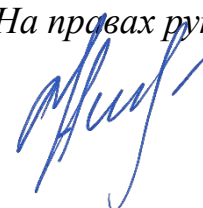


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ»  
(ГУУ)

*На правах рукописи*



**Никитин Дмитрий Владимирович**

**Метод оптимизации структуры управления многоуровневыми  
логистическими транспортными экосистемами**

Специальность: **2.9.9. «Логистические транспортные системы»**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
**Карелина Мария Юрьевна**

Москва – 2026

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В РФ	13
1.1 Анализ состояния и перспектив развития цифровых логистических транспортных экосистем в РФ	13
1.2 Анализ концептуальных направлений решения задач цифровой трансформации транспортного производства в РФ	24
1.3 Анализ моделей управления в условиях необходимости обработки больших объемов неструктурированной информации	36
Выводы по первой главе	41
2 СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	45
2.1 Исследование применимости метода корреляционного анализа для информационных ситуаций, сопровождающих деятельность логистических транспорт экосистем	45
2.2 Практическая оценка связей между измерителями функционала логистических транспортных систем на моделях корреляционного анализа	53
2.3 Адаптация метода корреляционного анализа к применению в структурах управления со слабыми корреляционными связями между измерителями транспортного процесса в экосистеме	63
Выводы по второй главе	68
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ТОПОЛОГИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА УРОВНЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В МНОГОУРОВНЕВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	71
3.1 Разработка комбинаторной модели описания возможных состояний логистической транспортной экосистемы	71

3.2 Разработка многоуровневой структура исследования возможных состояний логистической транспортной экосистемы	78
3.3 Разработка программного обеспечения выбора эффективных состояний логистической транспортной экосистемы	86
Выводы по третьей главе	95
4 АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМАХ	98
4.1 Исходные данные для апробации метода организации многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах	98
4.2 Вычислительный эксперимент по формированию топологии многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах	104
4.3 Анализ результатов вычислительного эксперимента по формированию топологии многоуровневых транспортных экосистем	113
Выводы по четвертой главе	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	126
<i>ПРИЛОЖЕНИЯ</i>	<i>138</i>
<i>Приложение А. Документы, подтверждающие практическую значимость исследования</i>	<i>139</i>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Необходимость формирования логистических транспортных экосистем являются закономерным результатом развития современного индустриального техногенного общества. Само понятие экосистема является неотъемлемой частью концепции социотехнической и природной глобализации при организации современных процессов индустриального производства и предполагает активное взаимодействие взаимосвязанных закономерностей развития социума, биосферы и искусственного мира. По определению, транспорт, как элемент производственных отношений в «искусственном мире» играет важнейшую роль в современной тенденции интегративных изменений в общественном производстве и техносфере в целом в направлении формирования постиндустриального общества. Логистические транспортные системы, в свою очередь, являются ключевым элементом интеграции сложной системы транспортного производства, как внутри системы, так и по внешнему контуру взаимодействия с другими отраслями хозяйственного механизма государства. Таким образом, выстраивается иерархия взаимоотношений транспортных экосистем с внешней средой, активизирующей противоречивые интересы социального общества, государственных институтов управления, субъектов производства в рыночной экономике и т.д. Достичь эффективного состояния в сложной многоуровневой транспортной экосистеме в условиях возмущающего воздействия внешней среды и обладающей развитым внутрисистемным комплексом организационных и технологических структур невозможно при отсутствии системообразующих инструментов оптимизации структур управления. Под управлением в логистической транспортной экосистеме понимается преобразование больших объёмов информации, отражающей сложную инфраструктуру взаимодействия внешних и внутренних факторов, в действия по оценке эффективности субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия для повышения эффективности системы в целом.

В современных условиях РФ структура управления транспортно-логистическими экосистемами формируется спонтанно в виде интеграционных

информационно-аналитических систем, назначение которых интегрировать имеющуюся информацию о потребности в перевозках и согласовывать её с провозными возможностями транспортных предприятий, представляя информацию в виде цифровых сервисов. При этом модели поддержки принятия решений опираются на удовлетворение, в первую очередь, интересов субъектов транспортного производства – отдельных транспортных предприятий. В этом случае структура транспортного производства складывается бессистемно, носит хаотичный характер. Между тем логистическая транспортная экосистема предполагает упорядоченное взаимодействие, отвечающее интересам всех задействованных участников. Помимо интересов транспортных предприятий, это интересы социума, в части обеспечения требований экологической безопасности и доступности транспортных услуг, интересы органов государственного управления, в части организации, развития и содержания транспортной инфраструктуры и обеспечения безопасности дорожного движения и т.д. Необходимость удовлетворять перечисленные интересы, а также повышать эффективность транспортного производства для обеспечения национальных экономических интересов, безопасности и суверенитета декларируется в распоряжении Правительства РФ от 03.11.2023 № 3097-р «Стратегическое направление в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года».

Комплексное решение данных задач возможно только с применением объективных аналитических инструментов, позволяющих организовать эффективное управление в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем. Для этого необходима разработка научно-обоснованных методов поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующих структуру взаимодействия субъектов логистического транспортного производства, реализованных в отечественном программном обеспечении.

**Степень разработанности проблемы.** Методы управления транспортными системами как сложными организационно-техническими структурами активно

исследовались, начиная с момента их возникновения и до настоящего времени как отечественными, так и зарубежными учеными. Большой вклад в развитие методов управления транспортным комплексом СССР и РФ и организации эффективных транспортных систем внесли отечественные ученые: Афанасьев Л.Л., Бронштейн Л.А., Бусленко, Н.П., Буслаев А.П. Вельможин А.В., Воркут А.И., Гаджинский А.М., Геронимус Б.В., Горев А.Э., Гудков В.А., Зырянов В.В., Лейдерман С.Р., Корчагин В.А., Курганов В.М., Лукинский В.С., Миротин Л.Б., Резер С. М. Цукерберг С.М. и др. За рубежом вопросам организации транспортно-логистических систем и взаимодействию различных видов транспорта посвящали свои научные труды: И. Ансофф, Э. Мате, Л. Дональд, Ф. Вуд, М. Кристофер, М. Дуглас, Д. Симчи-Леви, Д. Уотерс и др. Научные труды перечисленных ученых послужили фундаментальной базой данного исследования в части необходимости придерживаться строгих аналитических методов управления сложными транспортными системами и обязательного соответствия специфики применяемых методов условиям функционирования транспортных систем. Именно специфические особенности логистических транспортных экосистем такие как, наличие нескольких уровней управления в исследуемой системе, наличие противоречивого целеполагания субъектов управления, необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства, необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных требует и развития, и разработки качественно новых методов управления логистическими транспортными экосистемами в современных условиях. Особую значимость при разработке принципиально новых методов управления логистическими транспортными экосистемами придает активное развитие цифровых технологий, поэтому известные и разработанные ранее модели организации транспортного производства должны быть адаптированы к современным информационно-технологическим возможностям.

**Целью диссертационного исследования** является разработка метода поддержки принятия решений, позволяющего реструктуризировать

взаимодействие субъектов в многоуровневой логистической транспортной экосистеме.

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

1. Проанализировать состояние и направление развития логистических транспортных экосистем в РФ, выявить условия их функционирования, степень соответствия информационного состояния методам поддержки принятия решений, определяющих эффективность взаимодействия субъектов управления;

2. Проанализировать методологию выявления факторного пространства в сложных многоуровневых логистических транспортных экосистемах в условиях слабо коррелированных связей между измерителями эффективности транспортного производства;

3. Разработать оптимизационную математическую модель, определяющую структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах;

4. Разработать алгоритмы и программное обеспечение, реализующие математическую модель управления структурой взаимодействия на уровне организации транспортного производства в многоуровневых логистических транспортных экосистемах;

5. Сформулировать метод поддержки принятия решений, позволяющий реструктуризировать структуру взаимодействия участников в многоуровневой логистической транспортной экосистеме в виде прикладных методик, определяющих последовательность действий и эффективность их применения для организации управления в информационных аналитических платформах транспортно-логистического производства.

**Объектом исследования** является логистическая транспортная экосистема грузовых перевозок.

**Предметом исследования** являются методы оптимизации структуры и топологии взаимодействия в логистических транспортных экосистемах, основанные на теории многоуровневых организационно-технических систем.

**Научная гипотеза.** Эффективность методологического обеспечения организации процессов управления в сложных многоуровневых системах определяется адекватностью математических инструментов условиям их функционирования. Особенностью условий функционирования современных транспортных систем является наличие слабо коррелированных связей между субъектами управления, обусловленного значительным влиянием внешнего факторного воздействия и отсутствием устойчивых системообразующих связей во внутренней среде организации транспортного производства. Поэтому для создания эффективных логистических транспортных экосистем необходима разработка специальных методов имитационного моделирования, позволяющих обрабатывать большие объемы информации, отражающие сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства и моделировать действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направлении на повышение эффективности системы в целом.

**Методологической основой** исследования являются разработки отечественных и зарубежных ученых в области создания методов управления сложными системами, включающими в себя большое количество объектов управления и функционирующих в условиях активного влияния внешней среды. Для разработки методов управления в логистических транспортных экосистемах применялись базовые принципы теории многоуровневых сложных систем, теории принятия решений в условиях недостаточности информации и стохастической неопределенности, прикладные методы векторной оптимизации и имитационного моделирования.

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

– Пункту 1. «Организационно-технологические и управленческие структуры в логистических транспортных системах».

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

**Научная новизна диссертационного** исследования заключается в достижении следующих результатов:

1. Принцип организации устойчивых к внешнему факторному воздействию структур в многоуровневых логистических транспортных экосистемах, функционирующих в условиях неопределённости.

2. Математическая модель поддержки принятия решений, определяющая структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

3. Алгоритм, позволяющий управлять структурой взаимодействия субъектов транспортного производства при организации работы многоуровневых логистических транспортных экосистем в виде информационно-аналитических платформ, реализуемый в цифровых сервисах.

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке нового научно-обоснованного подхода, позволяющего создавать и управлять состоянием эффективности многоуровневых логистических транспортных экосистем с учётом специфических особенностей, таких как: наличие нескольких уровней управления в исследуемой системе, наличие противоречивого целеполагания субъектов управления, необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства, необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных.

**Практическая значимость** результатов диссертационного исследования заключается в возможности:

– разработки программного обеспечения поддержки принятия решений, позволяющего реструктуризировать структуру взаимодействия субъектов в

многоуровневой логистической транспортной экосистеме в виде прикладных методик, определяющих последовательность их действий в многоуровневых логистических транспортных экосистемах;

– внедрения интеллектуальных алгоритмов в ГИС, разрабатываемых в рамках реализации нацпроектов в целях оптимизации и повышение эффективности управления логистических транспортных экосистем.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Концептуальные основы развития информационно-аналитических платформ, как агрегаторов транспортного производства в логистических транспортных экосистемах в РФ.

2. Принципы организации устойчивых к внешнему факторному воздействию структур в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

3. Математическая модель, определяющая структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

4. Методика, определяющая последовательность действий и эффективность разработанного метода организации управления в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

5. Результаты вычислительного эксперимента (апробации) метода организации управления в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

**Личный вклад автора.** Все основные разработки исследования, положенные в основу принципов организации устойчивых к внешнему факторному воздействию структур, функционирующих в условиях неопределённости; имитационной математической модели поддержки принятия решений, определяющую топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса; интеллектуальных алгоритмов управления структурой взаимодействия субъектов транспортного производства в

информационно-аналитических платформах и реализуемых в цифровых сервисах принадлежат автору.

**Степень обоснованности и достоверности диссертационного исследования.**

Обоснованность исследования подтверждается анализом научных трудов ученых, разрабатывавших фундаментальную основу аналитических методов управления сложными транспортными системами и многоуровневыми организационно-техническими системами, а также анализом многочисленных научных работ современных ученых, раскрывающих специфику функционирования логистических транспортных экосистем при активном развитии информационно-коммуникативных технологий.

Достоверности диссертационного исследования обусловлена:

- применением фундаментальных законов системного анализа при выработке основных направлений научного исследования;
- применением основополагающей теории информационного взаимодействия для разработки методов решения многокритериальных задач, соответствующих характеру исследуемых процессов;
- результатами вычислительного эксперимента с применением разработанной математической модели поддержки принятия решений в информационных аналитических платформах, управляющих транспортным производством.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты исследования докладывались:

- на конференциях:

Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие агропромышленного комплекса: инновации, технологии, образование»;

Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие агропромышленного комплекса: инновации, технологии, образование»;

XVIII Международная научно-практическая конференция: «Научные исследования 2025»;

II Международная научно-практическая конференция: «Форум инноваций и передовых исследований».

- на заседаниях кафедр:

Кафедра управления транспортными комплексами ФГБУ ВО «Государственный университет управления» 6 мая 2025 года.

**Реализация результатов работы.** Значимость результатов диссертационного исследования определяется следующим:

1) Прикладные результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность Транспортно-экспедиционной компании «ФККГруп», что документально подтверждено авторами о внедрении;

2) Материалы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», и использованы в процесс разработки рабочих программ учебных дисциплин по образовательной программе подготовки бакалавров «Логистика и управление цепями поставок» (направление подготовки 38.03.02 «Менеджмент»), а также при преподавании дисциплин в учебном процессе при чтении курса «Управление логистическими системами в условиях цифровой экономики», «Информационные системы в логистике».

**Публикации и патенты.** Основные положения и результаты диссертационного исследования были опубликованы в 3 печатных работах, в том числе в 3 научных статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ по научной специальности 2.9.9 «Логистические транспортные системы».

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация содержит: введение, 4-е главы, заключение, список литературы из 108 наименований источников, отражающих уровень практического использования результатов исследования. Работа изложена на 143 страницах основного машинописного текста.

# 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В РФ

## 1.1 Анализ состояния и перспектив развития цифровых логистических транспортных экосистем в РФ

Современное состояние производственных отношений в результате активного техногенного развития можно охарактеризовать как состояние глобальных трансформаций. Ускоренное развитие информационно-коммуникативной технологий определяет объективный процесс интеграции в единую системную целостность не только социальные отношения, но и вещественно-энергетическими обменные процессы [1,2]. Совокупность результатов современных научных достижений и внедрения цифровых технологий создают условия для формирования новых научно-технических производительных сил, а на их основе создается новая структура производственных отношений, которые становятся одним из определяющих факторов социально-технического развития. В индустриально-техногенном обществе формируются и качественно новая концепция развития транспортных сетей и систем [3,4].

Транспортное производство, являясь основной доминантой в сфере вещественно-энергетических обменных процессов, закономерно подвержено интеграционным изменениям, затрагивающим весь «искусственный мир» или «искусственную экосистему». Само понятие экосистема является неотъемлемой частью концепции социотехнической и природной глобализации при организации современных процессов индустриального производства и предполагает активное взаимодействие взаимосвязанных закономерностей развития социума, биосферы и искусственного мира. Поэтому необходимость формирования логистических транспортных экосистем являются закономерным результатом развития современного индустриального техногенного общества.

По определению транспортная отрасль, как элемент производственных отношений в «искусственном мире» играет важнейшую экосистемную роль в современной тенденции интегративных изменений в общественном производстве

и техносфере в целом в направлении формирования постиндустриального общества. Логистические транспортные системы, в свою очередь, это ключевой элемент информационной интеграции сложной системы транспортного производства, как внутри системы, так и по внешнему контуру взаимодействия с другими отраслями хозяйственного механизма государства. В этом случае неизбежно выстраивается иерархия взаимоотношений логистических транспортных экосистем с внешней средой, активизирующей противоречивые интересы социального общества, государственных институтов управления, субъектов производства в рыночной экономике [5].

Органы государственной власти различного уровня, начиная от муниципальных и заканчивая федеральными выполняют регулирующие функции во взаимоотношениях между пользователями транспортной системы (грузоотправителями и грузополучателями) и организациями, предоставляющими транспортные и другие виды сопряженных услуг, осуществляющим перевозки грузов и пассажиров, посредством разработки законодательных нормативных правовых документов. По мере количественного роста числа связей в организационно-технологической системе взаимоотношений между объектами и субъектами транспортного производства, как в любой системной среде, часть функции управления неизбежно выделяется в отдельный вид производства и начинает существовать в виде отдельной транспортно-логистической услуги или отдельного бизнеса. Поскольку объектом производства в логистической деятельности являются нематериальные информационные потоки или информационные базы данных, революционные изменения в области развития коммуникативных цифровых технологий в первую очередь проникают в логическое транспортное производство. На рисунке 1.1 представлена обобщенная схема взаимоотношений между участниками транспортно-логистического производства [5].

Схема, описанная в источнике [5] и изначально разработанная для региональной транспортно-логистической системы, отличается высокой степенью универсальности. Её принципиальные положения могут быть успешно применены

не только в рамках отдельных регионов, но и на других уровнях территориального взаимодействия — как в системах муниципального управления, так и в структурах межрегионального сотрудничества. Такая гибкость делает предложенную модель эффективным инструментом для решения логистических задач различного масштаба.

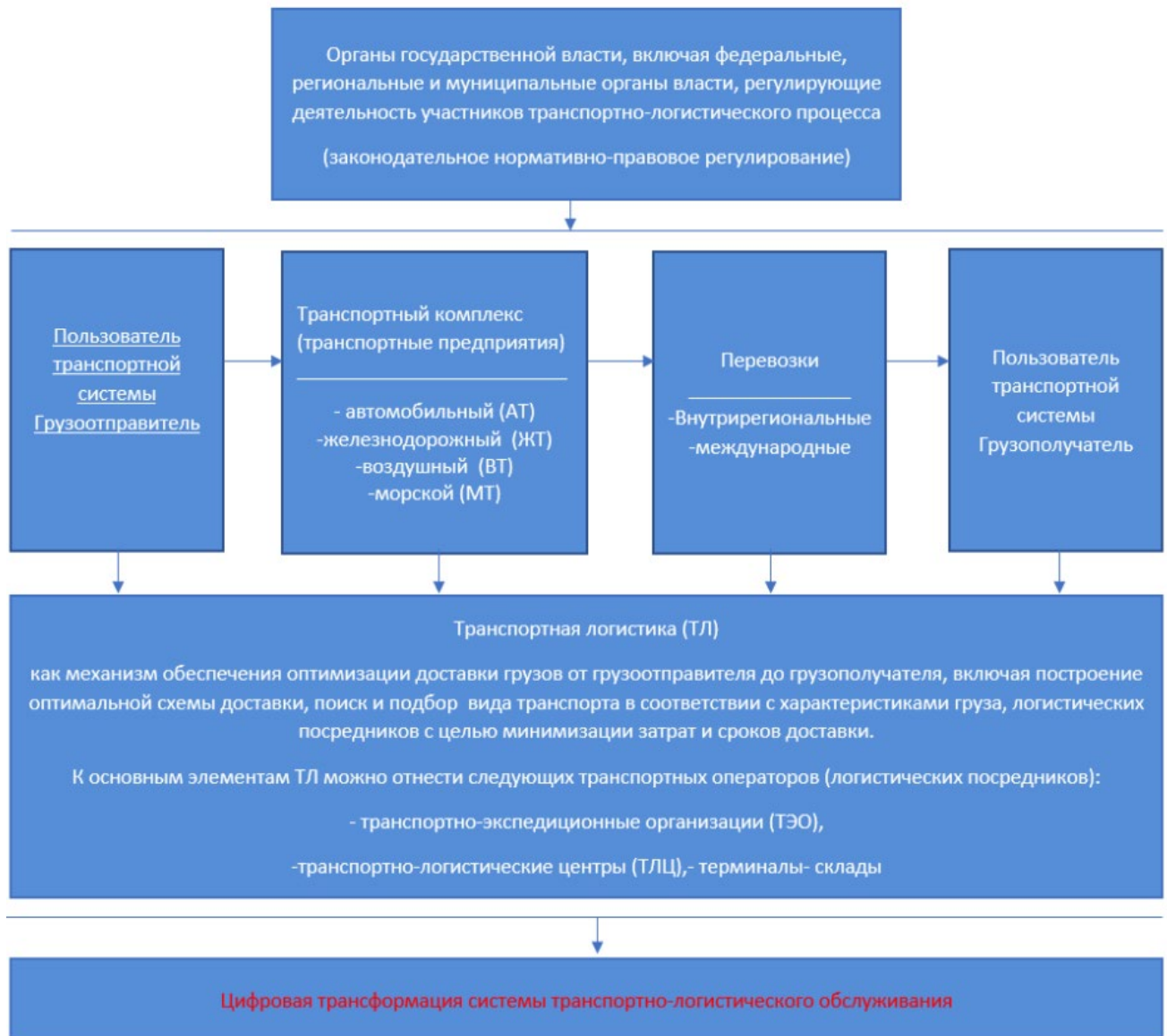


Рисунок 1.1 – Региональная система транспортно-логистического обслуживания.

Источник: [5].

Подтверждением тезиса об актуальности темы цифровизации транспортно-логистического производства являются многочисленные публикации современных

авторов [6, 7, 8, 9, 10, ... 21, 22 и др.], констатирующие отсутствие альтернативных путей эффективного развития транспортной отрасли в РФ.

Вместе с тем в большинстве из перечисленных статей, авторы однозначно констатируют отсутствие системной деятельности в направлении создания единых механизмов внедрения информационных технологий, что в целом тормозит цифровизацию транспортно-логистического производства и транспортно-технологическое развитие экономики РФ в целом [6, 9,10 и др.]. К отсутствию системной деятельности относят, в первую очередь, отсутствие единой комплексной стратегии цифровизации транспортной отрасли. В результате наблюдается ряд существенных проблем: прежде всего, это недостаточное развитие **транспортно-логистической инфраструктуры**. Кроме того, в региональной экономике доминируют предприятия с вертикально-интегрированной структурой управления, что создаёт серьёзные препятствия для формирования эффективных горизонтальных связей между участниками рынка. Такая ситуация существенно ограничивает возможности для развития кооперации и взаимодействия между различными экономическими субъектами. Констатация существующих недостатков организации транспортно-логистического производства на уровне регионов, позволяет авторам сделать обоснованный вывод о необходимости активной интеграции транспортного логистического производства за счет и на базе цифровых технологий. На рисунке 1.2 отражены преимущества при реализации стратегии цифровой трансформации транспортно-логического производства [5].

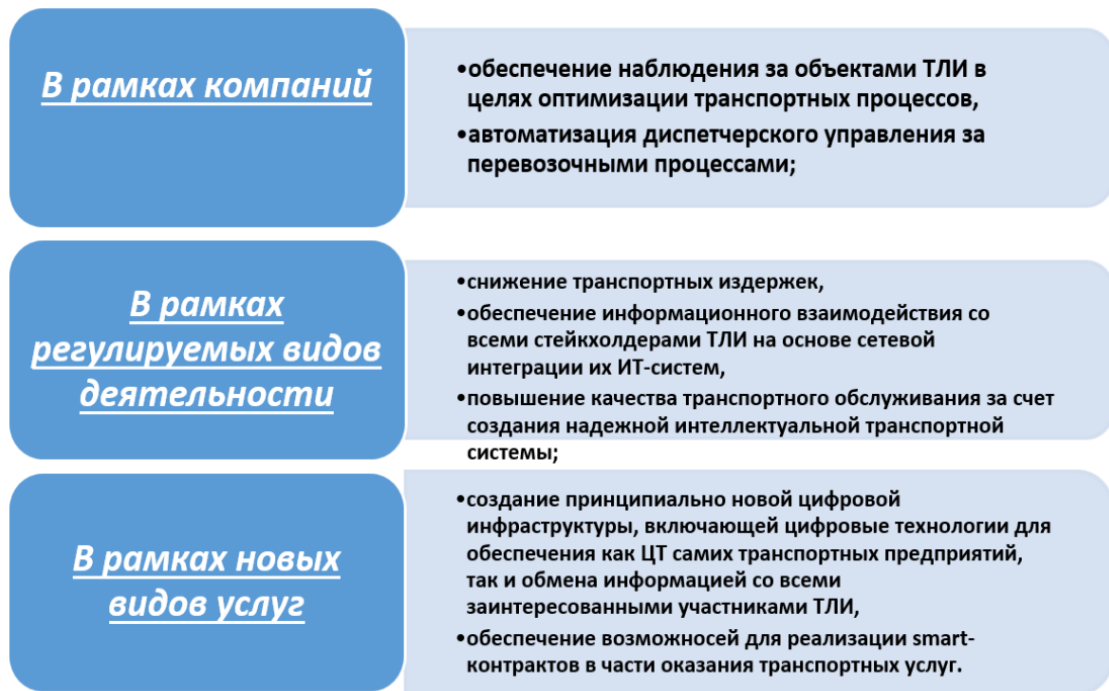


Рисунок 1.2 – Преимущества при реализации стратегии цифровой трансформации транспортно-логического производства. Источник: [5].

Основным механизмом в достижении целей создания единого комплекса транспортно-логистического производства на базе цифровых технологий закономерно обозначается цифровая экосистема, интегрирующая цифровые информационно-аналитические платформы на различных уровнях взаимодействия: на уровне предприятий, на отраслевом и государственном уровне. Архитектура цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания на межотраслевом (кросс-отраслевом) уровне представлена на рисунке (рисунок 1.3) [5].

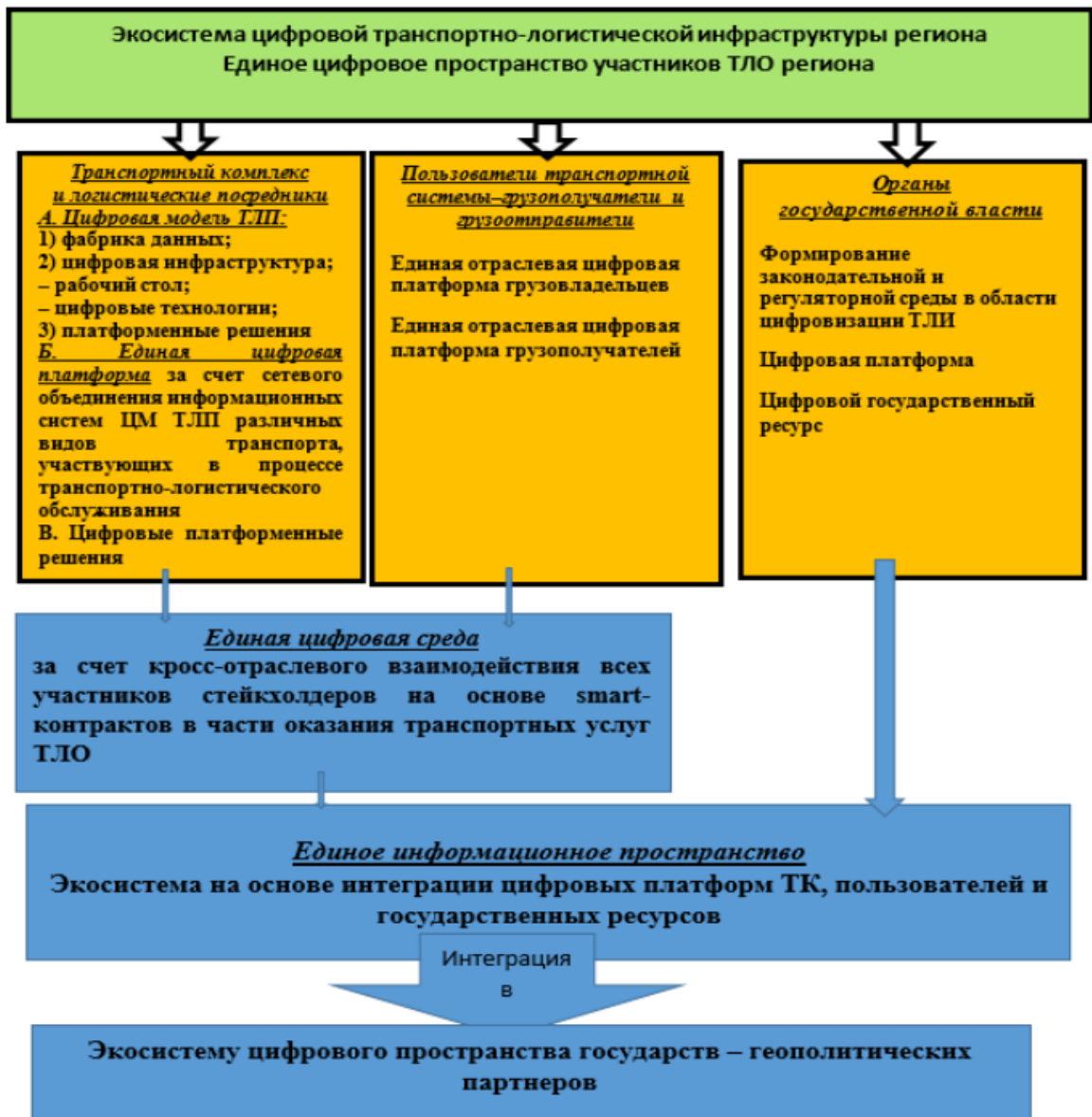


Рисунок 1.3 – Модульная архитектура кросс-отраслевой экосистемы транспортно-логистического обслуживания. Источник: [5].

Таким образом выстраивается иерархия распределения цифрового функционала субъектов транспортно-логистического производства, интегрированных в цифровую логистическую транспортную экосистему. Под цифровым функционалом следует понимать объем агрегирования данных в цифровом формате в зависимости от уровня локализации соответствующего транспортного производства (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Логическая последовательность проведения цифровизации системы транспортно-логистического обслуживания на уровне региона. Источник: [5].

№	Участники ТЛО	На уровне предприятия	На уровне отрасли	На уровне отраслевого взаимодействия
1	Транспортный комплекс и логистические посредники	<u>Цифровая модель:</u> 1) фабрика данных; 2) цифровая инфраструктура: – рабочий стол – цифровые технологии; 3) платформенные решения	<u>Единая цифровая платформа транспортного комплекса</u> за счет объединения информационных систем различных видов транспорта, участвующих в процессе ТЛО	<u>Единая цифровая транспортно-производственная платформа</u> за счет кросс-отраслевого взаимодействия транспорта с его пользователями в единой цифровой среде
2	Пользователи транспортного обслуживания – грузополучатели и грузоотправители	<u>Цифровая модель:</u> 1) фабрика данных; 2) цифровая инфраструктура: – рабочий стол – цифровые технологии; 3) платформенные решения	<u>Единая отраслевая цифровая платформа</u> за счет объединения информационных систем промышленных предприятий, участвующих в процессе ТЛО	<u>Единая цифровая транспортно-производственная платформа</u> за счет кросс-отраслевого взаимодействия всех участников разных отраслей стейкхолдеров ТЛО в единой цифровой среде
3	Органы государственной власти	Формирование законодательной и регуляторной среды в области цифровизации ТЛИ	Формирование законодательной и регуляторной среды в области цифровизации конкретной отрасли	Экосистема за счет взаимодействия всех участников ТЛО на основе цифровых информационных ресурсов, предоставляемых государственными ресурсами в едином цифровом пространстве

Анализ таблицы 1.1 позволяет сделать два важных вывода:

- во-первых, последовательное внедрение цифровых технологий в систему транспортно-логистического обслуживания на уровне региона приводит к созданию цифровой логистической транспортной экосистемы;
- во-вторых, основным инструментом функционирования цифровой логистической транспортной экосистемы на базовом (производственном) уровне взаимоотношений субъектов транспортного производства является цифровая модель, а, на уровне межотраслевого взаимодействия цифровая информационно-аналитическая платформа, функционал которой, естественно, опирается на данные, полученные в цифровой модели предшествующего уровня.

Следовательно, возникает вопрос, который обозначает **первую проблему сопровождающую создание цифровой логистической транспортной**

**экосистемы: существуют ли в настоящее время разработки в области моделирования процессов обработки информации, сопровождающей транспортное производство, позволяющие говорить о наличии эффективной цифровой модели, о её возможностях и практики её применения?**

Если таковой не существует, тогда цифровая логистическую транспортная экосистема может быть только декларативно в виде концепции, но не виде эффективных механизмов управления логистическим транспортным производством.

В этом случае согласно общей теории систем (ОТС): достичь эффективного состояния в сложной многоуровневой организационно-технической (логистической транспортной экосистеме) в условиях возмущающего воздействия внешней среды и обладающей развитым внутрисистемным комплексом организационных и технологических структур невозможно при отсутствии системообразующих инструментов оптимизации структур управления (аналитических моделей поддержки принятия управляющих решений). Под управлением в логистической транспортной экосистеме следует понимать преобразование больших объемов информации, отражающих сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства в действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направленную на повышение эффективности системы в целом.

**Вторая проблема связана с функционалом высших уровней (уровнях межотраслевого взаимодействия и государственного регулирования) в исследуемой системе и связана со сферой деятельности и локацией применения цифровых логистических транспортных экосистем.**

Данная проблема обозначается исходя из анализа ряда научных публикаций и нормативных документов, посвящённых данной тематике [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]. В этих публикациях затронута и исследуется тема активно развивающегося направления в логистическом транспортном производстве – создание национальных информационно-аналитических платформ цифровых транспортных

коридоров, назначение которых предоставлять возможности для удовлетворения цифровых потребностей государства и бизнеса, связанных с грузовыми перевозками в международном сообщении, в частности, перевозками грузов стран-участниц Евразийского Экономического Сообщества (ЕАЭС) [23]. На рисунке 1.4 представлена схема транзитных перевозок на момент начала активной цифровизации транспортного-производства (2019...2021 гг.) в РФ

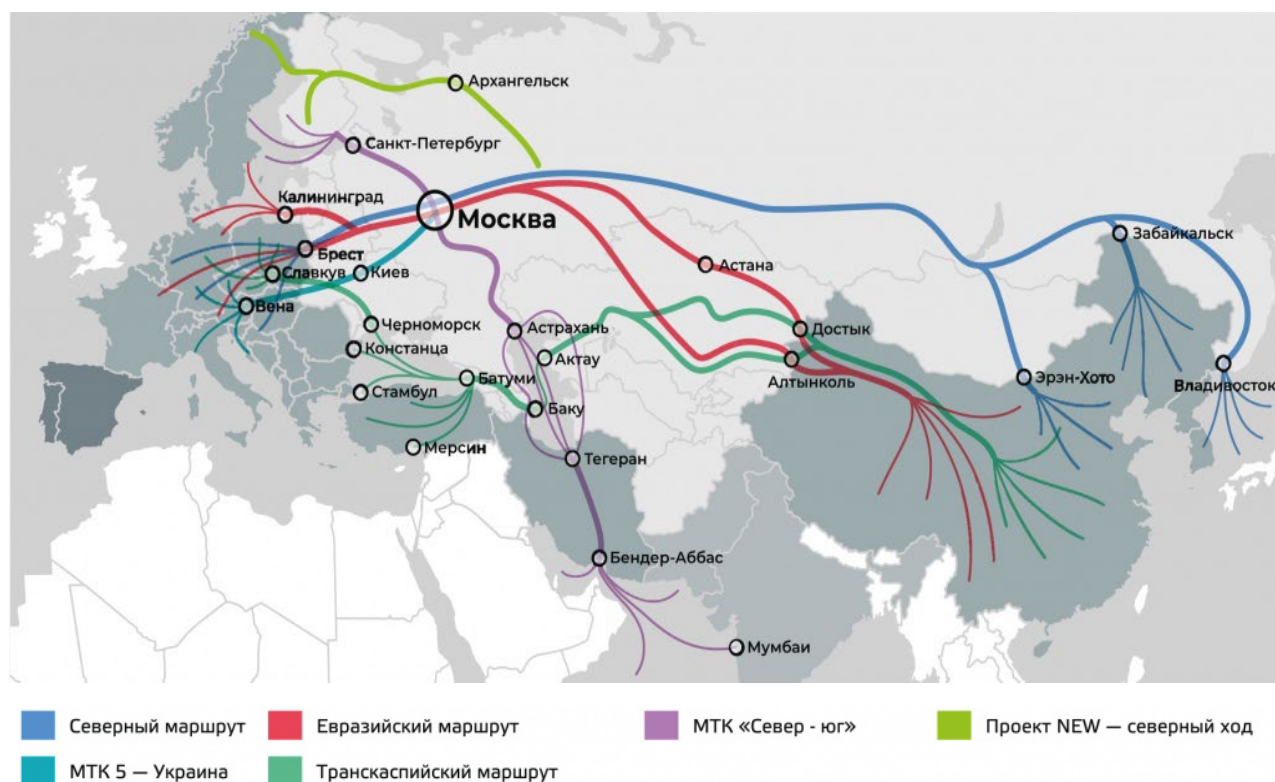


Рисунок 1.4 – Схема транспортных коридоров на момент начала цифровизации транспортного производства в РФ. Источник: [31].

В [23] указывается основное направление и нацеленность формируемой национальной цифровой транспортной экосистемы на обеспечение эффективного функционирования международных транспортных коридоров, в первую очередь, на «экосистему цифровых транспортных коридоров стран Евразийского экономического союза» [23]. Таким образом, экосистема цифровых транспортных коридоров стран Евразийского экономического союза предназначена для создания единой информационно-цифровой среды на наднациональном уровне. Наднациональный масштаб цифровой логистической транспортной экосистемы усложнит задачу объективного анализа информационного пространства, так как на

данную систему оказывают дополнительное влияние разнообразные факторы внешней и внутренней среды геополитической природы. Причем данные факторы геополитического происхождения большинство экспертов, вполне обоснованно, относят к факторам неопределенной природы. Учитывая сказанное, возникает вопрос: все-таки какие задачи должна национальная цифровая транспортная экосистема решать? Это задачи объединения в единое цифровое пространство транспортного производства на межрегиональном уровне, либо задачи, связанные с развитием национальных транспортных коридоров, обусловленные интересами международного взаимодействия, или и те, и другие вместе должны быть объединены в рамках подсистем в единой глобальной цифровой логистической транспортной экосистеме. Пока же можно утверждать следующее.

1. В современных реалиях РФ структура управления логистическими транспортными системами формировалась спонтанно в виде интеграционных информационно-аналитических систем, назначение которых интегрировать имеющуюся информацию о потребности в перевозках и согласовывать её с провозными возможностями транспортных предприятий, представляя информацию в виде цифровых сервисов. При этом, создаваемые модели поддержки принятия решений опираются на удовлетворение, в первую очередь, интересов субъектов транспортных производств – отдельных транспортных предприятий, а структура управления и логистика транспортного производства складывается бессистемно и хаотизировано.

2. Анализ научных публикаций свидетельствует о необходимости комплексного подхода к формированию цифровых логистических транспортных систем, а задачи, которые необходимо решать, носят разноплановый характер: цифровизация транспортного производства межрегионального сообщения, цифровизация транспортного производства в международном сообщении и т.д.

3. Цифровая логистическая транспортная экосистема (исходя из обозначенных представлений о понятии экосистема в индустриальном обществе) предполагает упорядоченное взаимодействие всех задействованных участников. Помимо интересов транспортных предприятий, это интересы социума, в части

обеспечения требований экологической безопасности и доступности транспортных услуг, интересы органов государственного управления, в части организации, развития и содержания транспортной инфраструктуры и обеспечения безопасности дорожного движения, экономические интересы государственного масштаба и т.д.

Необходимость удовлетворять перечисленные интересы, а также повышать эффективность транспортного производства в целях обеспечения национальных экономических интересов и национальных интересов обеспечения безопасности и суверенитета, декларируется в распоряжении Правительства РФ от 3.11.2023г №3097-р «СТРАТЕГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года», принятыми Правительством РФ [32].

В данном документе во исполнение [33, 34, 35, 36 и др.] обозначена многоаспектная цель цифровизации транспортного производства и создания цифровых экосистем, направленных на достижение высокого показателя качества транспортно-логистических услуг, уменьшение нагрузки на внешнюю среду и развитие бесшовных внутренних и международных перевозок.

Таким образом речь идет не о создании разрозненных логистических транспортных экосистем различной локации или направленности в зависимости от спектра транспортного производства, а об едином механизме, подразумевающим комплексное решение задач с противоречивым целеполаганием, но под единым управлением. Комплексное решение данных задач возможно только с применением объективных аналитических инструментов, позволяющих организовать эффективное управление в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем. Для этого необходима разработка научно-обоснованных методов поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующих структуру взаимодействия субъектов логистического транспортного производства, реализованных в отечественном программном обеспечении.

## 1.2 Анализ концептуальных направлений решения задач цифровой трансформации транспортного производства в РФ

Масштабность декларируемых задач цифровой трансформации транспортного производства требует четкого понимания о принципах и способах достижения вполне определённого целеполагания – создания эффективной системы управления транспортным комплексом, в основе которого лежат цифровые технологии.

В последние десятилетие, когда сложилось достаточное представление о необходимости активного преобразований в логистическом транспортном производстве, а применение цифровых технологий на производстве стало носить массовых характер, появились и обсуждается в научной среде ряд направлений и понятий, которые могут быть положены в основу инновационных изменений в управлении транспортным комплексом:

- 1) национальная транспортная модель;
- 2) система транспортного планирования в АСУ транспортным комплексом;
- 3) интеллектуальная транспортная система;
- 4) цифровая транспортная логистика;
- 5) динамическая транспортная модель и т.д.

На первый взгляд все перечисленные направления в той или иной степени пересекаются по своему основному назначению – совершенствованию системы управления в системе транспортной отрасли или её подсистемах. Поэтому важно определить:

- принципиальные отличия в данных подходах;
- как интегрировать их в единую цифровую логистическую транспортную экосистему имеющиеся наработки по каждому из направлений;
- какое место занимает то или иное направление в иерархии целей и задач цифровой трансформации транспортной отрасли.

При рассмотрении функционала **национальной транспортной модели** (рисунок 1.5) следует отметить тезис о создании 3-х контурной национальной

системы транспортного планирования в едином информационном пространстве при сохранении сквозного контроля и единой политики управления. Ключевыми понятиями в данном случае является «планирование в едином информационном пространстве» и «единые принципы управления», подразумевая обязательный глобальный обмен данными в локациях города, региона и национальной транспортной системы. Задачи, которые должна решать национальная транспортная модель в едином информационном пространстве следующие:

1. «Оценка резервов пропускных и провозных способностей объектов транспортной инфраструктуры за счет выявления «узких мест» в транспортной сети при изменении объемов грузовых и пассажирских перевозок по заданным направлениям.

2. Оценка влияния дополнительных объемов перевозок на возникновение новых «узких мест» за счет анализа прогнозных грузовых, пассажирских и транспортных потоков.

3. Сравнение альтернативных маршрутов перевозок грузов и пассажиров по критериям стоимости, времени, расстояния.

4. Анализ перераспределения грузовых, пассажирских и транспортных потоков в результате реализации мероприятий по развитию объектов транспортной инфраструктуры (между видами транспорта, между маршрутами в рамках одного вида транспорта).

5. Анализ изменения временных и стоимостных показателей основных маршрутов перевозок грузов и пассажиров в результате реализации мероприятий по развитию объектов транспортной инфраструктуры».

Отметим, что фактически весь перечисленный комплекс задач является основополагающим в организации работы транспортного производства, как сферы деятельности по перемещению грузов и пассажиров в пространстве и во времени. Можно лишь только добавить, что цифровая логистическая транспортная экосистема согласно [31] требует обеспечения дополнительных функций безопасности транспортных услуг и экологической безопасности транспортного производства. Основным инструментом реализации **национальной транспортной**

**модели** предполагается сделать информационно-аналитические модели транспортного планирования в **системе транспортного планирования в АСУ транспортным комплексом** (рисунок 1.6). Информационно-аналитическая модель должна управлять **состоянием эффективности** в транспортной отрасли посредством достижения транспортно-экономического баланса, то есть во главу угла ставиться некий аналитический инструмент принятия оптимальных решений на основе данных мониторинга статистики.



#### Направления развития:

- ✓ Создание 3-х контурной национальной системы транспортного макропланирования в едином информационном пространстве при сохранении сквозного контроля и единой политики
- ✓ Разработка собственных или интеграция с уже существующими экономическими и финансовыми моделями

Рисунок 1.5 – Направление развития системы моделирования в транспортном комплексе РФ.

Источник: [37].

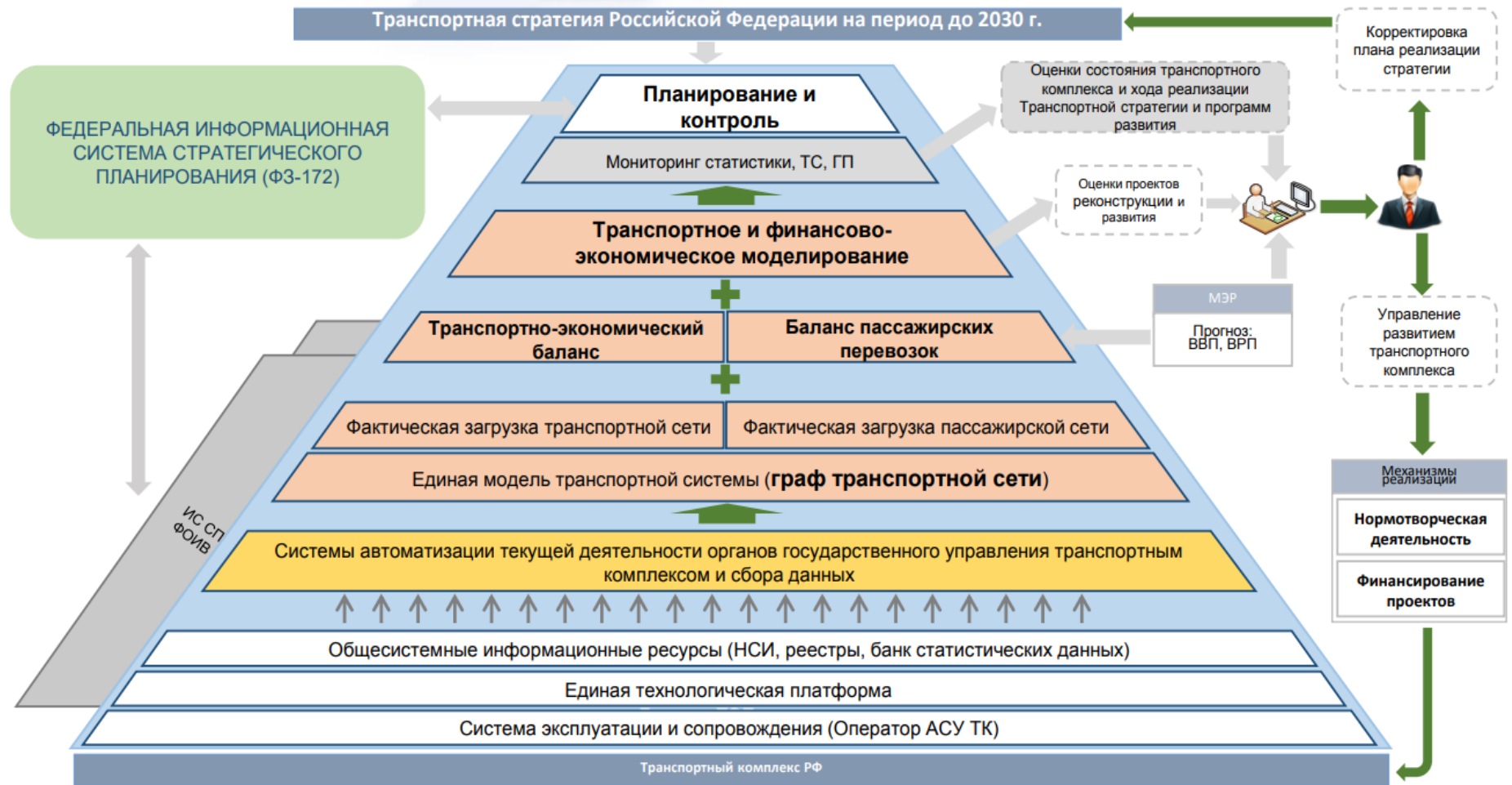


Рисунок 1.6 – Видение системы транспортного планирования в АСУ транспортного комплекса Транспортной стратегии РФ до 2030 г. Источник: [37].

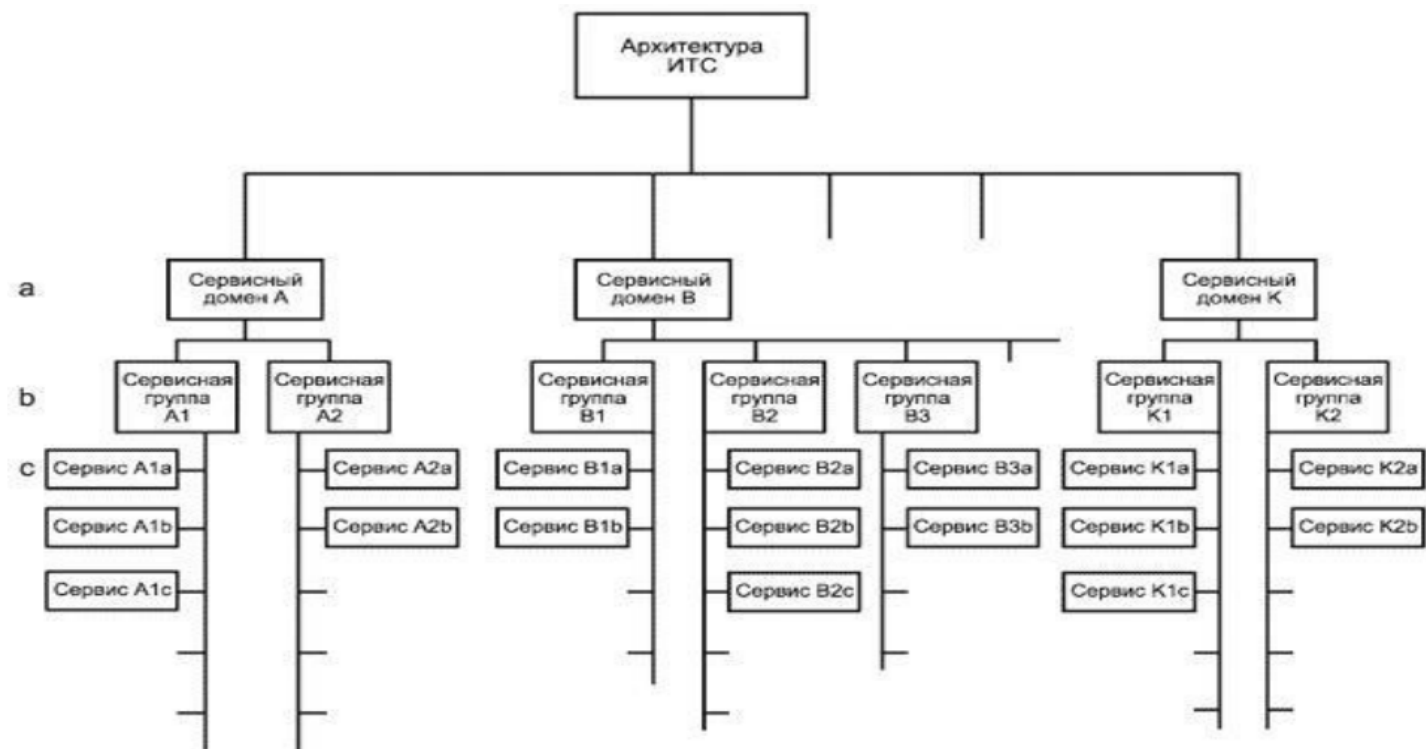
Проанализируем следующее декларируемое направление – создание **интеллектуальных транспортных систем**. Реализация данного направления по совершенствованию транспортной составляющей в РФ закреплена законодательно в ряде национальных стандартов и нормативно-технических документов, таких как ГОСТ Р ИСО 14813-1 Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы, ГОСТ Р 56829-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения, ГОСТ Р 56294 - 2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем, ОДМ 218.9.011-2016 Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем.

С самого начала разработки интеллектуальные транспортные системы (ИТС) были нацелены на использование цифровых технологий посредством специализированных сервисов (рисунок 1.7).

Примечательно, что при проектировании первых ИТС их функционал ограничивался исключительно задачами организации дорожного движения. Иными словами, системы были сфокусированы только на том аспекте транспортного управления, который обеспечивал безопасность движения (рисунок 1.8). На рисунке 1.8 выделены основные подсистемы ИТС:

- управление состоянием дорог,
- управление дорожным движением,
- контроля и соблюдения правил дорожного движения (ПДД),
- управление маршрутизированным транспортом и т.д.

Мы видим, что измерители транспортного производства не входят в функциональные структуры подсистем ИТС, то есть данное направление не исследует эффективность транспортного производства в системе производственных отношений.



**сервисный домен ИТС** (ITS service domain): Специфическая область применения, которая включает в себя одну или более сервисных групп.

**сервисная группа ИТС** (ITS service group): Один или более схожих или сопряженных сервисов, предназначенных для пользователей ИТС.

**сервис ИТС** (ITS service): Результат деятельности, нацеленный на специальный тип пользователя ИТС.

Рисунок 1.7 – Доменная архитектура интеллектуальной транспортной системы. ГОСТ Р ИСО 14813-1.

Источник: [38].

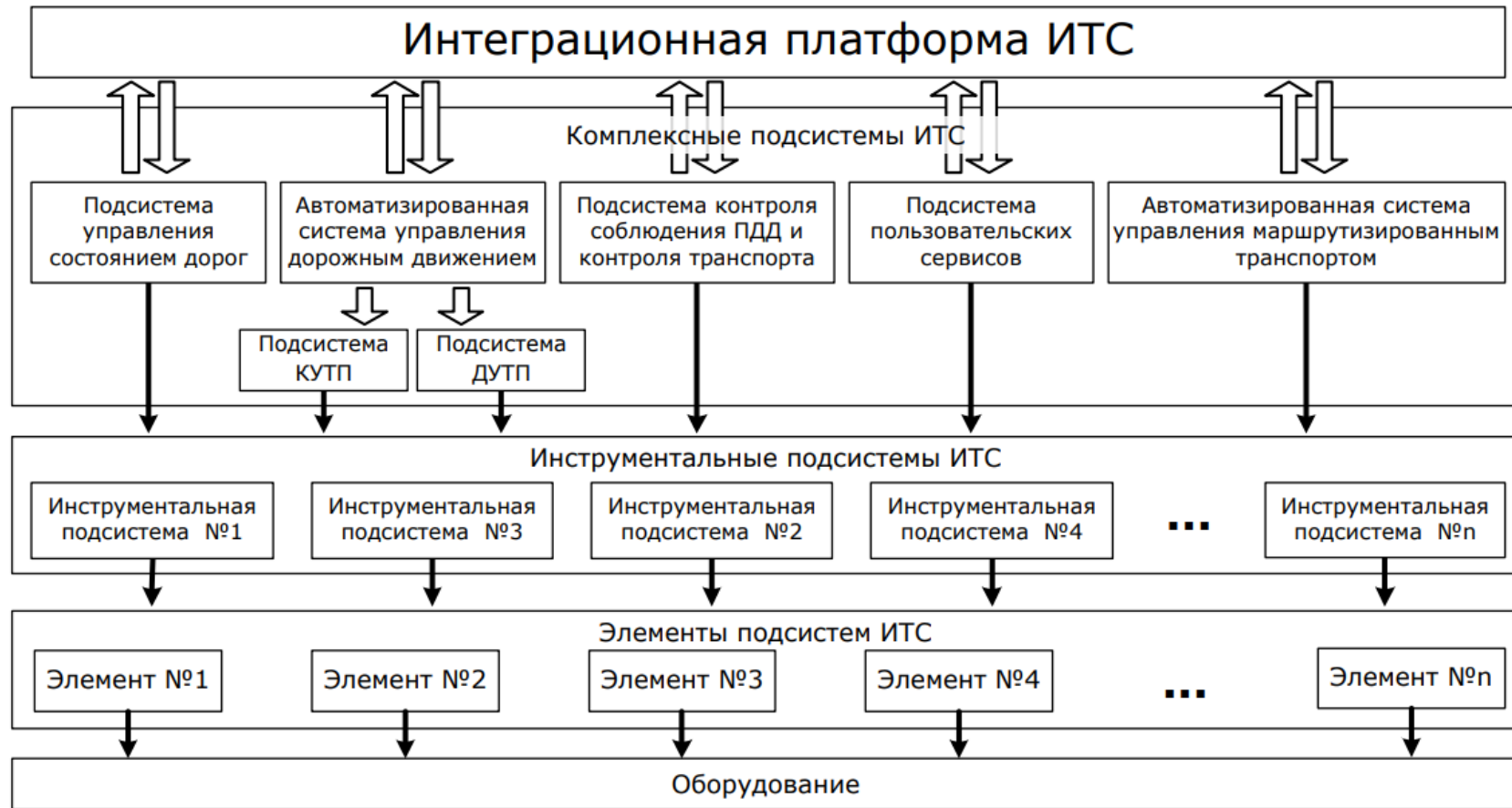


Рисунок 1.8 – Упрощенная физическая архитектура интеллектуальной транспортной системы в соответствии с ГОСТ Р 56294 – 2014. Источник: [38].

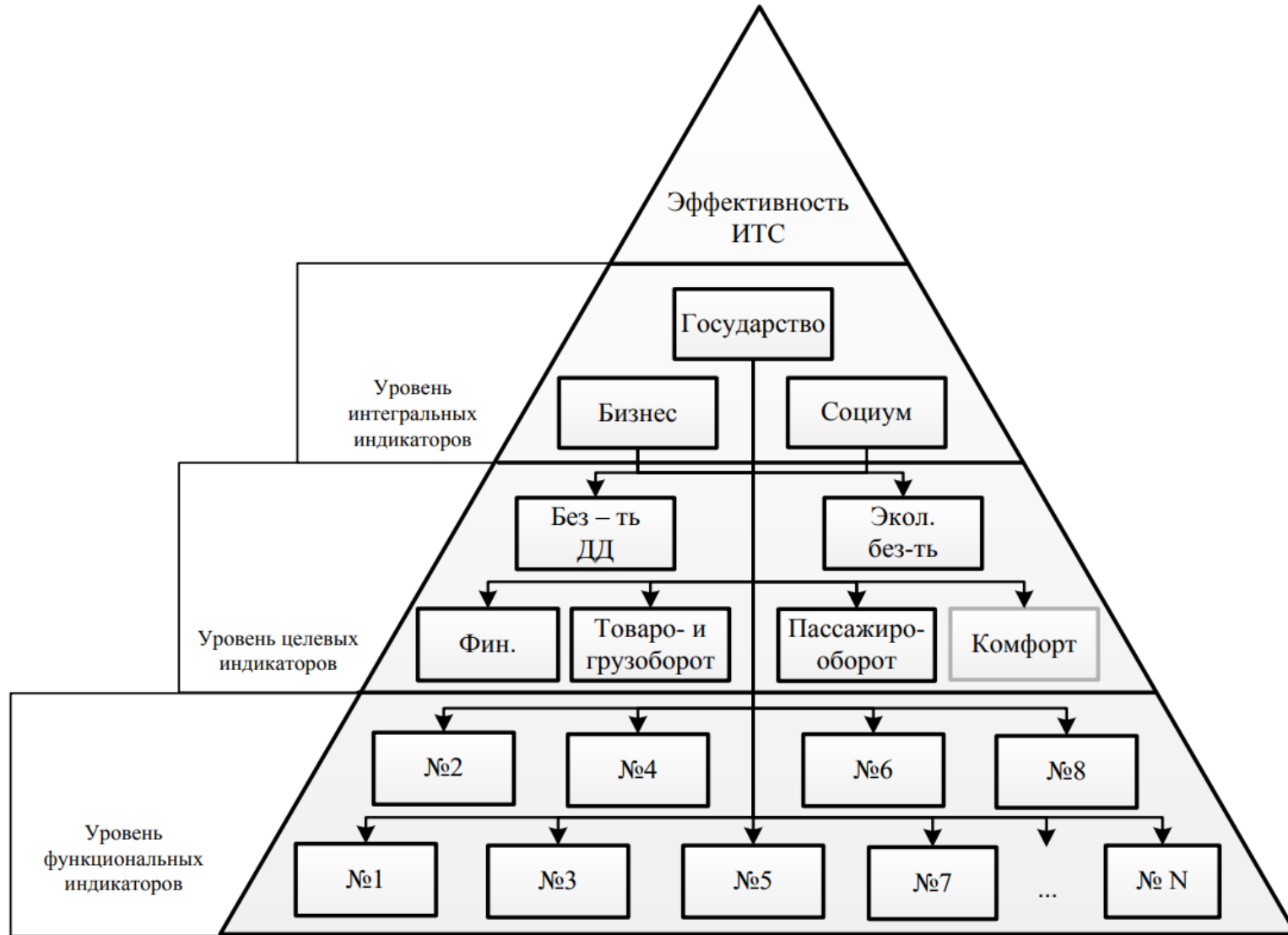


Рисунок 1.9 – Архитектура индикаторов эффективности ИТС по ОДМ 218.9.011. Источник: [38].

Однако по мере развития цифровых технологий и по мере придания им все большего внимания со стороны государственных структур, отвечающих за развитие транспортной отрасли, ситуация кардинально изменяется. С 2026 года вступит в силу ОДМ 218.9.011, который значительно расширит систему оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем. В документе будет представлен комплексный подход к оценке работы ИТС на всех уровнях, включающий разнообразные показатели: финансовые индикаторы для оценки экономической эффективности, показатели грузо- и пассажирооборота для анализа транспортной нагрузки, и доступности, экологические параметры для контроля влияния на окружающую среду, а также индикаторы безопасности движения для мониторинга дорожной ситуации. Такой расширенный набор критериев позволит всесторонне оценивать результативность интеллектуальных транспортных систем. Таким образом может сложиться впечатление, что направление «интеллектуальные транспортные системы» становится глобальным инструментом повышения эффективности транспортного производства в целом, а не только её отдельной подсистемы организации дорожного движения. Но, в данном случае, необходимо учитывать функциональные ограничения, заложенные в основу аналитической структуры ИТС при разработки её первоначальной концепции. Основы концепции ИТС, разработанной в США в конце 20-го века для решения накопившихся проблем управления транспортными системами в крупных городах, были регламентированы специальными нормативно-техническими документами и представлены в ряде зарубежных публикаций [39, 40, 41, 42, 43, 44]. Согласно этим источникам в основу проектирования ИТС мегаполисов закладывается функционально-сетевой принцип и предназначены они, в первую очередь, для регистрации и обработки большого объёма информации (больших данных) с целью упорядочения системы организации движения транспортных средств. Тогда можно сделать вывод, когда мы говорим об ИТС, речь идет лишь об одной подсистеме из множества подсистем управления транспортного комплекса – подсистемы объективного и всеобъемлющего учета и контроля информационных потоков.

Следовательно, основой функционала ИТС является «содержание» системы в рамках установленных ограничений, и «отслеживание» ситуаций посредством индикаторов установленных на выходе показателей за рамки допустимых значений. Управление состоянием эффективности логистических транспортных системы, как системы обеспечивающее оптимальное состояние транспортного производства посредством организации некоторых действий и через целенаправленное изменение ряда показателей в рамках допустимых значений в ИТС, согласно концепции её создания, не заложено. Поэтому в целях дальнейшего развития инструментов цифровизации отраслей производства РФ, в том числе и транспортной отрасли, была разработана программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года №1632-р (далее Программа). В программе «Цифровая экономика Российской Федерации» инструменты искусственного интеллекта являются лишь одним из элементов, которые могут быть использованы в целях повышения эффективности экономики в целом.

В принятой Программе появляются термины, **цифровая логистика** и **динамическая транспортная модель**, назначение которых управление людскими, материальными, информационными и финансовыми потоками на основе их оптимизации для решения задачи минимизации затрат с применением современных информационных технологий (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Схема обращения логистических информационных потоков.

Источник: [45].

На основе Программы разрабатываются отраслевые документы, направленные на отдельные отрасли экономики РФ, в частности «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года», в которой появляется термин цифровая транспортная экосистема. В «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» цифровые транспортно-логистические системы являются ключевым элементом информационной интеграции сложной системы транспортного производства, как внутри системы, так и по внешнему контуру взаимодействия с другими отраслями хозяйственного механизма государства. В этом случае неизбежно происходит активизация противоречивых интересов социального общества, государственных институтов управления, субъектов производства в рыночной экономике, что автоматически переводит цифровые логистические транспортные системы на следующий уровень взаимоотношений с внешней средой и трансформирует их в цифровые логистические транспортные экосистемы (ЦЛТЭС).

### **1.3 Анализ моделей управления в условиях необходимости обработки больших объемов неструктурированной информации**

Основная проблема управления в логистических транспортных экосистемах связана с необходимостью выработать сбалансированные решения в условиях необходимости обработки больших объемов неструктурированной информации. Именно, специфические особенности логистических транспортных экосистем, такие как:

- наличие нескольких уровней управления в исследуемой системе, наличие противоречивого целеполагания субъектов управления,
- необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства,
- необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных

требует и развития, и разработки качественно новых методов управления логистическими транспортными экосистемами.

Новое качество методов и моделей управления логистическими транспортными экосистемами определяется, в первую очередь, возрастанием сложности управленческих ситуаций [46]. Рост сложности управленческих ситуаций является прямым следствием роста сложности информационных ситуаций, в которых необходимо принимать решения. Техническое отражение сложности информационных ситуаций было найдено в термине «большие данные», которой определяет множественность факторного пространства, влияющего на процедуру принятия решений. Причем данная ситуация характерна не только для транспортной отрасли, но и многих других сфер производства в индустриальном обществе [47], а, поскольку транспортное производство неотрывно связано с деятельностью других отраслей, то исследуемая проблема управления логистическими транспортными системами ставится многократно значимее.

Признание наличия трудностей в создании научно-обоснованных инструментов управления транспортным производством в условиях

неструктурированного информационного потока и необходимость поиска новых радикальных решений, констатируется в публикациях [48, 49]. Здесь же в [48, 49] констатируется необходимость применения информационного подхода (информационного моделирования) основанного на теории информационного взаимодействия применение информационных технологий для управления. Попытки применять методы информационного моделирования, основанные на энтропийном подходе, предпринимались на транспорте еще в 70-х годах прошлого века, но данная практика не нашла широкого применения из-за значительных трудностей, вызванных ограниченными вычислительными возможностями ЭВМ того времени. В современных условиях, когда вычислительные мощности не соизмеримо выросли применение методов информационного моделирования становится вполне возможным, но тем не менее информационное моделирование в транспортном производстве имеет свои специфические особенности и не может быть решено простым перенесением методов информатики в сферу транспорта [46].

Специфика самого информационного подхода определяется тем, что при выработке решений необходимо учитывать максимум информации, приходящей в открытые системы. В этом случае из-за большого количества и неструктурированного качества входных данных информационная ситуация приближается к информационной ситуации неопределенности и требует новой ее организации и большого объема вычислительных ресурсов. Поэтому применение подхода, основанного на методах информационного моделирования в целях эффективного управления транспортным производством, требует структуризации, распределения и агрегатирования данных исходя из условий, определяемых внешним факторным пространством. анализ необходимых условий для реализации этого подхода. К тому же разрабатываемые информационные модели должны носить управленческий характер, то есть быть моделями принятия решений [50].

Модели принятия решений, которые реализуют действия по управлению исследуемой системой должны быть прескриптивными, то есть носить предписывающий характер [51]. Следовательно, эти модели должны быть

объективными и быть получены на основании строгих аналитических преобразований, исключающих любой элемент субъективизма, то есть исключая подходы, основанные на моделях экспертных оценок. В ряде публикаций говорится о том, что в этом случае можно применять дескриптивные (упрощенные) информационные модели, которые позволяют исключить субъективизм принимаемых решений, основываясь на том утверждении, что перемещение транспорта осуществляется в некой ситуации известными эмпирическими закономерностями [52]. При этом необходимо опираться на существующую инфраструктуру транспортных сетей и известную структуру маршрутов движения, то есть применять для оптимизации транспортного производства топологические модели [53].

Все верно, но в применении к логистическим транспортным системам, которые по определению являются многоуровневыми, использовать дескриптивные информационные модели можно только на низшем (базовом) уровне исследуемой системы. Действительно, все транспортные предприятия в своей деятельности опираются на существующие транспортные сети с хорошо известными параметрами и сформированный практикой набором известных измерителей транспортного производства. Еще одно обстоятельство, на которое следует обратить внимание, это расположение объектов транспортного производства и транспортной инфраструктуры в системе географического реального пространства, следовательно, необходимо применять методы пространственного моделирования [54, 55]. Естественно, что применение методов пространственного моделирования, с свою очередь, подразумевает использование современных информационных систем геопозиционирования объектов транспортного производства, то есть уже непосредственное применение цифровых информационно-коммуникационных технологий [56, 57].

Однако логистические транспортные экосистемы, имеющие в своем составе не только уровень взаимодействия между транспортными предприятиями, но и уровни отраслевого и межотраслевого взаимодействия и при наличии противоречивого целеполагания субъектов управления, не могут ограничиться

развитием информационных методов в направлении дескриптивного информационного моделирования. Дескриптивное информационное моделирование может применяться для логического описания структур с устойчивыми связями, то есть обладающих устойчивой системой связей, то есть носящих подтвержденный закономерный характер. В логистических транспортных экосистемах в условиях значительного влияния внешнего факторного пространства и наличия нескольких уровней управления дескриптивное информационное моделирование применимо только на отдельных уровнях при описании функционал объектов транспортного производства, но полная структурирование связей в экосистемах требует разработки новых моделей, основанных на теории информационного взаимодействия объектов в сложной многоуровневой открытой системе. Здесь должны быть задействованы динамические информационные модели [58], модели ситуационного управления [59], соответствующие сложившейся информационной ситуации [60]. Поэтому, в [61] справедливо отмечено, что применение информационного подхода при управлении транспортным производством требует применения разнообразных информационных моделей и их интеграции в единую методологию [61,63,64,65,66]. В [62] приводится пример построение информационной модели управления, в котором учитываются наличие «слабых» или неустойчивые связи в исследуемой информационной ситуации. Автор проводит аналогию между понятием информационная ситуация и сложная система, определяет информационную модель, как состоящую из триады «надсистема – система – подсистема» [62]. Тем не менее, автор разделяет понятие система и информационная ситуация по признаку наличия слабых и неустойчивых связей. В системе связи устойчивые, а информационные ситуации – неустойчивые.

На этом основании проводится граница между системой, обладающей сильными связями и информационной ситуации, обладающей «слабыми» связями, и формируется информационная модель, интегрирующая систему в информационную ситуацию (рисунок 1.11). В данном случае информационная модель является конгломератом из структур, обладающих устойчивыми и

неустойчивыми связями. В качестве инструмента выявления характера связей предлагается применить корреляционный анализ событий.

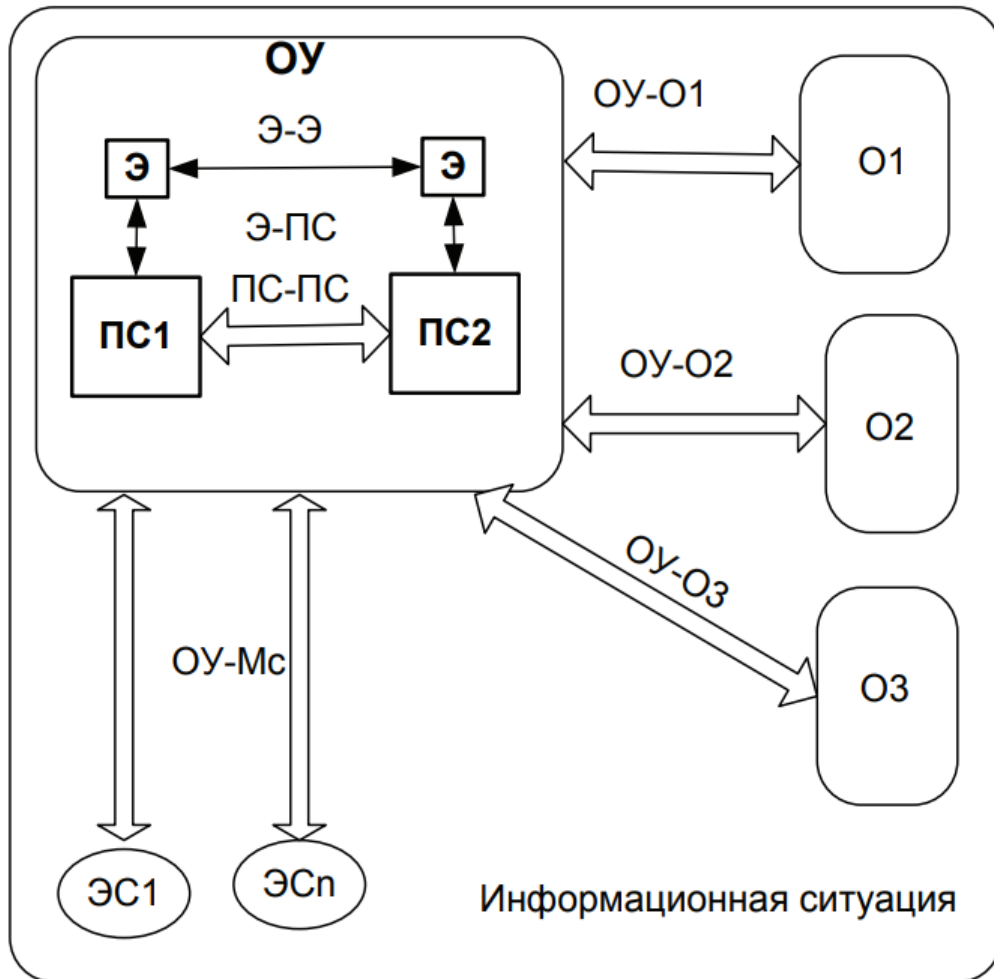


Рисунок 1.11 – Модель информационной ситуации:

объект управления (ОУ); внешняя среда с набором элементов среды (ЭС1 – ЭС<sub>n</sub>); объекты (О1-О3); подсистемы (ПС); внешние связи – связи между объектами (ОУ – О<sub>i</sub>); связи между объектом управления и микросредой (ОУ-Мс); внутренние связи между элементами объекта (Э-Э); внутренние связи между подсистемами (ПС-ПС); связи между подсистемами и элементами (Э-ПС). Источник: [62].

Попробуем оценить возможность применения данного подхода к исследованию логистических транспортных экосистем, где априори присутствуют неустойчивые связи, порождаемые неопределенным характером информационной ситуации. Попытка выделить в экосистеме совокупности в виде триады «надсистема – система – подсистема» приведет к искусственно сформированной

иерархии, в которой на одном уровне на систему будет влиять внешнее факторное пространство, а другом уровне его влияние будет ограничено. Тогда закономерно встает вопрос о механизмах определения степени влияния внешнего факторного пространства, то есть необходимо определить; что первично механизмы оценки влияния на элементы исследуемой системы для выявления триад, или формирование триад с последующей оценкой влияния факторного пространства? На наш взгляд применение информационного подхода должны быть иным, которое подразумевает исследование системы во всем многообразии связей, но при этом должны применяться аналитические инструменты поддержки принятия решений, объективно работающие как в среде устойчивых, так и неустойчивых связей. **Отсутствие данных аналитических инструментов поддержки принятия решений в сложных многоуровневых открытых логистических транспортных экосистемах является основной проблемой для их исследования, проектирования и внедрения в практику отраслевого транспортного производства.**

### **Выводы по первой главе**

Выполненный в первой главе анализ современного состояния и тенденций в развитии методов управления логистическими транспортными экосистемами в РФ определил, что необходимость формирования цифровых логистических транспортных экосистем являются закономерным результатом развития современного индустриального техногенного общества.

**Определено,** что основным инструментом функционирования цифровой логистической транспортной экосистемы на базовом (производственном) уровне взаимоотношений субъектов транспортного производства является цифровая модель, а, на уровне межотраслевого взаимодействия цифровая информационно-аналитическая платформа, функционал которой, естественно, опирается на данные, полученные в цифровой модели предшествующего уровня. Под управлением в логистической транспортной экосистеме следует понимать преобразование больших объемов информации, отражающих сложную инфраструктуру

взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства в действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направлении на повышение эффективности системы в целом.

**Выявлен ряд проблем** сопровождающий процесс организации и управления логистическими транспортными экосистемами в РФ:

1. Первая проблема заключается в отсутствии в настоящее время разработок в области моделирования процессов обработки информации, сопровождающей транспортное производство, и позволяющих говорить о наличии эффективной цифровой модели и возможности её практического применения. В современных реалиях РФ структура управления логистическими транспортными системами формировалась спонтанно в виде интеграционных информационно-аналитических систем, назначение которых интегрировать имеющуюся информацию о потребности в перевозках и согласовывать её с провозными возможностями транспортных предприятий, представляя информацию в виде цифровых сервисов. При этом, создаваемые модели поддержки принятия решений опираются на удовлетворение, в первую очередь, интересов субъектов транспортных производств – отдельных транспортных предприятий, а структура управления и логистика транспортного производства складывается бессистемно и хаотизировано.

2. Вторая проблема связана с функционалом высших уровней (уровнях межотраслевого взаимодействия и государственного регулирования) в исследуемой среде и связана со сферой деятельности и локацией применения цифровых логистических транспортных экосистем. Анализ научных публикаций свидетельствует о необходимости комплексного подхода к формированию цифровых логистических транспортных систем, а задачи, которые необходимо решать, носят разноплановый характер: цифровизация транспортного производства межрегионального сообщения, цифровизация транспортного производства в международном сообщении и т.д.

3. Третья проблема – это отсутствие аналитических инструментов поддержки принятия решений в сложных многоуровневых открытых логистических транспортных экосистемах при наличии нескольких уровней управления в исследуемой системе, наличие противоречивого целеполагания субъектов управления, необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства и необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных.

Комплексное решение данных проблем возможно только с применением объективных аналитических инструментов, позволяющих организовать эффективное управление в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем. Для этого необходима разработка научно-обоснованных методов поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующих структуру взаимодействия субъектов логистического транспортного производства, реализованных в отечественном программном обеспечении.

Выявленные проблемы в организации и управлении цифровыми логистическими транспортными системами позволили сформулировать цели и задачи диссертационного исследования.

**Целью диссертационного исследования** является разработка метода поддержки принятия решений, позволяющего реструктуризировать структуру взаимодействия субъектов в многоуровневой логистической транспортной экосистеме.

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

1. Проанализировать состояние и направление развития логистических транспортных экосистем в РФ, выявить условия их функционирования, степень соответствия информационного состояния методам поддержки принятия решений, определяющих эффективность взаимодействия субъектов управления;

2. Проанализировать методологию выявления факторного пространства в сложных многоуровневых логистических транспортных экосистемах в условиях слабо коррелированных связей между измерителями эффективности

транспортного производства;

3. Разработать оптимизационную математическую модель, определяющую структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах;

4. Разработать алгоритмы и программное обеспечение, реализующие математическую модель управления структурой взаимодействия на уровне организации транспортного производства в многоуровневых логистических транспортных экосистемах;

5. Сформулировать метод поддержки принятия решений, позволяющий реструктуризировать структуру взаимодействия участников в многоуровневой логистической транспортной экосистеме в виде прикладных методик, определяющих последовательность действий и эффективность их применения для организации управления в информационных аналитических платформах транспортно-логистического производства.

## 2 СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

### **2.1 Исследование применимости метода корреляционного анализа для информационных ситуаций, сопровождающих деятельность логистических транспорт экосистем**

В первой главе на основе анализа практического материала и научных публикаций было установлено, что логистические транспортные экосистемы, имеющие в своем составе не только уровень взаимодействия между транспортными предприятиями, но и уровни отраслевого и межотраслевого взаимодействия и при наличии противоречивого целеполагания субъектов управления, являются системами, в которых могут проявляться неустойчивые связи между исследуемыми параметрами. В большинстве случаев, когда речь идет об исследовании сложных систем, открытых транспортных систем или экосистем, этим обстоятельством пренебрегают и применяют известные и широко апробированные методы корреляционного анализа для исследования характера взаимодействий в исследуемой системе [67,68,69,70,71,72,73,74,75,76]. Между тем данный подход к информационному моделированию может эффективно применяться для описания структур с устойчивыми связями, то есть обладающих устойчивой системой связей, то есть носящих подтвержденный закономерный характер.

В логистических транспортных экосистемах в условиях значительного влияния внешнего факторного пространства и наличия нескольких уровней управления классические методы корреляционного анализа в целях информационного моделирования применимы только на отдельных уровнях при описании функционал объектов транспортного производства, но полная структурирование связей в экосистемах требует разработки новых моделей, основанных на теории информационного взаимодействия объектов в сложной многоуровневой открытой системе.

Поясним данное утверждение.

Классический регрессионный анализ базируется на системе статистических постулатов, согласно которым регрессионная модель представляет собой линейную комбинацию независимых базовых функций от детерминированных факторов с неизвестными параметрами, при этом зависимые переменные (отклики) рассматриваются как равноточные некоррелированные случайные величины с нормальным распределением, измеряемые в непрерывных шкалах, что позволяет эффективно оценивать коэффициенты регрессии и проверять статистические гипотезы относительно уравнений регрессии, его коэффициентов и прогнозируемых значений отклика.

Заметим, что постулат о равноточности и некоррелированности не является слишком жестким. Если отклики не равноточны и коррелированы, то вычисления коэффициентов регрессии практически не усложняется. Саму процедуру в этом случае называют взвешенным методом наименьших квадратов. По существу, это означает, что указанный постулат можно заменить на более общий, когда предполагается, что априори с точностью до сомножителя известна дисперсионная матрица измеряемых откликов.

Рассмотрим подробно методологию исследования объекта или процесса с помощью МНК, с целью оценки применимости его к исследованию сложной структуры связей (нередко неустойчивых) в логистических транспортных экосистемах. В этом случае нам необходимо адаптировать методологию корреляционного анализа под задачи прогнозирования состояния исследуемой системы, параметры которой изменяются во времени. Тогда, МНК трансформируется в экстраполяционный метод прогнозирования состояния исследуемой логистической транспортной экосистемы.

Метод наименьших квадратов применяется для анализа временных рядов - специальных наборов данных, которые формируются путём последовательных измерений характеристик изучаемого объекта в разные моменты времени.

Такой подход позволяет эффективно исследовать динамику изменения параметров и выявлять закономерности в развитии исследуемых процессов.

Временной ряд в МНК может быть представлен в виде следующей зависимости:

$$y_i = x_i + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

где  $x_i$  – детерминированная неслучайная компонента процесса;

$\varepsilon_i$  – стохастическая случайная компонента процесса.

В логистической транспортной экосистеме временной ряд формируется двумя основными компонентами: детерминированной (тренд  $x_i$ ), которая показывает общее направление развития и главную тенденцию процесса, и стохастической (шум  $\varepsilon_i$ ), отвечающей за случайные колебания. Обе эти составляющие подчиняются определённым функциональным закономерностям и отражают поведение системы во времени через измерители транспортных процессов и сопутствующих явлений. Основная цель прогнозирования заключается в нахождении экстраполирующих функций  $x_t$  и  $\varepsilon_t$ , которые строятся на базе имеющихся эмпирических данных.

Экстраполяция тренда представляет собой многоэтапный процесс, который начинается с подбора наилучшей математической функции для описания имеющихся эмпирических данных. На начальном этапе выполняется комплексная предварительная обработка информации, включающая необходимые преобразования данных, процедуры сглаживания и выравнивания временного ряда. Одновременно проводится углублённый анализ особенностей исследуемого процесса, который охватывает как формальную оценку статистических показателей, так и логический анализ закономерностей развития явления. Такой всесторонний подход обеспечивает высокую точность и достоверность получаемых прогнозов.

Данные подготовительные процедуры являются неотъемлемым условием корректного применения метода наименьших квадратов (МНК). Однако в современной исследовательской практике эти важные этапы часто игнорируются учёными. Подобное пренебрежение может привести к серьёзным проблемам уже на начальной стадии работы с данными, особенно в случаях, когда речь идёт о

ситуациях с дефицитом информации или процессах, характеризующихся неопределёнными вероятностными параметрами.

Тем не менее метод МНК и его модификации являются наиболее распространёнными методами вероятностного моделирования, при этом зачастую пренебрегается необходимостью соблюдением всех необходимых методологических требований и ограничений.

После определения типа экстраполяционной функции необходимо выполнить оценку прогнозной модели путём вычисления её параметров. На этом этапе осуществляется количественная настройка выбранной математической зависимости под имеющиеся данные.

Продолжая работу с моделью, метод наименьших квадратов позволяет найти оптимальные значения параметров трендовой функции. При этом главная задача заключается в том, чтобы подобрать такие параметры, при которых расхождение между расчётными значениями модели и реальными точками исходного временного ряда будет минимальным, а именно:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2.2)$$

где  $\hat{y}_i$  - расчетное значение исходного ряда;

$y_i$  - фактическое значение исходного ряда;

$n$  - число наблюдений.

Если модель тренда представлена в виде:

$$\hat{y}_t = f(x_i, a_1, a_2, \dots, a_k, t) \quad (2.3)$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_k$  - параметры модели;

$t$  - время;

$x_i$  - независимые переменные;

то для того, чтобы найти параметры модели, удовлетворяющие условию (2.2) необходимо приравнять к нулю первые производные величины  $S$  по каждому из коэффициентов  $a_j, j = 1, \dots, k$ .

Решая полученную систему уравнений с  $k$  неизвестными, далее находим значения коэффициентов  $a_j$ .

**Применение МНК для оценки параметров модели требует строгого соблюдения определённого набора методологических условий, ограничений и предпосылок. Игнорирование этих требований может стать причиной серьёзных искажений в результатах анализа.**

**Особенно критичными последствия некорректного использования МНК могут оказаться при его применении в качестве инструмента экстраполяции для прогнозирования поведения сложных систем, где даже незначительные отклонения в исходных предположениях способны привести к существенным ошибкам в итоговых прогнозах.**

1. Дисперсии случайной величины одинаковы, их величины независимы от значений наблюдаемых переменных.
2. Отсутствие автокорреляции ошибок, то есть значения ошибок измерения имеют конечные средние значения и дисперсии.
3. Нормальность. Случайные ошибки (значение случайной компоненты имеет нормальное распределение, то есть подчиняется закону нормального распределения случайных величин).
4. Случайные ошибки имеют нулевую среднюю, конечные дисперсии и ковариации.

При проведении практических исследований для анализа и прогнозирования будущих состояний системы чаще всего применяются определённые типы трендовых моделей. В качестве базовых функций, описывающих возможное развитие системы, исследователи преимущественно используют следующие математические зависимости:

- линейную:  $y = ax + b$
- квадратичную:  $y = a + bx + cx^2$
- параболу третьей степени:  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$
- степенную:  $y = x^n$
- показательную:  $y = a^x$
- экспоненциальную:  $y = ae^{bx}$
- модифицированную экспоненциальную:  $y = ae^{bx} + c$

– логистическую:  $y = \frac{a}{1+be^{-ax}}$

Среди всех трендовых моделей особое распространение получила **линейная функция**, а также модели, которые можно привести к линейному виду. Такая популярность обусловлена двумя ключевыми преимуществами: максимальной простотой расчётов и достаточной точностью аппроксимации исходных данных.

Когда речь идёт о решении динамических задач прогнозирования, уравнение регрессии в линейной форме принимает следующий вид:

$$\hat{y}_t = a + bt \quad (2.4)$$

где  $\hat{y}_t$  – вычисленное значение  $y_t$ , соответствующие моменту времени  $t$ ;

$a$  и  $b$ , константы, которые обращают сумму квадратов отклонений фактических значений  $y_t$  от вычисленных  $\hat{y}_t$  в минимум.

Применяя **метод наименьших квадратов**, мы можем сформировать систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a} = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bt_i)]^2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bt_i)]^2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

решая которую получаем уже систему нормальных уравнений, необходимую для получения значений коэффициентов регрессии.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= na + b \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n y_i t_i &= a \sum_{i=1}^n t_i + b \sum_{i=1}^n t_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Следовательно,

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i y_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

где  $b$  – коэффициент регрессии (не путать с коэффициентом корреляции), он характеризует наклон линии регрессии (тангенс угла наклона).

Тогда:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n t_i^2 - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n y_i t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

или

$$a = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n t_i),$$

где  $a$  – начальный или свободный коэффициент, он характеризует уровень пересечения линии регрессии с осью координат, то есть равен  $y_i$  при  $t = 0$ .

Система нормальных уравнений существенно упрощается, если начало учета времени перенести в середину динамического ряда путем преобразования независимой переменной.

$$\tau_i = t_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.7)$$

тогда для линейной модели

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= na \\ \sum_{i=1}^n y_i \tau_i &= a \sum_{i=1}^n t_i + b \sum_{i=1}^n \tau_i \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

значения сводного коэффициента определяется в упрощённом виде, как:

$$a = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i),$$

значение коэффициента регрессии также будет определяться упрощенном виде:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \tau_i}{(\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

После того как определены искомые коэффициенты, конечный прогноз для момента времени при  $t_k$  может осуществляться по уравнению регрессии

$$\hat{y}_k = a + b \left( t_k - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \right). \quad (2.7)$$

Рассмотренный механизм метода наименьших квадратов позволяет с необходимой точностью аппроксимировать действительное развитие процесса с помощью полиномиального тренда, то есть представлять зависимую переменную  $y_i$  как функцию времени в виде многочлена.

$$\hat{y}_k = a + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_\lambda t^\lambda, j = 0 \dots \lambda. \quad (2.8)$$

где  $\lambda$  – степень полинома;

$t$  – время;

$a_\lambda$  – параметры.

Оценки параметров  $a_0, a_1 \dots, a_\lambda$  получаются из решения системы нормальных уравнений, развёрнутая запись которой может иметь следующий вид;

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_t &= a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n t + a_2 \sum_{i=1}^n t^2 + \dots + a_\lambda \sum_{i=1}^n t^\lambda \\ \sum_{i=1}^n y_i t &= a_0 \sum_{i=1}^n t + a_1 \sum_{i=1}^n t^2 + a_2 \sum_{i=1}^n t^3 \dots + a_\lambda \sum_{i=1}^n t^{\lambda+1} \\ \sum_{i=1}^n y_i t^\lambda &= a_0 \sum_{i=1}^n t^\lambda + a_1 \sum_{i=1}^n t^{\lambda+1} + a_2 \sum_{i=1}^n t^{\lambda+2} \dots + a_\lambda \sum_{i=1}^n t^{\lambda+\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

где  $n$  – число членов в динамическом ряду;

Система (2.9), состоящая из  $\lambda$  уравнений, содержит в качестве известных величин  $\sum_{i=1}^n y_t, \sum_{i=1}^n y_i t, \dots, \sum_{i=1}^n y_i t^\lambda$  (то есть суммы наблюдаемых значений уровней династического ряда, умноженных на показатели времени в степени 0, 1, 2, ...,  $\lambda$  и неизвестных величин  $a_j$ ).

Необходимо отметить, что системы оценивания параметров, основанные на данном принципе, для полиномов невысоких степеней достаточно просты для вычислений. Например, обозначим последовательно параметры полиномов как  $a, b, c, d$ . Тогда нормальные уравнения

- для оценивания параметров прямой:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_t &= an + b \sum_{i=1}^n t + c \sum_{i=1}^n t^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i t &= a \sum_{i=1}^n t + b \sum_{i=1}^n t^2 + c \sum_{i=1}^n t^3 \\ \sum_{i=1}^n y_i t^2 &= a \sum_{i=1}^n t^2 + b \sum_{i=1}^n t^3 + c \sum_{i=1}^n t^4 \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

- для квадратичной модели параболы третьей степени:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_t &= an + b \sum_{i=1}^n t + c \sum_{i=1}^n t^2 + d \sum_{i=1}^n t^3 \\ \sum_{i=1}^n y_i t &= a \sum_{i=1}^n t + b \sum_{i=1}^n t^2 + c \sum_{i=1}^n t^3 + d \sum_{i=1}^n t^4 \\ \sum_{i=1}^n y_i t^2 &= a \sum_{i=1}^n t^2 + b \sum_{i=1}^n t^3 + c \sum_{i=1}^n t^4 + d \sum_{i=1}^n t^5 \\ \sum_{i=1}^n y_i t^3 &= a \sum_{i=1}^n t^3 + b \sum_{i=1}^n t^4 + c \sum_{i=1}^n t^5 + d \sum_{i=1}^n t^6 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Поскольку полиномы выше третьей степени при обработке динамического ряда встречаются крайне редко, то нормальные уравнения для них не приводим, они строятся алогично.

Составление нормальных уравнений можно упростить, воспользовавшись тем, что величины  $\sum_{i=1}^n t, \sum_{i=1}^n t^2, \dots$  не зависят от конкретных значений уровней динамического ряда. Если последний состоит из уровней равностоящих друг от друга, то суммы  $\sum_{i=1}^n t, \sum_{i=1}^n t^2$  и т.д. являются функциями только числа членов в динамическом ряду. Для них можно использовать расчётные формулы, в частности следующие:

$$\sum_{i=1}^n t = \frac{1}{2}[n(n+1)]$$

$$\sum_{i=1}^n t^2 = \frac{2n+1}{3} \sum_{i=1}^n t = \frac{n(n+1)(n+2)}{6}$$

$$\sum_{i=1}^n t^3 = \left( \sum_{i=1}^n t \right)^2 = \frac{1}{2}[n^2(n+1)^2]$$

или

$$\sum_{i=1}^n t^4 = \frac{3n^2 + 3n - 1}{5} \sum_{i=1}^n t^2 = \frac{n(n-1)(2n+1)(3n^2 + 3n - 1)}{30}$$

и т.д.

Во всех приведенных формулах суммирование производится от  $t=1$  до  $t=n$ , а значения сумм табулированы для широкого диапазона значений  $n$ .

## 2.2 Практическая оценка связей между измерителями функционала логистических транспортных систем на моделях корреляционного анализа

В предыдущем пункте неслучайно был выполнен подробный анализ метода наименьших квадратов, который активно используется для оценки параметров взаимодействия в транспортных системах. Было обосновано, что применение методов, основанных на моделях корреляционного анализа имеют существенное ограничение и должны подчиняться закону нормального распределения случайных величин. Между тем в научных работах многих авторов отмечается, что логистические транспортные системы являются сложно управляемыми объектами в виду нестабильности факторного пространства, в которых они функционируют, то есть в условиях неопределенности [77,78,79,80,81,82].

Поэтому в последние годы в научных публикациях активно исследуются вопросы, связанные с разработкой информационно-вероятностных систем, являющихся неотъемлемой частью современного транспортного производства. Этот подход основан на создании единых информационных показателей и установлении связей между ними. Наличие в логистических транспортных

экосистемах большого количества элементов и разнородных по показателям устойчивости и по качественным характеристикам связей нередко позволяет использовать традиционные статистические методы (экстраполяцию данных) только для оценки отдельных показателей системы.

Применение традиционных методов корреляционного анализа для оценки взаимодействия объектов в сложных транспортных экосистемах может привести к неизбежным ошибкам или неточностям прогнозирования состояния исследуемых систем.

Наибольшую сложность при построении управляющей системы вызывает построение математической модели адекватной исследуемому процессу. В частности, для логистических транспортных экосистем при использовании адекватной математической модели должна быть обеспечена возможность реструктуризации системы в случае значительного возмущающего воздействия внешней среды. В качестве критериев, определяющих новую синтезируемую структуру, должны рассматриваться свойства системы для выполнения заложенного функционала. Немаловажную роль играет и правильный выбор показателей, необходимый для получения оптимальных результатов. Как правило, сегодня в качестве базового инструмента для определения зависимостей между различными показателями применяется методология корреляционного анализ, а оценкой характера связи служит коэффициент корреляции.

Коэффициент корреляции — это двумерная количественная мера определения взаимодействия (совместной изменчивости или оценка взаимовлияния) двух исследуемых независимых переменных. Корреляцию между двумя и более показателями обычно разделяют на несколько групп по ряду признаков (рисунок 2.1):

- по форме корреляции;
- направлению корреляции;
- по силе взаимодействия (рисунок 2.1).

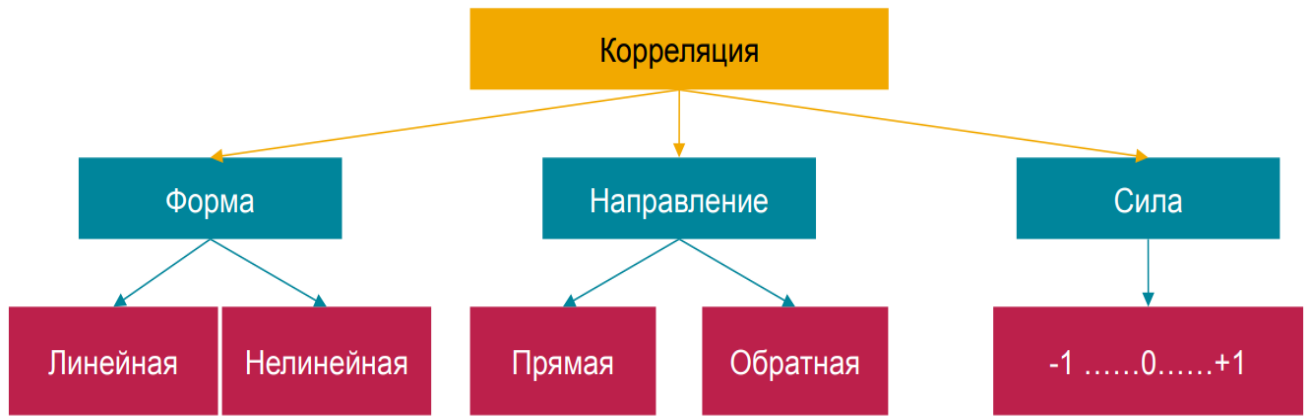


Рисунок 2.1 – Классификация видов корреляции по трем признакам.

Сила взаимодействия исследуемых параметров оценивается коэффициентом корреляции ( $r$ ) – это показатель, величина которого варьируется в пределах значений от  $-1$  до  $+1$ . Если значение коэффициент корреляции близко к нулю, это свидетельствует о том, что исследуемые переменные линейно независимы друг от друга. Как правило, производится оценка силы взаимодействия исследуемых параметров, как результат градации в зависимости от значений коэффициента корреляции (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Значение коэффициента корреляции и определяемый им характер взаимодействия

Значение коэффициента корреляции (по модулю)	Интерпретация силы корреляции
0,0 – 0,2	Очень слабая
0,2 – 0,5	Слабая
0,5 – 0,7	Средняя
0,7 – 0,9	Сильная
0,9 – 1,0	Очень сильная

Наиболее распространенный метод, применяемый для оценки корреляции – с помощью коэффициента корреляции Пирсона ( $\rho$ ), или коэффициент парной корреляции, измеряющий величину линейной связи (корреляцию) между двумя

переменными. Для случайных величин  $(x, y)$  вычисление коэффициента Пирсона производится в следующем виде:

$$\rho_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.12)$$

где  $\sigma_x \sigma_y$  – стандартные отклонения, соответствующие случайным значениям величин  $(x, y)$ ;

$cov$  – коэффициент ковариации.

или

$$\rho_{x,y} = \frac{E[(x-\mu_x)(Y-\mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.13)$$

где  $\mu_x$  – среднее значение, принимаемое случайной величиной  $x$ ;

$\mu_y$  – среднее значение, принимаемое случайной величиной  $y$ .

Исследуем с помощью (2.12) и (2.13) связи между измерителями функционала логистических транспортных систем на основе реально существующих цепочек поставок: расстоянием перевозки, затратами, временем доставки, скоростью доставки, надёжностью (вероятность выполнения перевозки полностью в соответствии с планом без непредвиденных обстоятельств), транспортной работе, объёму партии, коэффициенту использования грузоместимости  $\gamma_b$  и грузоподъёмности  $\gamma_c$  (таблица 2.2).

Все показатели вычислены на основе одной модели и являются реальным отражением показателей перевозок, выполненных в единой системе тарификации.

Таблица 2.2 – Исходные данные для вычислений (начало).

№, пп	Расстояние, км	Заграты, Руб.	Время, сут.	Скорость доставки, км/сут.	Надежность	Транс портная работа, ткм	Объём партии, т	У <sub>в</sub>	У <sub>с</sub>
1	823,278	314314	20,643	39,88	0,839	1414247	1440,17	0,721	0,948
2	823,278	45243	12,582	65,43	0,940	1428649	1440,17	0,718	0,947
3	823,278	211583	12,461	66,06	0,852	1414247	1440,17	0,719	0,946
4	6331,626	129853	57,883	109,39	0,848	833328	48,00	0,738	0,480
5	6331,626	168623	57,403	110,30	0,916	832032	48,00	0,738	0,480
6	1100,612	23278	8,733	126,02	0,874	45811	17,19	0,637	0,614
7	1100,612	23322	8,722	126,18	0,807	45811	17,19	0,790	0,950
8	1137,279	20337	8,949	127,08	0,871	68347	34,80	0,822	0,665
9	1100,612	20428	8,620	127,68	0,804	45811	17,19	0,637	0,614
10	1100,612	20472	8,609	127,84	0,976	45811	17,19	0,790	0,950
11	1100,612	23036	8,555	128,64	0,883	45811	17,19	0,790	0,950
12	1137,279	19222	8,796	129,30	0,904	68347	34,80	0,821	0,664
13	1100,612	22992	8,4417	130,38	0,962	45811	17,19	0,637	0,614
14	1137,279	18969	8,515	133,56	0,830	68347	34,80	0,821	0,664
15	1137,279	20456	8,394	135,49	0,968	68730	34,80	0,821	0,666
16	1137,279	17854	8,363	135,99	0,939	68347	34,80	0,822	0,664
17	1137,279	19341	8,241	138,00	0,962	68730	34,80	0,821	0,665
18	6485,93	195230	46,148	140,55	0,934	900370	112,80	0,807	0,940
19	2412,219	55352	15,376	156,88	0,857	552200	131,79	0,474	0,327
20	1672,17	54317	10,64	157,16	0,933	516846	234,93	0,401	0,978
21	2412,219	55672	15,256	158,12	0,980	571969	131,79	0,475	0,327
22	2412,219	54442	15,186	158,84	0,977	552200	131,79	0,474	0,328
23	1672,17	54819	10,510	159,10	0,826	516846	234,93	0,401	0,978
24	2412,219	54762	15,066	160,11	0,923	571969	131,79	0,475	0,329
25	2332,201	94562	14,308	163,00	0,853	1418226	395,60	0,510	0,811
26	6485,93	173330	39,749	163,17	0,924	938496	112,80	0,807	0,940
27	2412,219	218162	14,486	166,52	0,866	568015	131,79	0,474	0,329
28	2412,219	171692	14,456	166,87	0,824	568015	131,79	0,474	0,329
29	2412,219	172012	14,336	168,26	0,901	589101	131,79	0,479	0,327
30	2412,219	217922	14,232	169,49	0,986	589101	131,79	0,476	0,329
31	14144,571	199339	82,501	171,45	0,894	1266152	45,90	0,831	0,612
32	1672,17	27309	9,750	171,50	0,948	516846	234,93	0,401	0,978
33	1672,17	27811	9,620	173,82	0,961	516846	234,93	0,609	0,959
34	2332,201	38140	13,019	179,14	0,840	1386182	395,60	0,508	0,813
35	2332,201	102117	12,588	185,27	0,797	1418226	395,60	0,507	0,809
36	1672,17	25952	8,690	192,42	0,966	516846	234,93	0,609	0,959
37	1672,17	26352	8,634	193,67	0,956	516846	234,93	0,609	0,959
38	6485,93	90456	30,592	212,01	0,831	898114	112,80	0,807	0,940
39	2612,857	34208	11,720	222,94	0,809	123420	33,00	0,860	0,627
40	1664,211	23136	7,387	225,29	0,966	28890	15,00	0,142	0,565

Таблица 2.2 – Исходные данные для вычислений (окончание).

№, пп	Расстояние км	Затраты, руб.	Время, сут	Скорость доставки, км/сут	Надежность	Транспортная работа, ткм	Объём партии, т	$\gamma_b$	$\gamma_c$
41	2612,857	40506	11,430	228,60	0,901	123420	33,00	0,860	0,627
42	1664,211	26240	7,267	229,01	0,911	29115	15,00	0,142	0,565
43	1664,211	33576	7,255	229,39	0,839	28890	15,00	0,214	0,947
44	14144,571	122549	55,721	253,85	0,811	762858	45,90	0,831	0,612
45	14144,571	139842	54,570	259,20	0,941	761848	45,90	0,831	0,612
46	13501,128	112132	50,987	264,79	0,957	494016	32,00	0,708	0,729
47	13501,128	129991	48,865	276,29	0,913	494016	32,00	0,708	0,729
48	13501,128	130182	48,842	276,42	0,821	494016	32,00	0,708	0,729
49	11387,354	55300	40,819	278,97	0,845	416196	36,00	0,975	0,341
50	11387,354	51065	38,426	296,35	0,943	491328	36,00	0,963	0,333
51	11387,354	46068	38,082	299,02	0,970	427939	36,00	0,963	0,333
52	6331,626	66573	19,909	318,03	0,933	401328	48,00	0,738	0,480
53	2612,857	37873	7,010	372,73	0,928	110880	33,00	0,860	0,627

Далее рассчитываем парную корреляция Пирсона. Результаты расчёта представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчета парной корреляции Пирсона.

№, пп	Расстояние	Затраты	Время	Скорость доставки	Надежность	Транспортная работа	Объём партии	$\gamma_b$	$\gamma_c$
Расстояние	1	–	–	–	–	–	–	–	–
Затраты	0,3273	1	–	–	–	–	–	–	–
Время	<b>0,8967</b>	0,5147	1	–	–	–	–	–	–
Скорость доставки	<b>0,5885</b>	-0,1583	0,2708	1	–	–	–	–	–
Надежность	-0,0119	-0,1686	-0,0508	0,0984	1	–	–	–	–
Транспортная работа	0,2184	<b>0,6315</b>	0,3930	-0,2164	-0,1887	1	–	–	–
Объём партии	-0,2550	0,3874	-0,1420	<b>-0,4729</b>	-0,1166	<b>0,6635</b>	1	–	–
$\gamma_b$	<b>0,4105</b>	0,0327	0,3976	0,1115	-0,0259	-0,0148	-0,0507	1	–
$\gamma_c$	-0,2252	-0,0970	-0,1753	-0,1724	-0,1178	0,1732	0,3623	0,0083	1

Результаты расчета парной корреляции Пирсона, представленные в таблице 2.3, выявляют сильное корреляционное взаимодействие между рядом параметров, такими как: время и расстояние, транспортная работа и затраты на перевозки, скорость доставки и объемам партии груза (рисунки 2.2 ... 2.4)

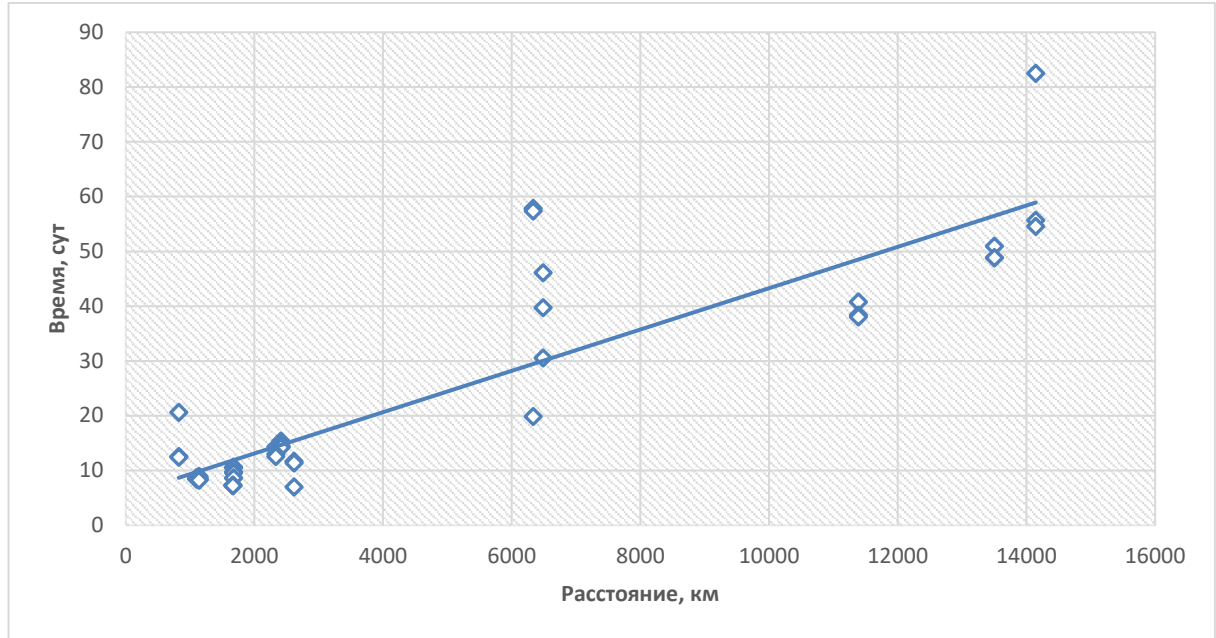


Рисунок 2.2 – Корреляционное взаимодействие параметров время и расстояние перевозки. Источник: [разработано автором].

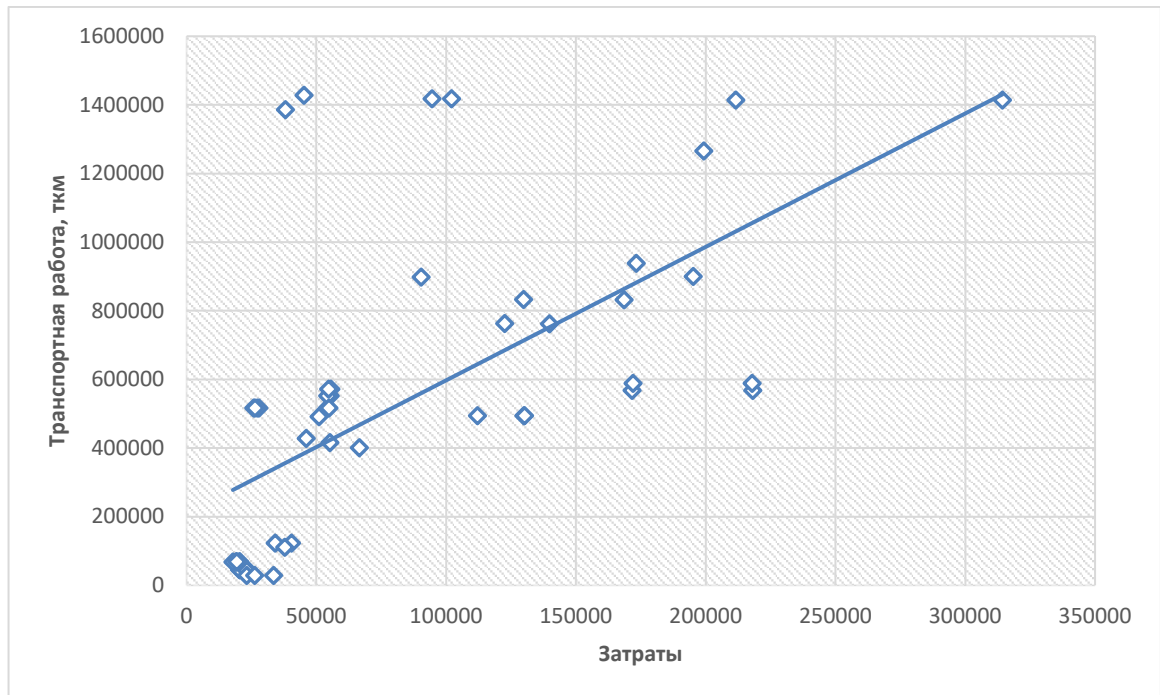


Рисунок 2.3 – Корреляционное взаимодействие параметров транспортная работа и затраты на перевозки. Источник: [разработано автором].

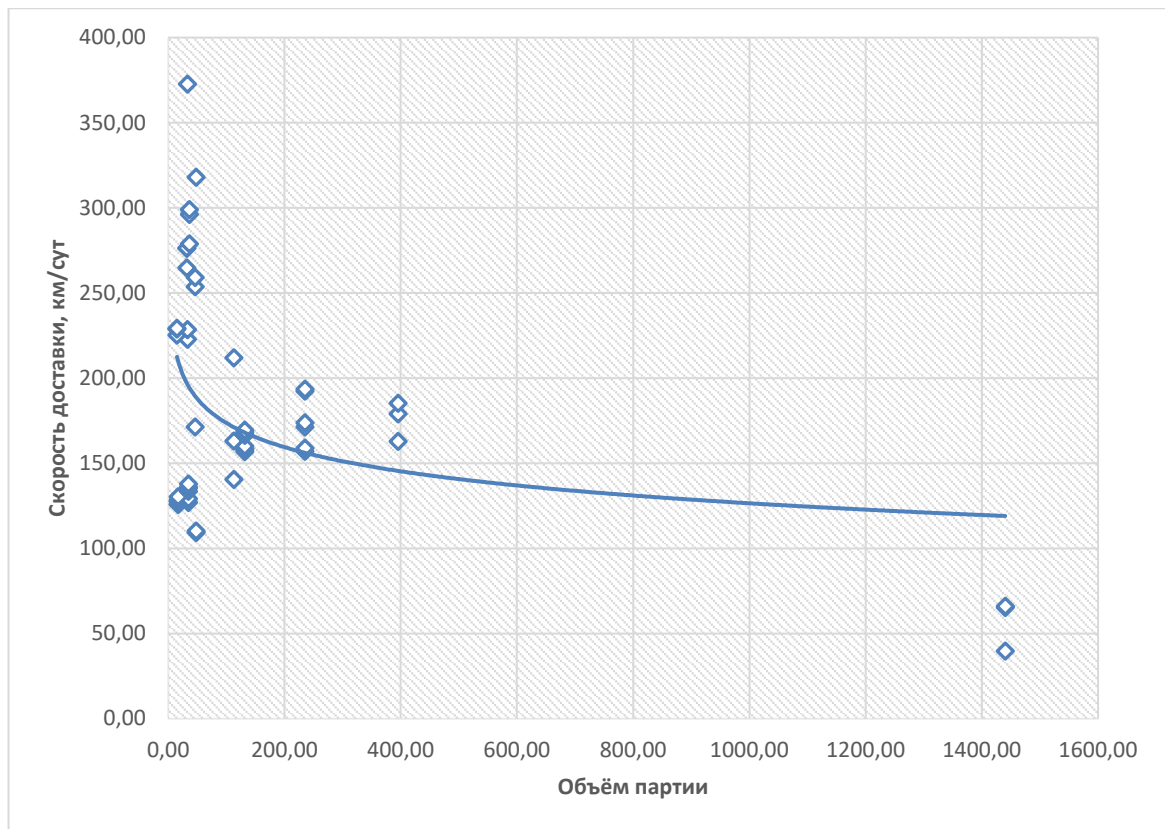


Рисунок 2.4 – Корреляционное взаимодействие параметров скорость доставки и объем партии груза и затраты. Источник: [разработано автором].

Анализ корреляционных зависимостей между измерителями эффективности перевозок на значительные расстояния в логистических транспортных системах показывает:

- Во-первых, что методология корреляционного анализа позволяет выявлять взаимосвязанные измерители эффективности транспортного процесса, в целях определения оптимальной структуры исследуемых критериев целеполагания, то есть определяет какие измерители должны быть исключены из структуры управления логистической транспортной экосистемой (таблица 2.4);
- Во-вторых, демонстрирует наличие слабых корреляционных связей между измерителями транспортного процесса в системе в целом, то есть система управления логистической транспортной экосистемой должна учитывать данное обстоятельство.

Таблица 2.4 – Таблица исключения измерителей транспортного процесса по результатам эксперимента.

№, п-п	Расстояние	Затраты	Время	Скорость доставки	Надежность	Транспортная работа	Объём партии	$\gamma_B$	$\gamma_C$
Расстояние	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Затраты	<b>0,3273</b>	1	-	-	-	-	-	-	-
Время	<b>0,8967</b>	<b>0,5147</b>	1	-	-	-	-	-	-
Скорость доставки	<b>0,5885</b>	0,1583	0,2708	1	-	-	-	-	-
Надежность	0,0119	0,1686	0,0508	0,0984	1	-	-	-	-
Транспортная работа	0,2184	<b>0,6315</b>	<b>0,3930</b>	0,2164	0,1887	1	-	-	-
Объём партии	0,2550	0,3874	0,1420	<b>0,4729</b>	0,1166	<b>0,6635</b>	1	-	-
$\gamma_B$	<b>0,4105</b>	0,0327	<b>0,3976</b>	0,1115	0,0259	0,0148	0,0507	1	-
$\gamma_C$	0,2252	0,0970	0,1753	0,1724	0,1178	0,1732	<b>0,3623</b>	0,008	1
Средняя корреляция	<b>0,3667</b>	0,2597	<b>0,3551</b>	0,2698	0,0973	<b>0,3124</b>	<b>0,2722</b>	0,131	0,178

В таблице 2.5 желтым цветом выделены измерители, между которыми выявлено корреляционное взаимодействие, что означает возможность исключения ряда показателей из структуры управления логистической транспортной экосистемой. После исключения ряда измерителей показателей теснота корреляционных связей сила корреляции между оставшимися показателями не превышает 0,1724, что соответствует очень слабой корреляции и говорит о случайном характере связей между исследуемыми переменными. Окончательная матрица измерителей эффективности транспортного процесса для данного конкретного экспериментального случая представлена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Итоговая матрица измерителей эффективности транспортного процесса в рамках проведенного эксперимента.

№, п-п	Затраты	Скорость доставки	Надежность	$\gamma_B$	$\gamma_C$
Затраты	1	–	–	–	–
Скорость доставки	-0,1583	1	–	–	–
Надежность	-0,1686	0,0984	1	–	–
$\gamma_B$	0,0327	0,1115	-0,0259	1	–
$\gamma_C$	-0,0970	-0,1724	-0,1178	0,0083	1
Средняя корреляция	0,1142	0,1352	0,1027	0,0446	0,0989

В итоговой матрице измерителей эффективности транспортного процесса два показателя (коэффициент использования грузоподъемности и коэффициент использования грузоподъемности), с одной стороны, можно объединить по технологическому признаку и заменить одним коэффициентом эффективности загрузки транспортного средства:

$$K_{э.з.} = \frac{\gamma_B + \gamma_C}{2} \quad (2.4)$$

где  $\gamma_B$  – коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства;  
 $\gamma_C$  – коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства.

С другой стороны, наличие слабой корреляционной связи между данными коэффициентами говорит об неэффективности технологии погрузочно-разгрузочных работ, так как при значении коэффициента использования грузоподъемности приближающемся к единице груз должен равномерно распределён по всему объёму контейнера и максимально использовать потенциал грузоподъемности транспортного средства.

### 2.3 Адаптация метода корреляционного анализа к применению в структурах управления со слабыми корреляционными связями между измерителями транспортного процесса в экосистеме

В классическом случае наличия устойчивых корреляционных связей между переменными параметрами в системах управления (оптимизации структуры управления) применение и обобщение МНК на многофакторный эксперимент не сопряжено с принципиальными методологическими трудностями. Систему нормальных (в стандартизованном виде) уравнений получают в результате дифференцирования функции  $U$  и приравнивания к нулю, то есть:

$$\begin{cases} U = \sum_{i=1}^n (t_{y_u} - \hat{t}_{y_u})^2 = \sum_{i=1}^n [t_{y_u} - (a_1 t_{x_{1u}} + a_2 t_{x_{2u}} + \dots + a_k t_{x_{ku}})]^2 = \min \\ \frac{\partial U}{\partial a_1} = 0; \frac{\partial U}{\partial a_2} = 0 \quad \dots \quad \frac{\partial U}{\partial a_k} = 0. \end{cases} \quad (2.15)$$

где  $t_{y_u}$  – экспериментальные значения параметра оптимизации;

$\hat{t}_{y_u}$  – расчётные значения параметра оптимизации;

$a_1, a_2 \dots a_k$  – стандартизованные коэффициенты регрессии.

Дифференцирование функции (2.15) приводит к следующей системе нормальных уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{1u}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{ku}} \\ \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{2u}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{ku}} \\ \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{ku}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{ku}} \end{cases} \quad (2.16)$$

Эту систему уравнений записывают через коэффициенты корреляции, используя свойства коэффициентов корреляции и отбрасывая общий множитель, следующим образом:

$$\begin{cases} r_{t_y t_{x_1}} = a_1 \cdot 1 + a_2 r_{t_{x_1} t_{x_2}} + \dots + a_k r_{t_{x_1} t_{x_k}} \\ r_{t_y t_{x_2}} = a_1 \cdot r_{t_{x_2} t_{x_1}} + a_2 \cdot 1 + \dots + a_k r_{t_{x_2} t_{x_k}} \\ r_{t_y t_{x_k}} = a_1 \cdot r_{t_{x_k} t_{x_1}} + a_2 r_{t_{x_k} t_{x_2}} + \dots + a_k \cdot 1 \end{cases} \quad (2.17)$$

Оценки коэффициентов уравнения регрессии удобно определять, используя приемы матричной алгебры. Однако до определения оценок значений коэффициентов  $a_1, a_2 \dots a_k$  полагается установить значимость коэффициентов корреляции.

Условием статистической значимости этих коэффициентов является выполнение неравенств:

$$\frac{r_{y_{x1}}\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_{y_{x1}}^2}} > t_{\alpha, f} \quad (2.18)$$

Где  $t_{\alpha}$  – табличное значение  $t$  критерия, принимаемого для уровня значимости  $\alpha=0,05$  и числа степеней свободы  $f = N - 2$ .

Если в результате проверки какой-либо коэффициент окажется статистически незначимым, его исключают из системы уравнений.

Рассмотрим частный случай решения систем уравнений типа (2.17) для определения оценок коэффициентов на примере трёх уравнений с тремя неизвестными. Для этой цели используется определитель третьего порядка, который имеет три строки и три столбца. Принцип решения сохраняется при использовании определителя любого порядка.

Неизвестные величины, в данном случае коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , находятся с помощью стандартного приема, соответственно:

$$a_1 = \frac{D_{a_1}}{D}; \quad (2.19)$$

и далее

$$a_2 = \frac{D_{a_2}}{D}; \quad (2.20)$$

$$a_3 = \frac{D_{a_3}}{D}. \quad (2.21)$$

где  $D$  – определитель системы;  $D_{a_1}$ ,  $D_{a_2}$ ,  $D_{a_3}$  - определители, полученные из определителя системы подстановкой столбца свободных членов (применительно к зависимости 2.17 столбец левой части равенства) вместо столбца коэффициентов при данной неизвестной.

Определитель системы записываем в виде:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & r_{t_{x1}t_{x2}} & r_{t_{x1}t_{x3}} \\ r_{t_{x2}t_{x1}} & 1 & r_{t_{x2}t_{x3}} \\ r_{t_{x3}t_{x1}} & r_{t_{x3}t_{x2}} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

Определитель неизвестной  $a_1$ :

$$D_{a_1} = \begin{pmatrix} r_{t_y t_{x_1}} & r_{t_{x_1} t_{x_2}} & r_{t_{x_1} t_{x_3}} \\ r_{t_y t_{x_2}} & 1 & r_{t_{x_2} t_{x_3}} \\ r_{t_y t_{x_3}} & r_{t_{x_3} t_{x_2}} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

Определитель неизвестной  $a_2$ :

$$D_{a_2} = \begin{pmatrix} 1 & r_{t_y t_{x_1}} & r_{t_{x_1} t_{x_3}} \\ r_{t_{x_2} t_{x_1}} & r_{t_y t_{x_2}} & r_{t_{x_2} t_{x_3}} \\ r_{t_{x_3} t_{x_1}} & r_{t_y t_{x_3}} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

Определитель неизвестной  $a_3$ :

$$D_{a_3} = \begin{pmatrix} 1 & r_{t_{x_1} t_{x_2}} & r_{t_y t_{x_1}} \\ r_{t_{x_2} t_{x_1}} & 1 & r_{t_y t_{x_2}} \\ r_{t_{x_3} t_{x_1}} & r_{t_{x_3} t_{x_2}} & r_{t_{x_3} t_{x_1}} \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

После решения указанных выше определителей рассчитываются оценки стандартизованных коэффициентов  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ .

Тем не менее реализация такого метода становится возможной исключительно при соблюдении комплекса предварительных условий и ограничений, которые были рассмотрены выше:

1. Дисперсии случайной величины одинаковы, их величины независимы от значений наблюдаемых переменных.
2. Отсутствие автокорреляции ошибок, то есть значения ошибок измерения имеют конечные средние значения и дисперсии.
3. Нормальность. Случайные ошибки (значение случайной компоненты имеет нормальное распределение, то есть подчиняется закону нормального распределения случайных величин).
4. Случайные ошибки имеют нулевую среднюю, конечные дисперсии и ковариации.

Перечисленные требования не соответствуют информационному состоянию неопределенности или недостаточности априорных данных в сложных логистических транспортных системах обозначают проблему **адаптации методов корреляционного анализа к применению в структурах управления со слабыми корреляционными связями между измерителями транспортного процесса.**

Решения данной проблемы возможно опираясь на методы векторной оптимизации исследуемых параметров в условиях неопределенности [83, 84,85, 86,87,88,89,90,91].

Сформируем задачу поиска наилучшего решения в сложной логистической системе как задачу максимизации значений коэффициентов корреляции на множестве возможных решений, определяемых условием неопределенности. Количество состояний исследуемой системы будем определять количеством исследуемых измерителей, так как между измерителями не выявлено устойчивой корреляционной связи.

Тогда задача поиска устойчивого состояния может быть определена в  $n$ -мерном пространстве возможных решений, где  $n$  будет тождественно количеству критериев целеполагания, а  $(m)$  количество объектов в исследуемой системе, на одном уровне.

$$\left\{ \begin{array}{l} k_1 = a_{11}r_{t_{x_1}t_{x_1}} + a_{12}r_{t_{x_1}t_{x_2}} + \dots + a_{1n}r_{t_{x_1}t_{x_n}} \rightarrow \max \\ k_2 = a_{21}r_{t_{x_2}t_{x_1}} + a_{22}r_{t_{x_2}t_{x_2}} + \dots + a_{2n}r_{t_{x_2}t_{x_n}} \rightarrow \max \\ \dots \\ k_m = a_{m1}r_{t_{x_m}t_{x_1}} + a_{m2}r_{t_{x_m}t_{x_2}} + \dots + a_{mn}r_{t_{x_m}t_{x_n}} \rightarrow \max \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = N \\ x_i = \begin{cases} N, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \end{array} \right. \quad (2.26)$$

где  $a_i$  – заданные значения показателей критериев целеполагания;

$r_{t_{x_m}t_{x_n}}$  – переменное значение коэффициента корреляции тождественное вероятностной проявления при отдельных состояниях информационного пространства возможных решений.

Тогда множество значений коэффициентов корреляции при отдельных информационных состояниях пространства возможных решений можно представить в виде ограниченной области на рисунках 2.5 и 2.6.

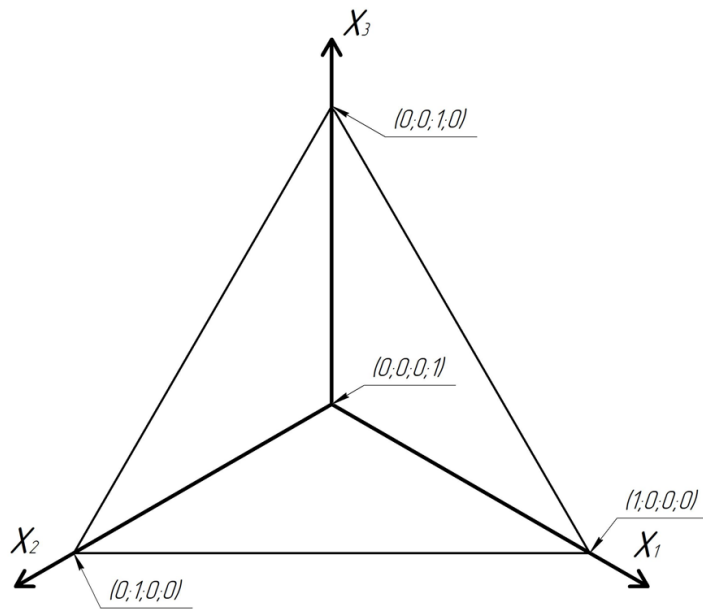


Рисунок 2.5 – Множество значений коэффициентов корреляции при отдельных информационных состояниях пространства возможных решений

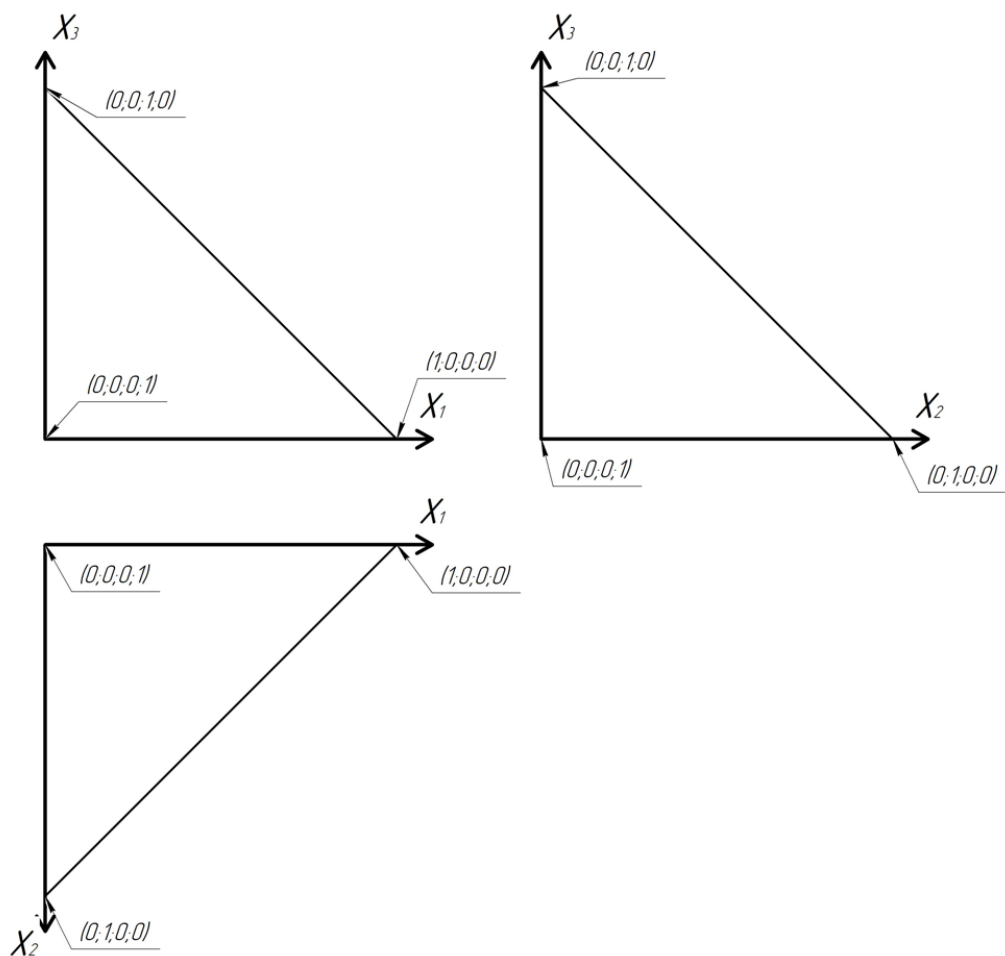


Рисунок 2.6 – Проекция множества значений коэффициентов корреляции при отдельных информационных состояниях пространства возможных решений.

Аналитически данная задача может быть решена с помощью методов теории принятия решений в условиях неопределенности и опираясь на методологию теории игр с природой факторов [92,93,94,95]

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} r_{t_{xm}t_{xn}} \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n r_{t_{xm}t_{xn}} = 1 \\ 0 \leq r_{t_{xm}t_{xn}} \leq 1 \\ i = \overline{1, m-1} \end{array} \right. \quad (2.27)$$

### Выводы по второй главе

Во второй главе произведена систематизация методов управления в логистических транспортных экосистемах:

1. Определено, что в логистических транспортных экосистемах в условиях значительного влияния внешнего факторного пространства и наличия нескольких уровней управления классические методы корреляционного анализа в целях информационного моделирования применимы только на отдельных уровнях при описании функционала объектов транспортного производства, но полная структурирование связей в экосистемах требует разработки новых моделей, основанных на теории информационного взаимодействия объектов в сложной многоуровневой открытой системе. В этом случае необходимо адаптировать методологию корреляционного анализа под задачи прогнозирования состояния исследуемой системы, параметры которой изменяются во времени.

2. Установлено, что применение метода наименьших квадратов (МНК) в процессе оценки требует неукоснительного соблюдения целого ряда методологически выверенных условий, ограничений и базовых предположений. Их пренебрежение способно вызвать существенные искажения в конечных результатах анализа. Особую опасность подобные погрешности представляют при использовании МНК в качестве инструмента экстраполяции для прогнозирования поведения сложных систем. В таких случаях даже малейшие отклонения от корректных исходных предположений могут повлечь за собой критические ошибки в итоговых прогнозных оценках.

3. Исследованы связи между измерителями функционала логистических транспортных систем на основе реально существующих цепочек поставок: расстоянием перевозки, затратами на перевозку, временем доставки, скоростью доставки, надёжностью (вероятность выполнения перевозки полностью в соответствии с планом без непредвиденных обстоятельств), транспортной работы, объёму партии, коэффициентом использования грузоподъемности и грузоподъемности.

4. Анализ корреляционных зависимостей между измерителями эффективности перевозок на значительные расстояния в логистических транспортных системах показывает:

– Во-первых, что методология корреляционного анализа позволяет выявить взаимосвязанные измерители эффективности транспортного процесса в целях определения оптимальной структуры исследуемых критериев целеполагания, то есть определяет какие измерители должны быть исключены из структуры управления логистической транспортной экосистемой;

– Во-вторых, демонстрирует наличие слабых корреляционных связей между измерителями транспортного процесса в системе в целом, то есть система управления логистической транспортной экосистемой должна учитывать данное обстоятельство, а, следовательно, требуются адаптация методов корреляционного анализа к применению в структурах управления со слабыми корреляционными связями между измерителями транспортного процесса.

5. Сформулирована модель задачи поиска наилучшего решения в сложной логистической транспортной экосистеме, как задачу максимизации значений коэффициентов корреляции на множестве возможных решений, определяемых условием неопределенности. Количество состояний исследуемой системы будем определять количеством исследуемых измерителей, так как между измерителями не выявлено устойчивой корреляционной связи.

Модели решения задач данного класса базируются на алгоритмах решения задач со стохастическими информационными ситуациями в системы управления с той лишь разницей, что законы распределения случайных величин,

характеризующие параметры системы не заданы, не определяются эмпирическими данными или неизвестны.

Комплексное решение данной задачи возможно только с применением объективных аналитических инструментов, позволяющих организовать эффективное управление в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем. Для этого необходима разработка научно-обоснованных методов поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующих структуру (топологию) взаимодействия субъектов транспортно-логистического производства, внедренных в отечественном программном обеспечении.

### 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ТОПОЛОГИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА УРОВНЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В МНОГОУРОВНЕВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

#### **3.1 Разработка комбинаторной модели описания возможных состояний логистической транспортной экосистемы**

Разработка метода, определяющего структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах предполагает формирование научного подхода, позволяющего из множества возможных состояний логистической транспортной системы генерировать решения, обладающие положительной динамикой эффективности. Под возможными состояниями логистической транспортной системы будем понимать конкретный набор измерителей эффективности транспортного производства, соответствующий отдельному объекту в логистической транспортной экосистеме – транспортному предприятию, с другой стороны, являющегося субъектом транспортного производства [96,97].

Особенностью условий функционирования современных транспортных систем является наличие слабо коррелированных связей между субъектами управления, обусловленного значительным влиянием внешнего факторного воздействия и отсутствием устойчивых системообразующих связей во внутренней среде организации транспортного производства. Поэтому для создания эффективных логистических транспортных экосистем необходима разработка специальных методов имитационного моделирования, позволяющий обрабатывать большие объемы информации, отражающие сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства и моделировать действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направленной на повышение эффективности системы в целом [98,99,100,101,102].

В современной теории проектирования существует два ключевых направления для создания новых структур в сложных организационно-технических системах: трансформационные методы и морфологические методы.

Трансформационный подход строится на принципе выработки необходимого технического или организационного решения через целенаправленное преобразование действующей системы. При этом отсутствует необходимость предварительного анализа всех потенциально возможных вариантов решений.

Модификация исходной системы-прототипа производится посредством применения разнообразных эвристических методов, которые могут использоваться как по отдельности, так и в комбинации друг с другом. Важно учитывать, что количество возможных вариантов преобразований может достигать значительных величин. Именно поэтому для организационно-технических систем реализация множества случайных экспериментальных изменений оказывается неэффективной с точки зрения затрат ресурсов.

Основная задача трансформационного метода заключается в поиске оптимальных способов преобразования системы с целью устранения её недостатков. Особенно это актуально для логистических транспортных экосистем, где необходимо устранить проблемы, выявленные при анализе соответствия методов и моделей принятия решений реальным информационным ситуациям в системе.

Для достижения поставленной цели требуется разработать чёткий план преобразований (эволюционную траекторию), который позволит существующим элементам системы (участникам транспортного процесса) трансформироваться в качественно новые компоненты.

Сфера применения данного подхода весьма обширна, особенно при модернизации отдельных технических объектов. Однако важно понимать его ограничения: трансформационный метод не всегда эффективен при поиске принципиально новых форм организации сложных систем. Это обусловлено тем, что его эффективность базируется на анализе исходной системы-прототипа, чьи

структура и механизмы взаимодействия накладывают определённые ограничения на возможные решения.

Дополнительно стоит учесть, что проведение экспериментальных исследований в рамках сложных организационно-технических систем существенно затруднено из-за специфики их организации и сложного характера взаимодействия с внешней средой.

Значительный потенциал в решении подобных задач демонстрирует морфологический метод исследования структуры анализируемого объекта. Понятие «морфология» широко применяется в различных научных дисциплинах и связано с изучением формы и структурных особенностей исследуемых систем. Этот подход позволяет детально анализировать строение и организацию объекта, выявляя ключевые взаимосвязи между его компонентами.

В отличие от трансформационного метода, морфологический анализ даёт возможность более глубоко исследовать внутреннюю организацию системы и её структурные характеристики [103].

Концепция морфологического анализа и синтеза в области прогнозирования берёт своё начало в научных трудах выдающегося швейцарского учёного и инженера Фрица Цвикки. Морфологический анализ базируется на принципах комбинаторики и направлен на выявление наиболее эффективных способов реализации изучаемого процесса. Сущность метода заключается в создании исчерпывающего описания всех существующих и потенциально возможных систем исследуемого класса. На основе этого описания производится поиск оптимального решения, которое максимально соответствует поставленным целям.

Практическая реализация метода происходит поэтапно: сначала определяются ключевые функциональные характеристики исследуемой системы или объекта, затем для каждой характеристики разрабатываются альтернативные варианты исполнения. Финальный этап включает комбинирование различных вариантов между собой, что позволяет получить обширный набор потенциальных решений.

Отсюда следует, что механизм использования метода следующий. Сначала проблему разделяют на части, принимающие как независимые, а для каждой части находят максимальное множество решений или подходов.

На начальной стадии исследования производится идентификация ключевых аспектов, которые определяют сущность изучаемой проблемы (объекта исследования). Эти аспекты впоследствии становятся фундаментальными критериями для разделения исследуемой системы на составляющие элементы, обозначаемые как  $P_j$ .

После определения ключевых аспектов проблемы проводится детальный анализ потенциальных решений для каждого из них. Для  $j$ -го аспекта выявляются различные варианты решений  $n_j^i$ , которые могут быть реализованы участниками транспортно-логистического процесса — производственными предприятиями отрасли.

Допустим, что возможных аспектов (переменных значений измерителей транспортного процесса) проблемы может быть  $m_j^i$ , где  $j = 1 \dots m$ , а возможных вариантов  $j$ -го аспекта (измерителя)  $k_j$ , то есть  $P_j = 1, 2 \dots k_j$ .

Совокупность всех аспектов исследуемой проблемы и возможных путей её решения может быть структурирована в форме системы взаимосвязанных матриц, образующих так называемое морфологическое множество. Такой подход позволяет систематизировать информацию и наглядно представить все возможные комбинации проблем и их решений в единой математической модели:

$$\begin{aligned} &P_1(n_1^1, n_2^1, \dots, n_{k_1}^1) \\ &P_2(n_1^2, n_2^2, \dots, n_{k_2}^2) \\ &\dots \\ &P_n(n_1^m, n_2^m, \dots, n_{k_n}^m) \end{aligned} \quad (3.1)$$

или в виде морфологического ящика (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Морфологический ящик вариантов принятия решений в логистической транспортной системе

Варианты решения	Аспекты решения			
	$P_1$	$P_2$	...	$P_n$
$n_j^1$	$n_1^1$	$n_2^1$	...	$n_{k1}^1$
$n_j^2$	$n_1^2$	$n_2^2$	...	$n_{k1}^2$
...	$n_1^2$	$n_2^2$	...	$n_{k1}^2$
$n_j^m$	$n_1^m$	$n_2^m$	...	$n_{kn}^m$

Как правило, исследование морфологического ящика замыкается на следующей процедуре: в каждом столбце исследуемой матрицы определить наилучшее действие, то соединив их вместе выстраивается цепочка действий или комбинация элементов, решающая поставленную проблему. Далее определяются возможности осуществления полученной комбинации элементов или действий. Одним из следствий может быть то, что систематическое изучение всех комбинаций возможных решений отдельных частей проблемы приводит к получению новых решений всей проблемы в целом.

После исключения нереализуемых вариантов проводится тщательная оценка эффективности оставшихся решений. Из них выбирается наиболее оптимальное, соответствующее конкретным условиям.

Важно отметить, что аспектами проблемы могут выступать как отдельные элементы или объекты системы, так и их функциональные характеристики. В этом случае альтернативными вариантами становятся различные способы реализации каждой функции.

Самым сложным этапом морфологического анализа считается анализ всех полученных решений с позиции их практической ценности. На этом этапе происходит отбор наиболее перспективных вариантов и способов их внедрения.

Для объективной оценки обычно разрабатывается специальная шкала, при этом могут применяться как универсальные, так и специфические критерии оценки решений. Такой подход позволяет обеспечить комплексный анализ и выбор наилучшего варианта реализации.

Используем механизм исследование системы с помощью морфологического анализа для исследования функционала логистических транспортных систем, адаптировав к решению обозначенной в диссертации проблемы. Проблема заключается в том, что в современных реалиях РФ структура управления транспортно-логистическими экосистемами формируются спонтанно в виде интеграционных информационно-аналитических систем, назначение которых интегрировать имеющуюся информацию о потребности в перевозках и согласовывать её с провозными возможностями транспортных предприятий, представляя информацию в виде цифровых сервисов. При этом модели поддержки принятия решений опираются на удовлетворение, в первую очередь, интересов субъектов транспортных производства – отдельных транспортных предприятий. В этом случае структура транспортного производства складывается бессистемно и хаотизировано. Между тем логистическая транспортная экосистема предполагает упорядоченное взаимодействие в интересах, всех задействованных участников. Помимо интересов транспортных предприятий, это интересы социума, в части обеспечения требований экологической безопасности и доступности транспортных услуг, интересы органов государственного управления, в части организации, развития и содержания транспортной инфраструктуры и обеспечения безопасности дорожного движения и т.д.

Тогда в качестве элементов морфологического анализа в применении его к структуре логистической транспортной экосистемы должны выступать отдельные транспортные предприятия, характеризующиеся их функционалом, который измеряется показателями эффективности выполнения своих функций по организации перевозок. Причем включаемые в исследование транспортные предприятия могут реализовать свои функции посредством как одного, так и сочетания производственных возможностей различных видов транспорта, включая их взаимодействие.

В качестве альтернативных «комбинируемых» вариантов обозначим различные реализации эффективности каждой функции в специфических прикладных ситуациях, когда, применяя различные способы организации

перевозки для перевозки одних и тех же объемов грузов могут быть достигнуты различные значения эффективности. Элемент комбинаторики (как обязательный для морфологического анализа) «включается», когда необходимо оценить эффективность функционала того или иного транспортного предприятия предлагающего, выступающего в качестве субъекта (организатора) специфических условий перевозок. Критериями для оценки эффективности транспортных предприятий, естественно, служат выраженные количественно показатели эффективности транспортного производства: расстояние перевозки, затраты, время доставки, скорость доставки, надёжность (вероятность выполнения перевозки полностью в соответствии с планом без непредвиденных обстоятельств), транспортная работа, объём партии, коэффициент использования грузоместимости и грузоподъемности и т.д. Инструментом для оценки эффективности является разработанный алгоритм поддержки принятия решений, максимизирующий значений коэффициентов корреляции в информационном пространстве возможных решений в условиях неопределенности. Тогда количество комбинируемых состояний исследуемой системы будем определять количеством исследуемых критериев (измерителей), так как между измерителями не выявлено устойчивой корреляционной связи.

Применение данного аналитического инструмента в рамках национальных информационно-аналитических систем позволяет эффективно управлять транспортной логистикой. Такие системы, объединяя данные о транспортных потребностях, осуществляют распределение заявок между перевозчиками и предоставляют информацию через цифровые сервисы.

Описанная методология представляет собой продвинутую форму морфологического анализа. В её рамках проводится всесторонняя оценка всех возможных решений с позиции их практической значимости. Это позволяет отобрать наиболее эффективные варианты и обеспечить их успешную реализацию в реальных условиях.

### 3.2 Разработка многоуровневой структура исследования возможных состояний логистической транспортной экосистемы

Согласно принципам системного анализа, понятие структуры системы охватывает не просто расположение её компонентов, а комплексные взаимосвязи между подсистемами и элементами. Эти взаимосвязи проявляются через множество взаимосвязанных характеристик и функциональных особенностей, формирующих сложный объект.

Структура системы обладает иерархической природой, она не только описывает многоуровневые отношения между элементами, но и сама развивается по мере углубления анализа конкретной системы.

Наиболее наглядным способом представления системного облика является граф-модель, которая позволяет визуализировать все компоненты и их взаимодействия (рисунок 3.1). Такой подход обеспечивает полное понимание структуры системы во всей её сложности и взаимосвязях.

На рисунке 3.1 вершинами графа являются:

$w_{\xi}$  – структура (облик) системы логистической транспортной экосистемы

$v_{\xi}$  – совокупность подсистем и элементов

$x_{\xi}$  – совокупность определяющих характеристик (параметров)

$\varphi_{\xi}$  – совокупность выполнимых функций

$\xi$  – уровень иерархии

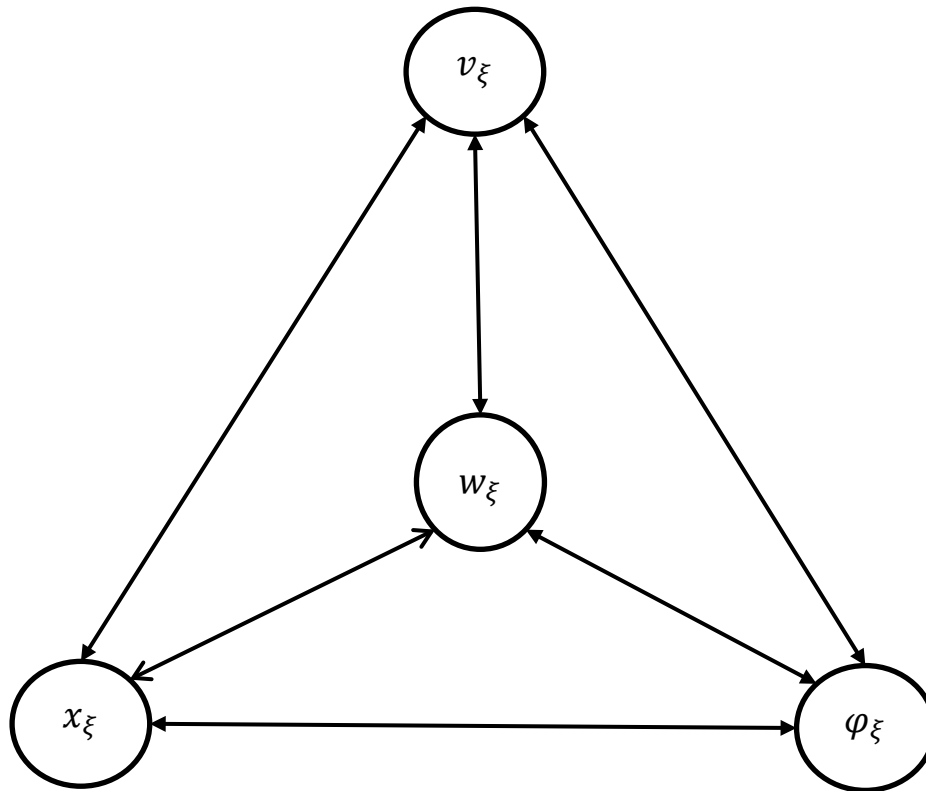


Рисунок 3.1 – Концепция иерархической структуры многоуровневой организационно-технической экосистемы.

На рисунке 3.1 общая совокупность элементов, подсистем и связей  $v_\xi, x_\xi, \varphi_\xi$  совместно определяет облик организационно-технической системы на  $\xi$  – ом уровне иерархии её исследования:

$$w_\xi = \bigcup_{\xi=1}^K (x_\xi, v_\xi, \varphi_\xi) \quad (3.2)$$

где  $K$  – количество уровней иерархии в организационно-технической системе.

Преобразование организационно-технической экосистемы в современную логистическую требует применения специальных аналитических инструментов, которые способны моделировать и предсказывать перспективные показатели эффективности будущей системы. Эти инструменты помогают оценить потенциал развития и определить оптимальные пути модернизации существующей структуры для достижения более высоких уровней производительности и результативности.

Структура логистической организационно-технической экосистемы представляет собой целостную систему, объединяющую в себе комплекс структурных и параметрических характеристик, ключевых решений и

особенностей функционирования. В её состав входят взаимосвязанные элементы с определёнными способами их объединения, при этом эффективность всей системы обеспечивается оптимальным сочетанием всех компонентов и их функциональной взаимосвязью.

Такое гармоничное взаимодействие позволяет создать эффективную экосистему, где каждый элемент вносит свой вклад в общее функционирование, а их слаженная работа обеспечивает достижение поставленных целей.

В логистической транспортной экосистеме в качестве состава элементов обозначается набор транспортных предприятий, способных выполнять функции назначения системы. Важно отметить, что эффективность выполнения перевозочных функций транспортными предприятиями может значительно изменяться в зависимости от условий организации перевозочного процесса. В этом случае возникает прецедент для применения комбинаторики, в целях получения оптимальной комбинации распределения всего объема заявок на перевозки. Тогда основная задача логистической транспортной экосистемы оптимально распределять функционал системы между элементами в целях достижения максимальной эффективности системы в целом.

Согласно данному определению, логистическая транспортная экосистема должна создавать различные варианты организации грузоперевозок. Для этого требуется провести тщательный анализ всех функциональных подсистем и участников транспортного процесса, учитывая их иерархическую структуру и ключевые показатели эффективности.

Решение этой задачи возможно с помощью метода морфологического анализа, однако существует серьёзное ограничение: при увеличении числа элементов в морфологической матрице количество возможных комбинаций растёт экспоненциально. Это связано с тем, что при построении морфологической модели необходимо учитывать значимость каждого элемента системы.

Особую сложность представляет то, что в рамках логистической транспортной экосистемы необходимо учитывать интересы множества

транспортных предприятий и других участников рынка, что значительно усложняет процесс анализа и формирования оптимальных решений.

Упрощение данной задачи достигается за счёт снижения её размерности через введение системы весовых коэффициентов для каждой ячейки морфологической матрицы относительно выбранного критерия предпочтения.

На этапе прогнозирования системы, когда происходит отбор предпочтительных альтернатив, этот критерий обычно задаётся определённым образом. Важно отметить, что присвоение весовых значений позволяет упорядочить и систематизировать анализ, делая его более целенаправленным и эффективным, поскольку не все параметры имеют одинаковую значимость для конечного результата:

$$R = f(\alpha_j, r_j), \quad j = 1 \dots n, \quad (3.3)$$

где  $r_j$  – компоненты критерия предпочтения;

$\alpha_j$  – вес компоненты критерия

$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_j \leq 1 \\ \sum_{j=1}^N \alpha_j = 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

то каждой альтернативе облика может быть поставлена в соответствии некоторая оценка приоритета (ранг) по показателю  $R$ .

При прогнозировании будущего эффективного состояния системы устанавливается новый качественный уровень её развития. В связи с этим отбор оптимальных решений должен осуществляться с учётом отдельных компонентов и критериев, способных отразить фактор неопределённости, который неизбежно присутствует на этапе разработки.

В качестве компонентов (единичных критериев) выбора предпочтительных альтернатив в логистической транспортной экосистеме применимы измерители эффективности транспортного производства, так как в предыдущих главах было доказано отсутствие или наличие слабых корреляционных связей между рядом основных измерителей транспортного процесса, определяемого специфическими современными условиями организации перевозок.

Фактор неопределенности в исследуемой системе возникает в силу специфических особенностей логистических транспортных экосистем, такие как:

- наличие нескольких уровней управления в исследуемой системе,
- наличие противоречивого целеполагания субъектов управления,
- необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства,
- необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных и т.д.

Компонент неопределенности  $R$  характеризует специфику прогнозного исследования как формирования множества вероятностных оценок возможного эффективного состояния логистической транспортной системы. Поэтому вероятностная составляющая является необходимым звеном, которое следует учитывать при формировании модели выбора оптимальной комбинации действий из представленных альтернатив.

Учитывая положения, которые характеризуют (3.1), (3.2), (3.3) и (3.4) можно сформировать алгоритм работы модели упорядочивания структуры действий и связей в логистической транспортной экосистеме, то есть принцип работы оптимизационной модели, определяющую структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

1. Формируются структура частных показателей функционала возможностей транспортных предприятий или общий морфологический ящик возможных решений на первом иерархическом уровне:

$$P_n = (P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (3.5)$$

2. Производится оценка сила взаимодействия посредством определение коэффициентом корреляции ( $r$ ) в пределах значений от  $-1$  до  $+1$ .

3. По результатам оценки коэффициента корреляции исследуемые параметры агрегируются на параметры с не выявленным характером взаимодействия, параметрами со слабыми и сильным корреляционными связями. Для каждой из агрегируемых структур составляется отдельная морфологическая

матрица на первом иерархическом уровне, при соблюдении требования: количество исследуемых транспортных предприятий в каждой матрице должно быть одинаковым.

4. Производят нормирование данных и получают систему нормальных уравнений вида

$$\begin{cases} \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{1u}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{1u}} t_{x_{ku}} \\ \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{2u}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{2u}} t_{x_{ku}} \\ \sum_{u=1}^N t_{y_u} t_{x_{ku}} = a_1 \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{1u}} + a_2 \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{2u}} + \dots + a_k \sum_{u=1}^N t_{x_{ku}} t_{x_{ku}} \end{cases} \quad (3.6)$$

5. Систему уравнений (3.6) записывают через коэффициенты корреляции, используя свойства коэффициентов корреляции и отбрасывая общий множитель, следующим образом:

$$\begin{cases} r_{t_y t_{x_1}} = a_1 \cdot 1 + a_2 r_{t_{x_1} t_{x_2}} + \dots + a_k r_{t_{x_1} t_{x_k}} \\ r_{t_y t_{x_2}} = a_1 \cdot r_{t_{x_2} t_{x_1}} + a_2 \cdot 1 + \dots + a_k r_{t_{x_2} t_{x_k}} \\ r_{t_y t_{x_k}} = a_1 \cdot r_{t_{x_k} t_{x_1}} + a_2 r_{t_{x_k} t_{x_2}} + \dots + a_k \cdot 1 \end{cases} \quad (3.7)$$

6. Далее сформируем задачу поиска наилучшего решения в сложной логистической системе как задачу максимизации значений коэффициентов корреляции на множестве возможных решений, определяемых условием неопределенности. Количество состояний исследуемой системы будем определять количеством исследуемых измерителей, так как между измерителями не выявлено устойчивой корреляционной связи.

7. Задача поиска устойчивого состояния на первом уровне для каждой матрицы может быть определена в  $n$ -мерном пространстве возможных решений, где  $n$  будет тождественно количеству критериев целеполагания, а  $(m)$  количество объектов в исследуемой системе, на одном уровне.

$$\begin{cases} k_1 = a_{11} r_{t_{x_1} t_{x_1}} + a_{12} r_{t_{x_1} t_{x_2}} + \dots + a_{1n} r_{t_{x_1} t_{x_n}} \rightarrow \max \\ k_2 = a_{21} r_{t_{x_2} t_{x_1}} + a_{22} r_{t_{x_2} t_{x_2}} + \dots + a_{2n} r_{t_{x_2} t_{x_n}} \rightarrow \max \\ \dots \\ k_m = a_{m1} r_{t_{x_m} t_{x_1}} + a_{m2} r_{t_{x_m} t_{x_2}} + \dots + a_{mn} r_{t_{x_m} t_{x_n}} \rightarrow \max \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = N \\ x_i = \begin{cases} N, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \end{cases} \quad (3.8)$$

где  $a_i$  – заданные значения показателей критериев целеполагания;

$r_{t_{xm}t_{xn}}$  – переменное значение коэффициента корреляции тождественное вероятностной проявления при отдельных состояниях информационного пространства возможных решений.

8. Аналитически данная задача может быть решена с помощью методов теории принятия решений в условиях неопределенности и опираясь на методологию теории игр с природой факторов.

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} r_{t_{xm}t_{xn}} \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n r_{t_{xm}t_{xn}} = 1 \\ 0 \leq r_{t_{xm}t_{xn}} \leq 1 \\ i = \overline{1, m-1} \end{cases} \quad (3.9)$$

9. Модель полученные решения оформляется в виде морфологического ящика вариантов принятия решений на 1-ом иерархическом уровне в виде таблицы 3.1. Количество морфологических ящиком 1-го уровня определяется количеством групп, на которые разделены измерители транспортного производства по степени корреляции измерителей.

10. Производиться оценка эффективности из  $n!$  ( $n$ -факториал) комбинаций решений в каждом морфологическом ящике 1-го уровня и выбирается максимальные значения  $\mathcal{E}_k = \mathcal{E}_{maxn!}$  из которых формируется вектор-столбец эффективных решений 1-го уровня (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Результаты морфологического анализа возможных решений на 1-ом ( $k = 1$ ) иерархическом уровне

Варианты решения	Аспекты решения				Результаты расчёта
	$P_1$	$P_2$	...	$P_n$	$\mathcal{E}_{k=1} = \mathcal{E}_{maxn!}$
$n_{kj}^1$	$n_{k1}^1$	$n_{k2}^1$	...	$n_{kn}^1$	$\mathcal{E}_{11}^1$
$n_{kj}^2$	$n_{k1}^2$	$n_{k2}^2$	...	$n_{kn}^2$	$\mathcal{E}_{11}^2$
...	$n_{k1}^2$	$n_{k2}^2$	...	$n_{kn}^2$	...
$n_{kj}^m$	$n_{k1}^m$	$n_{k2}^m$	...	$n_{kn}^m$	$\mathcal{E}_{1n}^m$

11. По результатам расчёта на 1-ом иерархическом уровне групп показателей, характеризующих эффективность транспортного производства

отдельных транспортных предприятий, формируется морфологический ящик 2-ого иерархического уровня в исследуемой логистической транспортной системе, состоящих результатов расчета на 1-ом уровне и показателей эффективности отраслевого или межотраслевого взаимодействия (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Морфологический ящик возможных решений на 2-ом ( $k = 2$ ) иерархическом уровне

Варианты решения	Аспекты решения					Результаты расчёта
	$\mathcal{E}_{k=1(\max)}$	$P_1$	$P_2$	...	$P_n$	$\mathcal{E}_{k=2} = \mathcal{E}_{\max n!}$
$n_{kj}^1$	$\mathcal{E}_{21}^1$	$n_{21}^1$	$n_{22}^1$	...	$n_{21}^1$	$\mathcal{E}_{k1}^1$
$n_{kj}^2$	$\mathcal{E}_{21}^2$	$n_{21}^2$	$n_{22}^2$	...	$n_{21}^2$	$\mathcal{E}_{k1}^2$
...	...	$n_{21}^2$	$n_{k2}^2$	...	$n_{21}^2$	...
$n_{kj}^m$	$\mathcal{E}_{2n}^m$	$n_{21}^m$	$n_{22}^m$	...	$n_{2n}^m$	$\mathcal{E}_{kn}^m$

12. Далее производится оценка эффективности из  $n!$  ( $n$ -факториал) комбинаций решений в каждом морфологическом ящике 2-го уровня и выбираются максимальные значения  $\mathcal{E}_{k=2} = \mathcal{E}_{\max n!}$ . Если количество исследуемых измерителей транспортного производства и межотраслевого взаимодействия ограничивается двумя уровнями в исследуемой логистической транспортной системе тогда расчёт заканчивается. Результатом расчёта является выбор для перевозки установленной партии груза предприятия, которое максимально удовлетворяет системные требования к организации данного вида грузовых перевозок.

Представленный алгоритм является научной основой для методологического обеспечения организации процессов управления в сложных многоуровневых системах, позволяющим отражать особенности условий функционирования современных транспортных систем:

- наличие слабо коррелированных связей между субъектами управления,
- значительное влияние внешнего факторного воздействия,
- отсутствие устойчивых системообразующих связей во внутренней среде транспортного производства.

Данный алгоритм является специальным методом имитационного моделирования, позволяющим обрабатывать большие объемы информации, отражающие сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства и моделировать действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направленной на повышение эффективности системы в целом. Так как основу разработанной модели составляют формализованные математические процедуры, то расчёты легко реализуются в программном обеспечении, что особо значимо для новых методов управления логистическими транспортными экосистемами в контексте адаптации под новые информационные технологические возможности.

### **3.3 Разработка программного обеспечения выбора эффективных состояний логистической транспортной экосистемы**

Под выбором эффективных состояний логистической транспортной экосистемы будем понимать выбор наилучшего способа организации перевозок, то есть выбор вариантов перевозок в максимальной степени соответствующего требованиям экосистемы. Разработанный в третьей главе алгоритм имитационного моделирования информационных состояний экосистемы был реализован в алгоритмическом языке C++, что позволяет решать задачи оптимизации состояния логистической транспортной экосистемы в автоматическом режиме. Демонстрация процедуры и последовательность получения решения в разработанном ПО представлена на рисунках 3.2...3.11.

На первом этапе работы ПО предлагает выбрать количество исследуемых «районов» информационных ситуаций. Под «районами» информационных ситуаций в данном случае понимаются области распределения измерителей транспортного процесса по уровню корреляции данных. При этом каждый «район» может быть «разбит» на отдельные морфологические ящики, состоящие из групп показателей, определяемых организационными или технологическими признаками. Такое разделение позволяет «охватить» расчётами достаточно

большое количество измерителей транспортного производства, что является необходимым условием получения максимально выверенных решений по организации действий в логистической транспортной экосистеме (ЛТЭС), см. (рисунок 3.2 и 3.3)

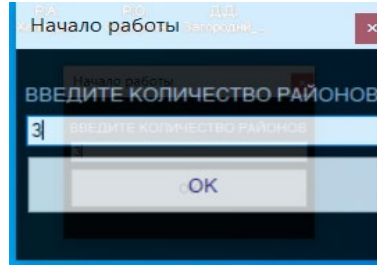


Рисунок 3.2 – Ввод количества исследуемых районов в ЛТЭС.

Источник: [разработано автором].

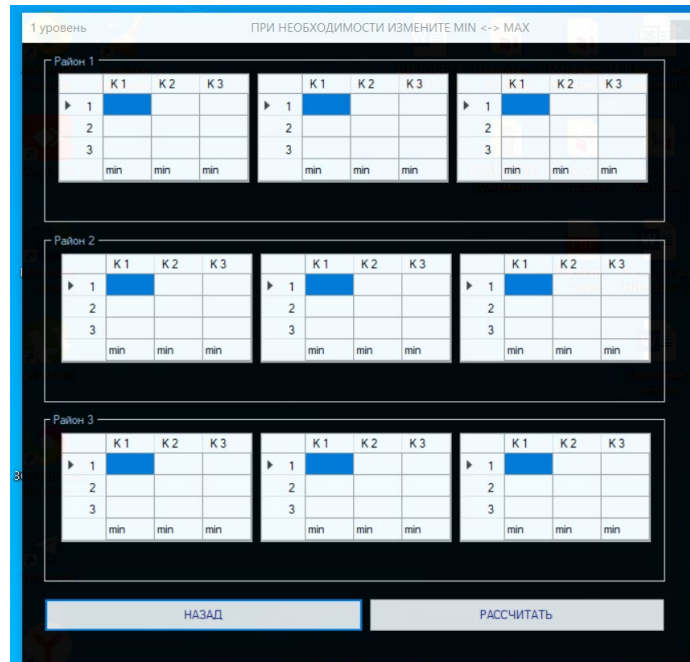


Рисунок 3.3 – Интерфейс ПО для ввода текущих значения измерителей 1-го уровня ЛТЭС. Источник: [разработано автором].

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3
1	0,9	32000	4	1	0,7	56000	4,2	1	0,8	12000	6,3
2	0,5	31000	3	2	0,8	67000	4,5	2	0,5	23000	4,5
▶ 3	0,6	35000	3,5	▶ 3	0,6	45000	5,6	▶ 3	0,7	35000	7,6
	min	min	min		min	min	min		min	min	min

Район 2

	К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3
1	0,7	53000	6,1	1	0,6	45000	6,2	1	0,9	67000	7,4
2	0,8	39000	6,2	2	0,8	72000	6,3	2	0,6	54000	6,9
▶ 3	0,6	46000	4,7	▶ 3	0,9	84000	8,1	▶ 3	0,7	47000	5,9
	min	min	min		min	min	min		min	min	min

Район 3

	К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3		К 1	К 2	К 3
1	0,7	63000	6,7	1	0,6	87000	7,4	1	0,4	78000	8,4
2	0,8	51000	6,9	2	0,7	85000	7,6	2	0,7	67000	8,3
▶ 3	0,9	95000	7,0	▶ 3	0,9	67000	8,9	▶ 3	0,8	49000	8,1
	min	min	min		min	min	min		min	min	min

НАЗАД      РАССЧИТАТЬ

Рисунок 3.4 – Интерфейс заполнения текущих значения измерителей 1-го уровня ЛТЭС. В случае применения ПО в информационно-аналитической платформе данные могут «подгружаться» в автоматическом режиме.

Источник: [разработано автором].

После заполнения ячеек морфологических ящиков текущих значения измерителей 1-го уровня ЛТЭС необходимо в ручном режиме установить целеполагание по каждому из исследуемых измерителей. В случае применения алгоритмов данного ПО для разработки цифровых сервисов функция заполнения ячеек морфологических ящиков может производиться «подгружаться» в автоматическом режиме на основе имеющихся баз эмпирических данных. Функция установки целеполагания измерителей эффективности транспортного процесса также легко переводиться в автоматический режим на основании заранее составленных каталогов данных (рисунок 3.5). На рисунках 3.4 и 3.5 введены данные случайной выборки измерителей эффективности транспортного производства, то есть представленные интерфейсы носят демонстрационный характер возможностей разработанного ПО.

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	К 1	К 2	К 3
1	0,9	32000	4
2	0,5	31000	3
3	0,6	35000	3,5
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,7	56000	4,2
2	0,8	67000	4,5
3	0,6	45000	5,6
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,8	12000	6,3
2	0,5	23000	4,5
3	0,7	35000	7,6
▶	max	max	min

Район 2

	К 1	К 2	К 3
1	0,7	53000	6,1
2	0,8	39000	6,2
3	0,6	46000	4,7
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,6	45000	6,2
2	0,8	72000	6,3
3	0,9	84000	8,1
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,9	67000	7,4
2	0,6	54000	6,9
3	0,7	47000	5,9
▶	max	max	min

Район 3

	К 1	К 2	К 3
1	0,7	63000	6,7
2	0,8	51000	6,9
3	0,9	95000	7,0
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,6	87000	7,4
2	0,7	85000	7,6
3	0,9	67000	8,9
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,4	78000	8,4
2	0,7	67000	8,3
3	0,8	49000	8,1
▶	max	max	min

НАЗАД      РАССЧИТАТЬ

Рисунок 3.5 – Интерфейс установления целеполагания в исследуемой базе данных заполнения текущих значения измерителей 1-го уровня ЛТЭС.

Источник: [разработано автором].

Далее в автоматическом режиме производится нормирование значений измерителей и комбинирование возможных информационных ситуаций с целью выявления максимально эффективных решений на 1-ом иерархическом уровне ЛТЭС и с последующим переносом полученных результатов расчёта на 2-й уровень ЛТЭС (рисунок 3.6). Особенностью формирования структуры 2-го иерархического уровня является то, что количество морфологических ящиков на этом уровне соответствует количеству районов исследований измерителей эффективности транспортного производства на 1-ом уровне ЛТЭС.

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	К 1	К 2	К 3
1	0,450	0,326	0,288
2	0,250	0,316	0,384
3	0,300	0,357	0,329
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,333	0,333	0,373
2	0,381	0,399	0,348
3	0,286	0,268	0,280
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,400	0,172	0,310
2	0,250	0,329	0,434
3	0,350	0,500	0,257
▶	max	max	min

Район 2

	К 1	К 2	К 3
1	0,333	0,384	0,305
2	0,381	0,283	0,300
3	0,286	0,333	0,395
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,261	0,224	0,364
2	0,348	0,358	0,358
3	0,391	0,418	0,278
▶	max	max	min

	К 1	К 2	К 3
1	0,409	0,399	0,300
2	0,273	0,321	0,322
3	0,318	0,280	0,377
▶	max	max	min

Район 3

2 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX В ДОП.РЕГИОНЕ

ДОБАВИТЬ ТАБЛИЦУ

РАССЧИТАТЬ

Район 1

	К 1	К 2	К 3
▶ К 1 max	0,450	0,373	0,400
К 2 max	0,384	0,399	0,434
К 3 max	0,357	0,286	0,500
min-max	min	min	min

Район 2

	К 1	К 2	К 3
▶ К 1 max	0,384	0,364	0,409
К 2 max	0,381	0,358	0,322
К 3 max	0,395	0,418	0,377
min-max	min	min	min

Район 3

	К 1	К 2	К 3
▶ К 1 max	0,342	0,364	0,402
К 2 max	0,333	0,356	0,368
К 3 max	0,455	0,409	0,421
min-max	min	min	min

Дополнительный район

	К 2	К 3
	0,402	0,328
	0,345	0,332
	0,252	0,340
▶	max	min

Рисунок 3.6 – Интерфейс выполнения расчётов на 1-ом уровне в ЛТЭС с последующим переносом полученных результатов расчёта на 2-й уровень ЛТЭС

Источник [разработано автором].

На 2-й уровне ЛТЭС производится формирование дополнительных данных измерителей эффективности транспортного производства, носящих отраслевой либо межотраслевой характер в виде дополнительной матрицы – морфологического ящика (рисунок 3.7).

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	K 1	K 2	K 3
1	0,450	0,326	0,288
2	0,250	0,316	0,384
3	0,300	0,357	0,329
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,333	0,373
2	0,381	0,399	0,348
3	0,286	0,268	0,280
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,400	0,172	0,310
2	0,250	0,329	0,434
3	0,350	0,500	0,257
▶	max	max	min

Район 2

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,384	0,305
2	0,381	0,283	0,300
3	0,286	0,333	0,395
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,261	0,224	0,364
2	0,348	0,358	0,358
3	0,391	0,418	0,278
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,409	0,399	0,300
2	0,273	0,321	0,322
3	0,318	0,280	0,377
▶	max	max	min

Район 3

2 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX В ДОП.РЕГИОНЕ

УДАЛИТЬ ТАБЛИЦУ

РАССЧИТАТЬ

Район 1

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,450	0,373	0,400
K2 max	0,384	0,399	0,434
K3 max	0,357	0,286	0,500
min-max	min	min	min

Район 2

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,384	0,364	0,409
K2 max	0,381	0,358	0,322
K3 max	0,395	0,418	0,377
min-max	min	min	min

Район 3

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,342	0,364	0,402
K2 max	0,333	0,356	0,368
K3 max	0,455	0,409	0,421
min-max	min	min	min

Дополнительный район

	K1	K2	K3
▶ K1 max			
K2 max			
K3 max			
min-max	min	min	min

К 2 К 3

0,402	0,328
0,345	0,332
0,252	0,340
max	min

Рисунок 3.7 – Интерфейс 2-го уровня ЛТЭС, где производится формирование дополнительных данных измерителей эффективности транспортного производства в виде матрицы 2-го уровня.

Источник: [разработано автором].

Далее производится процедуры работы с 2-ым уровнем ЛТЭС аналогичные работам на 1-ом уровне: заполнение данных в ручном и машинном режиме, нормирование данных в ручном или машинном режиме и определение целеполагания на 2-ом уровне ЛТЭС (рисунок 3.8).

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	K 1	K 2	K 3
1	0,450	0,326	0,288
2	0,250	0,316	0,384
3	0,300	0,357	0,329
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,333	0,373
2	0,381	0,399	0,348
3	0,286	0,268	0,280
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,400	0,172	0,310
2	0,250	0,329	0,434
3	0,350	0,500	0,257
▶	max	max	min

Район 2

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,384	0,305
2	0,381	0,283	0,300
3	0,286	0,333	0,395
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,261	0,224	0,364
2	0,348	0,358	0,358
3	0,391	0,418	0,278
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,409	0,399	0,300
2	0,273	0,321	0,322
3	0,318	0,280	0,377
▶	max	max	min

Район 3

2 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX В ДОП.РЕГИОНЕ

УДАЛИТЬ ТАБЛИЦУ

РАССЧИТАТЬ

Район 1

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,450	0,373	0,400
K2 max	0,384	0,399	0,434
K3 max	0,357	0,286	0,500
min-max	min	min	min

Район 2

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,384	0,364	0,409
K2 max	0,381	0,358	0,322
K3 max	0,395	0,418	0,377
min-max	min	min	min

	K 2	K 3
	0,402	0,328
	0,345	0,332
	0,252	0,340
▶	max	min

Район 3

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,342	0,364	0,402
K2 max	0,333	0,356	0,368
K3 max	0,455	0,409	0,421
min-max	min	min	min

Дополнительный район

	K1	K2	K3
K1 max	45	23000	125
K2 max	76	24000	234
K3 max	67	26000	781
min-max	min	min	min

Рисунок 3.8 – Интерфейс 2-го уровня ЛТЭС, где производится процедуры: заполнение данных, нормирование данных и определение целеполагания.

Источник: [разработано автором].

Далее по аналогии с 1-ым иерархическим уровнем в автоматическом режиме производится комбинирование возможных информационных ситуаций с целью выявления максимально эффективных решений на 2-ом иерархическом уровне

ЛТЭС и с последующим переносом полученных результатов расчёта на 3-й (завершающий) уровень ЛТЭС (рисунок 3.9).

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	K 1	K 2	K 3
1	0,450	0,326	0,288
2	0,250	0,316	0,384
3	0,300	0,357	0,329
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,333	0,373
2	0,381	0,399	0,348
3	0,286	0,268	0,280
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,400	0,172	0,310
2	0,250	0,329	0,434
3	0,350	0,500	0,257
▶	max	max	min

Район 2

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,384	0,305
2	0,381	0,283	0,300
3	0,286	0,333	0,395
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,261	0,224	0,364
2	0,348	0,358	0,358
3	0,391	0,418	0,278
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,409	0,399	0,300
2	0,273	0,321	0,322
3	0,318	0,280	0,377
▶	max	max	min

2 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX В ДОП.РЕГИОНЕ

УДАЛИТЬ ТАБЛИЦУ РАСЧИТАТЬ

Район 1

	K 1	K 2	K 3
▶ K1 max	0,450	0,373	0,400
K2 max	0,384	0,399	0,434
K3 max	0,357	0,286	0,500
min-max	min	min	min

Район 2

	K 1	K 2	K 3
▶ K1 max	0,384	0,364	0,409
K2 max			
K3 max			
min-max			

	K 2	K 3
	0,402	0,328
	0,345	0,332
	0,252	0,340
max		min

3 уровень

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВТОРОГО УРОВНЯ

	K 1	K 2	K 3	K 4
▶ K1 max	0,450	0,409	0,402	0,590
K2 max	0,434	0,381	0,368	0,337
K3 max	0,500	0,418	0,455	0,311
min-max	min	min	min	min

РАСЧИТАТЬ

Район 3

	K 1	K 2	K 3
▶ K1 max	0,342	0,364	0,402
K2 max	0,333	0,356	0,368
K3 max	0,455	0,409	0,421
min-max	min	min	min

Дополнительн

	K 1	K 2	K 3
K1 max			
K2 max			
▶ K3 max			
min-max			

Рисунок 3.9 – Интерфейс расчёта с 2-го уровня и формирование 3-го (результативного уровня) ЛТЭС получаемых решений в границах исследуемой системы. Источник: [разработано автором].

Финальной операцией работы ПО является расчёт всех возможных комбинаторных состояний ЛТЭС на 3-ем результативном уровне с последующим вычислением наиболее эффективного решения (рисунок 3.11).

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

Район 1

	K 1	K 2	K 3
1	0,450	0,326	0,288
2	0,250	0,316	0,384
3	0,300	0,357	0,329
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,333	0,373
2	0,381	0,399	0,348
3	0,286	0,268	0,280
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,400	0,172	0,310
2	0,250	0,329	0,434
3	0,350	0,500	0,257
▶	max	max	min

Район 2

	K 1	K 2	K 3
1	0,333	0,384	0,305
2	0,381	0,283	0,300
3	0,286	0,333	0,395
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,261	0,224	0,364
2	0,348	0,358	0,358
3	0,391	0,418	0,278
▶	max	max	min

	K 1	K 2	K 3
1	0,409	0,399	0,300
2	0,273	0,321	0,322
3	0,318	0,280	0,377
▶	max	max	min

Результаты расчета программы представлены в файле Result.txt

OK

2 уровень ПРИ НЕО

УДАЛИТЬ Т

Район 1

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,450	0,373	0,400
K2 max	0,384	0,399	0,434
K3 max	0,357	0,286	0,500
min-max	min	min	min

Район 2

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,384	0,364	0,409
K2 max			
K3 max			
min-max			

3 уровень

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВТОРОГО УРОВНЯ

	K1	K2	K3	K4
K1 max	0,450	0,409	0,402	0,590
K2 max	0,434	0,381	0,368	0,337
K3 max	0,500	0,418	0,455	0,311
▶ min-max	max	min	min	min

РАССЧИТАТЬ

Район 3

	K1	K2	K3
▶ K1 max	0,342	0,364	0,402
K2 max	0,333	0,356	0,368
K3 max	0,455	0,409	0,421
min-max	min	min	min

Дополнительн

	K1	K2	K3
▶ K1 max			
K2 max			
K3 max			
min-max			

Рисунок 3.11 – Интерфейс полностью сформированной структуры многоуровневой ЛТЭС, состоящей из заданного количества измерителей эффективности транспортного производства.

Источник: [разработано автором].

Результаты расчётов формируются в виде отдельного файла базы данных, содержащим оценки эффективности всех возможных вариантов реализации транспортного производства на всем множестве комбинаторных информационных состояний ЛТЭС на каждом уровне. Результаты расчёта анализируются в автоматическом режиме и дается рекомендация по применению оптимального варианта организации транспортного производства.

### **Выводы по третьей главе**

В третьей главе разработан метод, определяющей топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых транспортных экосистемах.

**Функционал** данного метода позволяет из множество возможных состояний логистической транспортной системы генерировать решения, обладающие положительной динамикой эффективности. Под возможными состояниями логистической транспортной системы понимаются альтернативы выбора измерителей эффективности транспортного производства, соответствующие отдельному объекту в логистической транспортной экосистеме – транспортному предприятию, с другой стороны, являющегося субъектом транспортного производства.

**Методологической основой** разработанного метода, является метод морфологического анализа, предполагающий комбинаторное описание всех существующих и возможных состояний исследуемой системы с последующим поиском на этом множестве описания исследуемой системы, наиболее полно соответствующего поставленной цели и целям. Целеполагание в исследуемой системе обеспечивается совокупностью критериев эффективности – измерителей транспортного производства.

**Инструментом** для оценки эффективности отдельных состояний системы является разработанный алгоритм поддержки принятия решений, максимизирующий значение коэффициентов корреляции в информационном пространстве возможных решений в условиях неопределенности.

**Фактор неопределенности** в исследуемой системе возникает в силу специфических особенностей логистических транспортных экосистем, такие как:

- наличие нескольких уровней управления в исследуемой системе,
- наличие противоречивого целеполагания субъектов управления,
- необходимость учета значительного влияния внешнего факторного пространства,
- необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных и т.д.

Для реализации метода, определяющей топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых транспортных экосистемах разработаны:

1. **Алгоритм оптимизационной модели** упорядочивания структуры действий и связей в логистической транспортной экосистеме. Данный алгоритм является специальным методом имитационного моделирования, позволяющим обрабатывать большие объемы информации, отражающие сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства и моделировать действия, направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия в направлении на повышение эффективности системы в целом.

2. **Программное обеспечение** выбора эффективных состояний логистической транспортной экосистемы. Разработанный алгоритм имитационного моделирования информационных состояний экосистемы был реализован в алгоритмическом языке C++, что позволяет решать задачи оптимизации состояний логистической транспортной экосистемы в автоматическом режиме. Результаты расчетов формируются в виде отдельного файла данных, содержащим оценки эффективности всех возможных вариантов реализации транспортного производства на всем множестве комбинаторных информационных состояний ЛТЭС на каждом уровне в многоуровневой иерархической информационной среде. Результаты расчета анализируются в

автоматическом режиме и дается рекомендация по применению оптимального варианта организации транспортного производства.

#### 4 АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМАХ

##### 4.1 Исходные данные для апробации метода организации многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах

Для апробации разработанного метода организации многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах сформируем исходные материалы, содержащие данные (измерители и показатели эффективности) о работе 15-ти транспортно-логистических предприятий в межрегиональном (в пределах РФ) и международном сообщении (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – исходные данные о работе 15-ти транспортно-логистических предприятий в межрегиональном сообщении.

№ транспортного предприятия	Длина маршрута, км	Затраты организации перевозок, тыс. руб.	Время доставки, сут.	Скорость доставки, км/сут.	Надежность при организации перевозок	Совершенная транспортная работа, тыс. тк-м	Объём партии груза, т	Коэффициент использования грузоподъемности.	Коэффициент использования грузоподъемности
1	823	31431	20,6	39,8	0,83	1414,24	1440	0,72	0,94
2	823	4524	12,5	65,4	0,94	1428,64	1440	0,71	0,94
3	823	21158	12,4	66,0	0,85	1414,24	1440	0,71	0,94
4	1100	2327	8,7	126,0	0,87	45,81	17	0,63	0,61
5	1100	2332	8,7	126,1	0,80	45,81	17	0,79	0,95
6	1137	2033	8,9	127,0	0,87	68,34	34	0,82	0,66
7	1100	2042	8,6	127,6	0,80	45,81	17	0,63	0,61
8	1100	2047	8,6	127,8	0,97	45,81	17	0,79	0,95
9	1100	2303	8,5	128,6	0,88	45,81	17	0,79	0,95
10	1137	1922	8,7	129,3	0,90	68,34	34	0,82	0,66
11	1100	2299	8,4	130,3	0,96	45,81	17	0,63	0,61
12	1137	1896	8,5	133,5	0,83	68,34	34	0,82	0,66
13	1137	2045	8,3	135,4	0,96	68,73	34	0,82	0,66
14	1137	1785	8,3	135,9	0,93	68,34	34	0,82	0,66
15	1137	1934	8,2	138,0	0,96	68,73	34	0,82	0,66

Материалы в таблице 4.1 являются ограниченной выборкой данных, полученных в результате экспериментальных исследований деятельности 15-ти транспортных предприятий (ТП) на нескольких маршрутах доставки грузов (полная совокупность данных представлена в таблице 2.2. и включает в себя более 50-ти измерений). Под измерением понимается совокупность 9-ти основных разнородных измерителей транспортно-логистического производства на маршрутах протяженностью от 800 до 14000 км. Во второй главе был произведён корреляционный анализ полной совокупности измерений и установлено либо отсутствие, либо наличие слабой корреляционной связи между исследуемыми показателями выполненных измерений, что позволяет распределить исследуемые измерители на отдельные подгруппы, в зависимости от тесноты корреляционных связей и их производственного содержания.

В современной практике организации логистической транспортной системы по направлениям исследуемых маршрутов принята организация работы (распределение заявок на доставку грузов) на основе рыночной конъюнктуры, либо на основе сложившихся связей между транспортными предприятиями, грузоотправителями и грузополучателями. Говорить о системности организации перевозок в данном случае не приходится, особенно в контексте динамически изменяющихся условий перевозок. Решении об организации перевозок принимается, как правило, на основании только экономических показателей (затраты на производство, возможная прибыль и т.д.), причем исследуются только экономические показатели, связанные непосредственно с транспортным производством отдельных транспортных предприятий, а сопряжённые с неупорядоченностью деятельностью расходы (на содержание транспортной инфраструктуры, восстановление экологии и т.д.) остаются за скобками.

Покажем, применяя метод морфологического анализа насколько может отличаться эффективность полученного результата от деятельности различных транспортных предприятий в рамках достаточно ограниченной 9-тью измерителями (таблица 4.1) в логистической транспортной экосистеме.

Применим разработанное ПО для исследования возможных комбинаций эффективностей в логистической системе в различных сочетаниях организации транспортного производства на примере 9-ти измерителей, исследуемых на одном иерархическом уровне (рисунок 4.1, 4.2 и 4.3).

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
D1	823	31431	20,6	39,8	0,83	1414	1440	0,72	0,94
D2	823	4524	12,5	65,4	0,94	1428	1440	0,71	0,94
D3	823	21158	12,4	66,0	0,85	1414	1440	0,71	0,94
D4	1100	2327	8,7	126,0	0,87	45,8	17	0,63	0,61
D5	1100	2332	8,7	126,1	0,80	45,8	17	0,79	0,95
D6	1137	2033	8,9	127,0	0,87	68,3	34	0,82	0,66
D7	1100	2042	8,6	125,6	0,80	45,8	17	0,63	0,61
D8	1100	2047	8,6	127,8	0,97	45,8	17	0,79	0,95
D9	1100	2303	8,5	128,6	0,88	45,8	17	0,79	0,95
D10	1137	1922	8,7	129,3	0,90	68,3	34	0,82	0,66
D11	1100	2299	8,4	130,3	0,96	45,8	17	0,63	0,61

НОРМАЛИЗОВАТЬ

РАССЧИТАТЬ

Рисунок 4.1 – Интерфейс ввода данных для организации работы 15-ти предприятий по 9-и измерителям эффективности. Источник: [разработано автором].

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
D1	0,085	0,005	0,030	0,170	0,062	0,003	0,311	0,064	0,082
D2	0,085	0,036	0,049	0,104	0,070	0,003	0,311	0,063	0,082
D3	0,085	0,008	0,050	0,103	0,064	0,003	0,311	0,063	0,082
D4	0,063	0,070	0,071	0,054	0,065	0,099	0,004	0,056	0,053
D5	0,063	0,070	0,071	0,054	0,060	0,099	0,004	0,070	0,083
D6	0,061	0,080	0,069	0,053	0,065	0,066	0,007	0,072	0,058
D7	0,063	0,080	0,072	0,054	0,060	0,099	0,004	0,056	0,053
D8	0,063	0,080	0,072	0,053	0,073	0,099	0,004	0,070	0,083
D9	0,063	0,071	0,073	0,053	0,066	0,099	0,004	0,070	0,083
D10	0,061	0,085	0,071	0,052	0,067	0,066	0,007	0,072	0,058
D11	0,063	0,071	0,074	0,052	0,072	0,099	0,004	0,056	0,053

НОРМАЛИЗОВАТЬ

РАССЧИТАТЬ

Рисунок 4.2 – Интерфейс нормирования данных для организации работы 15-ти предприятий по 9-и измерителям эффективности. Источник [разработано автором]

362844)	P9>P1>P2>P3>P8>P7>P4>P6>P5	D1=0,0962; D2=0,1043; D3=0,0998; D4=0,0588; D5=0,0643; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0655; D9=0,0645; D10=0,0680; D11=0,0590; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362845)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P7>P6>P4	D1=0,0913; D2=0,0994; D3=0,0947; D4=0,0601; D5=0,0650; D6=0,0663; D7=0,0609; D8=0,0680; D9=0,0661; D10=0,0680; D11=0,0615; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362846)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P7>P4>P6	D1=0,0913; D2=0,0994; D3=0,0947; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362847)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P6>P7>P4	D1=0,0803; D2=0,0874; D3=0,0833; D4=0,0681; D5=0,0737; D6=0,0663; D7=0,0690; D8=0,0771; D9=0,0750; D10=0,0680; D11=0,0697; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362848)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P6>P4>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0681; D5=0,0737; D6=0,0663; D7=0,0690; D8=0,0771; D9=0,0750; D10=0,0680; D11=0,0697; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362849)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P4>P6>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0664; D5=0,0713; D6=0,0663; D7=0,0671; D8=0,0741; D9=0,0723; D10=0,0680; D11=0,0675; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362850)	P9>P1>P2>P3>P8>P5>P4>P7>P6	D1=0,1011; D2=0,1000; D3=0,0958; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362851)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P7>P5>P6	D1=0,1067; D2=0,1043; D3=0,1003; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362852)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P7>P6>P5	D1=0,1067; D2=0,1043; D3=0,1003; D4=0,0588; D5=0,0643; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0655; D9=0,0645; D10=0,0680; D11=0,0590; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362853)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P5>P7>P6	D1=0,1011; D2=0,1000; D3=0,0958; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362854)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P5>P6>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0664; D5=0,0713; D6=0,0663; D7=0,0671; D8=0,0741; D9=0,0723; D10=0,0680; D11=0,0675; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362855)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P6>P5>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0881; D4=0,0666; D5=0,0729; D6=0,0663; D7=0,0681; D8=0,0743; D9=0,0731; D10=0,0680; D11=0,0669; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362856)	P9>P1>P2>P3>P8>P4>P6>P7>P5	D1=0,0938; D2=0,0916; D3=0,0881; D4=0,0666; D5=0,0729; D6=0,0663; D7=0,0681; D8=0,0743; D9=0,0731; D10=0,0680; D11=0,0669; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362857)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P7>P8>P5	D1=0,0980; D2=0,0957; D3=0,0917; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362858)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P7>P5>P8	D1=0,0980; D2=0,0957; D3=0,0917; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362859)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P8>P7>P5	D1=0,0938; D2=0,0916; D3=0,0881; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362860)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P8>P5>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362861)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P5>P8>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362862)	P9>P1>P2>P3>P4>P6>P5>P7>P8	D1=0,0935; D2=0,0925; D3=0,0883; D4=0,0683; D5=0,0733; D6=0,0663; D7=0,0702; D8=0,0750; D9=0,0737; D10=0,0680; D11=0,0687; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362863)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P6>P8>P5	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0591; D5=0,0634; D6=0,0663; D7=0,0607; D8=0,0649; D9=0,0637; D10=0,0680; D11=0,0594; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362864)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P6>P5>P8	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0591; D5=0,0634; D6=0,0663; D7=0,0607; D8=0,0649; D9=0,0637; D10=0,0680; D11=0,0594; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362865)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P8>P6>P5	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0588; D5=0,0643; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0655; D9=0,0645; D10=0,0680; D11=0,0590; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362866)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P8>P5>P6	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362867)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P5>P8>P6	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362868)	P9>P1>P2>P3>P4>P7>P5>P6>P8	D1=0,1138; D2=0,1112; D3=0,1065; D4=0,0599; D5=0,0630; D6=0,0663; D7=0,0606; D8=0,0659; D9=0,0640; D10=0,0680; D11=0,0610; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362869)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P7>P6>P5	D1=0,1067; D2=0,1043; D3=0,1003; D4=0,0588; D5=0,0643; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0655; D9=0,0645; D10=0,0680; D11=0,0590; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362870)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P7>P5>P6	D1=0,1067; D2=0,1043; D3=0,1003; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362871)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P6>P7>P5	D1=0,0938; D2=0,0916; D3=0,0881; D4=0,0666; D5=0,0729; D6=0,0663; D7=0,0681; D8=0,0743; D9=0,0731; D10=0,0680; D11=0,0669; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362872)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P6>P5>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0666; D5=0,0729; D6=0,0663; D7=0,0681; D8=0,0743; D9=0,0731; D10=0,0680; D11=0,0669; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362873)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P5>P6>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0664; D5=0,0713; D6=0,0663; D7=0,0671; D8=0,0741; D9=0,0723; D10=0,0680; D11=0,0675; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362874)	P9>P1>P2>P3>P4>P8>P5>P7>P6	D1=0,1011; D2=0,1000; D3=0,0958; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362875)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P7>P8>P6	D1=0,1064; D2=0,1053; D3=0,1004; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362876)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P7>P6>P8	D1=0,1064; D2=0,1053; D3=0,1004; D4=0,0599; D5=0,0630; D6=0,0663; D7=0,0606; D8=0,0659; D9=0,0640; D10=0,0680; D11=0,0610; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362877)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P8>P7>P6	D1=0,1011; D2=0,1000; D3=0,0958; D4=0,0594; D5=0,0638; D6=0,0663; D7=0,0601; D8=0,0663; D9=0,0647; D10=0,0680; D11=0,0604; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362878)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P8>P6>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0664; D5=0,0713; D6=0,0663; D7=0,0671; D8=0,0741; D9=0,0723; D10=0,0680; D11=0,0675; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362879)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P6>P8>P7	D1=0,0902; D2=0,0892; D3=0,0854; D4=0,0679; D5=0,0714; D6=0,0663; D7=0,0687; D8=0,0747; D9=0,0726; D10=0,0680; D11=0,0691; D12=0,0683; D13=0,0663; D14
362880)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P6>P7>P8	D1=0,0935; D2=0,0925; D3=0,0883; D4=0,0679; D5=0,0714; D6=0,0663; D7=0,0687; D8=0,0747; D9=0,0726; D10=0,0680; D11=0,0691; D12=0,0683; D13=0,0663; D14

Количество областей, принадлежащих решениям:

D1=236088 D2=83028 D3=18072 D4=15048 D5=1140 D6=0 D7=0 D8=0 D9=0 D10=0 D11=0 D12=0 D13=0 D14=9504 D15=0

Рисунок 4.3 – Фрагмент результатов расчёта возможных вариантов эффективности в зависимости от различных комбинации приоритетов отдельных измерителей транспортного производства. Источник: [разработано автором].

На рисунке 4.3 приведен лишь фрагмент результатов расчёта возможных вариантов эффективности в зависимости от различной комбинации приоритетов отдельных измерителей транспортного производства на одном исследуемом маршруте доставке груза. Измеренная в количественных оценках эффективность транспортного производства изменяет свое значение в зависимости от способа организации транспортного производства в диапазоне от 10 до 40 %. Такие значительные расхождения в результатах эффективности на исследуемом маршруте в первую очередь объясняются его протяженностью и возможностью сочетать различные виды транспорта. Исследуемые пятнадцать транспортно-логистических предприятий могут применять для организаций доставки грузов, как собственный подвижной состав, так и подвижной состав сторонних организаций, используя при этом все возможности логистической системы. Естественно, что при таком возможном комбинаторном разнообразии результатов эффективности логистического транспортного производства, невозможно управлять процессом, не применяя машинные методы расчёта для организации цепочек доставки грузов. Разработанный метод организации многоуровневых транспортных экосистем предполагает возможность агрегатирования измерителей эффективности транспортного производства на отдельные группы (морфологические ящики) и размещения их на различных уровнях иерархии управления в зависимости от целеполагания их применения. В соответствии с разработанными методами разделим исследуемые группы показателей на отдельные морфологические ящики. На первом иерархическом уровне два морфологических ящика:

- Морфологический ящик показателей, отражающий интересы транспортного предприятия (таблица 4.2);
- Морфологический ящик показателей, отражающий интересы клиентов транспортного производства (таблица 4.3).

На втором иерархическом уровне приведен один морфологический ящик показателей, отражающий интересы внешней среды, как доминирующие над интересами объектов логистической системы, но субъектов транспортного производства (таблица 4.4).

Таблица 4.2 – Морфологический ящик (1.1) показательней, отражающий интереса транспортного предприятия.

№ Транспортного предприятия	Затраты на организацию перевозок	Скорость доставки, км/сут	Совершенная транспортная работа, т. км
1	31431	39,8	1414,24
2	4524	65,4	1428,64
3	21158	66,0	1414,24
4	2327	126,0	45,81
5	2332	126,1	45,81
6	2033	127,0	68,34
7	2042	127,6	45,81
8	2047	127,8	45,81
9	2303	128,6	45,81
10	1922	129,3	68,34
11	2299	130,3	45,81
12	1896	133,5	68,34
13	2045	135,4	68,73
14	1785	135,9	68,34
15	1934	138,0	68,73

Таблица 4.3 – Морфологический ящик (1.2) показателей, отражающий интересы клиентов транспортного производства.

№ Транспортного предприятия	Время доставки, сут.	Надежность при организации перевозок	Объем партии груза, т
1	20,6	0,83	1440
2	12,5	0,94	1440
3	12,4	0,85	1440
4	8,7	0,87	17
5	8,7	0,80	17
6	8,9	0,87	34
7	8,6	0,80	17
8	8,6	0,97	17
9	8,5	0,88	17
10	8,7	0,90	34
11	8,4	0,96	17
12	8,5	0,83	34
13	8,3	0,96	34
14	8,3	0,93	34
15	8,2	0,96	34

Таблица 4.4 – Морфологический ящик (2.1) показателей, отражающий интересы внешней среды.

№ Транспортного предприятия	Длина маршрута, км	Коэффициент использования грузоподъемности.	Коэффициент использования грузоподъемности	Средневзвешенный коэффициент использования кузова транспортного средства
1	823	0,72	0,94	0,83
2	823	0,71	0,94	0,82
3	823	0,71	0,94	0,82
4	1100	0,63	0,61	0,62
5	1100	0,79	0,95	0,87
6	1137	0,82	0,66	0,74
7	1100	0,63	0,61	0,62
8	1100	0,79	0,95	0,87
9	1100	0,79	0,95	0,87
10	1137	0,82	0,66	0,74
11	1100	0,63	0,61	0,62
12	1137	0,82	0,66	0,74
13	1137	0,82	0,66	0,74
14	1137	0,82	0,66	0,74
15	1137	0,82	0,66	0,74

#### **4.2 Вычислительный эксперимент по формированию топологии многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах**

Цель вычислительного эксперимента - сформировать порядок распределения транспортной работы между предприятиями с максимальной эффективностью не только в интересах отдельных субъектов транспортного производства, но и в интересах системы в части обеспечения комплексного управления и требований внешней среды. При достижении этой цели транспортная система трансформируется в логистическую транспортную экосистему.

Воспроизведем последовательно вычислительные операции связанные с формированием топологии взаимодействия транспортных предприятий в разработанном ПО.

На рисунках 4.4 и 4.5 приведены интерфейсы ввода, нормирования и перевода в относительные единицы с учетом целеполагания данных в морфологическом ящике (1.1)

	K1	K2	K3
D6	2033	127,0	68,34
D7	2042	127,6	45,81
D8	2047	127,8	45,81
D9	2303	128,6	45,81
D10	1922	129,3	68,34
D11	2299	130,3	45,81
D12	1896	133,5	68,34
D13	2045	135,3	68,73
D14	1785	135,9	68,34
D15	1934	138,0	68,73
min-max	min	min	min

Рисунок 4.4 – Интерфейс ввода данных в морфологическом ящике (1.1). Источник [разработано автором].

	K1	K2	K3
D6	0,080	0,053	0,066
D7	0,080	0,053	0,099
D8	0,080	0,053	0,099
D9	0,071	0,053	0,099
D10	0,085	0,052	0,066
D11	0,071	0,052	0,099
D12	0,086	0,051	0,066
D13	0,080	0,050	0,066
D14	0,092	0,050	0,066
D15	0,085	0,049	0,066
min-max	min	min	min

Рисунок 4.5 – Интерфейс нормирования и перевода в относительные единицы с учетом целеполагания данных в морфологическом ящике (1.1). Источник: [разработано автором].

Ниже представлены результаты расчёта эффективности предприятий при всех возможных комбинациях организации транспортного процесса в зависимости от приоритета исследуемых измерителей для морфологического ящика (1.1)

1)  $P1 > P2 > P3$   $D1=0,0875$ ;  $D2=0,0700$ ;  $D3=0,0555$ ;  $D4=0,0743$ ;  $D5=0,0743$ ;  $D6=0,0800$ ;  $D7=0,0773$ ;  $D8=0,0773$ ;  $D9=0,0743$ ;  $D10=0,0850$ ;  $D11=0,0740$ ;  $D12=0,0860$ ;  $D13=0,0800$ ;  $D14=0,0920$ ;  $D15=0,0850$ ; 14

2)  $P1 > P3 > P2$   $D1=0,0593$ ;  $D2=0,0477$ ;  $D3=0,0380$ ;  $D4=0,0845$ ;  $D5=0,0845$ ;  $D6=0,0800$ ;  $D7=0,0895$ ;  $D8=0,0895$ ;  $D9=0,0850$ ;  $D10=0,0850$ ;  $D11=0,0850$ ;  $D12=0,0860$ ;  $D13=0,0800$ ;  $D14=0,0920$ ;  $D15=0,0850$ ; 14

3)  $P2 > P1 > P3$   $D1=0,1700$ ;  $D2=0,1040$ ;  $D3=0,1030$ ;  $D4=0,0743$ ;  $D5=0,0743$ ;  $D6=0,0665$ ;  $D7=0,0773$ ;  $D8=0,0773$ ;  $D9=0,0743$ ;  $D10=0,0685$ ;  $D11=0,0740$ ;  $D12=0,0685$ ;  $D13=0,0650$ ;  $D14=0,0710$ ;  $D15=0,0670$ ; 1

4)  $P2 > P3 > P1$   $D1=0,1700$ ;  $D2=0,1040$ ;  $D3=0,1030$ ;  $D4=0,0765$ ;  $D5=0,0765$ ;  $D6=0,0663$ ;  $D7=0,0760$ ;  $D8=0,0760$ ;  $D9=0,0760$ ;  $D10=0,0677$ ;  $D11=0,0755$ ;  $D12=0,0677$ ;  $D13=0,0653$ ;  $D14=0,0693$ ;  $D15=0,0667$ ; 1

5)  $P3 > P2 > P1$   $D1=0,0865$ ;  $D2=0,0535$ ;  $D3=0,0530$ ;  $D4=0,0990$ ;  $D5=0,0990$ ;  $D6=0,0663$ ;  $D7=0,0990$ ;  $D8=0,0990$ ;  $D9=0,0990$ ;  $D10=0,0677$ ;  $D11=0,0990$ ;  $D12=0,0677$ ;  $D13=0,0653$ ;  $D14=0,0693$ ;  $D15=0,0667$ ; 4

6)  $P3 > P1 > P2$   $D1=0,0593$ ;  $D2=0,0477$ ;  $D3=0,0380$ ;  $D4=0,0990$ ;  $D5=0,0990$ ;  $D6=0,0730$ ;  $D7=0,0990$ ;  $D8=0,0990$ ;  $D9=0,0990$ ;  $D10=0,0755$ ;  $D11=0,0990$ ;  $D12=0,0760$ ;  $D13=0,0730$ ;  $D14=0,0790$ ;  $D15=0,0755$ ; 4

Количество комбинаций, принадлежащих эффективным решениям отдельных транспортных предприятий

$D1=2$   $D2=0$   $D3=0$   $D4=2$   $D5=0$   $D6=0$   $D7=0$   $D8=0$   $D9=0$   $D10=0$   $D11=0$   $D12=0$   $D13=0$   $D14=2$   $D15=0$

Далее алгоритм ПО предполагает возможность продолжения операций в зависимости от установленного целеполагания участников системы. Это может быть либо выбор определенного приоритета показателей с максимальной эффективностью комбинаций, либо выбор отдельного транспортного предприятия в рамках установленной системы измерителей транспортного производства. В данном случае, именно эффективность отдельного предприятия является критерием выбора для дальнейших вычислений.

На следующих рисунках 4.6 и 4.7 приведены интерфейсы аналогичных процедур (ввода, нормирования и перевода в относительные единицы с учетом целеполагания данных) для морфологического ящика (1.2).

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3
D6	8,9	0,87	34
D7	8,6	0,80	17
D8	8,6	0,97	17
D9	8,5	0,88	17
D10	8,7	0,90	34
D11	8,4	0,96	17
D12	8,5	0,83	34
D13	8,3	0,96	34
D14	8,3	0,93	34
D15	8,2	0,96	34
min-max	min	max	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ      РАССЧИТАТЬ

Рисунок 4.6 – Интерфейс ввода данных в морфологическом ящике (1.2).

Источник: [разработано автором].

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3
D6	0,069	0,065	0,007
D7	0,072	0,060	0,004
D8	0,072	0,073	0,004
D9	0,073	0,066	0,004
D10	0,071	0,067	0,007
D11	0,074	0,072	0,004
D12	0,073	0,062	0,007
D13	0,075	0,072	0,007
D14	0,075	0,070	0,007
D15	0,075	0,072	0,007
min-max	min	max	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ      РАССЧИТАТЬ

Рисунок 4.7 - Интерфейс нормирования и перевода в относительные единицы с учетом целеполагания данных в морфологическом ящике (1.2). Источник:

[разработано автором].

Ниже представлены результаты расчёта эффективности предприятиях при всех возможных комбинациях организации транспортного процесса в зависимости от приоритета исследуемых измерителей для морфологического ящика (1.2)

1)  $P1 > P2 > P3$   $D1=0,1343$ ;  $D2=0,1433$ ;  $D3=0,1417$ ;  $D4=0,0710$ ;  $D5=0,0710$ ;  $D6=0,0690$ ;  $D7=0,0720$ ;  $D8=0,0725$ ;  $D9=0,0730$ ;  $D10=0,0710$ ;  $D11=0,0740$ ;  $D12=0,0730$ ;  $D13=0,0750$ ;  $D14=0,0750$ ;  $D15=0,0750$ ; 2

2)  $P1 > P3 > P2$   $D1=0,1705$ ;  $D2=0,1800$ ;  $D3=0,1805$ ;  $D4=0,0710$ ;  $D5=0,0710$ ;  $D6=0,0690$ ;  $D7=0,0720$ ;  $D8=0,0497$ ;  $D9=0,0730$ ;  $D10=0,0710$ ;  $D11=0,0740$ ;  $D12=0,0730$ ;  $D13=0,0750$ ;  $D14=0,0750$ ;  $D15=0,0750$ ; 3

3)  $P2 > P1 > P3$   $D1=0,1343$ ;  $D2=0,1433$ ;  $D3=0,1417$ ;  $D4=0,0680$ ;  $D5=0,0655$ ;  $D6=0,0670$ ;  $D7=0,0660$ ;  $D8=0,0730$ ;  $D9=0,0695$ ;  $D10=0,0690$ ;  $D11=0,0730$ ;  $D12=0,0675$ ;  $D13=0,0735$ ;  $D14=0,0725$ ;  $D15=0,0735$ ; 2

4)  $P2 > P3 > P1$   $D1=0,1865$ ;  $D2=0,1905$ ;  $D3=0,1875$ ;  $D4=0,0467$ ;  $D5=0,0450$ ;  $D6=0,0470$ ;  $D7=0,0453$ ;  $D8=0,0730$ ;  $D9=0,0477$ ;  $D10=0,0483$ ;  $D11=0,0500$ ;  $D12=0,0473$ ;  $D13=0,0513$ ;  $D14=0,0507$ ;  $D15=0,0513$ ; 2

5)  $P3 > P2 > P1$   $D1=0,3110$ ;  $D2=0,3110$ ;  $D3=0,3110$ ;  $D4=0,0467$ ;  $D5=0,0450$ ;  $D6=0,0470$ ;  $D7=0,0453$ ;  $D8=0,0385$ ;  $D9=0,0477$ ;  $D10=0,0483$ ;  $D11=0,0500$ ;  $D12=0,0473$ ;  $D13=0,0513$ ;  $D14=0,0507$ ;  $D15=0,0513$ ; 1

6)  $P3 > P1 > P2$   $D1=0,3110$ ;  $D2=0,3110$ ;  $D3=0,3110$ ;  $D4=0,0375$ ;  $D5=0,0375$ ;  $D6=0,0380$ ;  $D7=0,0380$ ;  $D8=0,0497$ ;  $D9=0,0385$ ;  $D10=0,0390$ ;  $D11=0,0390$ ;  $D12=0,0400$ ;  $D13=0,0410$ ;  $D14=0,0410$ ;  $D15=0,0410$ ; 1

Количество комбинаций, принадлежащих эффективным решениям отдельных транспортных предприятий

$D1=2$   $D2=3$   $D3=1$   $D4=0$   $D5=0$   $D6=0$   $D7=0$   $D8=0$   $D9=0$   $D10=0$   $D11=0$   $D12=0$   $D13=0$   $D14=0$   $D15=0$

Далее в соответствии с алгоритмом ПО выполняется переход на следующий уровень в исследуемой системе. Данная операция предполагает формирование нового морфологического ящика (2.1), вектор-столбы которого заполняются, как результат расчёта в морфологических ящиках (1.1) и (1.2) с добавлением вектор-столбцов показателей эффективности 2 уровня в логистической транспортной системе. (таблица 4.5).

Алгоритм расчет возможных комбинаций эффективности на втором уровне иерархии аналогичен алгоритму на первом уровне (рисунки 4.8 и 4.9)

Таблица 4.5 – Морфологический ящик (2.1) показателей, отражающий интересы внешней среды.

№ Транспортного предприятия	Эффективность (1.1)	Эффективность (1.2)	Длина маршрута, км	Средневзвешенный коэффициент использования кузова транспортного средства
1	0,1700	0,3110	823	0,83
2	0,1040	0,3110	823	0,82
3	0,1030	0,3110	823	0,82
4	0,0743	0,0467	1100	0,62
5	0,0743	0,0450	1100	0,87
6	0,0665	0,0470	1137	0,74
7	0,0773	0,0453	1100	0,62
8	0,0773	0,0385	1100	0,87
9	0,0773	0,0477	1100	0,87
10	0,0685	0,0483	1137	0,74
11	0,0740	0,0500	1100	0,62
12	0,0685	0,0473	1137	0,74
13	0,0650	0,0513	1137	0,74
14	0,0710	0,0507	1137	0,74
15	0,0670	0,0513	1137	0,74

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

	K1	K2	K3	K4
D6	0.0665	0.0470	1137	0.74
D7	0.0773	0.0453	1100	0.62
D8	0.0773	0.0385	1100	0.87
D9	0.0773	0.0477	1100	0.87
D10	0.0685	0.0483	1137	0.74
D11	0.0740	0.0500	1100	0.62
D12	0.0685	0.0473	1137	0.74
D13	0.0650	0.0513	1137	0.74
D14	0.0710	0.0507	1137	0.74
D15	0.670	0.0513	1137	0.74
min-max	max	max	min	max

Рисунок 4.8 – Интерфейс ввода данных в морфологическом ящике (2.1).

Источник: [разработано автором].

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

	K1	K2	K3	K4
D1	0,092	0,207	0,085	0,073
D2	0,056	0,207	0,085	0,072
D3	0,056	0,207	0,085	0,072
D4	0,040	0,031	0,063	0,055
D5	0,040	0,030	0,063	0,076
D6	0,036	0,031	0,061	0,065
► D7	0,042	0,030	0,063	0,055
D8	0,042	0,026	0,063	0,076
D9	0,042	0,032	0,063	0,076
D10	0,037	0,032	0,061	0,065
D11	0,040	0,033	0,063	0,055

Рисунок 4.9 – Интерфейс нормирования и перевода в относительные единицы с учетом целеполагания данных в морфологическом ящике (2.1).

Источник: [разработано автором].

Ниже представлены результаты расчёта эффективности предприятиях при всех возможных комбинациях организации транспортного процесса в зависимости от приоритета исследуемых измерителей для морфологического ящика (2.1):

1) P1>P2>P3>P4 D1=0,1495; D2=0,1315; D3=0,1315; D4=0,0447; D5=0,0523; D6=0,0483; D7=0,0450; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0453; D12=0,0485; D13=0,0488; D14=0,0498; D15=0,3640; 15

2) P1>P2>P4>P3 D1=0,1495; D2=0,1315; D3=0,1315; D4=0,0473; D5=0,0487; D6=0,0440; D7=0,0475; D8=0,0480; D9=0,0500; D10=0,0447; D11=0,0478; D12=0,0443; D13=0,0447; D14=0,0460; D15=0,3640; 15

3) P1>P3>P2>P4 D1=0,1280; D2=0,1160; D3=0,1160; D4=0,0515; D5=0,0523; D6=0,0483; D7=0,0525; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0515; D12=0,0485; D13=0,0488; D14=0,0498; D15=0,3640; 15

4) P1>P3>P4>P2 D1=0,1143; D2=0,1050; D3=0,1050; D4=0,0515; D5=0,0597; D6=0,0540; D7=0,0525; D8=0,0603; D9=0,0603; D10=0,0543; D11=0,0515; D12=0,0543; D13=0,0537; D14=0,0550; D15=0,3640; 15

5)  $P1 > P4 > P3 > P2$   $D1=0,1143; D2=0,1050; D3=0,1050; D4=0,0527; D5=0,0580; D6=0,0505;$   
 $D7=0,0533; D8=0,0590; D9=0,0590; D10=0,0510; D11=0,0527; D12=0,0510; D13=0,0500;$   
 $D14=0,0520; D15=0,3640; \quad 15$

6)  $P1 > P4 > P2 > P3$   $D1=0,1240; D2=0,1117; D3=0,1117; D4=0,0473; D5=0,0580; D6=0,0505;$   
 $D7=0,0475; D8=0,0590; D9=0,0590; D10=0,0510; D11=0,0478; D12=0,0510; D13=0,0500;$   
 $D14=0,0520; D15=0,3640; \quad 15$

7)  $P2 > P1 > P3 > P4$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0447; D5=0,0523; D6=0,0483;$   
 $D7=0,0450; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0453; D12=0,0485; D13=0,0488;$   
 $D14=0,0498; D15=0,1990; \quad 1$

8)  $P2 > P1 > P4 > P3$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0473; D5=0,0487; D6=0,0440;$   
 $D7=0,0475; D8=0,0480; D9=0,0500; D10=0,0447; D11=0,0478; D12=0,0443; D13=0,0447;$   
 $D14=0,0460; D15=0,1990; \quad 1$

9)  $P2 > P3 > P1 > P4$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0470; D5=0,0523; D6=0,0483;$   
 $D7=0,0465; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0480; D12=0,0485; D13=0,0488;$   
 $D14=0,0498; D15=0,1530; \quad 1$

10)  $P2 > P3 > P4 > P1$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0470; D5=0,0563; D6=0,0523;$   
 $D7=0,0465; D8=0,0550; D9=0,0570; D10=0,0527; D11=0,0480; D12=0,0523; D13=0,0533;$   
 $D14=0,0533; D15=0,1310; \quad 1$

11)  $P2 > P4 > P3 > P1$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0497; D5=0,0530; D6=0,0480;$   
 $D7=0,0493; D8=0,0510; D9=0,0540; D10=0,0485; D11=0,0503; D12=0,0480; D13=0,0495;$   
 $D14=0,0495; D15=0,1310; \quad 1$

12)  $P2 > P4 > P1 > P3$   $D1=0,2070; D2=0,2070; D3=0,2070; D4=0,0473; D5=0,0530; D6=0,0480;$   
 $D7=0,0475; D8=0,0510; D9=0,0540; D10=0,0485; D11=0,0478; D12=0,0480; D13=0,0495;$   
 $D14=0,0495; D15=0,1543; \quad 1$

13)  $P3 > P2 > P1 > P4$   $D1=0,1460; D2=0,1460; D3=0,1460; D4=0,0630; D5=0,0523; D6=0,0483;$   
 $D7=0,0630; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0630; D12=0,0485; D13=0,0488;$   
 $D14=0,0498; D15=0,1530; \quad 15$

14)  $P3 > P2 > P4 > P1$   $D1=0,1460; D2=0,1460; D3=0,1460; D4=0,0630; D5=0,0563; D6=0,0523;$   
 $D7=0,0630; D8=0,0550; D9=0,0570; D10=0,0527; D11=0,0630; D12=0,0523; D13=0,0533;$   
 $D14=0,0533; D15=0,1310; \quad 1$

15)  $P3 > P1 > P2 > P4$   $D1=0,1280; D2=0,1160; D3=0,1160; D4=0,0630; D5=0,0523; D6=0,0483;$   
 $D7=0,0630; D8=0,0518; D9=0,0533; D10=0,0488; D11=0,0630; D12=0,0485; D13=0,0488;$   
 $D14=0,0498; D15=0,2125; \quad 15$

16)  $P_3 > P_1 > P_4 > P_2$   $D_1=0,1143; D_2=0,1050; D_3=0,1050; D_4=0,0630; D_5=0,0597; D_6=0,0540;$   
 $D_7=0,0630; D_8=0,0603; D_9=0,0603; D_{10}=0,0543; D_{11}=0,0630; D_{12}=0,0543; D_{13}=0,0537;$   
 $D_{14}=0,0550; D_{15}=0,2125; \quad 15$

17)  $P_3 > P_4 > P_1 > P_2$   $D_1=0,1143; D_2=0,1050; D_3=0,1050; D_4=0,0630; D_5=0,0695; D_6=0,0630;$   
 $D_7=0,0630; D_8=0,0695; D_9=0,0695; D_{10}=0,0630; D_{11}=0,0630; D_{12}=0,0630; D_{13}=0,0630;$   
 $D_{14}=0,0630; D_{15}=0,1633; \quad 15$

18)  $P_3 > P_4 > P_2 > P_1$   $D_1=0,1217; D_2=0,1213; D_3=0,1213; D_4=0,0630; D_5=0,0695; D_6=0,0630;$   
 $D_7=0,0630; D_8=0,0695; D_9=0,0695; D_{10}=0,0630; D_{11}=0,0630; D_{12}=0,0630; D_{13}=0,0630;$   
 $D_{14}=0,0630; D_{15}=0,1310; \quad 15$

19)  $P_4 > P_2 > P_3 > P_1$   $D_1=0,1400; D_2=0,1395; D_3=0,1395; D_4=0,0497; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0493; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0503; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,1310; \quad 1$

20)  $P_4 > P_2 > P_1 > P_3$   $D_1=0,1400; D_2=0,1395; D_3=0,1395; D_4=0,0473; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0475; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0478; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,1543; \quad 15$

21)  $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$   $D_1=0,1217; D_2=0,1213; D_3=0,1213; D_4=0,0590; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0590; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0590; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,1310; \quad 15$

22)  $P_4 > P_3 > P_1 > P_2$   $D_1=0,1143; D_2=0,1050; D_3=0,1050; D_4=0,0590; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0590; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0590; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,1633; \quad 15$

23)  $P_4 > P_1 > P_3 > P_2$   $D_1=0,1143; D_2=0,1050; D_3=0,1050; D_4=0,0527; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0533; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0527; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,2145; \quad 15$

24)  $P_4 > P_1 > P_2 > P_3$   $D_1=0,1240; D_2=0,1117; D_3=0,1117; D_4=0,0473; D_5=0,0760; D_6=0,0650;$   
 $D_7=0,0475; D_8=0,0760; D_9=0,0760; D_{10}=0,0650; D_{11}=0,0478; D_{12}=0,0650; D_{13}=0,0650;$   
 $D_{14}=0,0650; D_{15}=0,2145; \quad 15$

Количество комбинаций, принадлежащих эффективным решениям отдельных транспортных предприятий

$D_1=8 \quad D_2=0 \quad D_3=0 \quad D_4=0 \quad D_5=0 \quad D_6=0 \quad D_7=0 \quad D_8=0 \quad D_9=0 \quad D_{10}=0 \quad D_{11}=0 \quad D_{12}=0$   
 $D_{13}=0 \quad D_{14}=0 \quad D_{15}=16$

### 4.3 Анализ результатов вычислительного эксперимента по формированию топологии многоуровневых транспортных экосистем

Произведём анализ результатов вычислительного эксперимента по формированию топологии многоуровневых транспортных экосистем. Целью анализа является подтверждение эффективности разработанного научно-практического метода поддержки принятия решений, позволяющего реструктуризировать структуру взаимодействия субъектов транспортного производства для организации оптимального управления в многоуровневых логистических транспортных экосистемах. Исходными данными для анализа результатов вычислительного эксперимента является выборка полученных значений отклика функции эффективности для отдельных транспортных предприятий в рамках системы установленных критериев, соответствующих целеполаганию участников логистической транспортной экосистемы (таблицы 4.10 ... 4.11).

Рассмотрим два варианта организации работы (построения топологии взаимодействия транспортных предприятий) в транспортной системе.

**Первый вариант** предполагает организацию работы, когда выбор функции отклика эффективности отдельного транспортного предприятия, соответствует максимуму в количественных оценках на всем пространстве возможных комбинаций (таблица 4.10). В этом случае реализуется предлагаемый подход на основании комплекса решений в ЛТЭС.

**Второй вариант** предполагает организацию работы, когда выбор решения опирается на интересы отдельных объектов в системе функции. Данный подход как правило, реализуется в современных реалиях организации транспортного производства. На уровне транспортного предприятия выбор решения опирается на приоритет измерителя затраты на транспортную работу, а на уровне клиента транспортных услуг формируется следующий приоритет предпочтения измерителей: время доставки, объем партии, надежность доставки. (таблица 4.11).

На системном втором уровне принятия решений в первом случае решение также определяется исходя из максимума эффективности возможных решений, а

во втором случае заложен приоритет предпочтения: транспортное предприятие, клиент транспортной услуги; интересы внешней среды. Ориентируясь на данные условия, из всего набора возможных комбинаций функций отклика были извлечены два набора данных эффективности для 15-транспортных предприятия (таблица 4.10) и таблица 4.11.

Таблица 4.10 – Отклик функции эффективности отдельного транспортного предприятия, соответствующий максимуму в количественных оценках на всем пространстве возможных комбинаций. Источник: [разработано автором].

ТП	Морфологический ящик		
	(1.1)	(1.2)	(2.1)
1	0,1700	0,3110	0,1240
2	0,1040	0,3110	0,1117
3	0,1030	0,3110	0,1117
4	0,0743	0,0467	0,0473
5	0,0743	0,0450	0,0580
6	0,0665	0,0470	0,0505
7	0,0773	0,0453	0,1240
8	0,0773	0,0385	0,0475
9	0,0743	0,0477	0,0590
10	0,0685	0,0483	0,0510
11	0,0740	0,0500	0,0478
12	0,0685	0,0473	0,0510
13	0,0650	0,0513	0,0500
14	0,0710	0,0507	0,0520
15	0,0670	0,0513	0,3640

Таблица 4.11 – Отклик функции, когда решение на уровне транспортного предприятия опирается на приоритет измерителя затраты на транспортную работу, а на уровне клиента транспортных услуг формируется следующий приоритет предпочтения измерителей: время доставки, объем партии, надежность доставки. Источник: [разработано автором].

ТП	Морфологический ящик		
	(1.1)	(1.2)	(2.1)
1	0,0593	0,1705	0,2070
2	0,0477	0,1800	0,2070
3	0,0380	0,1800	0,2070
4	0,0845	0,0710	0,0447
5	0,0845	0,0710	0,0523
6	0,0800	0,0690	0,0483

7	0,0895	0,0720	0,0450
8	0,0895	0,0497	0,0518
9	0,0850	0,0730	0,0533
10	0,0850	0,0710	0,0488
11	0,0850	0,0740	0,0453
12	0,0860	0,0730	0,0485
13	0,0800	0,0750	0,0488
14	0,0920	0,0750	0,0498
15	0,0850	0,0750	0,1990

Для наглядности оценки результатов вычислительного эксперимента построим два графика, показывающих отклики функций эффективности производства транспортных предприятий (в количественных оценках по шкале абсцисс) на всех уровнях исследуемой логистической транспортной системы в первом случае (рисунок 4.10) и втором случае (рисунок 4.11) в следующих принятых обозначениях.

- Морфологический ящик (1.1) – МЯ 1.1
- Морфологический ящик (1.2) – МЯ 1.2
- Морфологический ящик (2.1) – МЯ 2.1

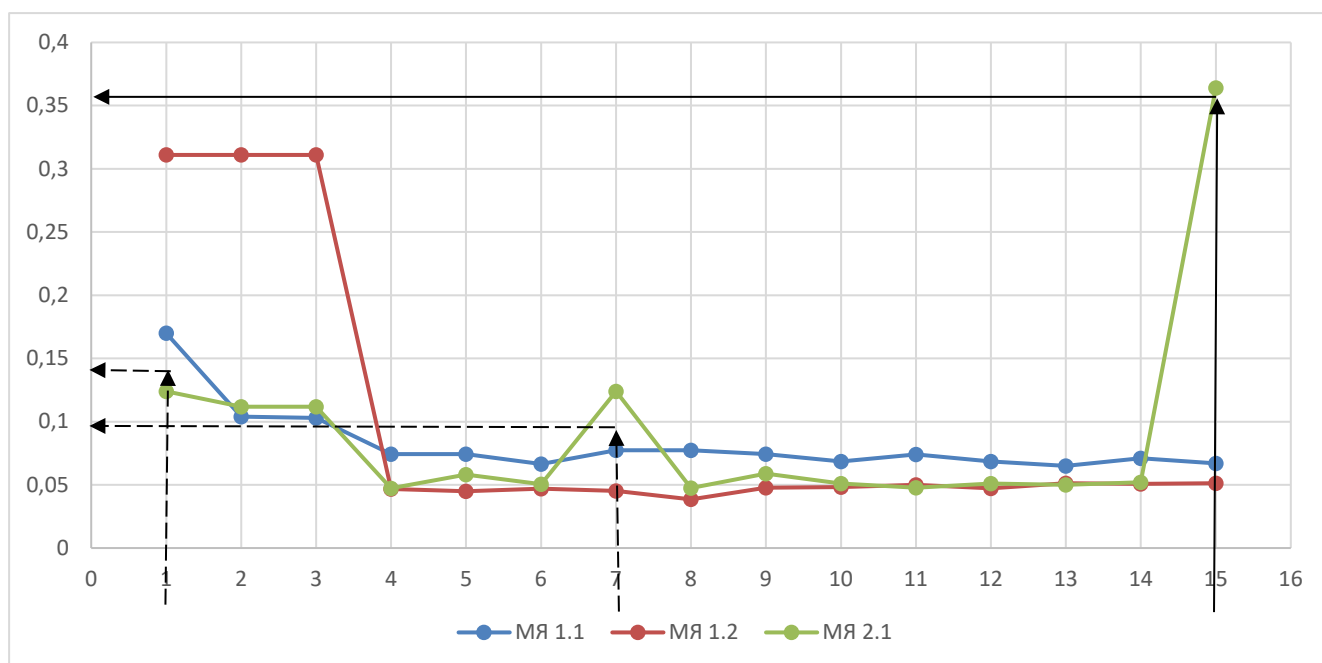


Рисунок 4.10 – График функции отклика эффективности отдельного транспортного предприятия, соответствующий максимуму в количественных оценках по всем пространству возможных комбинаций.

Источник: [разработано автором].

Первый график (рисунок 4.10) соответствует предлагаемому варианту организации транспортного производства или организации производства в соответствии с принципами логистической транспортной экосистемы (ЛТЭС). В соответствии с ним для выполнения транспортной работы следует привлечь транспортное предприятие с максимальной системной эффективностью 0,3640 в количественных оценках **№15 (ТП 15)**. Заметим, что при отсутствии многоуровневой системы оценки измерителей транспортного производства (см. рисунок 4.3) в случае применения известных методов многокритериальной оптимизации [104, 105,106] вариант ТП 15 вообще исключается из возможных эффективных решений.

Важно отметить еще одно наблюдение:

- Если следовать интересам транспортных предприятий (МЯ 1.1) тогда наиболее эффективным является предприятие ТП 1 (штриховая линия на рисунке 4.10);
- Если следовать интересам клиентов транспортных услуг, тогда наиболее эффективным окажется предприятие ТП 7 (штриховая линия на рисунке 4.10).

Далее сравним полученные результаты с результатами функции отклика, когда решение на уровне транспортного предприятия опирается на только приоритет измерителя затраты на транспортную работу, а на уровне клиента транспортных услуг на приоритет предпочтения измерителей: время доставки, объем партии, надежность доставки (рисунок.4.11). То есть с информационной ситуацией, доминирующей на рынке транспортных услуг в современных реалиях. Обозначим это состояние (ТС) – транспортная система.

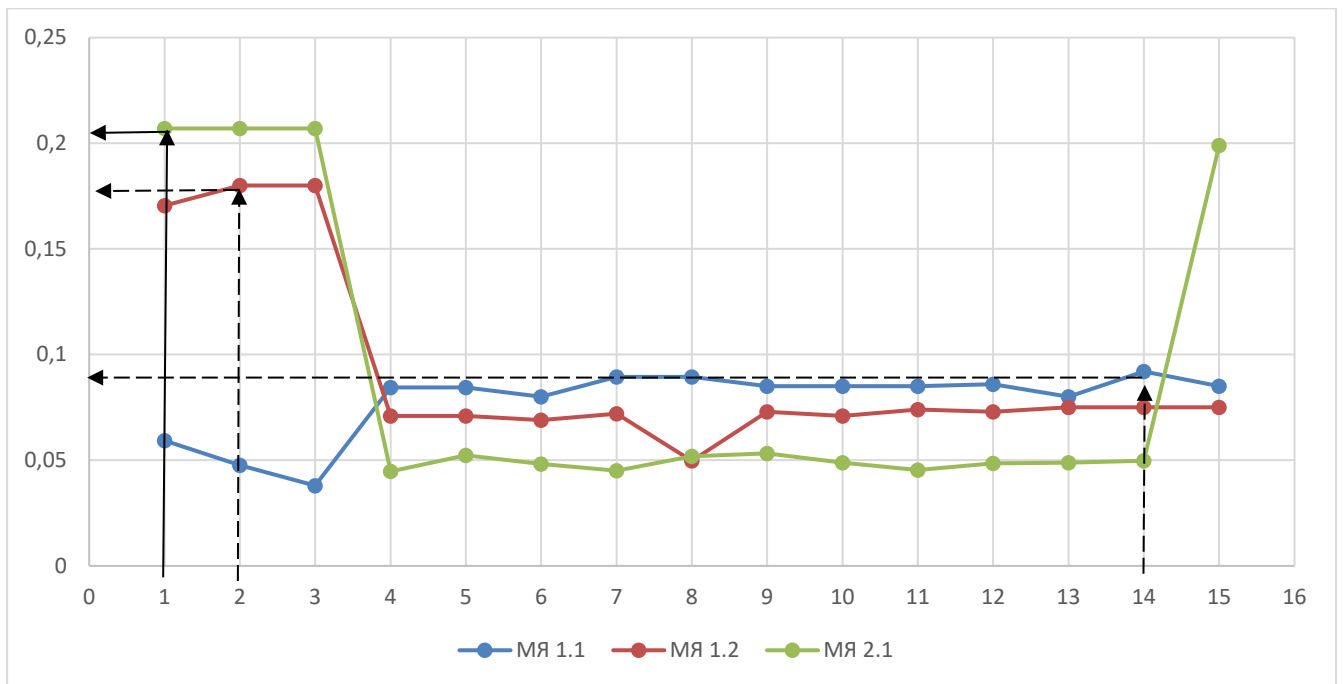


Рисунок 4.11 – График функции отклика эффективности отдельного транспортного предприятия, функции отклика, когда решение на уровне транспортного предприятия опирается на только приоритет измерителя затраты на транспортную работу, а на уровне клиента транспортных услуг на приоритет предпочтения измерителей: время доставки, объем партии, надежность доставки.

Источник: [разработано автором].

Результаты сравнения на рисунке 4.11 отличаются по всем пунктам. В данном случае:

- Максимальной системной эффективностью обладает предприятие **ТП 1** с эффективностью (0,2070);
- Если следовать интересам транспортных предприятий (МЯ 1.1) тогда наиболее эффективным является предприятие **ТП 14** (0,0920);
- Если следовать интересам клиентов транспортных услуг, тогда наиболее эффективным окажется предприятие **ТП 2** (0,1800).

Сравнение полученных результатов говорит в пользу применения модели построения топологии взаимодействия транспортных предприятий на основе разработанного метода (информационная ситуация ЛТЭС), так как оценочные показатели возможной системной эффективности для отдельных предприятий

выше. Подтвердим этот тезис сравнением средневзвешенных оценок эффективности функционирования исследуемой транспортной системы для двух информационных ситуаций (рисунок 4.12):

ЛТЭС – в случае применения разработанного экосистемного подхода;

ТС – в случае отсутствия упорядоченного распределения объемов транспортной работы между субъектами транспортного производства.

Для этого введем понятия индекс экосистемной эффективности транспортного производства, определяемого в следующем виде для каждого морфологического ящика:

$$I_{\text{эс}} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\text{Э}_{\text{ЛТЭС}}}{m}}{\sum_{i=1}^m \frac{\text{Э}_{\text{ТС}}}{m}} \quad (4.1)$$

где:  $\text{Э}_{\text{ЛТЭС}}$  – эффективность комплекса транспортных предприятия при применении ЛТЭС (в количественных оценках);

$\text{Э}_{\text{ТС}}$  – эффективность комплекса транспортных предприятия в случае неупорядоченного взаимодействия (в количественных оценках).

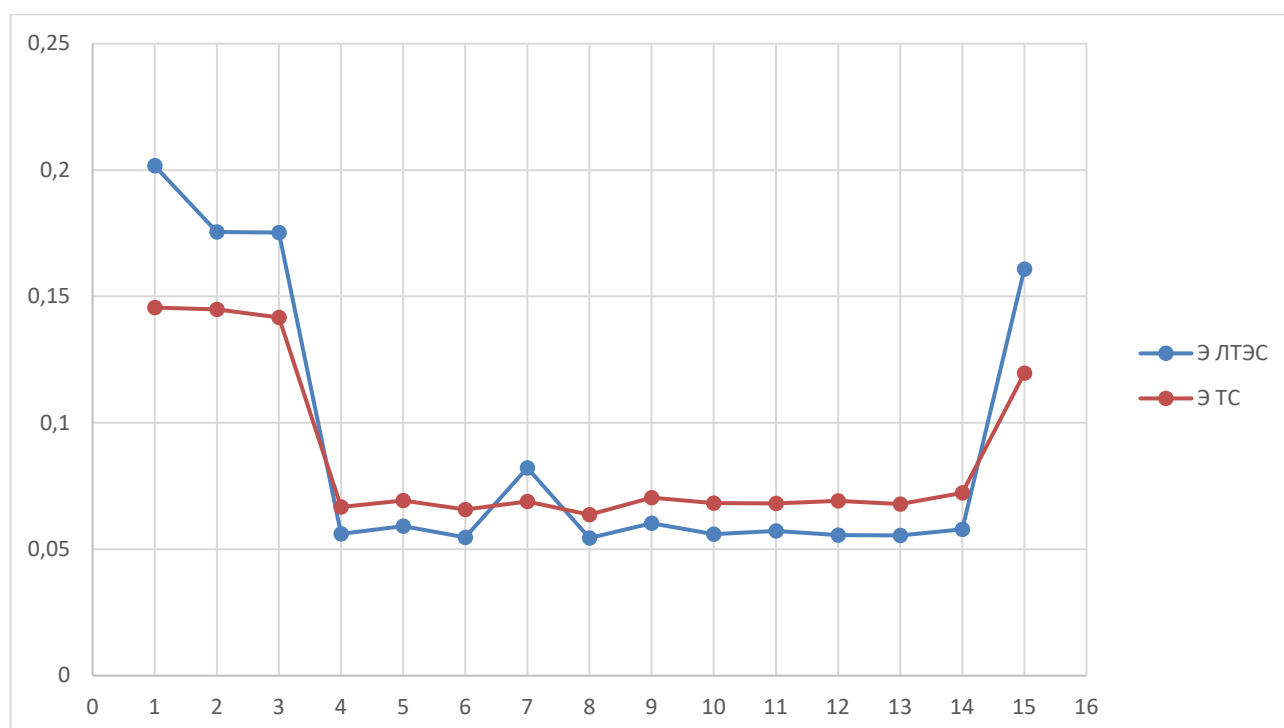


Рисунок 4.12 – Сравнение средневзвешенных оценок эффективности функционирования исследуемой транспортной системы для двух информационных ситуаций: ЛТЭС – в случае применения разработанного экосистемного подхода; ТС

– в случае отсутствия упорядоченного распределения объемом транспортной работы между субъектами транспортного производства.

Источник: [разработано автором].

Для исследуемой структуры данных

$$I_{эс} = \frac{4,0866}{3,9068} = 1,04$$

$$I_{эс} > 1$$

Индекс экосистемной эффективности транспортного производства показывает, как отразились произведенные изменения в структуре взаимодействия элементов исследуемой системы на её эффективность в рамках установленного набора критериев целеполагания и эмпирических значениях результативных значений показателей транспортного производства.

Если значение  $I_{эс} > 1$ , то реструктуризация взаимодействия объектов в исследуемой транспортной системе привела к положительному эффекту и можно говорить о том, что:

Во-первых, транспортная система обладает устойчивыми, закономерно определенными связями, то есть является логистической (управляемой) транспортной системой;

Во-вторых, при наличии объективного инструмента управления (разработанного научно-методического подхода, как совокупности математических моделей, программного обеспечения и методик их применения), позволяющего отражать и реагировать (реструктуризировать систему) на изменения внешнего факторного пространства, логистическая транспортная система обоснованно трансформируется в логистическую транспортную экосистему.

В-третьих, разработанный и реализованный оригинальном ПО метод организации многоуровневых транспортных экосистем может быть применим в существующих и проектируемых в информационно-аналитических платформах организации транспортных систем в следующей парадигме. Современные информационно-аналитические платформы (ИАП) являются накопителем

эмпирической информации о деятельности транспортных предприятий, не оптимизируют отраслевое транспортное производство на системном уровне распределения его функционала. Разработки данного исследования позволяют при их интеграции в состав ИАП трансформировать из цифрового ИАП управления базами данных на отраслевом и межотраслевом уровне экономики РФ.

Вывод. Комплексное решение эффективного экосистемного управления в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем получено на основе разработанного метода поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующие структуру (топологию) взаимодействия субъектов транспортного производства.

#### **Выводы по четвертой главе**

В четвертой главе апробировался метод организации многоуровневых транспортных экосистем, как метод поддержки принятия решений, позволяющего реструктуризировать структуру взаимодействия субъектов в многоуровневой логистической транспортной экосистеме в виде прикладных методик, определяющих последовательность действий применения и эффективность его применения для организации управления ИАП.

Апробация путем проведения вычислительного эксперимента разработанного метода организации многоуровневых транспортных экосистем в информационно-аналитических платформах на данных, содержащих информацию (измерители и показатели эффективности) о работе 15-ти транспортно-логистических предприятий в межрегиональном (в пределах РФ) и международном сообщении. В соответствии с разработанным методом организации многоуровневых транспортных экосистем было произведено агрегатирование измерителей эффективности транспортного производства на отдельные группы (морфологические ящики) и размещены на различных уровнях иерархии управления в зависимости от целеполагания их применения.

Цель вычислительно эксперимента является формирование упорядоченной структуры распределения транспортной работы между предприятиями с максимальной эффективностью не только в интересах отдельных субъектов транспортного производства, но и в интересах системы в части обеспечения комплексного управления и требований внешней среды.

Для оценки результатов вычислительного эксперимента было введено понятие индекс экосистемной эффективности транспортного производства, для оценки эффективности в структуре взаимодействия элементов исследуемой системы в рамках установленного набора критериев целеполагания и эмпирических значениях результативных значений показателей транспортного производства.

На основании полученных аналитическим путем результатов вычислительного эксперимента были сделаны следующие выводы:

1. Разработанный и реализованный в оригинальном ПО метод организации многоуровневых транспортных экосистем может быть применим в существующих и проектируемых в информационно-аналитических платформах организации транспортных систем в следующей парадигме. Современные информационно-аналитические платформы (ИАП) являются накопителем эмпирической информации о деятельности транспортных предприятий, не оптимизируют отраслевое транспортное производство на системном уровне распределения его функционала. Разработки данного исследования позволяют при их интеграции в состав ИАП трансформировать цифровые ИАП управления базами данных на отраслевом и межотраслевом уровне экономики РФ.

2. Комплексное решение эффективного экосистемного управления в сложной многоуровневой информационной среде функционирования логистических транспортных экосистем получено на основе разработанного метода поддержки принятия решений, позволяющих находить сбалансированные решения, оптимизирующих структуру (топологию) взаимодействия субъектов транспортного производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований научного и практического характера разработан метод поддержки принятия решений, позволяющий реструктуризировать топологию взаимодействия субъектов в многоуровневой логистической транспортной экосистеме и моделировать действия, направленные на повышение эффективности системы в целом в условиях активного влияния внешнего и внутреннего факторного пространства.

Методологической основой исследования послужили разработки отечественных и зарубежных ученых в области создания методов управления сложными системами, включающих в себя большое количество объектов управления и функционирующих в условиях активного влияния внешней среды. Для разработки методов управления в логистических транспортных экосистемах применялись базовые постулаты теории многоуровневых сложных систем, теории принятия решений в условиях недостаточности информации и стохастической неопределенности, прикладные методы векторной оптимизации и имитационного математического моделирования.

Для достижения цели исследования решены следующие задачи:

1. На основе анализа состояния и направлений развития логистических транспортных экосистем в РФ выявлен ряд проблем, сопровождающий процесс их организации и управления: отсутствие в настоящее время разработок в области моделирования процессов обработки информации, сопровождающей транспортное производство и позволяющих говорить о наличии эффективной цифровой модели и возможности её практического применения; отсутствие комплексного подхода при решении разноплановых задач транспортного производства отраслевого и межотраслевого взаимодействия; отсутствие аналитических инструментов поддержки принятия решений в сложных многоуровневых открытых логистических транспортных экосистемах при наличии нескольких уровней управления в исследуемой системе, наличие противоречивого целеполагания субъектов управления, необходимость учета значительного влияния внешнего факторного

пространства и необходимость обработки больших информационных потоков неструктурированных входных данных.

2. Сформулирована модель задачи поиска наилучшего решения в сложной логистической транспортной экосистеме, как задачу максимизации значений коэффициентов корреляции на множестве возможных решений, определяемых условием неопределенности. Количество состояний исследуемой системы будем определять количеством исследуемых измерителей, так как между измерителями не выявлено устойчивой корреляционной связи.

3. На основе метода морфологического анализа разработана оптимизационная модель, предполагающая комбинаторное описание всех существующих и возможных состояний исследуемой системы с последующим поиском на этом множестве описания исследуемой, наиболее полно соответствующего поставленной цели и целям. Применение данной модели позволяет определять структуру и топологию взаимодействия транспортных предприятий на уровне организации производственного процесса в многоуровневых логистических транспортных экосистемах.

4. Разработаны алгоритм и ПО, систематизирующие структуру действий и связей в логистической транспортной экосистеме, основанные на специальных методах имитационного моделирования, позволяющие обрабатывать большие объемы информации, отражающие сложную инфраструктуру взаимодействия внешнего и внутреннего факторного пространства и направленные на оценку эффективности комплекса субъектов транспортного производства и трансформации их взаимодействия направленной на повышение эффективности системы в целом.

5. Разработан метод поддержки принятия решений, позволяющий реструктуризировать структуру взаимодействия субъектов в многоуровневой логистической транспортной экосистеме в виде прикладных методик, определяющих последовательность действий применения и эффективность его применения для организации управления в информационных аналитических платформах транспортно-логистического производства.

Для оценки результатов исследования было введено понятие индекс экосистемной эффективности транспортного производства, для оценки взаимодействия элементов исследуемой системы в рамках установленного набора критериев целеполагания и эмпирических значениях результативных значений показателей транспортного производства. На основании полученных аналитическим путем результатов вычислительного эксперимента были сделаны следующие выводы. Значение индекса ( $I_{эс} = 1,04$ ) говорит о повышении производительности исследуемой системы на 4%, если в систему включены 15 транспортных компаний. В диссертации исследовалась деятельность 53 компаний, в этом случае производительность повышается на 12,7%.

Разработанный и реализованный в оригинальном ПО метод организации многоуровневых транспортных экосистем может быть применим в существующих и проектируемых в информационно-аналитических платформах организации транспортных систем в следующей парадигме. Современные информационно-аналитические платформы (ИАП) являются накопителем эмпирической информации о деятельности транспортных предприятий, не оптимизируют отраслевое транспортное производство на системном уровне распределения его функционала. Разработки данного исследования позволяют при их интеграции в состав ИАП трансформировать из цифрового ИАП управления базами данных на отраслевом и межотраслевом уровне экономики РФ.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

АТС – автотранспортное средство

АТП – автотранспортное предприятие

ИППР – информационное пространство принятия решений

ИС – информационная ситуация

ЛТС – логистическая транспортная система

ЛТЭС – логистическая транспортная экосистема

ПО – программное обеспечение

ПРР – погрузочно-разгрузочные работы

ТП – транспортное предприятие

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергачева, Е.А. Современная глобализация как процесс интегративных социально-техногенных и природных изменений/Е.А. Дергачева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. №2. С.4-9.
2. Дергачева, Е.А. Современная глобализация как мегатенденция интегративных изменений в обществе, техносфере и биосфере/Е.А. Дергачева // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2015. № 3(12). С. 87-91.
3. Дергачева Е. А. Концепция социотехноприродной глобализации: междисциплинарный анализ/Е.А. Дергачева // - М.: Ленанд, 2016. 256 с.
4. Баксанский О. Е. Становление концепции техногенного общественного развития/О.Е. Баксанский // Учёные записки ЗабГУ. Сер. Социологические науки. 2017. Т. 12, № 3. С. 46–54. DOI: 10.21209/2500-171X-2017-12- 3-46-54.
5. Булатова, Н.Н. Формирование цифровой экосистемы региональной транспортно-логистической инфраструктуры/Н.Н. Блатнова, В.С. Дудин, А.В. Алексеев// *π-Economy*, №17 (3), 2024 г. С. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17305>
6. Архипов, А.Е. Трансформация транспортной отрасли России под влиянием цифровых технологий/А.Е. Архипова, А.Е. Ряписов // *Экономика и бизнес: теория и практика*, №4–1 (62), 2020 г., С. 22–24. DOI: <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10249>
7. Аكوпова, Е.С. Мировая транспортно-логистическая инфраструктура: цифровая трансформация 2020 года/ Е.С. Аكوпова, Е.К. Пиливанова, С.И. Самыгин// Государственное и муниципальное управление. Ученые записки, 1, 2021 г., С. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2021-1-1-87-92>
8. Булатова, Н.Н. Перспективы формирования транспортно-технологических логистических систем региона (на примере Республики Бурятия)/Н.Н. Булатова, А.В. Бабкин// *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*, №9, 2 (31), 2019 г, С. 106–120.

9. Булатова, Н.Н. Цифровое развитие региональной транспортно-логистической инфраструктуры/ Н.Н. Булатова, Е.Л. Дугина, Е.В. Доржиева// *π-Economy*, №17 (1), 2024 г., С. 41–54. DOI: <https://doi.org/10.18721/πE.17103>
10. Воронов, И. Трансформация рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики России/ И. Воронов// *Логистика*, №4, 2020 г., С. 36–41.
11. Дмитриев А.В. Цифровые технологии в транспортной логистике/ А.В. Дмитриев// *РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция* № 4, 2017 г., С. 14–18.
12. Зубаков, Г.В. Методологические вопросы формирования организационной структуры цифровой платформы транспортной области/ Г.В. Зубаков, З.А. Кучкаров, И.О. Проценко И.О// *Логистика и управление цепями поставок*, № 6 (95), 2019 г., С. 10–14.
13. Зубаков, Г.В. Цифровая трансформация транспортно-логистических процессов. / Г.В. Зубаков// *Логистика и управление цепями поставок*, №1 (96), 2020 г., С. 35–38.
14. Кондрашова, Ю. Методика совершенствования логистических процессов с помощью цифровых технологий/ Ю. Кондрашова// *Логистика*, №11, 2019 г., С. 10–13.
15. Кузьмин, Л.А. Существующие и перспективные инструменты цифровизации транспортно-логистической инфраструктуры Евразийского экономического союза/Л.А. Кузьмин// *Экономика и предпринимательство*, №8, 2021 г., С. 100–104. DOI: <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.133.8.013>
16. Клименко, В. Развитие логистической инфраструктуры и логистических технологий перевозок в транспортном комплексе/В. Клименко// *Логистика*, №9, 2012 г., С. 35–39.
17. Венде, Ф. Логистика как нормативно-технологический каркас хозяйственной деятельности в цифровой экономике/ Ф. Венде, В.Д. Волков, Е.Н. Кузнецова, Ю.И. Яшина// *Логистика*, №12, 2019 г., С. 40–45.

18. Некрасов, А. Хаос-инженерия и интеллектуальная мобильность в комплексной стратегии транспортно-логистических систем/ А. Некрасов, А. Сеницына// Логистика, №5, 2021 г., С. 43–47.
19. Некрасов, К. Основные проблемы и перспективы развития российской транспортной логистики/ К. Некрасов, Л. Гашкова// Логистика, №4, 2021 г., С. 18–20.
20. Пустохин, Д. Перспективы применения новых технологий в транспортно-логистических системах/ Д. Пустохин, О. Быкова, Е. Некрасова//Логистика, №1, 2020 г., С. 22–25.
21. Савин, Г.В. Вектор развития транспортно-логистической системы SmartSity. /Г.В. Савин//Урал – драйвер неоиндустриального и инновационного развития России, №2, 2019 г., С. 120–124.
22. Селезнева, Е.Ф. Влияние цифровых технологий на развитие рынка логистических услуг в современных кризисных условиях/ Е.Ф. Селезнева, Н.А. Череповская// Проблемы теории и практики управления, №6, 2021 г., С. 184–201.
23. Рогов, Д.О. Экосистема цифровых транспортных коридоров как драйвер экономического роста ЕАЭС/ Л.О. Рогов, М.Ю. Карелина// Материалы XIV ВСЕРОССИЙСКОГО СОВЕЩАНИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2024. Москва 17-20 июня 2024 г. С. 2302-2305.
24. Ефремов, А.А. Ключевые подходы к построению системы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС/ А.А. Ефремов, М.М. Крекова, А.Е. Борейко// Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: ЭКОНОМИКА и ПРАВО. 2019. № 4. С. 24-30.
25. ЕЭК приняла решение о взаимном признании электронной цифровой подписи в трансграничных B2G взаимодействиях/Электронный ресурс// <https://eec.eaeunion.org/news/EEK-prinyala-reshenie-o-vzaimnom-priznanii-elektronnoy-tsifrovoy-podpisi-v-transgranichnykh-b2g-vzai/> (дата обращения: 12.12.2023).

26. К 2025 году в ЕАЭС создадут систему цифровых транспортных коридоров. /Электронный ресурс// <https://rg.ru/2020/11/17/k2025-godu-v-eaes-sozdadut-sistemu-cifrovyh-transportnyh-koridorov.html> (дата обращения: 11.12.2023).

27. Распоряжение Евразийского межправительственного совета от 31.01.2020 № 4 «О формировании экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза» /Электронный ресурс// [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01424699/err\\_03022020\\_4](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01424699/err_03022020_4) (дата обращения: 14.12.2023).

28. Распоряжение Совета ЕЭК от 23.11.2020 № 29 «О перечне сервисов и цифровой инфраструктуры, реализуемых в целях формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза» /Электронный ресурс// [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01428249/err\\_31122020\\_29](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01428249/err_31122020_29) (дата обращения: 14.12.2023).

29. Сергеева, Н.И. Анализ формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза/ Н.И. Сергеева, А.А. Шкиперов, С.В. Курихин // Вектор экономики. 2022. № 12 (78).

30. Эксперт: цифровые транспортные коридоры увеличат долю транзита через ЕАЭС до 20%. /Электронный ресурс// <https://logirus.ru/news/transport/ekspert-tsifrovye-transportnye-koridory-uvlichat-dolyu-tranzita-cherez-eaes-do-20.html> (дата обращения: 11.12.2023).

31. Формирование единой цифровой системы метеорологического обеспечения (ЕЦСМО) на международных транспортных коридорах России/Интеллектуальные транспортные системы России. /Электронный ресурс// <https://www.itsjournal.ru/articles/technologies/formirovanie-edinoj-tsifrovoy-sistemy-meteorologicheskogo-obespecheniya-etssmo-na-mezhdunarodnykh-tr/>(дата обращения: 11.12.2024).

32. Распоряжение Правительства РФ от 3 ноября 2023 года №3097-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 года»/Электронный ресурс// Режим доступа:

<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407851313/> [дата обращения 03.06.2024].

33. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

34. Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 г. №208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года»

35. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»

36. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

37. Яшманов, М.Л. Транспортное моделирование в информационно-аналитической системе регулирования на транспорте (АСУ ТК)/ М.Л. яшманов// Материалы III Международной научно-практической конференции ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ 24 и 25 мая 2018 г., Москва, МАДИ.

38. Воробьев, А.И. Нормативно-техническое обеспечение планирования интеллектуальных транспортных систем/А.И. Воробьев// Материалы III Международной научно-практической конференции ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ 24 и 25 мая 2018 г., Москва, МАДИ.

39. US Public Law 105-178 Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), 1998.

40. Integrated arterial and freeway operation control strategies for IVHS advanced traffic management // The university of Texas at Austin, 1998

41. ITMS Operational Test of Advanced Traffic Management and Traveler Information Systems in the Twin Cities Metropolitan Area // Minnesota Department of Transportation, 1992.

42. Ma J. An efficiency-Equity Solution to The Integrated Transportation Corridor Control Design Problem // University of California, 2008
43. Integration of Off-ramp and Arterial Signal Controls to Minimize the Recurrent Congestion on the I-495 Capital Beltway // Department of Civil and Environmental Engineering University of Maryland, 2010.
44. Coordination of Freeway Ramp Meters and Arterial Traffic Signals Field Operational Test // Institute of Transportation Studies, California PATH Program, 2013
45. Галл, М.В. Цифровой транспорт и логистика направление программы Цифровая экономика Российской Федерации // Материалы III Международной научно-практической конференции ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ 24 и 25 мая 2018 г., Москва, МАДИ.
46. Левин, Б.А. Виды информационных моделей при управлении транспортом/Б.А. Левин// Перспективы Науки и Образования. Международный электронный научный журнал. Адрес статьи: [rnojournal.wordpress.com/archive/17/17-03/](http://rnojournal.wordpress.com/archive/17/17-03/) Дата публикации: 1.07.2017 № 3 (27). С. 50-54.
47. Майер-Шенбергер, В. Большие данные: Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим/В. Майер-Шенбергер, К. Кукьер// – Манн, Иванов и Фербер, 2014 -240с.
48. Дешко, И.П. Информационный подход в моделировании/И.П. Дешко // Образовательные ресурсы и технологии. №5 (17)., 2016 г., С. 21-26.
49. Поляков, А.А. Информационные технологии в управлении. / А.А. Поляков, В.Я. Цветков// - М.: МГУ факультет государственного управления, 2007 – 138 с.
50. Розенберг, И.Н. Свойства управленческих моделей/ И.Н. Розенберг, В.Я. Цветков // Славянский форум, №1(1), 2012 г. - С.245-249.
51. Цветков, В.Я. Дескриптивные и прескриптивные информационные модели/ И.Н. Розенберг, В.Я. Цветков // Дистанционное и виртуальное обучение №7. 2015 г, С.48- 54.

52. Ожерельева Т.А. Дескриптивные модели/Т.А. Ожерельева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - №5. (часть 4), 2016 г., С. 675-675.
53. Маркелов, В.М. Применение топологических моделей геоданных для оптимизации транспортных маршрутов/В.М. Маркелов // Славянский форум. №2 (2). -2012 г., С.56-61.
54. Tsvetkov, V. Ya. Spatial Information Models/ V. Ya. Tsvetkov V. Ya. // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). с.2386-2392.
55. Кужелев, П. Д. Пространственные знания для управления транспортом/П.Д. Кужелев // Государственный советник. - №2. – 2016 г., С. 17- 22.
56. Розенберг, И. Н. Геоинформационные системы на железнодорожном транспорте/ И.Н. Розенберг И. Н. // Науки о Земле. - №4, 2012. С. 86-90.
57. Розенберг И. Н. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий/ И.Н. Розенберг, В.Я. Цветков, И.А. Романов И. А // Государственный советник. - №4. – 2013 г., С. 43-50.
58. Розенберг, И. Н. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой/ И.Н. Розенберг, В.Я. Цветков, // Геодезия и картография. - №8. 2010 г, С. 48-51.
59. Коваленков, Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта/Н.И. Коваленков // Государственный советник. - №2. – 2015. С. 42-46.
60. Tsvetkov ,V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp.1901-1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901.
61. Коваленко, А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели/ А.Н. Коваленко // Славянский форум. №–2 (6). - 2014. С.51 -55.
62. Титов, Е.К. Информационное ситуационное управление/Е.К. Титов//Государственный советник. №1, 2019 г, С.51-56.

63. Цветков, В.Я. Модели в информационных технологиях/В.Я. Цветков// - М.: Макс Пресс, 2006 - 104с.
64. Ожерельева, Т. А. Ресурсные информационные модели/Т.А. Ожерельева // Перспективы науки и образования- 2015. - №1. – с.39-44.
65. Малых, А. А. Объектно-ориентированная дескриптивная логика/А.А. Малых, А.В. Манцивода //Известия ИГУ. Серия математика. – №. 1. 2011 г., С. 57-72.
66. Цветков, В.Я. Информационное моделирование при социологических исследованиях/В.Я. Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. - №4. – с.87-90.
67. Daito, Real Time Accident Risk Information Provision on a Urban Expressway Network: Prediction Model Analysis and Development of a Provision System / Daito, Kodama, Ozawa // Proceedings of the 51st Spring Conference of the Committee of Infrastructure Planning and Management, 2015.
68. Khan, G. Application and Integration of Lattice Data Analysis, Network K-Functions, and Geographic Information System Software to Study Ice-Related Crashes / G. Khan, K.R. Santiago-Chaparro, X. Qin, D.A. Noyce // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2009. – № 2136. – P. 67-76.
69. Eliseev, M.E. Virtual Reality and Navigation subsystems of the Interactive System for Road Safety Improving / M.E. Eliseev, T.N. Tomchinskaya, E.D. Galkina, N.Yu. Dudakov, R.A. Musarsky // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – С. 012027.
70. Andrey, J. Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities / J. Andrey, B. Mills, M. Leahy, J. Suggett // Nat. Hazards. – 2003. – Vol. 28. – P. 319-343.
71. Asano, M. Characteristics of traffic accidents in cold, snowy Hokkaido, Japan / M. Asano, M. Hirasawa // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. – Vol. 4 – P. 1426-1434.

72. Bergel-Hayat, R. Explaining the road accident risk: weather effects / R. Bergel-Hayat, M. Debbarh, C. Antoniou, G. Yannis // *Accident Analysis and Prevention*. – 2013. – Vol.60. – P. 456-465.
73. Black, A.W. Effects of winter precipitation on automobile collisions, injuries, and fatalities in the United States / A.W. Black, T.L. Mote // *J. TranspGeogr.* – 2015. – Vol.48. – P. 165-175.
74. Keay, K. Road accidents and rainfall in a large Australian city / K. Keay, I. Simmonds // *Accident Analysis and Prevention*. – 2006. – Vol. 38 (3). – P. 445-454.
75. Norrman, J. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity / J. Norrman, M. Eriksson, S. Lindqvist // *Climate Research*. – 2000. – Vol. 15. – P. 185-193.
76. Songchitruksa, P. Assessing weather, environment, and loop data for real-time freeway incident prediction / P. Songchitruksa, K.N. Balke // *Transport Research Record* – 2006. – Vol. 1959. – P. 105-113.
77. Федоткина, О.В. Эффективность транспортно-логистической отрасли России: новые вызовы в эпоху цифровизации/О.В. Федоткина//Интеллектуальные транспортные системы России. Информационно-аналитический журнал и портал// Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.itsjournal.ru/articles/smart-logistic/effektivnost-transportno-logisticheskoy-otrasli-rossii-novye-vyzovy-v-epokhu-tsifrovoy-transformatsi/>. Дата обращения: 08.10. 2024 г.
78. Абдюшева, Д. Р. Анализ современного состояния транспортного комплекса России / Д.Р. Абдюшева, //Вестник университета. 2018. № 8. С. 56–61
79. Абдюшева, Д.Р. Характеристика структуры перевозок транспортного логистического комплекса/ Д.Р. Абдюшева, А.А. Степанов// УПРАВЛЕНИЕ. Межотраслевой менеджмент. Т. 7 № 4 / 2019. С.24-31.
80. Покровская О. Д. Логистические транспортные системы России в условиях, новых санкций/О.Д. Покровская // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 1. — С. 80–94. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94.

81. Rozin M. Stereotypes of Transport Logistics in Geopolitical Analytics / M. Rozin, V. Ryabtsev, V. Svechkarev // *Transportation Research Procedia*. — 2022— Vol. 61. — Pp. 285–288. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.047>. Дата обращения 12.10.2024 г.
82. Корчагин, В.А. Логистико-ориентированная система управления деятельности АТП / В.А. Корчагин, П.Г. Коваленко, А.В. Пятахин // *Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ, изд-во ЛЭГИ.-1999.-№2*.
83. Таха. Введение в исследование операций / Таха, Хемди А. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 912 с.
84. Базилевский, М.П. Программно-математическое обеспечение автоматизации многокритериального выбора регрессионных моделей: автореф. дис. .... к-та. техн. наук: 05.13.18 / Базилевский Михаил Павлович. – Иркутск, 2012. -19 с.
85. Колесов, Ю.Б. Компонентные технологии математического моделирования: учеб. пособие / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Синиченков. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2013. - 233 с.
86. Грешилов, А.А. Математические методы построения прогнозов/А.А. Грешилов, В.А. Стакун, Л.А. Стакун. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
87. Луман, Н. Введение в системную теорию/ Н. Луман// — Из-во «Логос», 2007. - 360 с.
88. Кудж, С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем/ С.А. Кудж // *Перспективы науки и образования*. 2014, №1. – С. 38-43
89. Шикин, Е. В. Математические методы и модели в управлении / Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили. - М.: Дело, 2000. 440 с.
90. Карманов В.Г. Математическое программирование. /В.Г. Карманов - М.: Физматлит, 2000.
91. Городецкий С.Ю. Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация/ С.Ю. Городецкий, В.А. Гришагин – Н. Новгород: ННГУ, 2007.

92. Терентьев, А.В. Развитие метода районирования/ А.В. Терентьев // Материалы 4-ой международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 127-13.
93. Терентьев, А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Записки Горного института. Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 89-90.
94. Карелина, М.Ю. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств /М.Ю. Карелина, И.В. Арифуллин, А.В. Терентьев//Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). - 2018. № 1 (52) С.3-9.
95. Терентьев, А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств /М.Ю. Карелина, И.В. Арифуллин, А.В. Терентьев//Вестник МАДИ. - 2018. № 1 (52)
96. Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие/ А.Э. Горев 5-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
97. Гудков, В.А. Взаимодействие видов транспорта: Учебное пособие/ В.А. Гудков, В.Н. Тарновский// - ПО «Полиграф»; Волгоград, 1994.- 104 с.
98. Гончарук О. В. Экономическая эффективность транспортно-технологических систем/О.В. Гончарук. - М.: Наука, 1991.-128с.
99. Клейнер, Г.Б. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегии, безопасность/ Г.Б. Клейнер, В.Л. Тамбовцев, Р.М. Качалов. Под общ. ред. Б.Г. Клейнера. - М.: Экономика, 1997.- 280 с.
100. Курганов В.М. Современный менеджмент. Теория и практика управления / В.М. Курганов//Монография. - М.: Книжный мир, 2004. -182 с.
101. Батурин, А.П. Оптимальное развитие транспортных систем/ А.П. Батурин. - М.: Транспорт, 1991. -176с.

102. Вельможин, А.В. Теория транспортных процессов и систем/ А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. -М.: Транспорт, 1998.-167с.

103. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. 4-е изд.: Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. - 1152 с.

104. Ногин, В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин. И.О. Протодяконов, И.И. Евлампиев. - М.: Высшая школа, 1986. - 383 с.

105. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -798 с

106. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. - М.: Наука, 1982. - С.9-64.

107. Саати, Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Л. Саати. Пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.

108. Петровский А.Б. Теория принятия решений. /А.Б. Петровский. - М.: Изд. центр «Академия», 2009, - 400 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Документы, подтверждающие практическую значимость исследования

**АКТ внедрения**

результатов диссертационного исследования

**Никитина Дмитрия Владимировича**

на тему: «Метод оптимизации структуры управления многоуровневыми логистическими транспортными экосистемами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.9.

**«Логистические транспортные системы»**

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационного исследования Никитина Дмитрия Владимировича внедрены в практическую деятельность Транспортно-экспедиционной компании «ФККГруп». В диссертационной работе разработан метод оптимизации структуры управления многоуровневыми логистическими транспортными экосистемами, основанный на использовании корреляционного анализа, методов имитационного моделирования и векторной оптимизации, что позволило создать научно-обоснованный подход к формированию организационно-технологических структур в условиях стохастической неопределенности и значительного влияния внешнего факторного пространства.

Результаты исследования были применены при решении задач повышения эффективности организации контейнерных перевозок и интеграции транспортных услуг, выполняемых Обществом в рамках мультимодальных логистических цепочек. Разработанные математические модели и алгоритмы обеспечили возможность учета слабокоррелированных связей между параметрами транспортного производства и позволили формировать устойчивые схемы взаимодействия терминалов, подвижного состава и автотранспортных звеньев. Это дало возможность повысить объективность оценки эффективности транспортных процессов, оптимизировать топологию взаимодействия участников транспортно-логистической системы и автоматизировать процессы выбора рациональных маршрутов перевозки.

Общество с ограниченной ответственностью  
«ФККГруп»  
Юридический адрес: 129626, г. Москва,  
ул. Мытищинская 3-я д. 10, стр. 7, эт. 1, пом. III, ком. 2  
e-mail: info@fkkgroup.ru  
Почтовый адрес: 129626, Москва, а/я 168  
Телефон: +7 (495) 150 06 95

БАНК: Московский Банк ПАО Сбербанк  
БИК: 044525225  
Р/с-чет: 4070281013800063437  
К/с-чет: 30101810408000000225  
ИНН: 7721783555  
КПП: 771701001  
ОГРН: 1127746558037

Предложенные научные решения использованы в ходе реализации проектов по развитию цифровых сервисов Транспортно-экспедиционной компании «ФККГруп» и внедрены в прикладные информационно-аналитические платформы, обеспечивающие управление контейнерными перевозками на пространстве Российской Федерации. Практическая значимость работы подтверждается применением разработанных методов при организации управления логистическими потоками, что способствует росту качества предоставляемых услуг, сокращению времени доставки и повышению устойчивости функционирования транспортной системы в целом.

Таким образом, можно констатировать, что результаты диссертационного исследования Никитина Дмитрия Владимировича имеют высокую научную и практическую ценность, направлены на совершенствование управления транспортно-логистическими процессами и успешно внедрены в деятельность Транспортно-экспедиционной компании «ФККГруп», обеспечив формирование эффективных управленческих решений в рамках цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации.

Директор по продажам  
ООО «ФККГруп»



/Д.Н.Коптев

11.09.2025

Общество с ограниченной ответственностью  
«ФККГруп»  
Юридический адрес: 129626, г. Москва,  
ул. Мытищинская 3-я д. 10, стр. 7, эт. 1, пом. III, ком. 2  
e-mail: info@fkggroup.ru  
Почтовый адрес: 129626, Москва, а/я 186  
Телефон: +7 (495) 150 06 96

БАНК: Московский банк ПАО Сбербанк  
БИК: 044525225  
Р/счет: 40702810138000063437  
К/счет: 30101810400000000225  
ИНН: 7721763555  
КПП: 771701001  
ОГРН: 1127746558037

УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения выс-  
шего образования «Государственный  
университет управления», к.э.н., доцент



Д.Ю.Брюханов

2 » сентября 2025 г.

**СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ  
результатов диссертационного исследования  
в учебный процесс**

Основные положения и методические разработки диссертационного исследования Никитина Дмитрия Владимировича на тему «Метод оптимизации структуры управления многоуровневыми логистическими транспортными экосистемами», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.9.9. Логистические транспортные системы, внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет управления».

Результаты диссертационной работы были использованы в процессе разработки рабочих программ учебных дисциплин по образовательная программа подготовки бакалавров «Логистика и управление цепями поставок» (направление подготовки 38.03.02 «Менеджмент»), а также при преподавании дисциплин в учебном процессе при чтении курса «Управление логистическими системами в условиях цифровой экономики», «Информационные системы в логистике», «».

Заместитель заведующего кафедрой  
управления транспортными комплексами

А.А. Степанов

Подпись Степанова А.А. заверяю.

Подпись

**УДОСТОВЕРЯЮ**

Зачи  
Нач. отдела кадров