Y$  – уровень эффективного планирования ТП. Множество  $Q$  включает управляющие  $U$  и внешние  $\omega$  воздействия на процесс управления, управляющую и исполнительную систему:  $Q = \{U, \omega\}$ . В качестве управляющего воздействия  $U$  выступают сформированная маршрутная карта ( $U1$ ) вид транспортного режима (ТР) ( $U2$ ), ЛП ( $U3$ ), а  $\omega$  включает показатели эффективности транспортировки, корректировку заказов, ситуацию на дорогах, состояние законодательной базы в области транспортировки. Обратная связь в системе представлена фактическим комплексом показателей ТП – показатели безопасности доставки ГП, время возвращения в депо, степень удовлетворенности заказчиков (нарушение времени обслуживания заказчиков, обслуживание спроса заказчиков полностью). Перечисленные показатели могут служить критериями оценки качества для обслуживания заказчиков и эффективности планирования транспортного процесса. Результатом должен явиться такой транспортный процесс, при котором состояние транспортного процесса  $R$ , при внешних  $\omega$  и управляющих  $U$  воздействиях, будет максималь-

но приближено к требуемому целевому состоянию  $R_0$  (показатели эффективно-го транспортного процесса).

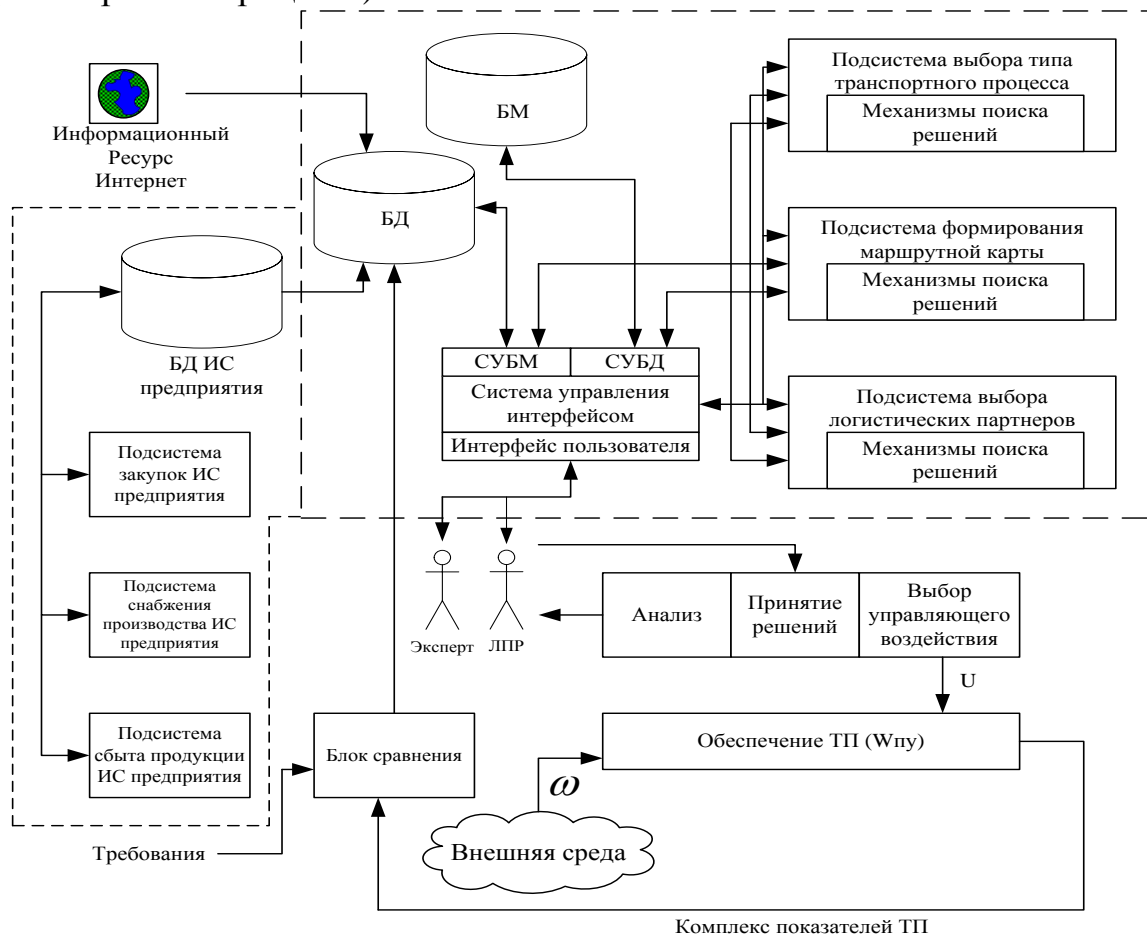


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления ТП

Представлены результаты формализации описания системы управления транспортным процессом в виде системных моделей. В декомпозиции бизнес-процесса управления транспортным процессом при перевозке реагентов, выполненной с помощью SADT-методологии, были выделены следующие действия: планирование транспортного процесса; выполнение перевозки реагентов; контроль ТП перевозки реагентов; анализ ТП перевозки реагентов. Акцент сделан на действие планирование (рис. 3), которое заключается в решении комплексной задачи по выбору транспортного режима, логистического перевозчика и формирования рациональных маршрутов.

Показано, что перечисленные задачи являются трудоемкими, слабоформализуемыми, и требуют, вследствие множества условий и ограничений, обработки большого объема информации. Перечисленные особенности решения комплексной задачи планирования приводят к необходимости организации поддержки управленческих решений с использованием СППР.

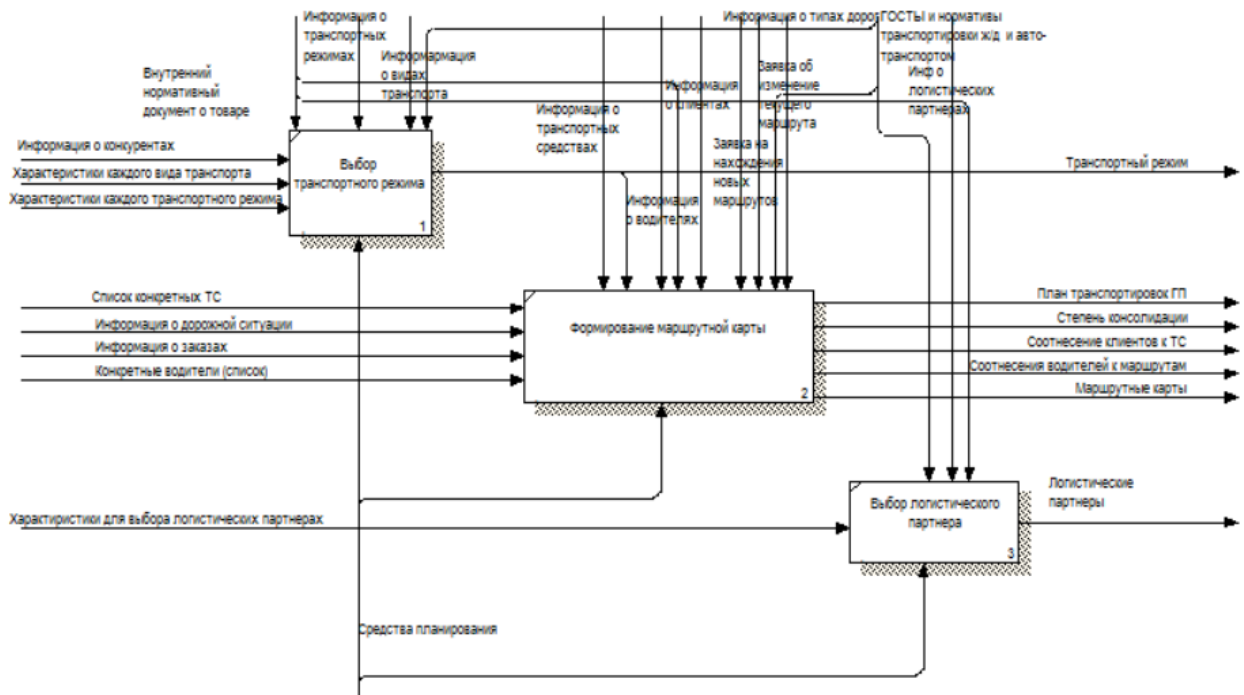


Рисунок 3 – Модель бизнес-процесса планирования транспортного процесса

Приведена схема системы управления ТП с включением СППР для организации поддержки управленческих решений. Предусмотрено участие эксперта для оценивания транспортных режимов и логистических перевозчиков.

Внешние, по отношению к СППР, информационные потоки содержат сведения из баз данных подсистем закупок, снабжения, производства, сбыта продукции информационной системы предприятия, а также информацию о транспортной ситуации на дорогах (транспортные пробки), о типах дорог и рисках ДТП на различных дорогах, полученную с помощью Интернет и информацию, полученную из поисковой географической системы Яндекс.карты.

Базы данных перечисленных подсистем информационной системы предприятия содержат сведения о способах транспортировки и видах транспорта, характеристиках ЛП, предлагающих услуги перевозок, экспертной информации для формирования оценочных значений ТР и ЛП.

База данных СППР содержит дополнительно сведения о маршруте, данные мониторинга.

**Третья глава** посвящена разработке информационного и математического обеспечения СППР при планировании ТП для перевозки ГП.

Информационное обеспечение предложенной СППР представлено информационными базами и потоками информации в виде информации из внешних БД информационной системы предприятия и ресурсов Интернет, а также внутренних БД. Схема данных информационной базы для формирования маршрута при планировании ТП для перевозки ГП представлена на рис. 4.

Приводится содержательная постановка комплексной задачи планирования транспортного процесса для перевозки ГП и соответствующие разработанные математические модели.

Математическая модель для задачи выбора ТР с учетом особенностей

транспортировки нефтехимической продукции и требований предприятия рассматривает критерии: количество видов транспорта, единый оператор перевозки, оплата перевозки, схема взаимодействия участников ТП, количество договоров, ответственность за груз (обеспечение безопасности груза), количество ответственных лиц, время доставки, стоимость перевозки, надежность соблюдения графика доставки груза, частота отправлений, способность доставить груз в любую точку, возможность выбора логистического партнера, время оформления заявки на транспортировку.

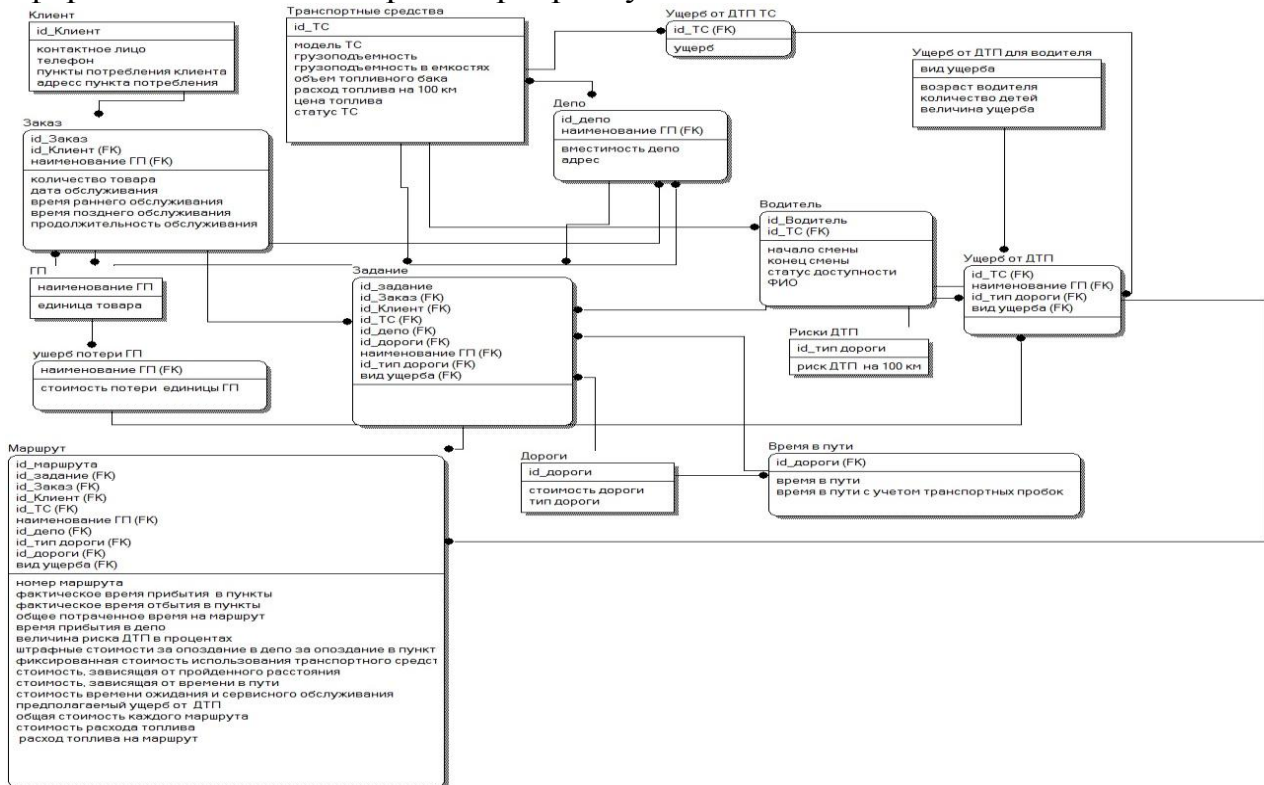


Рисунок 4 – Фрагмент информационной модели для формирования маршрутной карты

Для формирования рациональных маршрутов транспортировки ГП с минимальными планируемыми затратами предложена модификация математической модели задачи маршрутизации транспорта с временными окнами, несколькими депо и с использованием различных ТС (MDHVRPTW (Дондо)) с учетом дополнительных ограничений и условий: каждый клиент может быть обслужен несколькими ТС; ТС может быть размещено не больше, чем в одном депо, т.е. маршрут должен начинаться и заканчиваться в одном депо; спрос каждого клиента должен быть полностью удовлетворен; вместимость ТС не должна превышать их грузоподъемность; границы «временных окон» для каждого клиента должны быть соблюдены, в противном случае планируемые затраты увеличиваются на величину установленного штрафа; период маршрута каждого ТС не должен превышать выбранный период возвращения каждого ТС в депо, иначе планируемые затраты увеличиваются на величину установленного штрафа; суммарно заказы, перевозимые каждым ТС не должны превышать вместимость депо; выбранные маршруты должны проходить по определенным дорожным маги-

стралям (тип дороги А, Р, М); плата за используемые дороги на выбранном наборе маршрутов не должна быть выше, чем плата, которую готово заплатить предприятие за использование платных дорог; выбранный маршрут не должен превышать риск ДТП на маршруте, который предприятие считает допустимой величиной; должна быть учтена дорожная ситуация (автомобильные пробки).

Требуется найти рациональные маршруты, минимизирующие общие затраты (1), которые включают фиксированную стоимость использования ТС –  $cf^v$  (амортизационные расходы, затраты на восстановление износа и ремонт авторезины, затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава); стоимость, зависящую от пройденного расстояния  $c^{dist} \times CV^v$  и времени в пути  $c_t^v \times TV^v_{sum}$  (заработная плата водителей); стоимость времени ожидания и сервисного обслуживания  $\Delta a_i^v$  и  $\Delta b_i^v$ ; штрафные величины за нарушение границ временных окон клиентов и времени возвращения в депо после обслуживания всех клиентов в маршруте –  $p_i \times (\Delta a_i^v + \Delta b_i^v)$  и  $\rho^v \times \Delta TV^v$ ; стоимостную величину ущерба от ДТП  $d^v \times R^v$ .

$$L = \min_{i \in E} (cf^v \sum_{d \in D} X_{dv} + c_t^v \times TV^v_{sum} + c^{dist} \times CV^v + \rho^v \times \Delta TV^v + d^v \times R^v) + \sum_{i \in E} p_i \times (\Delta a_i^v + \Delta b_i^v), \text{ где } v \in V' \quad (1)$$

Модифицированные ограничения модели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Модифицированные ограничения модели «Задача маршрутизации транспорта с временными окнами, несколькими депо и с использованием различных ТС (MDVTRPTW)»

Модифицированные ограничения модели	Комментарий к ограничению
$\sum_{v=1}^K Y_i^v \geq 1; i \in E, v = 1, \dots, k$ , где $Y_i^v$ – назначение ТС $v$ к вершине (клиенту) $i$ , $V = \{1, \dots, k\}$ – множество ТС.	Каждый клиент может быть посещен несколькими транспортными средствами.
$w_{ij} * x_{ij}^v \geq W_{ij}; v = 1, \dots, k; i, j \in V$ , где $x_{ij}^v = 1$ , если ребро $i, j$ было посещено ТС $v$ ; в противном случае $x_{ij}^v = 0$ ; $W_{ij}$ – граничное значение веса ребра $(i, j)$ для прохождения ТС $v$ ; $w_{ij}$ – вес для ребра (дороги) между двумя вершинами $(i, j)$ , который показывает вид дороги.	Выбранные маршруты могут включать в себя дороги типов А, Р, М; каждому виду дорог присваивается определенный вес $w_{ij}$ , то есть для дороги типа $N$ присваиваем $w_{ij} = 1$ , для $K - w_{ij} = 2$ , $A - w_{ij} = 3$ , $P - w_{ij} = 4$ и для $M - w_{ij} = 5$ .
$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} cp_{ij} x_{ij}^v \leq Cp^{max}, v = 1, \dots, k$ , где $x_{ij}^v$ обозначает, что ребро $i, j$ было посещено ТС $v$ , $Cp^{max}$ – стоимость, которую готово заплатить предприятие за использование платных дорог для доставки ГП, $cp_{ij}$ – стоимость прохождения по платным дорогам между двумя вершинами.	Плата за используемые дороги на выбранном маршруте не должна быть выше, чем максимально допустимая оплата за платные дороги.
$R_v = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v, v = 1, \dots, k$ $\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v \leq R^{max}$ , где $p_{ij}$ – коэффициент аварийности для каждого вида	Найденный риск ДТП на маршруте должен быть не больше допустимой величины риска. Для нахождения величины риска ДТП на дороге (ребрах) приняты допущения: ущерб от

Модифицированные ограничения модели	Комментарий к ограничению
<p>ра <math>(i, j)</math>, <math>x_{ij}^v</math> – обозначает, что ребро <math>i, j</math> было посещено ТС <math>v</math>, <math>R^{max}</math> – допустимый коэффициент аварийности для каждого маршрута, <math>R_v</math> – коэффициент аварийности на маршруте, посещаемым ТС <math>v</math>.</p>	<p>ДТП на любом интервале маршрута одинаков, не рассматриваются ДТП в реальном времени. Примем для каждого типа дорог <math>p_{ij}</math> – коэффициент аварийности (величина на 100 км) на участке дорог: <math>p_{ij}^M = p_1</math>, <math>p_{ij}^P = p_2</math>, <math>p_{ij}^A = p_3</math>, <math>p_{ij}^K = p_4</math>, <math>p_{ij}^N = p_5</math>.</p>
<p><math>D^v = d^v R^v</math>, где <math>d^v</math> – ущерб компании от ДТП включает в себя <math>\phi_{dd/id}</math> – ущерб водителя; <math>\phi_{veh}</math> – ущерб транспортного средства; <math>\phi_{cargo}</math> – ущерб потери партии товара, т.е. <math>d^v = \phi_{dd/id} + \phi_{veh} + \phi_{cargo}</math>.</p>	<p>Общий ущерб компании от ДТП на выбранном маршруте.</p>

С учетом особенностей транспортировки продукции нефтехимического предприятия для задачи выбора ЛП разработана математическая модель, которая позволяет минимизировать потребительскую оценку, и включает следующие критерии: стоимость услуги – перевозки; надежность соблюдения графика доставки груза; время оформления заявки на транспортировку, степень ответственности за груз, отслеживание отправок, частота отправок, рейтинг, готовность схем маршрутизации перевозок, «коммуникабельность» предприятия.

Для решения комплексной задачи планирования ТП для перевозки ГП предложен метод *Transportation\_plan*, включающий метод *Ch\_transport*, базирующийся на методе иерархии Саати, и позволяющий учесть две важные составляющие выбора – способ транспортировки и вид транспорта для задачи выбора ТР; алгоритм *OPT\_Route*, в основе которого лежат процедуры локального поиска со случайно выбранной окрестностью для задачи формирования рациональных маршрутов; метод *Ch\_carrier*, основанный на методе предпочтений и замещений Кини-Райфа для задачи выбора ЛП.

Обобщенный алгоритм *ORT\_Route* включает следующие процедуры:

*Шаг 1. Процедура Визуализации* (визуализация всех депо и клиентов, которых необходимо обслужить на интерактивной карте автомобильных дорог).

*Шаг 2. Процедура Кластеризации* (разделение всех вершин депо и вершина клиентов на отдельные кластеры).

*Шаг 3. Процедура Rat\_Route* (нахождение набора рациональных маршрутов транспортировки готовой продукции в каждом кластере (рис. 5)).

*Шаг 4. Процедура Final\_Route* (формирование конечного решения)

*Шаг 4.1. Процедура Activities\_Route* (расчета требуемых показателей найденного набора рациональных маршрутов).

*Шаг 4.2. Процедура DM\_Carrier* (принятие решения об использовании логистические перевозчиков для доставки ГП).



Рисунок 5 – Процедура нахождения рациональных маршрутов

**Четвертая глава** посвящена практической реализации предложенного подхода и исследованию его эффективности на предприятии с учетом реальных условий.

Представлена разработанная программная реализация предложенного подхода к организации поддержки принятия решений при планировании ТП на основе решения комплексной задачи планирования ТП для перевозки ГП. Предложенное программное решение для задачи формирования рациональных маршрутов позволяет использовать одновременно несколько моделей (различные ограничения и условия маршрутизации) и алгоритм с различными видами структур окрестностей для построения маршрутов, проводить комплексные расчеты по нахождению набора рациональных маршрутов. Для формирования рациональных маршрутов используются возможности поисково-информационного картографического сервиса «Яндекс.Карты» (рис. 6).

Численный эксперимент предложенного алгоритма *OPT\_Route*, проведенный на тестовых наборах для задач с учетом таких ограничений как временные окна, парк ТС различной грузоподъемности и множество депо, показал, что на известных классах задач алгоритм *OPT\_Route* способен находить решения не хуже, чем известные алгоритмы.

Для определения эффективности применения предложенного алгоритма для решения задачи формирования рациональных маршрутов с учетом всевозможных ограничений и условий было сгенерировано 100 тестовых примеров. Условия генерации характеристик тестовых примеров нацелены на приближе-



ние к условиям реальных транспортных перевозок. В качестве критериев эффективности формирования рациональных маршрутов были выбраны следующие: общая стоимость маршрута, количество ТС, общее потраченное время.

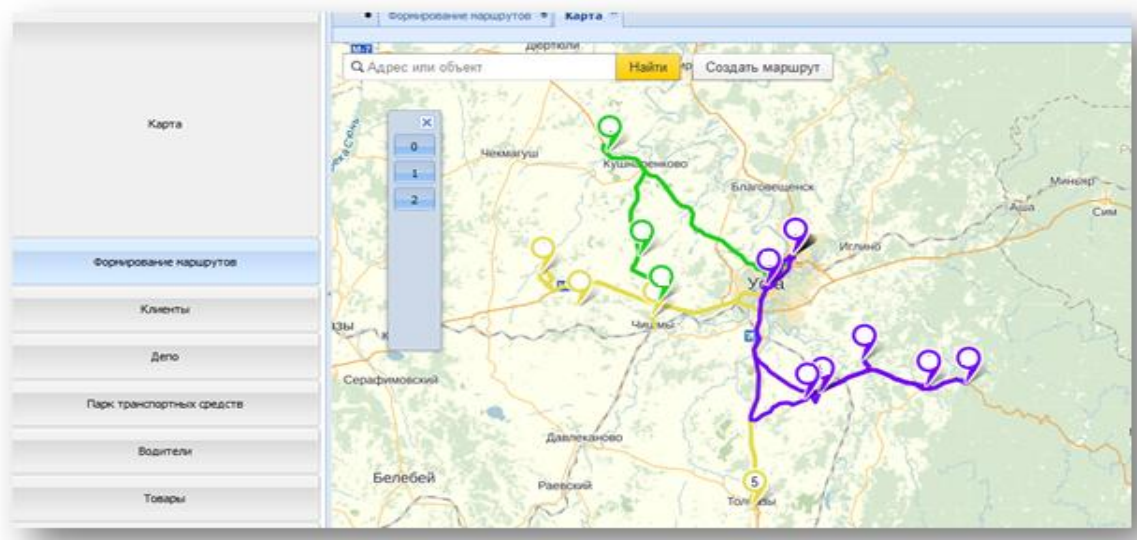


Рисунок 6 – Сформированные рациональные маршруты с помощью программного решения «Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия»

В результате в 95 % случаев удалось снизить затраты на 6–8 % от начальной суммы на доставку ГП клиентам, в 4,5 % применение методики не дало улучшений процесса доставки ГП, в 0,5 % наблюдалось увеличение затрат на доставку ГП. Также удается сократить временные задержки и простои на 9 %.

Применение предлагаемого метода планирования ТП позволило повысить эффективность работы предприятия (потраченное время на формирование заказов и обслуживание клиентов) на 8–10 %.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы по диссертационной работе.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе поставлена и достигнута цель повышения эффективности деятельности предприятия в области планирования транспортного процесса для перевозки ГП за счет организации поддержки принятия решений путем использования разработанной СППР. Получены следующие научные и практические результаты:

1. Предложенный подход к организации поддержки управленческих решений при планировании транспортного процесса для перевозки ГП позволяет идентифицировать подзадачи планирования транспортного процесса и их взаимосвязь, отличается учетом специальных ограничений и включением СППР с целью повышения эффективности управленческой деятельности.

2. Разработанный комплекс системных моделей для организации поддержки управленческих решений при планировании ТП, позволяющий формально описать бизнес-процесс транспортировки готовой продукции, относящейся к классу опасных, и сформулировать требования к предложенной СППР,



учитывающие особенности транспортировки такой продукции и решения комплексной задачи при планировании ТП.

3. Разработанная структурная схема СППР при планировании ТП для перевозки ГП, отличается от известных, включением дополнительных подсистем для решения комплексной задачи с использованием внешней по отношению к СППР информации оперативной системы предприятия и информации, полученной из поисковой географической системы Яндекс.карты, внутренней информации баз данных СППР, и участием эксперта в оценивании транспортных режимов и логистических перевозчиков.

4. Разработанное информационное обеспечение в виде совокупности информационных ресурсов (поисковой географической системы Яндекс.карты), информационных баз (внутренних и внешних по отношению к СППР), позволяющих в комплексе со средствами поиска, хранения, обработки, передачи информации и с предложенным математическим обеспечением в виде совокупности математических моделей комплексной задачи планирования транспортного процесса для перевозки ГП, а также методов решения соответствующих подзадач (*Ch\_transport*, *OPT\_Route*, *Ch\_carrier*), организовывать поддержку принятия решения при планировании ТП.

5. Разработана программная реализация предложенного подхода и проведен анализ эффективности его использования. Показано, что использование предложенного подхода на предприятии позволяет сократить: затраты на доставку ГП клиентам на 6-8%; временные задержки в обслуживании и простои – на 7-9%, затраченное на формирование заказов и обслуживание клиентов время – на 8-10%.

В рамках дальнейших исследований планируется совершенствование методики выбора логистического перевозчика, алгоритма нахождения рациональных маршрутов, разработка математической модели формирования рациональных маршрутов в реальном времени и методы ее решения, совершенствование оценивания методики риска ДТП.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

### *В рецензируемых журналах из перечня ВАК*

1. Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям / Н. И. Юсупова, А. Ф. Валеева, Е. Ю. Рассадникова, И. М. Латыпов, И. С. Кошечев // *Логистика и управление цепями поставок*. 2011. № 5. С. 60–81.

2. Математическая модель задачи выбора рациональных маршрутов в системе управления транспортировки готовой продукции / Е. Ю. Рассадникова, Л. А. Коханчиков // *Современные проблемы науки и образования* [Электронный ресурс]. 2013. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/111-10244> (дата обращения: 15.04.2015).

3. Модифицированный метод иерархии Саати для задачи выбора транспортного режима / Е. Ю. Рассадникова // *Вестник УГАТУ: научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та*. 2014. Т. 18, № 5 (66). С. 146–152.

4. Информационная поддержка в системе управления транспортировкой

готовой продукции / Е. Ю. Рассадникова, О. Н. Сметанина // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. 2015. № 1. URL: [www.science-education.ru/121-18510](http://www.science-education.ru/121-18510) (дата обращения: 15.04.2015).

***Объекты интеллектуальной собственности***

5. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2013661603. Система поддержки принятия решений при управлении транспортировкой готовой продукции предприятия / Е. Ю. Рассадникова, Т. Р. Амирханов. М.: Роспатент, 2013.

***В трудах всероссийских и международных конференций***

6. Оптимизация доставки грузов различными транспортными средствами / Е. Ю. Рассадникова // Методы оптимизации и их приложения: тр. 15-й Байкальской международной школы-семинара (Байкал, пос. Листвянка, 23–29 июня 2011). Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2011. Т. 5. С. 106–109.

7. Задача транспортировки нескольких видов готовой продукции различными транспортными средствами / Е. Ю. Рассадникова // Дискретная оптимизация и исследование операций: тр. междунар. конф. (Новосибирск, Академгородок, 24–28 июня 2013). Новосибирск: Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 2013. С. 133.

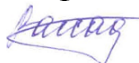
8. Мировой и российский ИТ-рынок систем управления транспортом / Е. Ю. Рассадникова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: тр. междунар. конф. (Уфа, 21–25 мая 2013). Уфа: УГАТУ, 2013. С. 113–117.

9. Пути решения оптимизационных задач транспортного процесса / Е. Ю. Рассадникова // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. 15-й междунар. конф. (Вена–Будапешт–Братислава, 15–21 сентября 2013). Уфа: УГАТУ, 2013. Т. 3. С. 72–78. (статья на англ. яз.)

10. О планировании и управлении транспортным процессом при перевозке готовой продукции нефтехимического предприятия / Е. Ю. Рассадникова // Информационные технологии и системы: тр. 3-й междунар. конф. (оз. Банное, Россия, 26 февр. – 2 марта 2014). Челябинск: ЧГУ, 2014. С. 102–104.

11. Комплексный подход к планированию транспортного процесса для перевозки нефтехимической продукции / Е. Ю. Рассадникова // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления: тр. 2-й междунар. конф. (Уфа, 10–12 ноября 2014). Уфа: УГАТУ, 2014. Т. 3. С. 65–70.

Диссертант



*Е. Ю. Рассадникова*

РАССАДНИКОВА Екатерина Юрьевна

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА  
С УЧЕТОМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)

Специальность:

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.05.2015. ФОРМАТ 60×84 1/16  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ № 257.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный  
технический университет»

Центр оперативной полиграфии  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12