

На правах рукописи



Соловьев Николай Владимирович

**МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность 2.9.9. «Логистические транспортные системы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре управления транспортными комплексами
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»

- Научный руководитель: Доктор технических наук, доктор педагогических наук, профессор
Карелина Мария Юрьевна
- Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Цифровые технологии управления транспортными процессами»
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта»
Ларин Олег Николаевич
Кандидат технических наук, доцент, директор института общепрофессиональной подготовки ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Арифиллин Илья Владимирович
- Ведущая организация: **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»**

Защита состоится «9» октября 2025 года в 10:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.156.02 на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова», ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» по адресу: 109542, Москва, Рязанский проспект, 99, корпус поточных аудиторий конференц-зал Научной библиотеки ГУУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках и на сайтах ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова» <https://www.bstu.ru/> и ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» <https://guu.ru/>. Объявление о защите и автореферат диссертации размещены на сайте ВАК при Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь объединенного
диссертационного совета



А.А.Акулов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ключевым и наиболее общим показателем, оценивающим эффективность транспортного-логистической деятельности в РФ, является величина вклада транспортной отрасли в структуру внутреннего валового продукта (ВВП). На сегодняшний день, согласно официальным данным, значение этого показателя не превышает 5 %, в то время как передовые международные практики демонстрируют значение этого показателя 10...15 и более процентов. В экспертном сообществе, активно обсуждающем данную актуальную проблему, нередко данное неэффективное состояние на современном этапе развития транспортного-логистической деятельности объясняют значительным влиянием внешнего факторного пространства, определяемого колебаниями на глобальном экономическом и геополитических рынках. В качестве основных факторов риска, вызывающих проявление негативных эффектов, называют следующие: ужесточение санкционной политики (геополитические); рост глобального долга и страховых премий (экономические); отсутствие необходимых инфраструктурных мощностей (производственные) и т.д. Забывая, при этом, что эффективность любой системы, определяется не столько влиянием факторов внешней среды, сколько способностью самоорганизации, гибкому реагированию на вызовы внешнего и внутреннего факторного пространства и способностью синтезировать новые сценарии развития в условиях изменения информационного состояния функционирования. То есть корни существующей проблемы находятся внутри неэффективной системы, а не являются результатом внешнего воздействия.

Современная система транспортного-логистической деятельности в РФ сложилась в результате хаотичного развития рынка экономических взаимоотношений в конце прошлого века. Основным признаком, отражающим суть изменений при переходе от централизованного управления к децентрализованной системе управления транспортным производством, являлся перенос субъектности управления от государства к отдельным объектам системы – транспортным и транспортно-логистическим и экспедиторским компаниям.

Естественно, что разрозненные субъекты управления деятельностью не способны сформировать транспортно-логистическую систему, обеспечивающую единство механизмов самоорганизации и развития всей системы в целом. Одним из обязательных элементов единой системы является наличие научно-обоснованной и регламентированной структуры измерителей для оценки эффективности процессов, сопровождающих функционирование системы, в противном случае оценки носят разрозненный и субъективный характер. Важно отметить, что единой системы измерителей результативности транспортного производства для различных видов транспорта в РФ не существует по следующим причинам. В СССР каждое отраслевое министерство (по видам транспорта) оперировало собственным отраслевым

набором измерителей эффективности технологических процессов, а в рыночный период развития транспортной отрасли в РФ, отсутствовала видимая потребность в данных инструментах. В результате каждое транспортное или транспортно-экспедиторское предприятие выстраивает собственную логистику без учета интересов и оценки эффективности их действий для всей системы в целом.

Между тем без единой структуры измерителей эффективности, объединяющей в себе не только экономические и технологические показатели, невозможно сформировать логистическую транспортную систему (ЛТС) РФ, способную гибко реагировать на динамически изменяющиеся условия внешней среды, перераспределять грузопотоки с одного вида транспорта на другой, определять оптимальные маршруты движения отдельных партий груза и подвижного состава, оценивать эффективность транспортной инфраструктуры и прогнозировать сценарии её развития. Поэтому одной из основных проблем, сопровождающих деятельность транспортного производства в РФ, является отсутствие в настоящее время единой структуры измерителей транспортно-логистической деятельности и научно-обоснованных методов, позволяющих её сформировать. Особенно актуальной становится решение данной проблемы в условиях активного развития цифровых технологий и геоинформационных систем, позволяющих оперировать большими данными и управлять ими в «он-лайн» режиме.

Степень разработанности проблемы. Исследование методов управления, организации транспортных систем в контексте взаимодействия видов транспорта, транспортно-логистических систем в контексте оптимизации грузопотоков на различных видах транспорта нашли отражения в трудах отечественных: Гаджинского А.М., Голикова Е.А., Гудкова В.А., Залмановой М.Е., Зырянова В.В., Колобова А.А., Корчагина В.А., Курганова В.М., Лукинского В.С., Миротина Л.Б., Некрасова А.Г., Неруша Ю.М., Омельченко И.Н., Плоткина Б.К., Резера СМ., Сергеева В.И., Шабанова А.В., Чеботаева А.А. и зарубежных ученых: И. Ансофф, Джонсон Дж. С., Э. Мате, Л. Дональд, Ф. Вуд, М. Кристофер, М. Дуглас, Д. Симчи-Леви, Д. Уотерс и др. В работах этих авторов уделяется большое внимание вопросам организации грузовых потоков в транспортно-логистических системах в межвидовом взаимодействии различных видов транспорта. При этом этими авторами неоднократно подчеркивается, что транспортно-логистические системы являются сложно управляемыми объектами в виду неустойчивости факторного пространства, в которых они функционируют, то есть в условиях неопределенности. Между тем, тема единой структуры измерителей и методов определения эффективности функционирования транспортно-логистических систем, в данных условиях (условиях стохастической неопределенности исследуемых показателей) до конца не раскрыта. Этот тезис подтверждается отсутствием научно-обоснованных прикладных методов оптимизации транспортно-логистических систем, которые сегодня нашли свое применение на практике. В данных условиях логическим продолжением развития теории

транспортных систем является разработка качественно новых методов, позволяющих проектировать системы, устойчивые к внешнему возмущающему воздействию (стабильные) и эффективные с учетом противоречивого целеполагания, то есть многокритериальных.

Целью диссертационной работы является разработка метода, как совокупности аналитических и прикладных инструментов, обеспечивающих единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределённости.

Для достижения цели в диссертации поставлены следующие **задачи**:

1. Проанализировать структуру измерителей эффективности различных видов транспорта, выявить причины их неоднородности и информационное состояние, определяющее их нестабильность;
2. Разработать метод, обеспечивающий единство измерителей эффективности функционирования логистических транспортных систем;
3. Разработать математическую модель оптимизации процессов грузодвижения в логистических транспортных системах, синтезирующую новое качество взаимодействия различных видов транспорта;
4. Разработать исследовательское программное обеспечение, позволяющее реализовать разработанный метод в цифровых технологиях управления логистическими транспортными системами;
5. Произвести вычислительный эксперимент с применением разработанного программного обеспечения и апробировать метод, обеспечивающий единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределённости.

Объектом исследования являются процессы грузодвижения в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределенности.

Предметом исследования являются методы управления сложными логистическими системами, основанные на теории принятия решений в условиях статической неопределенности факторного пространства.

Рабочая гипотеза. Любой измеритель результативности в логистической транспортной системе определяется двумя составляющим: численным показателем исследуемого процесса (транспортная составляющая) и значением его влияния на эффективность транспортного процесса (логистическая составляющая). Объективно повлиять на первую составляющую в текущем состоянии системы невозможно без её реструктуризации и (или) изменения входов в систему.

Вторая составляющая измерителя транспортного процесса определяется совокупностью влияния внешнего и внутреннего факторного пространства и является величиной переменной в зависимости от условий применения, в том числе и от вида транспорта. Поэтому разрабатываемый метод, обеспечивающий единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, должен быть основан на управлении значением

влияния факторного пространства на исследуемый процесс в целях повышения эффективности системы в целом.

Методологической основой для диссертационного исследования являются работы отечественных и зарубежных ученых по теории логистических транспортных систем, теории сложных организационно-технических систем, теории системного анализа, теории исследования операции, теории принятия решений, прикладные методы управления на транспорте, а также методы компьютерного моделирования.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.9. «Логистические транспортные системы»:

- Пункту 6. «Информационные системы управления элементами, подсистемами и транспортно-логистической системой в целом, включая цифровые и интеллектуальные технологии, телематику»;

- Пункту 9. «Организационно-технологические решения в области интеллектуализации и цифровизации транспортно-логистических процессов, идентификации и мониторинга объектов и процессов».

Научная новизна исследования заключается в разработке следующих оригинальных результатов:

1. Метод, обеспечивающий единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределённости

2. Математическая модель многокритериальной оптимизации грузопотоков в логистических транспортных системах, основанной на теории принятия решений в условиях неопределенности.

3. Алгоритм, позволяющий реструктуризировать текущее неэффективное состояние исследуемой логистической транспортной системы в эффективное, соответствующее динамически изменяющимся условиям внешней среды.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке нового научно-обоснованного подхода к управлению состоянием эффективности логистических транспортных систем с учетом потенциальных возможностей всех видов транспорта, за счёт оптимального распределения их технологических особенностей в соответствии с условиями функционирования системы.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в возможности:

- внедрения в практику организации логистических транспортных систем любого уровня масштабирования (отдельное предприятие, региональная или национальная система) методического обеспечения, позволяющего оптимизировать их провозные возможности и производительность работы подвижного состава;

- интеграции в создаваемые в рамках национальных проектов информационно-аналитические платформы управления логистическими транспортными системами цифровых технологий, основанных на прикладном

программном обеспечении, унифицирующем количественные и качественные измерители эффективности транспортного процесса на всех видах транспорта

Положения, выносимые на защиту:

1. Научно-методическое обоснование разработки метода, обеспечивающего единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределённости.
2. Концепция формирования логистических транспортных систем с унифицированными измерителями эффективности транспортного процесса на различных видах транспорта.
3. Математическая модель многокритериальной оптимизации грузопотоков в логистических транспортных системах, основанная на теории принятия решений в условиях неопределенности.
4. Алгоритмы и программное обеспечение, позволяющее реализовать разработанный метод в цифровых технологиях управления логистическими транспортными системами.
5. Результаты вычислительного эксперимента (апробации) метода, обеспечивающего единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, функционирующих в условиях неопределённости.

Личный вклад автора. Все основные положения и разработки исследования, положенные в основу метода обеспечения единства измерителей эффективности в логистических транспортных системах и реализующих его неотъемлемых частей, аналитических и прикладных инструментов, принадлежат автору.

Степень достоверности Степень достоверности диссертационного исследования подтверждается:

1. Обширным анализом научных работ, статей и публикаций отечественных и зарубежных авторов по теме исследования;
2. Применением фундаментальных законов системного анализа при выработке основных направлений научного исследования и формировании структуры диссертации;
3. Научно-обоснованным (теорией информационного взаимодействия) применением математического аппарата: методов решения многокритериальных задач, векторной оптимизации и динамического программирования, соответствующего характеру исследуемых процессов;
4. Проведением масштабного вычислительного эксперимента с помощью разработанного исследовательского программного обеспечения на выборке исходных данных, соответствующих вероятностному распределению информационного состояния – стохастическая неопределённость;
5. Отсутствием противоречий с результатами ранее проведенных исследований другими учеными в рамках теории сложных организационно-технических систем и теории принятия решений в условиях неопределенности.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследования докладывались:

- на конференциях:

Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022)

Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021)

X Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте»

XII Международная научно-практическая конференция «Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения)»

- на заседаниях кафедры:

Кафедра управления транспортными комплексами Института отраслевого менеджмента ФГБОУ ВО ГУУ.

Реализация результатов работы. Значимость результатов диссертационного исследования определяется следующим:

1. Прикладные результаты диссертационного исследования были апробированы и приняты к использованию в Научно-исследовательском институте автомобильного транспорта (НИИАТ), что подтверждено соответствующим актом внедрения.

2. Прикладные результаты диссертационного исследования применяются в практической деятельности транспортно-логистической компании ООО «Меларин», г.Санкт-Петербург, что подтверждено соответствующим актом внедрения.

3. Материалы диссертационного исследования внедрены учебный процесс ФГБОУ ВО ГУУ, и используются при подготовке специалистов, магистрантов и аспирантов по направлениям подготовки «Логистика и управление цепями поставок», «Управление транспортными системами», «Транспорт и логистика».

Публикации и патенты. Основные положения и результаты диссертационного исследования были опубликованы в 4 печатных работах, в том числе в 4 научных статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ по научной специальности 2.9.9 «Логистические транспортные системы», получено 1 свидетельство государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация содержит: введение, 4-е главы, заключение, список литературы из 105 наименований источников и 4 приложения с материалами, отражающими уровень практического использования результатов исследования. Работа изложена на 150 страницах основного машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки исследования на тему «Метод обеспечения единства измерителей эффективности различных видов транспорта в логистических транспортных системах», определены цель, объект и предмет исследования. Сформированы задачи диссертационного исследования и научная гипотеза, призванные устранить имеющиеся проблемы при организации логистических транспортных систем.

В первой главе «Анализ состояния и перспектив развития логистических транспортных систем в РФ» обосновано наступление этапа развития ЛТС, характеризуемого понятиями: неоднозначный, сложный, нестабильный и неопределенный. Дадим оценку каждому из составляющих этого термина:

1) Неоднозначность – это прямое следствие разнородности по качественному признаку входящих в исследуемую систему измерителей. Это значит, что очень сложно привести к одной шкале единиц измерения весь набор входящих в отдельные измерители показателей, потому что это могут быть показатели, оценивающие разнородные по физической природе происхождения процессы. В логистических транспортных системах это могут быть временные показатели (единицы измерения – час., сек.), показатели объемов перевозок, (единицы измерения – т., т-км.), экономические показатели и показатели обеспечения экологической безопасности и дорожной безопасности перевозок и т.д. Кроме того, к неоднозначности можно отнести и противоречивый характер целеполагания, присущий открытым системам, к которым относятся логистические транспортные системы. Это значит, необходимый для исследования набор признаков (свойств) имеет разновекторный характер, а сама система является многокритериальной.

2) Сложность – эта категория системы относится к количественному показателю и говорит о том, что в систему входит большое количество элементов и о наличии большого количества связей между ними. Это в свою очередь, означает, что для совершения действий, направленных на повышение эффективности системы нужно обладать достоверной и объективной информацией о закономерностях характеризующих взаимодействие элементов и объектов в системе.

3) Нестабильность – это свойство, которое правомерно отнести как внутреннему информационному состоянию системы, так и к его внешнему информационному окружению. Оно проявляется в динамическом характере внутренних и большей части внешних процессов, отражающихся на показателях эффективности ЛТС. При этом привычные и распространённые методы линейного программирования для решения транспортных задач должны заменяться на динамические модели.

4) Неопределённость – это свойство системы относится к вероятностным характеристикам исследуемых показателей. Здесь важно знать, что «неопределённость» — это чисто математический термин и его

следует отделять от термина «неизвестность». Отличие неопределённости показателей от неизвестности показателей заключается в следующем. С системных позиций каждый элемент в системе характеризуется информационным кодом, который определяется произведением значения показателя на вероятность наступления события, которое характеризует деятельность того или иного элемента в системе. Неопределенность определяет, что вероятность наступления известного события изменяется в достаточно больших пределах (от 0 до 1), то есть вероятность наступления события не подчиняется классическим законам распределения случайных величин (нормального, логарифмического и т.д.), но при этом сам объект однозначно находится в исследуемой системе и его необходимо учитывать в сложившейся информационной ситуации. Естественно, что отнесение логистических транспортных системы к категории систем, функционирующих в условиях неопределенности, также значительно усложняет процесс целенаправленной деятельности по повышению эффективности ЛТС в силу того, что необходимо прибегать к специализированному математическому инструментарию, который позволяет аналитически решать задачи в условиях стохастической неопределенности.

Проведенный краткий анализ характеристик состояния ЛТС, в условиях которого необходимо решать накопившиеся проблемы в транспортном логистическом производстве РФ, говорит о объективной научной сложности решения поставленных задач. Поэтому действия, направленные на повышение эффективности производства в ЛТС, должны координироваться централизованно, что в свою очередь, обязывает согласованно оперировать действиями в системе, а это возможно только опираясь на единую базу измерителей эффективности производства на различных видах транспорта.

Во второй главе «Систематизация методов сравнительной оценки эффективности в логистических транспортных системах» обоснована рабочая гипотеза о возможности определения количественных характеристик случайных процессов в сложных системах на основе энтропийного критерия. Для этого введены обозначения: x_{ij} – один из параметров j – го свойства, $f_i(x_{ij})$ – функция распределения этого параметра.

Тогда функционал любого свойства системы определяется выражением:

$$F_j = A_1[f_1(x_{1j})] \wedge A_2[f_2(x_{1j})] \wedge \dots \wedge A_\eta[f_\eta(x_{\eta j})] \quad (1)$$

где η – число параметров j – го свойства; A_η – функционал i – го параметра.

В такой постановке задача статистического или вероятностного анализа сложных систем органически переходит в задачу статистического синтеза нового качества, а от неё к задаче – управлением эффективностью сложных ЛТС. Тогда в качестве объекта управления выступает сама система, а её управлением занимается управляющая система, которая распределяет ресурсы

(сырье, материалы, финансы).

Наибольшую сложность при построении управляющей системы вызывает построение математической модели адекватной исследуемому процессу. При организации управляющих систем широкое распространение получили статистические исследования. Но их недостатком является необходимость проведения больших серий вычислительных экспериментов, то есть фактически в процессе моделирования создается эмпирическая среда, соответствующая характеристиками взаимодействия логистической системы в внешней и внутренней средой. Поэтому следует отдать предпочтение использованию информационных критериев для оценки эффективности действий в сложных системах. В качестве одного из измерителей таких критериев может быть взята мера количества информации $I(t)$, вводимой в логистическую сложную систему для устранения неопределенности поведения самой системы, то есть устранения неопределенности событий:

$$I(t) = H_{\text{экс}}(t) - H_k(t) \quad (2)$$

где $H_{\text{экс}}(t)$ – энтропия эталонной системы,

$H_k(t)$ – энтропия исследуемой системы с определяющим параметром k , который показывает степень концентрации распределений вероятностей эффективного состояния элементов или подсистем в системе

С ростом определяющего параметра k , энтропия $H_k(t)$ исследуемой системы уменьшается. Поскольку исходная неопределенность $H_{\text{экс}}(t)$ эталонной системы является фиксированной величиной, то уменьшение энтропии приводит росту информации $I(t)$, а, следовательно к росту эффективности действий в системе. Величина $I(t)$ зависит от множества факторов:

- наличия избыточности структуры в системе,
- организации системы.
- возможности самоорганизации и т.д.

Следовательно, $I(t)$ – характеризует способность системы поддерживать и сохранять устойчивость нормального функционирования. Эта информация определяется выборкой случайных значений эффективности действий по специально спроектированным алгоритмам. Каждое значение случайной величины несет информацию о степени упорядоченности в системе, о происходящих в ней изменениях структуры и параметров. Нетрудно заметить, что информационный критерий характеризует степень приспособленности системы к определенной задаче и совпадает с понятием эффективности в системе.

Последнее является общепринятой характеристикой сложной системы. Тогда эффективность Φ логистической транспортной системы в общем виде записывается как:

$$\Phi = \sum_{i=1}^M \Phi_i P(w_i) \quad (3)$$

где Φ_i – условная эффективность системы, находящаяся в w_i -ом состоянии,

$P(w_i)$ вероятность этого состояния.

Тогда потоки событий в ЛТС, интегрирующей несколько видов транспорта необходимо рассматривать как информационные сообщения, когда в качестве источника сообщений можно взять события на маршруте доставки груза потребителю. Сообщение о событиях на маршруте доставки можно представить следующим образом.

$$\left\| \begin{matrix} X \\ P \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} X_1, X_2, X_3, \dots, X_m \\ P_1, P_2, P_3, \dots, P_m \end{matrix} \right\|, \quad (4)$$

где X_1 – события, а P_1 – вероятности их возникновения.

В качестве критериев, определяющих новую синтезируемую структуру, должны рассматриваться свойства системы для выполнения заложенного функционала, то есть использования её по назначению. При независимости событий неопределённость маршрута как источника информации может быть охарактеризована его энтропией:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^m P_i \log P_i \quad (5)$$

В третьей главе «Разработка аналитических инструментов метода обеспечения единства измерителей в логистической транспортной системе» разработаны модели прогнозирования, основанные на использовании информационных критериев для оценки эффективности действий в сложных системах. В качестве одного из таких критериев взята мера количества информации $I(t)$, вводимой в логистическую сложную систему для устранения неопределённости поведения самой системы, то есть устранения неопределённости событий:

$$I(t) = H_{\text{экс}}(t) - H_k(t) \quad (6)$$

где $H_{\text{экс}}(t)$ – энтропия эталонной системы;

$H_k(t)$ – энтропия исследуемой системы с определяющим параметром k , который показывает степень концентрации распределений вероятностей эффективного состояния элементов или подсистем в системе

Характерной особенностью модели (6) является то, что $H_{\text{экс}}(t)$ энтропия эталонной системы, определяющей вероятности эффективной работы описывается экспоненциальным законом. Математическая запись модели имеет вид:

$$H_{\text{экс}}(t) = H_{j0} \exp(bt) \quad (7)$$

Для применения информационного критерия в сложной ЛТС, необходимо сформировать систему оценки, состоящую из нескольких видов транспорта по нескольким критериям эффективности:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= A_{11}[f_{11}(x_{11})] \wedge A_{21}[f_{21}(x_{21})] \wedge \dots \wedge A_{m1}[f_{m1}(x_{m1})] \\ F_2 &= A_{12}[f_{12}(x_{12})] \wedge A_{22}[f_{22}(x_{22})] \wedge \dots \wedge A_{m2}[f_{m2}(x_{m2})] \\ &\dots \\ F_n &= A_{nm}[f_{nm}(x_{nm})] \wedge A_{nm}[f_{nm}(x_{nm})] \wedge \dots \wedge A_{nm}[f_{nm}(x_{nm})] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$j = 1 \dots n, i = 1 \dots m$$

где m – число параметров j – го свойства, соответствующее количеству исследуемых видов транспорта; j – количество исследуемых свойств; A_{nm} – функционал i – го параметра для j – го свойства; F_n – функционал j – го свойства

Тогда эффективность Φ_i для i -го состояния или вида транспорта ЛТС определяется по j -ой совокупности свойств общих для всех видов транспорта, трансформируется в следующее выражение:

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^n \Phi_{ij} P(w_j) \quad (9)$$

где Φ_i – условная эффективность системы для отдельного состояния системы или вида транспорта, характеризуем набором j -ой совокупностью свойств; $P(w_j)$ вероятность проявления исследуемых свойств.

Для каждого вида транспорта, исходя из (9)

$$\sum_{j=1}^n P(w_j) = 1 \quad (10)$$

а, при интеграции нескольких видов транспорта в единый маршрут можно представить следующим образом.

$$\left\| \begin{matrix} X_{ij} \\ P_{ij} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, \dots, X_{mj} \\ P_{1j}(w_j), P_{2j}(w_j), P_{3j}(w_j), \dots, P_{mj}(w_j) \end{matrix} \right\|, \quad (11)$$

где X_{mj} – события для каждого вида транспорта, определяемые совокупностью свойств, P_{mj} – вероятности их проявления.

При этом при независимости событий неопределённость маршрута как источника информации может быть охарактеризована его энтропией:

$$H_i(X_{mj}) = - \sum_{j=1}^m P_{ij}(w_j) \log P(w_j) \quad (12)$$

Математическая модель поиска максимально возможной эффективности ЛТС для отдельных участков маршрута по совокупности присущих всем видам транспорта свойств (критериев качества), основанная аналитическом определении информационного критерия может быть записана в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_i = \sum_{j=1}^n P_j X_{ij} \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n P_j = 1, 0 \leq P_j \leq 1, c_j \geq P_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \\ B_{ij} = \begin{cases} \frac{A_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} A_{ij}} \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} A_{ij}}{A_{ij}} \end{cases}; B_{kj} = \max_j B_{ij}, \\ K_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{c_{ij}}, \text{ если } j \leq c_{ij}, \\ 0, \text{ если } j > c_{ij}, \end{cases} \\ j = 1 \dots n, \text{ где } K_{ij} \equiv P_j, B_{ij} \equiv X_{ij} \\ \Phi_i = \sum_{j=1}^n K_{ij} B_{ij}; \\ \Phi_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} \Phi_i \end{array} \right. \quad (13)$$

где X_{ij} - переменное значение параметра, принимающее текущее значение A_{ij} для исследуемого участка маршрута; B_{ij} – нормированное значение показателя A_{ij} качественных измерителей отдельных свойств системы или критериев целеполагания); B_{kj} – максимальное значение нормированного показателя A_{ij} для отдельного вида транспорта на всей совокупности исследуемых свойств, $j = 1 \dots n$; c_{ij} – принимаемое значение индекса j , соответствующее, условию: $B_{kj} = \max_j B_{ij}$; K_{ij} - значение информационного критерия, соответствующего $P(w_j)$ вероятности проявления исследуемых свойств, при котором будет реализован максимум потенциала системы; Φ_i - максимальная эффективность отдельного вида транспорта в текущем состоянии системы; Φ_{ij} – максимальная эффективность системы на отдельном участке маршрута на основании выбора максимально эффективного вида транспорта

Для оценки достоверности модели информационного критерия для определения вероятностей эффективного состояния на отдельных участках ЛТС проведем вычислительный эксперимент. Для проведения вычислительного эксперимента реализуем аналитическую модель (13) в исследовательском программном обеспечении, написанном на алгоритмическом языке C++. Оценка достоверности применения модели информационного критерия для определения вероятностей эффективного состояния на отдельных участках ЛТС производится в результате вычислений на случайной выборке данных по отдельным параметрам исследуемых свойств (состоящей из набора 5-и параметров для 4-х свойств).

$$\Phi_3 = \left\| \begin{array}{cccc} P_{11}356 & P_{12}3,2 & P_{13}24 & P_{14}1043 \\ P_{21}241 & P_{22}4,3 & P_{23}34 & P_{24}1098 \\ P_{31}678 & P_{32}5,6 & P_{33}45 & P_{34}1114 \\ P_{41}457 & P_{42}7,7 & P_{43}46 & P_{44}1123 \\ P_{51}452 & P_{52}5,3 & P_{53}40 & P_{54}1456 \end{array} \right\| \quad (14)$$

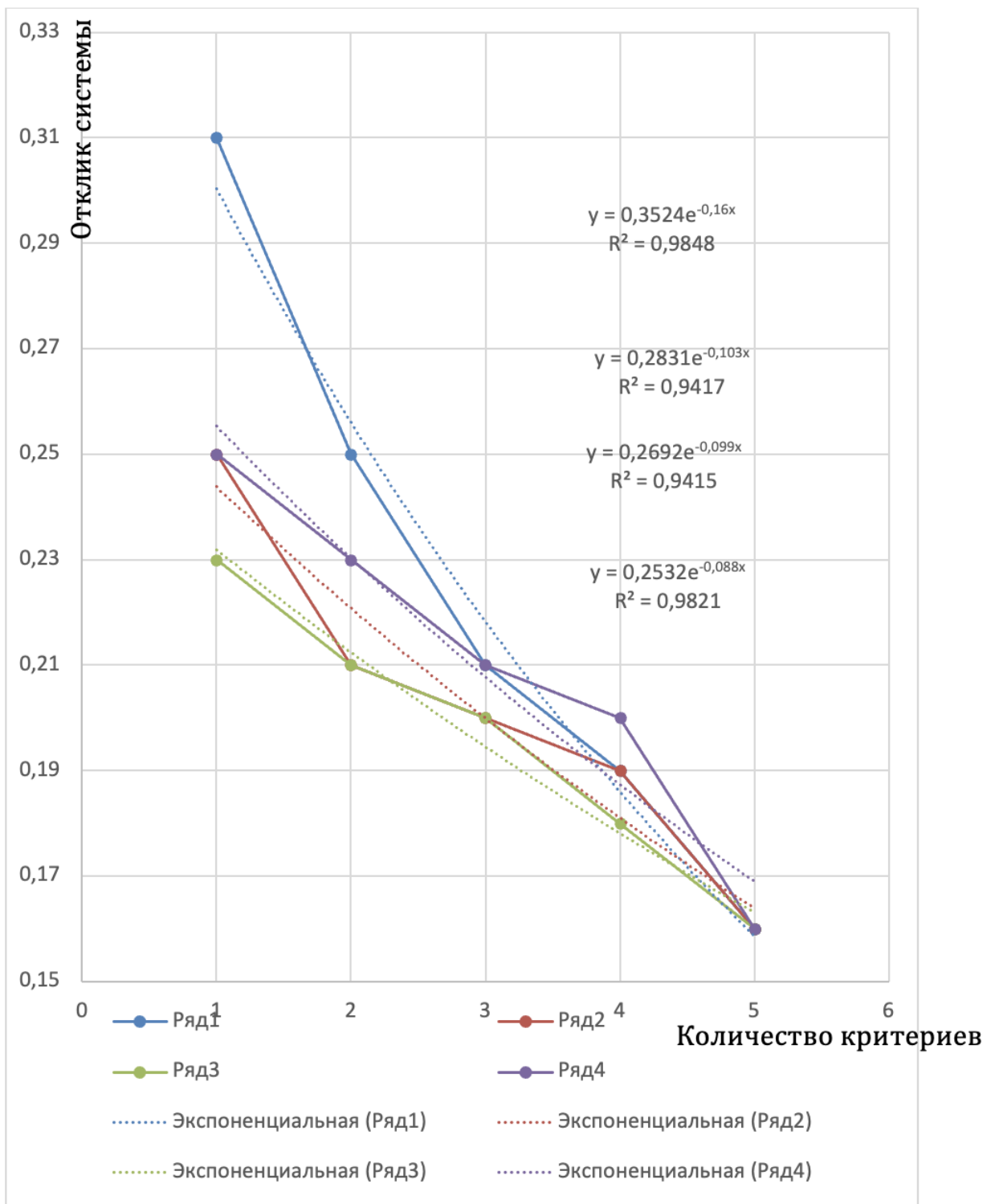


Рисунок 1 – Графики изменения информационного состояния в исследуемой системе на отдельном участке в порядке убывания энтропии (снятия неопределенности).

Полученные результаты расчёта, продемонстрированные на графике 1 однозначно подтверждают, что количественная оценка эффективности логистической системы на отдельном участке при использовании разработанной модели информационного критерия подчиняется убывающей

экспоненциальной зависимости с высокой степенью детерминации (коэффициент детерминации во всех случаях выше 0,9). Характер полученных экспоненциальных зависимостей починается постулату снятия неопределенности, сформулированному условием постановки задачи (7). Поэтому можно утверждать, что разработанная модель информационного критерия для определения вероятностей эффективного состояния на отдельных участках ЛТС является соответствующей условиям задачи (7) и является достоверной.

В четвертой главе «Апробация метода обеспечения единства измерителей эффективности различных видов транспорта в логистических транспортных системах» произведена апробация разработанного метода.

Исходными данными для проверки рабочей гипотезы и апробации метода обеспечения единства измерителей эффективности различных видов транспорта в ЛТС является транспортная сеть на территории РФ, соединяющая ряд крупных городов, и обеспеченная инфраструктурой для взаимодействия различных видов транспорта: автомобильного, железнодорожного транспорта, авиационного, морского и речного сообщений. Не все города включенный в исследуемую транспортную сеть обеспечены полным составом инфраструктуры для обеспечения всеми видами транспорта, но в целом в сети обеспечивается возможность альтернативного сообщения различными видами транспорта. Ниже приведены условные обозначения и наименования городов и порядковый номер включения их в исследуемую транспортную сеть:

- Мр – г. Мурманск, (1)
- Бл – г. Беломорск, (2)
- СП – г. Санкт-Петербург, (3)
- Яр – г. Ярославль, (4)
- Ма – г. Москва, (5)
- Рд – г. Ростов-на-Дону, (6)
- Кр – г. Керчь, (7)
- См – г. Симферополь (8)
- Нр – г. Новороссийск (9)

Набор исследуемых показателей, характеризующих транспортную сеть взаимодействия отдельных видов транспорта, сгруппированы в три отдельных критерия эффективности. Критерии эффективности определены с учетом аналогичных показателей, применяемых для оценки эффективности протоколов маршрутизации (алгоритмов) и маршрутизаторов (программного обеспечения), разрабатываемых в странах ЕС.

- расстояние перемещения груза в одной единице подвижного состава между дискретными элементами логистической транспортной сети (км);
- время перемещения груза в одной единице подвижного состава между дискретными элементами логистической транспортной сети (сутки);

– тоннаж перемещения **пакетированного на поддонах тарно-штучного** груза в одной единице подвижного состава между дискретными элементами логистической транспортной сети (т).

Инструментами вычислительного эксперимента (ВЭ) по определению оптимальной траектории перемещения груза интегрированной ЛТС являются: математическая модель определения для информационного критерия, последовательно снимающего значение неопределённости в исследуемой системе и реализующее её программное обеспечение (алгоритмический язык C++). На рисунке 2 представлена общая условная схема, содержащая представление блоков исходной информации для проведения вычислительного эксперимента по оптимизации транспортного производства в интегрированной транспортно-логистической системе.

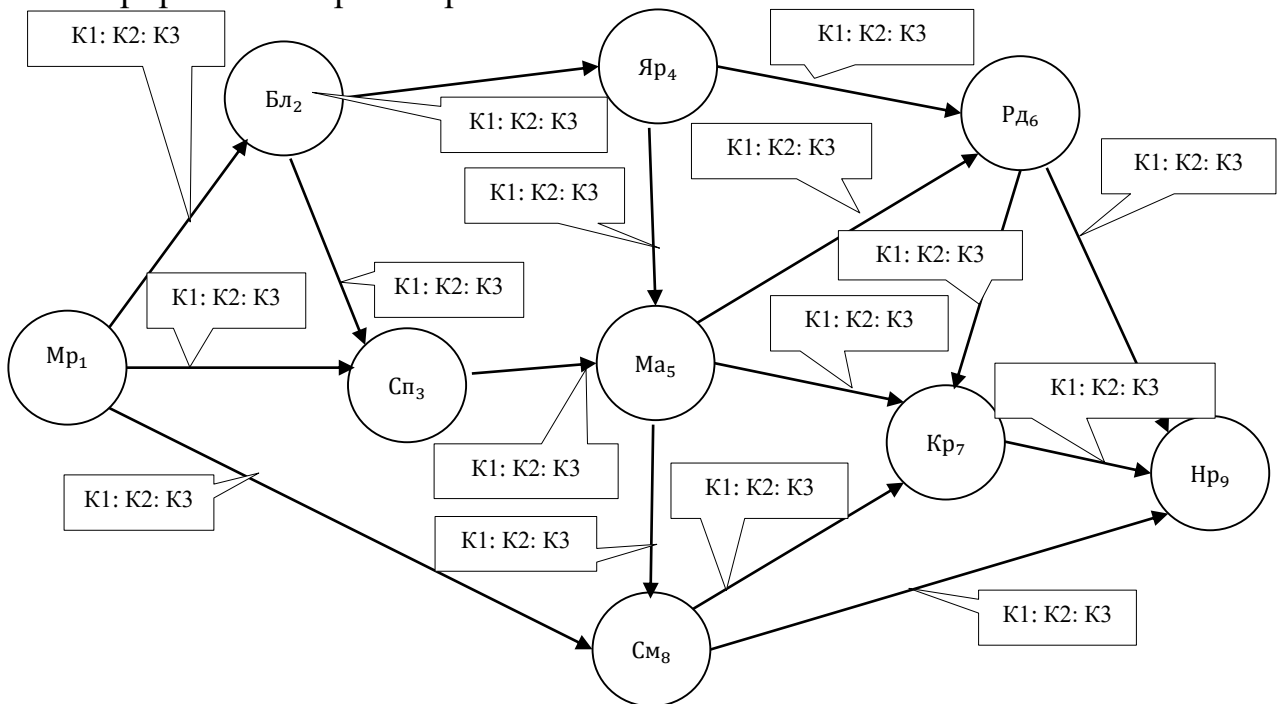


Рисунок 2 – Общая схема исследуемой интегрированной логистической транспортной системы с блоками представления исходной информации: (К1: К2: К3) – набор из трёх исследуемых показателей, характеризующих отдельную дискретную связь.

На рисунке 3 представлены результаты построение графов систем сообщения отдельных видов транспорта с оценкой связей в едином количественном формате с последующим автоматическим их объединением в единую интегрированную логистическую транспортную систему (ИЛТС). Интеграция в едином количественном формате оценок эффективности различных видов транспорта позволяет определить оптимальную в соответствии с информационным критерием траекторию перемещения как отдельных партий груза, так и отдельных единиц подвижного состава.

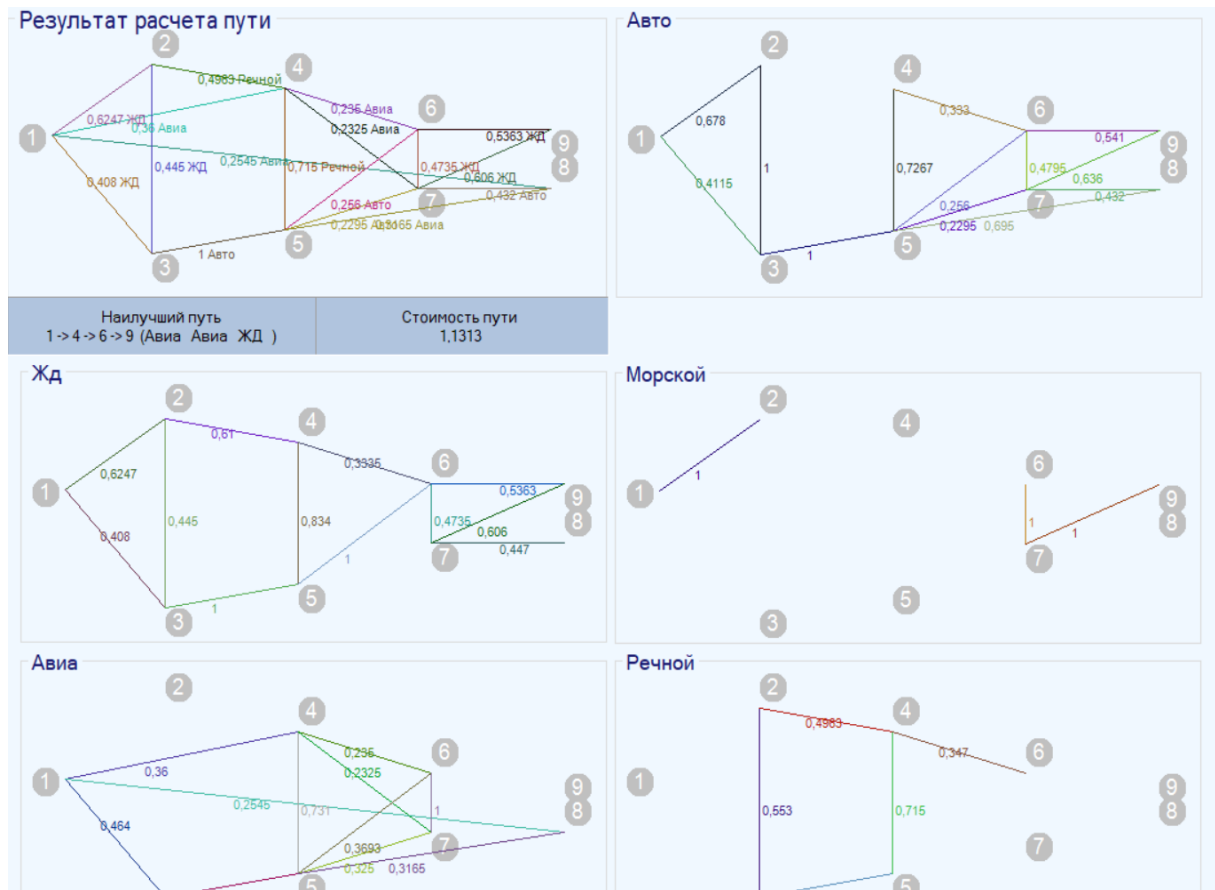


Рисунок 3 – Заключительный интерфейс построения графов систем сообщения отдельных видов транспорта с оценкой связей в едином количественном формате с последующим автоматическим их объединением в единую ИЛТС.

Произведём сравнительную оценку эффективности перемещения одной партии груза, позволяющей разместить её в отдельной единице подвижного состава для каждого из рассматриваемых видов транспорта на пути следования из г. Мурманск в г. Новороссийск. В результате вычислительного эксперимента была получена полная совокупность эффективностей перемещения одной партии груза на всем поле возможных информационных состояний по трём исследуемым критериям (рисунок 4).



Рисунок 4 – Оценка эффективности перемещения груза для всех дискретных состояний ИЛТС

Анализ полученных результатов ВЭ показывает, что если предпочтение отдается критерию время доставки для одной партии грузов, то в этом случае доминируют эффективные оценки авиационного сообщения, но если количество перевозимого (тоннаж) перевозимого груза увеличивается тогда преимущество переходит к автомобильному и ж/д транспорту. На рисунках 5 и 6 представлены оценки перемещения груза отдельно на автомобильном, железнодорожном транспорте.

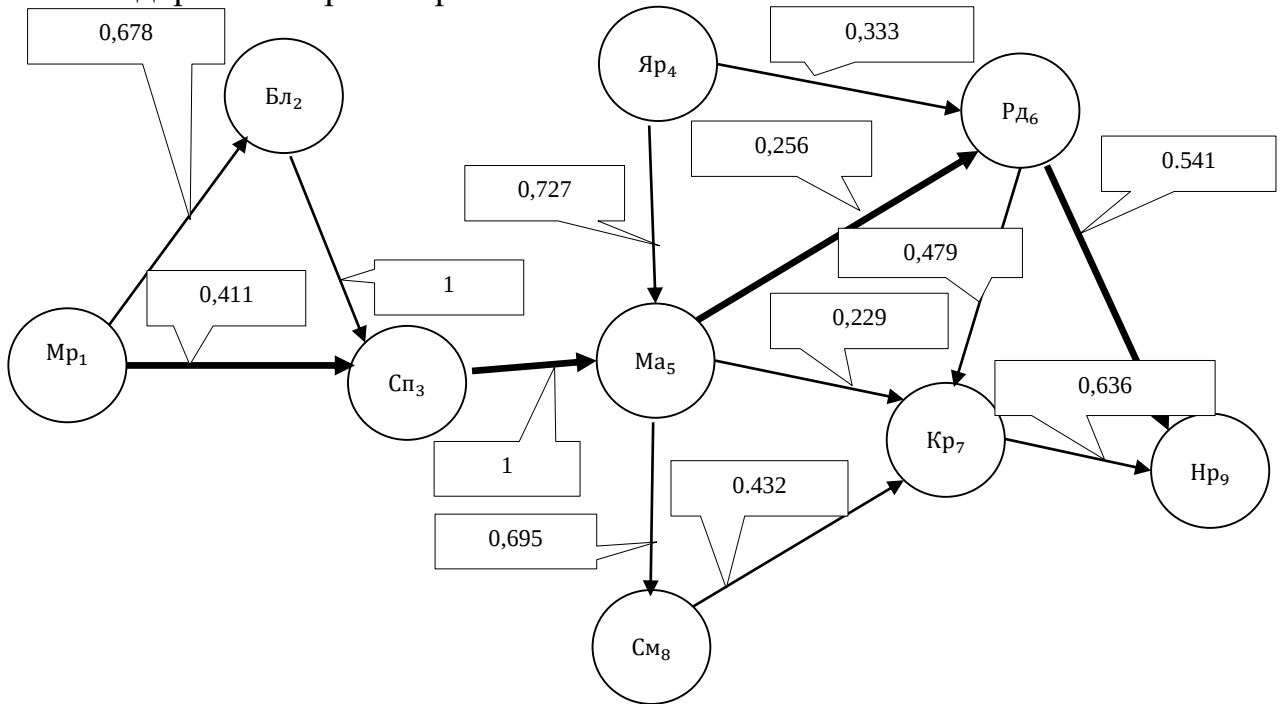


Рисунок 5 – Оценки перемещения груза автомобильным транспорте.

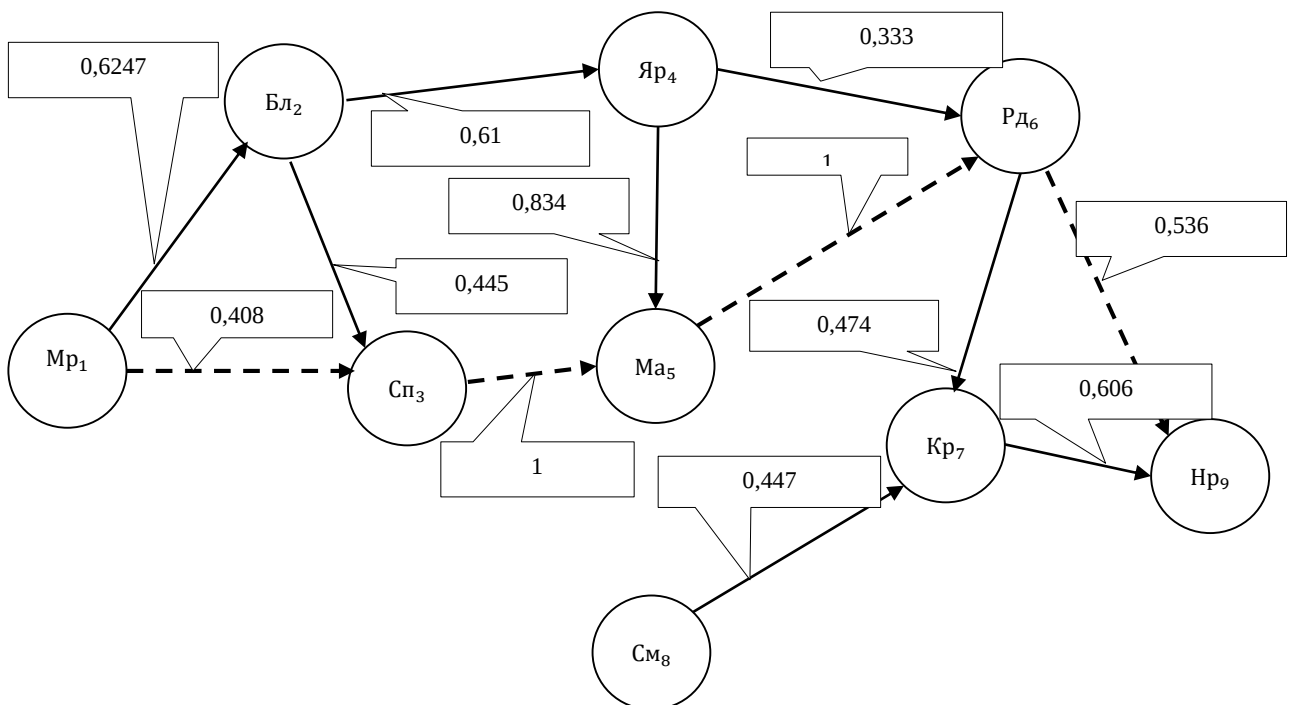


Рисунок 6 – Оценки перемещения груза железнодорожном транспорте

В этом случае в ПО была синтезирована и получена интегрированная схема перемещения груза в ИЛТС (рисунок 7). Результаты расчёта оценок эффективности перемещения груза в ИЛТС превышают результаты расчётов эффективностей в автомобильном и железнодорожном сообщении. График, отражающий результаты расчёта представлен на рисунке 8.

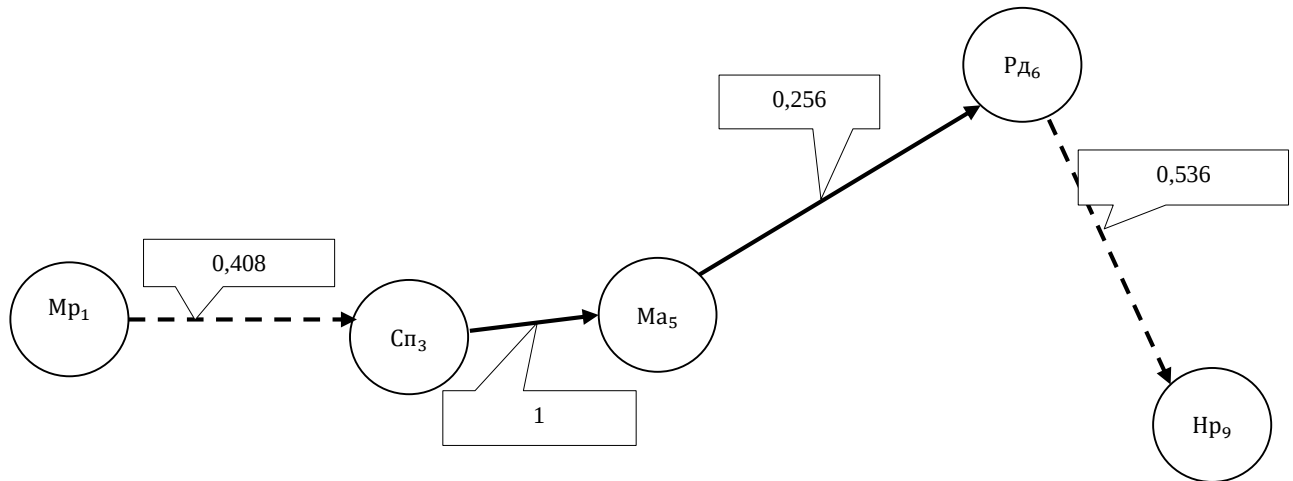


Рисунок 7 – Схема сообщения и значений показателей целеполагания в рекомендованной программой ЛТС.

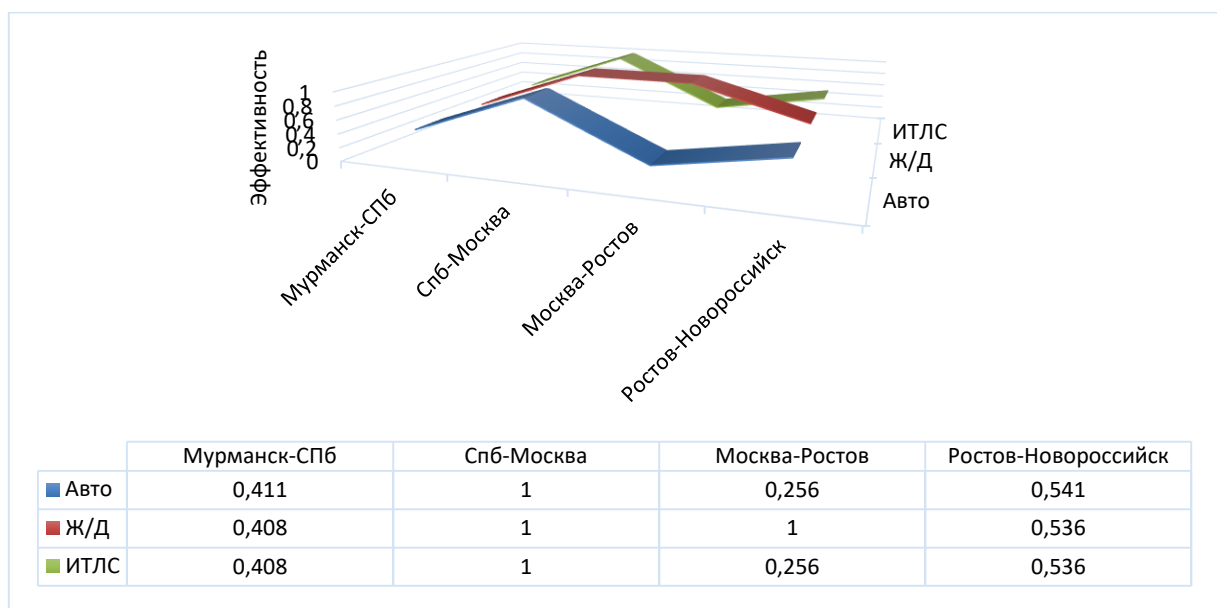


Рисунок 8 - График, отражающий результаты расчёта оценок эффективности по отдельным участкам маршрута в автомобильном, ж/д сообщении и в ИЛТС.

Результаты сравнения количественных оценок эффективности перемещения одной партии груза показывают, что по эффективности перемещения в ИЛТС выше эффективности автомобильного сообщения на 0,36%, а по сравнению с ж/д сообщением на 3,8 %. На рисунке 9 представлены результаты отклика оценок эффективностей при исследовании трёх видов сообщения автомобильного, железнодорожного и в синтезированной ИЛТС

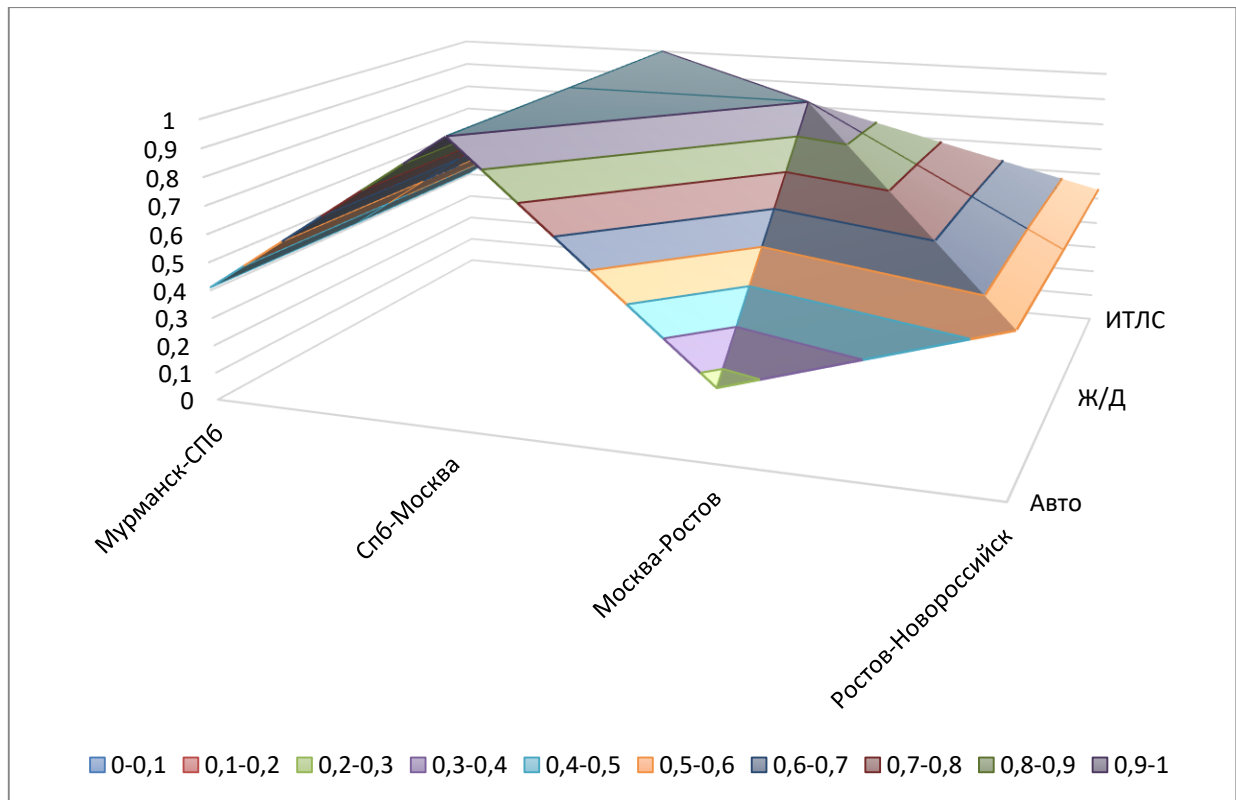


Рисунок 9 - Результаты функции отклика оценок эффективностей при исследовании трёх видов сообщения автомобильного, железнодорожного и в синтезированной ИЛТС.

В заключении сформулированы основные выводы и приведены результаты исследования.

На основе выполненных научно-методических исследований, реализованных в новых математических моделях, алгоритмах и оригинальном программном обеспечении разработан метод обеспечения единства измерителей эффективности различных видов транспорта в логистических транспортных системах. В диссертации были получены научные результаты.

1. Систематизированы данные по условиям функционирования логистических транспортных систем, которые можно определить как неоднозначные, что является прямым следствием разнородности по качественному признаку входящих в исследуемую систему совокупности различных видов транспорта измерителей; сложные – когда в систему входит большое количество элементов и большое количества связей между ними, а к тому же присутствует многоуровневость системы, когда элементы (объекты) в системе расположены на нескольких иерархических уровнях; нестабильные по информационному состоянию системы, что определяется значительной динамикой её измерителей; неопределённые, то есть, когда неизвестны вероятностные законы распределения случайных величин влияния факторов на параметры исследуемой системы.

2. Разработан метод, обеспечивающий единство измерителей эффективности функционирования логистических транспортных систем.

3. Разработана модель информационного критерия, характеризующего степень приспособленности системы к определенной задаче, позволяющая оперировать несколькими параметрами, изменения которых представляют случайные процессы, неподчиняющиеся классическим законам распределения случайных величин, то есть функционирующих в условиях неопределенности.

Оценки достоверности разработанной модели информационного критерия подтвердили, что количественная оценка эффективности логистической системы на отдельном участке при использовании разработанной модели информационного критерия подчиняется убывающей экспоненциальной зависимости с высокой степенью детерминации (коэффициент детерминации во всех случаях выше 0,9). Характер полученных экспоненциальных зависимостей починается постулату снятия неопределенности, сформулированному условием постановки задачи.

4. На основе модели информационного критерия были построены алгоритмы и ПО для определения оптимальной траектории перемещения партии груза в интегрированной логистической транспортной сети. Для построения алгоритмов определения оптимальной траектории перемещения партии груза в интегрированной логистической транспортной сети модернизировался алгоритм Беллмана–Форда. Разработанный алгоритм и программного обеспечения решает задачу динамического программирования по определению оптимальной траектории движения партии груза в интегрированной логистической транспортной системе по нескольким критериям эффективности в условиях стохастической неопределенности внешнего факторного пространства

5. Апробация метода обеспечения единства измерителей эффективности различных видов транспорта в логистических транспортных системах путем проведения вычислительного эксперимента. Результатом вычислительного эксперимента стало построение графов систем сообщения отдельных видов транспорта с оценкой связей в едином количественном формате с последующим автоматическим их объединением в единую интегрированную логистическую транспортную систему. Интеграция в едином количественном формате оценок эффективности различных видов транспорта позволяет определить оптимальную в соответствии с информационным критерием траекторию перемещения как отдельных партий груза, так и отдельных единиц подвижного состава.

Произведенный анализ результатов вычислительного эксперимента по проектированию логистической транспортной сети доставки грузов из г. Мурманска в г. Новороссийск, позволил сделать следующие выводы:

1) в результате вычислительного эксперимента была получена полная совокупность эффективностей перемещения одной партии груза на всем поле возможных информационных состояний по трём исследуемым критериям

2) если предпочтение отдается критерию время доставки для одной партии грузов, то в этом случае доминируют эффективные оценки авиационного сообщения, но если количество перевозимого (тоннаж) перевозимого груза увеличивается тогда преимущество переходит к автомобильному и ж/д транспорту.

3) результаты сравнения количественных оценок эффективности перемещения одной партии груза показывают, что по эффективности перемещения в ИЛТС выше эффективности автомобильного сообщения на 0,36%, а по сравнению с ж/д сообщением на 3,8 %.

4) при моделировании состояния эффективности (прирост) при увеличении количества перемещаемого груза от 1 до 100 партий преимущество ИЛТС увеличивается по сравнению с автомобильным сообщением до 27%, а по сравнению с железнодорожным сообщением до 39%.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Соловьев, Н. В. Методы оценки эффективности производства в сложных транспортных системах / Н. В. Соловьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-1(87). – С. 112-118. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-112-118. – EDN NKPKPN.
2. Разработка математической модели ожидания рисков при логистических транспортных перевозках на конкретном примере / М. Ю. Карелина, М. В. Грязнов, А. А. Акулов, Н. В. Соловьев // Транспортное дело России. – 2024. – № 4. – С. 207-209. – EDN VPXZSE.
3. Оптимизация логистической модели перевозок грузовыми транспортными средствами / М. Ю. Карелина, Ю. Н. Линник, А. А. Акулов, Н. В. Соловьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-3(87). – С. 112-120. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-112-120. – EDN KCSRQD.
4. Модель управления многоуровневыми логистическими транспортными экосистемами / Д. В. Никитин, Н. В. Соловьев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1(97). – С. 77-85. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_77. – EDN КТОЕUP.

Научные статьи в изданиях РИНЦ и сборниках трудов научных конференций.

1. Соловьев Н.В. Анализ условий функционирования логистических транспортных систем в РФ. // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей XII Международной научно-практической конференции / Пензенский государственный университет [и др.]; под ред. Салмина В.В. – Пенза: Пензенс. гос. аграр. ун-т, 2025. – С. 243-249.
2. Соловьев, Н. В. Разработка автоматизированной информационной системы для транспортно-логистической компании / Н. В. Соловьев, В. П. Миронов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022) : сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 18–20 апреля 2022 года. Том Часть 3. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2022. – С. 201-204. – EDN MAYADT.
3. Соловьев, Н. В. Разработка автоматизированной информационной системы для транспортно-логистической компании / Н. В. Соловьев, В. П. Миронов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021) : Сборник материалов Всероссийской

научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–15 апреля 2021 года. Том Часть 4. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2021. – С. 44-46. – EDN QZPJYH.

Свидетельства.

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025616031 Российская Федерация. Программное обеспечение «Математическая модель оценки ожидания рисков при логистических транспортных перевозках» : заявл. 12.03.2025 : опубл. 12.03.2025 / Н. В. Соловьев, А. В. Терентьев, М. Ю. Карелина, Р. О. Судоргин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Государственный университет управления". – EDN PKKWTF.

Подп. в печ. 18.07.2025. Формат 60х90/16. Объем 1 п.л.

Бумага офисная. Печать цифровая.

Тираж 100 экз. Заказ № 986

ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»

Издательский дом ФГБОУ ВО «ГУУ»

109542, Москва, Рязанский проспект, 99, Учебный корпус, ауд. 161

Тел./факс: (495) 377-97-44, e-mail: id@guu.ru

www.guu.ru