

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Омский
государственный университет
им. Ф.М. Достоевского»



С.В. Замятин

« 10 »

« 03 »

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» на диссертацию и автореферат диссертации **Игнатова Алексея Николаевича** на тему: «Математическое и алгоритмическое обеспечение для принятия решений на графовых структурах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность для науки и практики

Диссертация посвящена разработке алгоритмического и математического обеспечения для поиска расписания движения на транспортных сетях, моделируемых с помощью теории графов, и оценке реализации такого расписания в терминах безопасности (надежности) при заданной траектории и заданном скоростном режиме. Задача формирования расписания движения, являясь широко изучаемой исследователями, до сих пор имеет ряд перспективных направлений для исследования. Одним из таких направлений является решение проблемы финитности горизонта планирования – промежутка времени, на которое строится расписание. В виду конечности такого промежутка система ограничений, задающая движение по графу, может оказаться несовместной, так как объект, подлежащий перевозке, может появиться к концу горизонта планирования или горизонт планирования узок. Выходом из положения может являться отказ от перевозки таких объектов. Однако если все больше и больше мельчить горизонт планирования, то все меньше и меньше объектов будет перевезено, хотя необходимость в перевозках не отпадет. В этой связи разработка системы ограничений, решающей проблему финитности горизонта планирования, осуществленная автором, является актуальной.

Также в работе исследуется задача по оцениванию общего риска при реализации того или иного расписания. Особенностью этой задачи является то, что движению сопутствует ряд неблагоприятных событий. При этом на каждом участке траектории скорость движения может быть различной. В этой связи актуальным является свертка различных неблагоприятных событий в одну интегральную характеристику методами теории вероятностей, что и проводит автор.

Еще одной частью работы является разработка подходов к сравнению решателей задач смешанного целочисленного линейного программирования, имеющих важное теоретическое и практическое значение. Исследования показывают, что для скорости

ОТДЕЛ СКОРОСТИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

28.08.2025

выполнения операций компьютером можно считать случайным, не только сама матрица ограничений, но даже порядок заполнения ее ограничений влияет на скорость получения решений решателями задач смешанного целочисленного линейного программирования. В этой связи требуется корректная методология сравнения решателей, которая и разрабатывается в диссертации.

Краткий анализ содержания работы

Диссертация изложена на 214 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Список литературы содержит 161 наименование.

Во введении дан подробный обзор имеющихся работ по выбранной теме диссертационного исследования и смежным темам, показана необходимость и направления совершенствования имеющихся по тематике диссертации результатов, сформулирована цель работы, аргументирована практическая ценность, а также в сжатом виде изложено содержание глав диссертации.

В первой главе рассмотрена задача формирования расписания грузоперевозок в транспортной сети, представляемой неориентированным мультиграфом. Перевозки между вершинами предполагаются допустимыми только в заранее определенные промежутки времени. Времена готовности грузов к отправлению, начала и конца движения любого транспортного средства, осуществляющего перевозку между вершинами, зафиксированы. Сформулирована новая система ограничений, задающая движение в такой сети, в виде системы линейных равенств и неравенств, содержащих бинарные и непрерывные переменные. Предложен критерий оптимальности, учитывающий помимо временных характеристик перевозок количество недоставленных грузов. Задача поиска оптимального расписания сформулирована в виде модели смешанного целочисленного линейного программирования. Оптимизация проводится по закреплению грузов за транспортными средствами. Предложен итеративный алгоритм поиска решения, приближенного к оптимальному по значению критерия исследуемой задачи. Алгоритм конструируется на основе декомпозиции множества грузов, а также декомпозиции горизонта планирования. Также сформулирована новая система ограничений для одновременного поиска «технологического окна» – промежутка времени, в которое некоторые участки транспортной сети закрываются для проведения регламентных или ремонтных работ – и расписания движения. Исходная постановка сведена к задаче смешанного целочисленного линейного программирования. Ввиду возможных вычислительных сложностей при решении сформулированной задачи предлагается способ поиска субоптимального решения, который основан на формировании базового расписания движения и последующей его корректировке с учетом необходимости в «технологическом окне».

Во второй главе рассмотрена задача поиска расписания движения по неориентированному графу транспортной сети, в которой с учетом занятости ребер предполагается возможным движение между вершинами графа в произвольные промежутки времени. Предполагается, что задано некоторое базовое расписание движения грузов, позволяющее определить свободу ребер графа транспортной сети для движения. Рассмотрена задача по поиску времени и маршрута движения дополнительных грузов по транспортной сети, которая формализована в виде набора задач смешанного целочисленного линейного программирования. При этом маршрут и время движения ищутся отдельно. Если существует решение в хотя бы одной задаче из этого набора, то рассматриваемый груз может быть пропущен через транспортную сеть. Подобная

процедура по «встраиванию» новых грузов в действующее расписание проводится для каждого груза. Также во второй главе исследуется проблема назначения «технологического окна» в транспортной сети с нефиксированным временем движения между вершинами на основе действующего расписания движения. Для назначения «технологического окна» были разработаны три критерия:

- максимизация длины промежутка времени, когда все ребра транспортной сети, подлежащие ремонту, одновременно свободны;
- минимизация количества занятости ребер транспортной сети, подлежащих ремонту, в течение промежутка времени, длительности не меньше заданной;
- минимизация количества грузов, которые следуют через ребра транспортной сети, подлежащие ремонту в течение промежутка времени, длительности не меньше заданной.

В третьей главе разработаны различные математические методы для расчета и управления надежностью движения в транспортных системах. Преимущественно рассматриваются задачи, связанные с железнодорожным транспортом. В начале исследуется задача минимизации негативного влияния случайного фактора на транспортное происшествие с помощью критерия в форме математического ожидания и вероятности. На основе данных о сходах с рельсов и крушениях грузовых поездов произведено прикладное статистическое исследование: построена функциональная зависимость между средним количеством грузовых вагонов в сходе с рельсов и различными факторами движения: скоростью поезда, планом и профилем пути, длиной и массой поезда. Путем статистического анализа определены различные группы транспортных происшествий. Получена формула, которая позволяет при заданном наборе различных факторов движения: скорости поезда, плана и профиля пути, длины и веса поезда – построить оценку распределения количества подвижных единиц в сходе с рельсов. Рассматривается задача оценки вероятности столкновения маневровых составов с поездами на железнодорожной станции, которая получается в явном виде на основе предположения о том, что поток маневровых составов предполагается пуассоновским для каждого стрелочного перевода, на котором возможны боковые столкновения. Также исследована задача распределения ресурсов в технические средства, предотвращающие несанкционированный проезд автотранспортом железнодорожных переездов.

В четвертой главе рассмотрена задача по оцениванию и анализу общего (интегрального) риска на всей заранее заданной траектории транспортного средства при фиксированном скоростном режиме. Предложены две функции интегрального риска: вероятность возникновения транспортного происшествия, средний ущерб – явный вид которых получается на основе доказанной теоремы о законе распределения ущерба при транспортировках.

В пятой главе описан разработанный в рамках работы над диссертацией комплекс программ. Обсуждается назначение программ, их входные и выходные характеристики. Также разработана процедура тестирования решателей, включающая в себя многократное повторение решения одной и той же задачи математического программирования, а также решение задачи математического программирования с теми же переменными, но другими входными данными.

В заключении представлены основные результаты, выносимые на защиту.

Теоретическая значимость полученных результатов

В рамках диссертационного исследования автором была разработана система ограничений, задающая движение по мультиграфу транспортной сети, решающая проблему

финитности горизонта планирования. Для этого были введены величины, характеризующие ожидаемое количество времени до доставки при отправлении из одной вершины в другую. Эти величины строятся на основании исторических данных за перевозками. Таким образом, устанавливается своего рода связь между теорией расписаний и статистикой. Был разработан алгоритм решения задач смешанного целочисленного линейного программирования специального вида, имеющих высокую размерность, который в перспективе можно обобщить на случай задач более общего вида.

Были получены выражений для функций интегрального риска для произвольного количества и типов неблагоприятных случайных событий. Предложена концепция оценивания компонент интегрального риска при движении грузовых поездов, которая подразумевает дальнейшее исследование и модификацию компонент в том числе с использованием новых статистических моделей.

Практическая значимость и рекомендации по использованию результатов диссертации

Диссертация выполнена на стыке теории и практики. Алгоритм формирования расписания движения в транспортных сетях с фиксированным временем движения между вершинами может быть использован в логистических компаниях для оптимизации отправления грузов (посылок, писем). Алгоритм формирования расписания движения в транспортных сетях с нефиксированным временем движения между вершинами (с учетом некоторых модификаций) может быть применен при формировании расписания движения на железнодорожных станциях. Разработанные в диссертации математические методы для решения задач управления надежностью на железнодорожном транспорте могут быть применены, например, при распределении инвестиций на поддержку инфраструктуры. Утверждения о свойствах интегрального (на всем пути следования транспортного средства) риска можно применить при разработке беспилотного рельсового транспорта с целью контроля безопасности скоростного режима.

Достоверность результатов

Достоверность результатов обеспечивается четкостью в формулировании постановок задач, строгими выводами формул, а также большим объемом вычислительных примеров, подтверждающих положения работы.

Замечания по диссертации

1. Приведенные в первой главе алгоритмы не содержат временных оценок сложности.

2. На 9-м шаге алгоритма формирования расписания в первой главе (стр. 51) объединение по p избыточно.

3. Хотелось бы видеть более подробное (теоретическое и практическое) исследование точности алгоритмов, предложенных в первой главе.

4. Автором в пятой главе при формировании методологии сравнения задач смешанного целочисленного линейного программирования показывается, что незначительное изменение начальных данных может существенно повлиять на скорость получения решения решателем. В этой связи все примеры из главы 1 следовало бы дополнить подобным образом: исследовать вопрос времени работы алгоритмов при некотором изменении начальных данных.

