

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова» (МГТУ им. Г.И. Носова)

На правах рукописи



**ОСИНЦЕВ НИКИТА АНАТОЛЬЕВИЧ**

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО  
РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ**

2.9.9. Логистические транспортные системы  
(технические науки)

Диссертация на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, доцент  
Рахмангулов Александр Нельевич

Магнитогорск – 2022

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ И ПРОБЛЕМЫ ИХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ</b>	<b>13</b>
1.1 Анализ современного состояния логистических цепей грузопотоков в России и за рубежом	13
1.2 Теории и концепции устойчивого развития логистических цепей грузопотоков	29
1.3 Обзор исследований в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков	44
1.4 Анализ проблем устойчивого развития логистических цепей грузопотоков и постановка задач исследования	59
Выводы по главе 1	68
<b>2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ</b>	<b>70</b>
2.1 Структура и функции логистических цепей грузопотоков	70
2.2 Исследование факторов устойчивого развития логистических цепей грузопотоков	75
2.3 Исследование практик использования «зелёных» технологий при управлении логистическими цепями грузопотоков в России и за рубежом	80
2.4 Исследование принципов управления логистическими цепями грузопотоков в рамках концепции устойчивого развития	90
Выводы по главе 2	97
<b>3. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ</b>	<b>99</b>
3.1 Систематизация принципов «зелёной» логистики	99
3.2 Систематизация методов и инструментов «зелёной» логистики	110
3.3 Выделение уровней управления логистическими цепями грузопотоков	119
3.4 Концепция устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов и инструментов «зелёной» логистики	125
Выводы по главе 3	131
<b>4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ЦЕПЯХ ГРУЗОПОТОКОВ</b>	<b>133</b>

4.1 Формализованное представление грузопотоков в логистических цепях	133
4.2 Систематизация параметров и показателей логистических потоков	136
4.3 Методика расчёта весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков	146
4.4 Система оценки параметров и показателей логистических потоков	159
Выводы по главе 4	173
<b>5. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ</b>	176
5.1 Многокритериальная модель оценки состояния элементов логистической цепи грузопотоков	176
5.2 Комбинированная многокритериальная модель ранжирования инструментов «зелёной» логистики	192
5.3 Математическая модель выбора инструментов «зелёной» логистики	203
5.4 Нечёткая модель оценки устойчивости логистических цепей грузопотоков	216
5.5 Методология устойчивого развития логистических цепей грузопотоков	221
Выводы по главе 5	227
<b>6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ</b>	230
6.1 Методика управления параметрами логистических потоков	230
6.2 Пример оперативного управления параметрами логистических потоков с использованием инструментов «зелёной» логистики	236
6.3 Пример многокритериального выбора интермодальных технологий в логистических цепях грузопотоков	243
6.4 Реализация стратегии устойчивого развития перерабатывающего элемента логистической цепи грузопотоков	250
Выводы по главе 6	261
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	263
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ</b>	267
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	269
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	311

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Увеличение мировых объёмов потребительского рынка, усиление тенденции на специализацию производства по странам привело к повышению внешне-торгового оборота с 2000 по 2020 гг. в 2,7 раза. Компании по всему миру стараются создать логистические цепи, которые позволят доставить продукцию на рынок качественнее, эффективнее и экономичнее, чем их конкуренты. Формирование таких цепей усложняется усилением требований государств и общества по достижению целей устойчивого развития (ЦУР) – комплекса экономических, социальных и экологических целей, принятых всеми странами и включённых в глобальную стратегическую программу «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года».

Сложность управления логистическими цепями грузопотоков в таких условиях заключается в изменении масштабов производственных и транспортных систем и усложнении структуры товаропотоков, многообразии механизмов по достижению ЦУР и повышении требований потребителей к качеству товаров и услуг. Кроме того, возникает необходимость изменения цепей грузопотоков под влиянием разнообразных внешних факторов. При увеличении товарооборота между странами перечисленные особенности становятся особо актуальными и для логистических транспортных систем, поскольку они являются сферой повышенных экологических и экономических рисков, потребляют невозполнимые природные ресурсы.

В России, занимающей по выбросам углекислого газа четвёртое место в мире и 75 место по Индексу эффективности логистики (LPI), достижение ЦУР напрямую связано с устойчивым развитием транспорта и транспортной инфраструктуры и закреплено в Транспортной стратегии РФ до 2030 года, при реализации базовой задачи №17 «Снижение негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду и климат в соответствии с принципами устойчивого развития», Указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. №

474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», Указе Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Результаты выполненного анализа позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время в России не сформирована методологическая база практической реализации концепции устойчивого развития применительно к логистическим цепям грузопотоков. Наличие противоречий между целями логистических транспортных систем, ориентированных, как правило, на максимизацию прибыли, обеспечение экономического роста и повышение качества обслуживания клиентов, с одной стороны, и целями устойчивого развития, дополнительно учитывающими экологические и социальные аспекты функционирования, приводят к снижению эффективности управленческих решений по достижению ЦУР логистических цепей грузопотоков. В связи с этим, формирование методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков является актуальной научно-практической проблемой.

### **Степень разработанности темы исследования**

Научный вклад в области логистики и управления цепями поставок внесли труды Б.А. Аникина, В.В. Дыбской, Р.Б. Ивутя, Ю.М. Неруша, В.И. Сергеева, А.П. Тяпухина, Н. Gleissner, Т. Gudehus, А. Gunasekaran, Н. Kotzab, R.D. Shapiro, Н.М Visser, D. Waters и многих других учёных.

Значительный вклад в решение основных проблем развития транспортных систем, методов организации и управления грузопотоками, транспортной логистики внесли работы В.И. Апатцева, В.В. Багиновой, А.Ф. Бородина, Г.В. Бубновой, В.Д. Герами, А.М. Гаджинского, А.Н. Гуда, Е.П. Дудкина, В.В. Зырянова, П.А. Козлова, В.М. Курганова, П.В. Куренкова, С.Н. Корнилова, Б.М. Лapidуса, О.Н. Ларина, Б.А. Лёвина, В.С. Лукинського, И.В. Макаровой, Э.А. Мамаева, Л.Б. Миротина, О.В. Москвичёва, В.А. Персианова, О.Д. Покровской, А.Н. Рахмангулова, С.М. Резера, В.М. Сая, А.В. Сладковского, Е.Н. Тимухиной, Н.А. Тушина, Л.С. Фёдорова, М.И. Шмулевича, В.Я. Цветкова, О.Н. Числова, Ю.А. Щербанина, J.P. Rodrigue и многих других учёных.

Научной основой решения проблем в области устойчивого развития в диссертационной работе являлись труды С.Н. Бобылева, В.И. Данилова-Данильяна, А.С. Мартынова, Е.И. Павловой, Н.В. Пахомовой, Т.В. Усковой, А.А. Чеботаева, D.J. Banister, I. Dincer, E.U. von Weizsacker и многих других учёных.

В области «зелёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок научной базой являются труды М.Н. Дудина, М.А. Журавской, Д. Иванова, А.А. Кизима, В.П. Мешалкина, И. Н. Омельченко, F.T.S. Chan, B. Fahimnia, P. Golinska, K. Govindan, D.B. Grant, A. Gunasekaran, M. Klumpp, T. Litman, C. Macharis, M. Millar, A. McKinnon, P.R. Murphy, J. Sarkis, S.K. Srivastava, Q. Zhu и многих других учёных.

В области исследования операций и использования многокритериальных методов принятия управленческих решений в диссертации нашли применение труды О.И. Ларичева, В.Г. Халина, Г.В. Черновой, A. Alinezhad, V. Belton, Ching-Lai Hwang, A. Mardani, N. Munier, D. Pamucar, T.L. Saaty, Z. Stević, Kwangsun Yoon, E.K. Zavadskas и многих других учёных.

Анализ трудов отечественных и зарубежных учёных показал, что в настоящее время наблюдается процесс накопления и реализации частных решений по снижению негативного нагрузки логистических транспортных систем на окружающую среду, недостаточно изучены подходы к оценке логистических потоков с позиции концепции устойчивого развития, а также модели и методики выбора наиболее эффективных «зелёных» решений, учитывающие множество факторов внешней и внутренней среды функционирования логистических цепей грузопотоков. Необходимы исследования по систематизации данных знаний и формированию научно-технических решений устойчивого развития логистических цепей в условиях изменения характеристик грузопотоков и повышения экологизации транспортно-логистических процессов.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков с использованием принципов и инструментов «зелёной» логистики для эффективного продвижения

грузопотоков при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду.

Основными задачами исследования являются:

1. Анализ научного, методологического и практического опыта использования «зелёных» технологий при управлении логистическими цепями грузопотоков.
2. Исследование факторов, влияющих на устойчивое развитие логистических цепей грузопотоков.
3. Разработка концепции устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов «зелёной» логистики.
4. Разработка системы методов и инструментов «зелёной» логистики на различных уровнях управления логистическими цепями грузопотоков.
5. Обоснование системы параметров и показателей логистических потоков для оценки соответствия цепей поставок целям устойчивого развития.
6. Разработка комплекса многокритериальных и оптимизационных моделей принятия решений по использованию методов и инструментов «зелёной» логистики в логистических цепях грузопотоков.
7. Разработка методики управления параметрами логистических потоков для достижения целей устойчивого развития.
8. Оценка эффективности решений по устойчивому развитию логистических цепей грузопотоков на различных уровнях управления.

**Научная новизна исследования** состоит в разработанной впервые методологии устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе использования принципов и инструментов «зелёной» логистики, а именно:

1. Обоснована система принципов «зелёной» логистики, представляющая синтез логистических принципов и принципов устойчивого развития, основанный на идее достижения баланса между экономической, экологической и социально-культурной устойчивостью логистической цепи грузопотоков.
2. Разработана система методов и инструментов «зелёной» логистики, основанная на использовании структурно-функционального подхода к выделению у

элементов логистических цепей грузопотоков основных (базисных) и поддерживающих функций.

3. Предложена система параметров и показателей логистических потоков для оценки соответствия цепей поставок целям устойчивого развития.

4. Разработана методика комплексной оценки веса параметров и показателей логистических потоков, основанная на использовании теорий нечётких множеств и серых систем.

5. Разработана комбинированная многокритериальная модель принятия решений по выбору инструментов «зелёной» логистики, объединяющая комплекс многокритериальных моделей оценки элементов логистической цепи грузопотоков, оценки параметров и показателей логистических потоков и ранжирования инструментов «зелёной» логистики.

6. Разработана математическая модель выбора оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики и расчёта их параметров.

7. Разработана нечёткая модель и методика комплексной оценки взаимосвязи параметров и показателей логистических потоков для приведения их в соответствие с целями устойчивого развития.

8. Предложен новый подход к формированию системы управления логистическими цепями грузопотоков, основанный на реализации концепции устойчивого развития логистических цепей грузопотоков с использованием принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики и многокритериальных моделей принятия управленческих решений.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

**Теоретическая значимость** заключается в разработке методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков, включающих в себя принципы и инструменты «зелёной» логистики, комплекс методов и моделей принятия решений на различных уровнях управления логистическими системами, обеспечивающих достижение целей устойчивого развития.

**Практическая значимость** диссертации состоит в:



- использовании методик и алгоритмов комплексной оценки и ранжирования элементов логистических цепей грузопотоков, а также параметров и показателей логистических потоков на соответствие целям устойчивого развития;
- возможности реализации инструментов «зелёной» логистики на основе методик многокритериального анализа и определения оптимальных параметров инструментов;
- применении методики оперативного управления логистическими потоками на основе изменения значений их параметров в различных логистических цепях грузопотоков;
- формировании эффективной стратегии устойчивого развития элементов логистических цепей грузопотоков.

### **Методология и методы исследования**

Для решения поставленных задач в исследовании использовались структурно-функциональный и системный анализ; методы математической статистики и экспертных оценок; методы теорий нечётких множеств и серых систем; методы математического моделирования; многокритериальные методы принятия решений.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Теоретико-методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе использования принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики.
2. Синтезированная система принципов «зелёной» логистики как основа достижения экономических, социальных и экологических целей логистических цепей грузопотоков.
3. Система методов и инструментов «зелёной» логистики как элемент управления логистическими цепями грузопотоков для достижения экономических, социальных и экологических целей.

4. Двухуровневая иерархическая система параметров и показателей логистических потоков для оценки соответствия цепей грузопотоков целям устойчивого развития.

5. Методика определения веса параметров и показателей логистических потоков, основанная на использовании теорий нечётких множеств и серых систем.

6. Методы и методики управления логистическими цепями грузопотоков как комплекс математических и комбинированных многокритериальных моделей принятия решений по оптимизации параметров логистических потоков с использованием инструментов «зелёной» логистики.

7. Методологические основы формирования системы управления логистическими цепями грузопотоков на основе реализации принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики в совокупности с многокритериальными моделями принятия решений.

### **Степень достоверности и апробация результатов исследования**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: представительным объёмом статистической информации, экспериментальных и расчётных данных; согласованностью данных, полученных различными методами исследования; результатами обсуждения материалов исследования на научно-технических и практических конференциях; положительными результатами применения основных научно-методических положений диссертации.

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении научно-исследовательских работ по заказу ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ПАО «Ураласбест» и ООО «Дельта». Заслушаны на заседании Регионального стратегического комитета, посвящённому разработке стратегии социально-экономического развития Челябинской области на период до 2035 года.

Исследования, выполненные автором, поддержаны грантами Правительства Челябинской области (2004, 2007 г.), МГТУ им. Г.И. Носова (2011 г.). Результаты диссертации в части разработки принципов формирования компетенций для

устойчивого развития выполнены при финансовой поддержке и в рамках международного образовательного проекта Евросоюза TEMPUS EcoBRU «Экологическое образование для Беларуси, России и Украины» (543707-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES). Результаты диссертации в части разработки «зелёных» технологий управления устойчивыми цепями поставок, использования комбинированных многокритериальных моделей и методов при управлении транспортными системами выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашения №23-21-10038 и 23-11-00164).

Теоретические и практические результаты диссертации внедрены в образовательный процесс кафедры логистики и управления транспортными системами ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» при подготовке бакалавров по направлению 38.03.02 «Менеджмент (Логистика)»; инженеров путей сообщения по специальности 23.05.42 «Эксплуатация железных дорог (Промышленный транспорт)» и магистров по направлению подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов (Организация перевозок и управление в единой транспортной системе)» по дисциплинам «Зелёная логистика» и «Международные перевозки».

Основные положения и научные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях: IV всероссийская конференция «Проблемы повышения экологической и промышленной безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов» (МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, 2004); международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры транспорта и технологий перевозочного процесса в современных условиях» (ДВГУПС, г. Хабаровск, 2007); III межрегиональная научно-практическая конференция «Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития» (Волжский филиал МАДИ, г. Чебоксары, 2009); международная конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов» (ПГУПС, г. С.-Петербург, 2011); IV международная научно-практическая конференция «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России» (СибГИУ, г. Новокузнецк, 2012); международная научно-техническая конференция «Актуальные про-

блемы современной науки, техники и образования» (МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, 2014-2022); IV научно-техническая конференция с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015)» (НИИАС, г. Москва, 2015); международная научная конференция «Transport Problems» (Силезкий технологический университет, г. Катовице, Польша, 2014, 2017, 2019); международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг» (ЮУрГУ, г. Челябинск, 2016-2017); международная научная конференция «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» (МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Белоруссия, 2017-2018); II международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление» (РГУПС, г. Ростов-на-Дону, 2018); XLII международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (КазАТК им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан, 2018); I международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (ЛГТУ, г. Липецк, 2018); международная научная конференция Хачатуровские чтения – «Современные тренды экологически устойчивого развития» (МГУ, г. Москва, 2018-2019), X международная конференция «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу – 2019» (МГТУ, г. Магнитогорск, 2019); III всероссийская научно-практическая конференция «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие» (АО «ЮГК» – ИПКОН РАН, г. Челябинск, 2022); VI международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и операционного управления» (РГУПС, г. Ростов-на-Дону, 2022).

# **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ И ПРОБЛЕМЫ ИХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

## **1.1 Анализ современного состояния логистических цепей грузопотоков в России и за рубежом**

Логистические цепи грузопотоков (ЛЦГ) – важный элемент глобальных производственно-сбытовых цепей (ГПСЦ). Увеличение объёмов потребления в мировой экономической системе делает ГПСЦ и цепочки поставок (ЦП) ключевыми источниками конкурентоспособности и дифференциации продукции предприятий. ГПСЦ способствуют росту доходов, создают рабочие места и сокращают уровень бедности [88, 247, 261]. Компании по всему миру стараются создать мощные и устойчивые цепи поставок, которые позволят доставлять продукцию на рынок качественнее, эффективнее и экономичнее, чем их конкуренты. Поэтому цепи поставок становятся главной движущей силой мировой экономики, стимулом для расширения бизнеса, генератором доходов и прибыли [329].

Несмотря на многовековое существование ГПСЦ, их быстрый рост пришёлся на конец XX начало XI века (1990-2007 гг.), когда технический прогресс в сфере транспорта, информации и связи, а также снижение торговых барьеров служили производителям стимулами к распространению производственных процессов за пределы национальных границ [30]. Наиболее интенсивно ГПСЦ развивались в машиностроении, электронной промышленности и транспортной отрасли в Восточной Азии, Западной Европе и Северной Америке. Страны этих регионов входят в сложные ГПСЦ, производящие современные промышленные товары и услуги, и участвуют в инновационной деятельности (рис. 1.1). На протяжении продолжительного периода многие страны Центральной Африки, Центральной Азии и Латинской Америки выступали в качестве производителей сырьевых потоков, которые затем направлялись на переработку в другие страны. Однако, по оценкам Всемирного Банка [245], в последнее время показатели участия в ГПСЦ из данных регионов повышаются. Согласно оценкам [30], повышение показателя уча-

ствия в ГПСЦ на 1 процент увеличивает доход на душу населения в 5 раз больше, чем обычная торговля (1 процентный пункт против 0,2 процентного пункта). Вместе с тем переход стран к другим формам участия в ГПСЦ (от обрабатывающих производств к инновационной деятельности) предъявляет более жесткие требования к политике привлечения прямых иностранных инвестиций, либерализации внутренней торговли, совершенствованию логистической инфраструктуры и транспортных систем, изменению норм трудового законодательства и требований к окружающей среде.

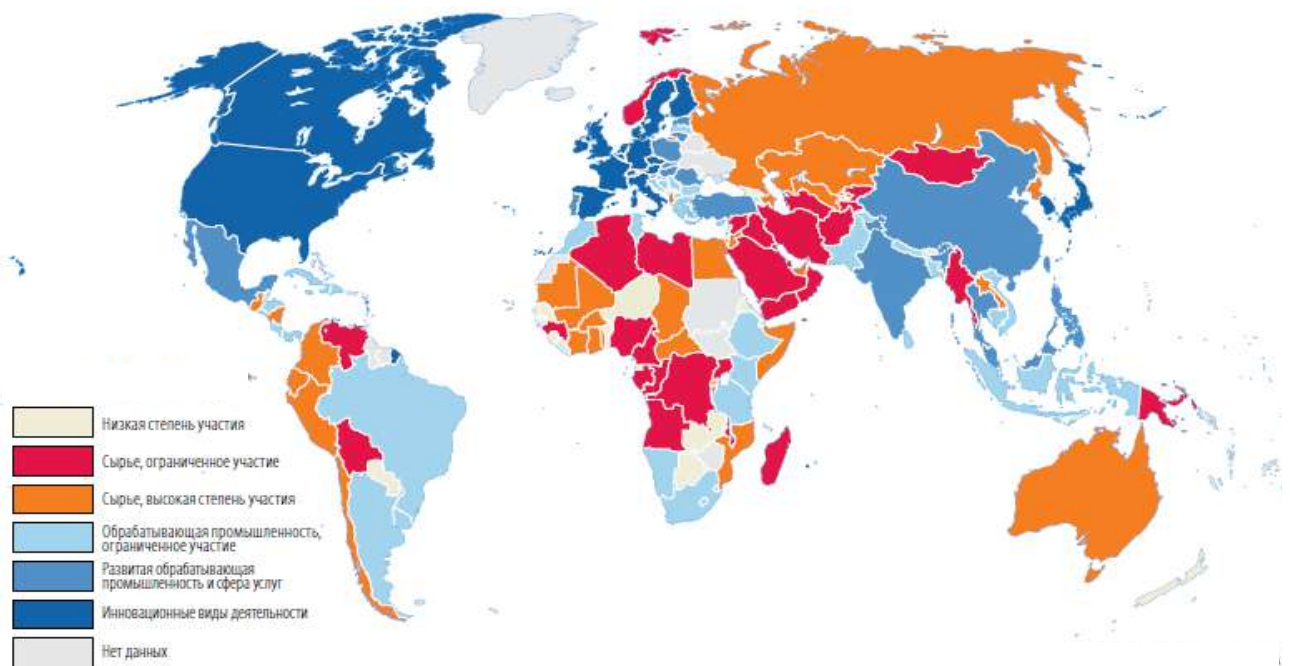


Рисунок 1.1 – Степень участия стран в ГПСЦ [30]

Анализ объёмов торговых потоков в мировой экономической системе показывает их следующую динамику: плавное увеличение до конца 1990-х годов; резкий рост с начала 2000-х; резкое снижение после экономического кризиса 2008 года [429]. В последние годы наблюдается постепенное восстановление объёмов перевозок грузов в транспортной системе. Мировой экспорт коммерческих услуг и мировой экспорт товаров с 1995 по 2014 год увеличился, соответственно, с 1,179 до 4,872 и с 5,168 до 19 млрд долл. США [430]. Прогнозные значения объёмов мирового рынка логистических услуг в 2022 году будут составлять порядка 12,25 трлн долл. США [318].

Мировая транспортная система неоднородна, в ней выделяют зоны экономически развитых и развивающихся стран, несколько региональных систем: Северной Америки, Европы, СНГ, Азии, Латинской Америки, Австралии [17]. На рис. 1.2 представлены квартальные объёмы экспорта и импорта товаров, которые показывают динамику роста объёмов в развитых и в развивающихся странах. Наиболее быстрые темпы расширения торгово-экономических связей наблюдаются между Китайской Народной Республикой (КНР) и странами Европейского союза (ЕС). Повышение благосостояния населения КНР, активная урбанизация страны делают импортный рынок КНР все более привлекательным для сбыта продукции из Евросоюза [398].

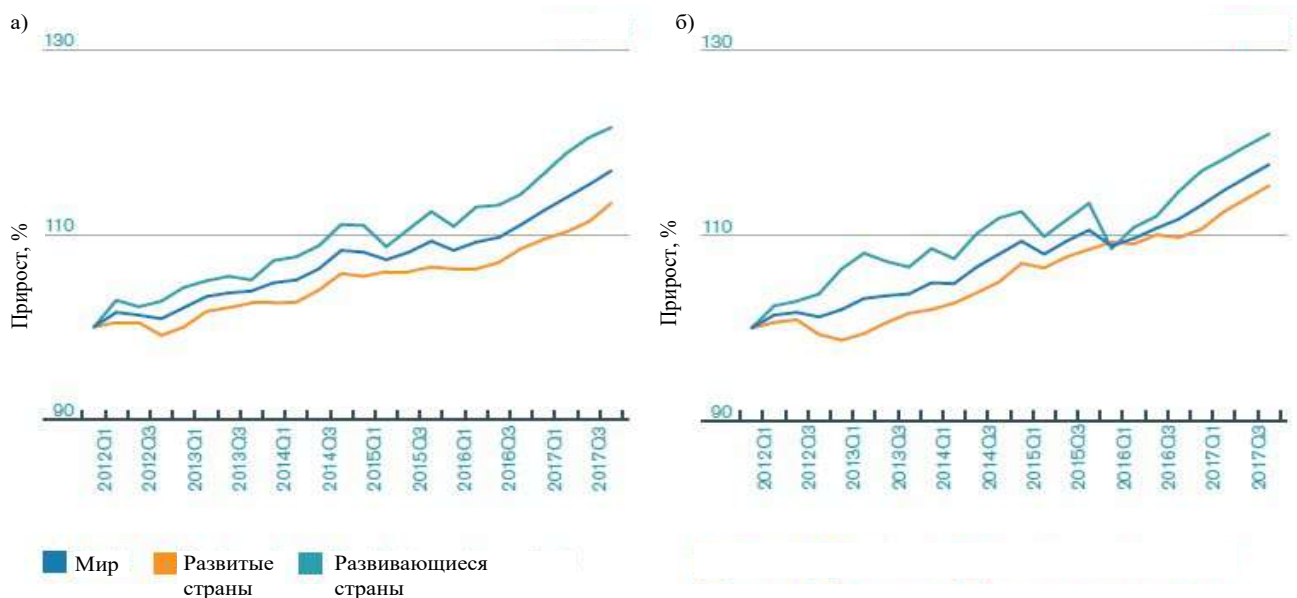


Рисунок 1.2 – Динамика экспорта (а) и импорта (б) по уровню развития стран, 2012-2017 гг. [428]

Товарная структура грузопотоков в мировой транспортной системе в 2020 году представлена на рис. 1.3-1.4. Наибольший объём перевозок приходится на товары долгосрочного пользования, промежуточные товары и товары народного потребления, которые в структуре мирового экспорта и импорта доходят до 45% от общего объёма [398]. Кроме того, в структуре мирового товарооборота наблюдается рост объёмов перевозок между странами Евросоюза и КНР. Быстрыми темпами происходит увеличение объёмов поставок различных продовольственных товаров.

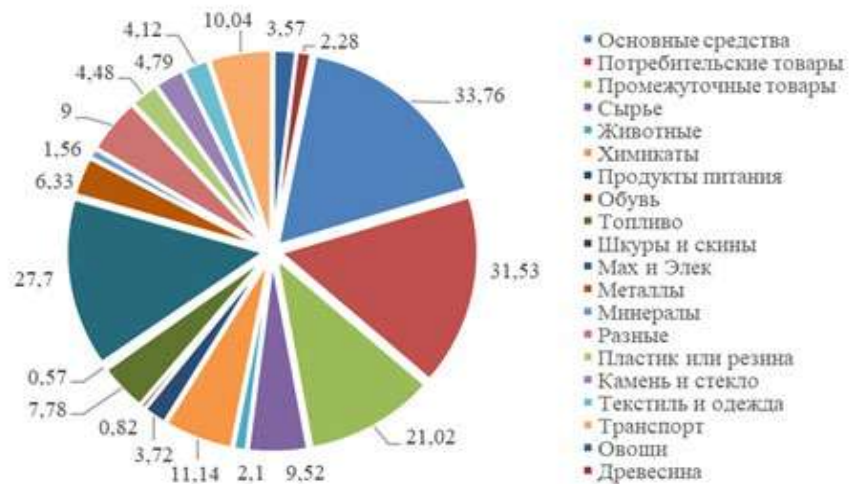


Рисунок 1.3 – Структура мирового экспорта по группам товаров

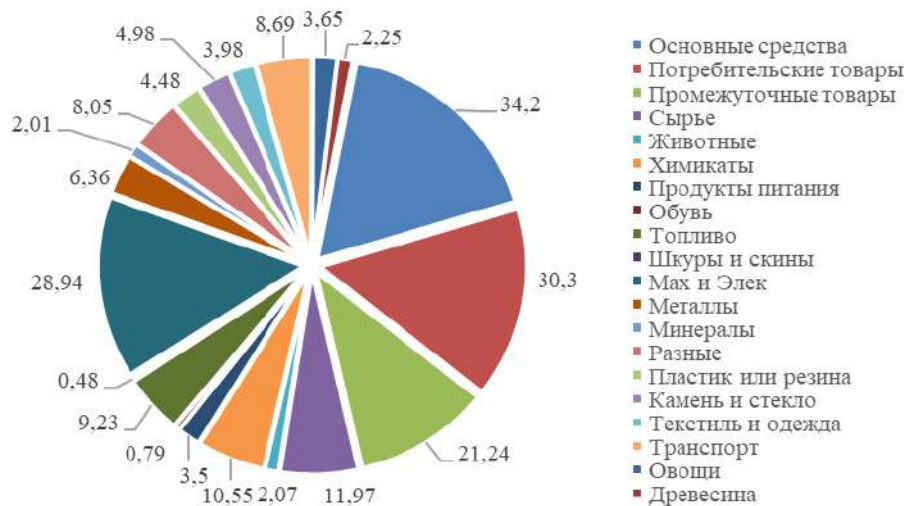


Рисунок 1.4 – Структура мирового импорта по группам товаров

Доля России в мировой торговле за последние двадцать лет составила 2,16% по экспорту (при минимальных показателях 1,23% в 1999 году и максимальном 5,93% в 1992 году) и 1,65% по импорту (при минимальных показателях 0,75% в 1999 году и максимальном 4,69% в 1992 году) [409]. Существенное отличие мирового экспортного и импортного рынка за период 2005-2019 гг. заключается в снижении доли экспорта РФ при увеличении доли импорта в РФ. В 2019 году экспорт из России снизился на 6,5%, а импорт увеличился на 1,86% по сравнению с 2018 годом.



Товарооборот в России в 2019 году составил 666,5 млрд долл. США, уменьшившись по сравнению с 2018 годом на 3,1%. Показатели экспорта и импорта за 2019 год составили 422,7 и 243,7 млрд долл. США соответственно [165]. Особенности товарной структуры экспорта и импорта России (значительная доля в экспорте минеральных продуктов, в среднем 59% с 2001 по 2019 гг., и относительно равномерная структура импорта по группам товаров) оказывают влияние на формирование глобальных цепей поставок и интеграции в них российской транспортной системы (рис. 1.5). Основными экономическими партнерами России являются КНР, страны Европейского союза (Германия, Италия, Франция, Нидерланды и др.) и страны Таможенного союза ЕАЭС (Белоруссия, Казахстан), с которыми у РФ существуют все виды транспортных сообщений.

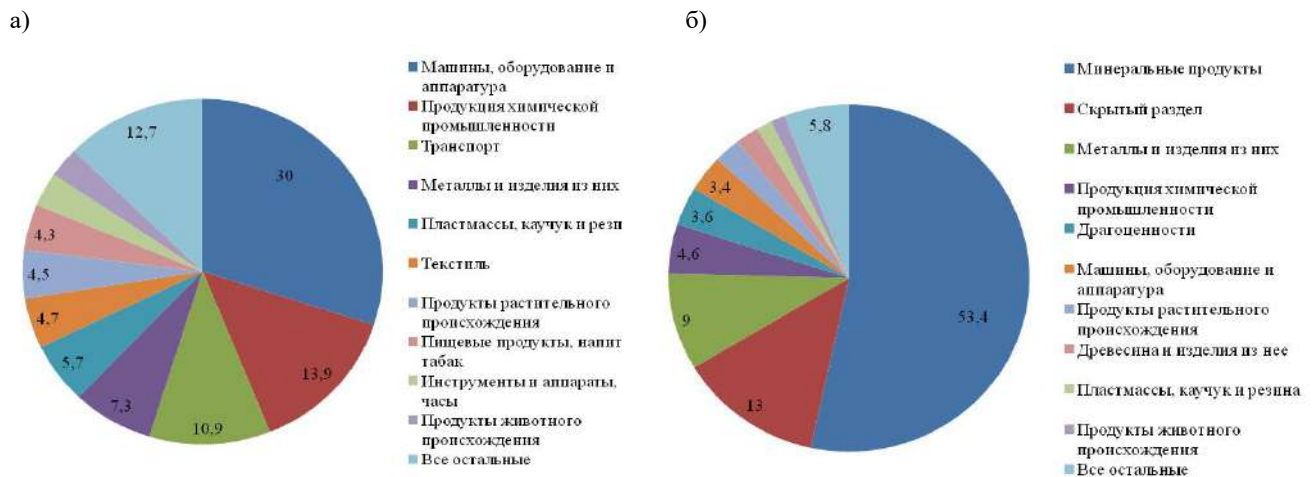


Рисунок 1.5 – Структура импорта (а) и экспорта (б) в России, 2019 год

Развитию мировой торговли способствует интенсивная реализация Инициативы «Один пояс – Один путь» (One Belt – One Road – OBOR) [345], основанная на интеграции экономик 65 стран в рамках конкретных транспортно-экономических проектов «Экономический пояс Шёлкового пути» и «Морской шёлковый путь XXI века» [76]. Инициатива подразумевает организацию транспортных, энергетических, торговых коридоров между странами Азии и Европы, культурный обмен и развитие туризма, а также создание зоны свободной торговли [204]. Основной целью OBOR является ускорение товарооборота между КНР и

странами Европы в результате создания новых транспортных коридоров, альтернативных транспортному сообщению через Суэцкий канал [353].

В 2017 году на долю стран, по территории которых проходят международные транспортные коридоры, способствующие реализации инициативы «Один пояс – Один путь», пришлось около 40% мирового экспорта товаров, что превышает показатель 2000 года в пять раз [186]. Страны-участники транспортных коридоров добились значительных результатов в привлечении инвестиций, глобальной интеграции в сфере торговли и участии в ГПСЦ [186]. Однако эти достижения между странами и регионами распределены неравномерно. Для России основными сдерживающими факторами эффективной реализации проекта «Экономический пояс Шёлкового пути» являются: различие в ширине железнодорожной колеи в КНР, ЕС, России и Казахстане; необходимость значительных инвестиций в развитие наземной инфраструктуры, длительные сроки окупаемости инвестиций; более высокие операционные затраты при доставке грузов железнодорожным транспортом, по сравнению с морскими перевозками; дополнительные операционные расходы, связанные с порожним пробегом железнодорожных вагонов; слабое развитие интермодальных технологий, низкий уровень контейнеризации; слабое развитие транспортно-логистической структуры в РФ; недостаток перерабатывающей способности и вместимости логистических центров [173, 398], а также обеспечение экологической устойчивости транспортных коридоров [96, 98].

Положительная динамика торговли и развитие экономики стран отражается на объёмах инвестиций в транспортную инфраструктуру. Размер инвестиций в транспортный сектор составляет половину всех мировых инфраструктурных расходов и достигает в настоящее время около 1,292 трлн долл. США. и увеличится до 2 трлн долл. США в 2040 году [123]. Наибольшая доля инвестиций приходится на развитие автомобильной дорожной инфраструктуры и составляет 64,7% (рис. 1.6).

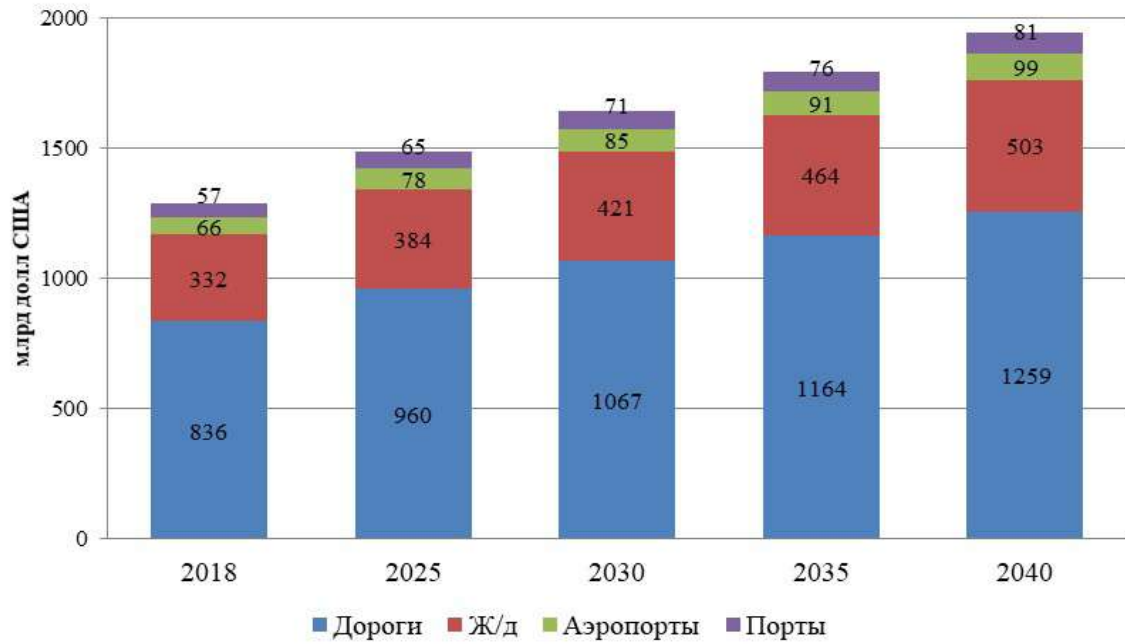


Рисунок 1.6 – Динамика инвестиции в транспортную инфраструктуру, млрд долл. США [123]

По объёмам инвестиций в транспортный сектор Россия занимает 11 место, значительно уступая лидерам – КНР, США, Японии и ряду стран ЕС и, по оценкам [123], к 2040 году Россия будет испытывать дефицит финансирования инфраструктуры. В настоящее время в РФ реализуются крупные национальные проекты «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» (общий бюджет 6,4 трлн руб.) и «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (бюджет 4,8 трлн руб.), направленные на развитие железных и автомобильных дорог, аэропортовой и портовой инфраструктуры, судоходства, транспортно-логистических центров и др.

Состояние логистических транспортных систем России после влияния пандемии COVID-19, санкционная политика стран Запада, уход с отечественного рынка ведущих мировых производителей, технологическая изоляция требуют трансформации логистических цепей грузопотоков. В работе [119] выполнен анализ функционирования логистических транспортных систем и определены векторы их развития, включающие ориентацию на внутренние рынки РФ, Азиатские регионы и Латиноамериканские страны; развитие интеллектуального капитала;

логистики 5PL; использование мер государственной поддержки; а также переход от традиционных коммерческих моделей в пользу новых экосистемных подходов. Авторы [154] предлагают варианты трансформации транспортно-логистических систем и цепей поставок в меняющихся условиях внешней и внутренней среды.

Результаты анализа основных показателей работы транспортной системы России показывают рост численности парка грузовых транспортных средств (за исключением морских судов) (рис. 1.7), увеличение грузооборота при незначительном росте объёмов перевозок (рис. 1.8) [151]. Наблюдается старение парка, увеличение объёма выбросов вредных веществ, а также слабые темпы развития транспортной и логистической инфраструктуры.

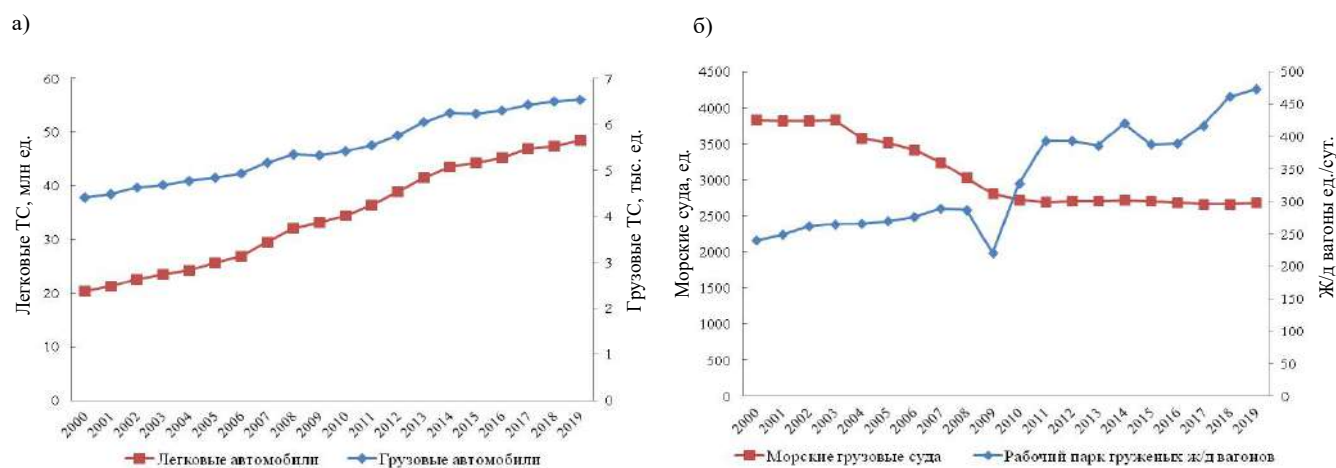


Рисунок 1.7 – Изменение численности транспортных средств в РФ, 2000-2019 ГОДЫ

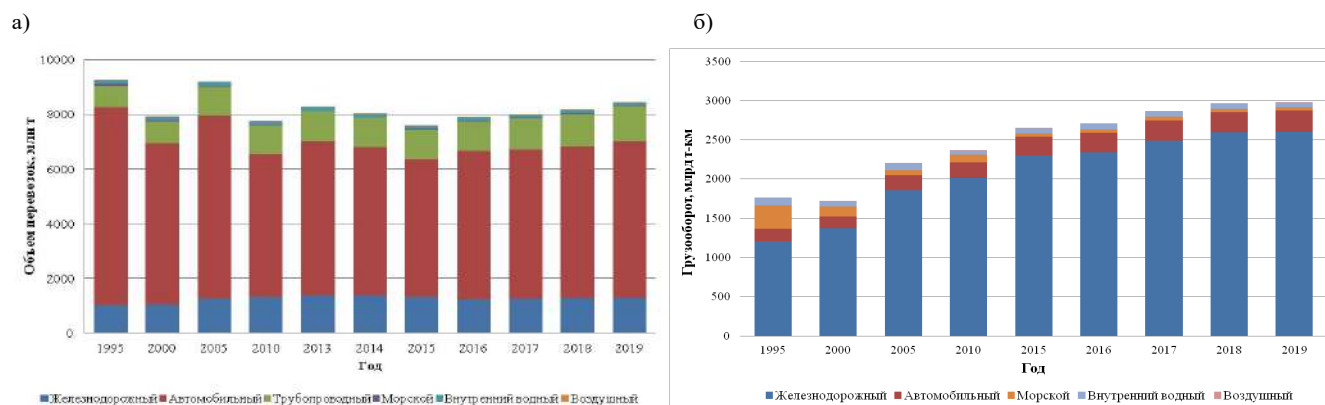


Рисунок 1.8 – Изменение объёма перевозок грузов (а) и грузооборота (б) в РФ, 1995-2019 годы

Особенностью автомобильных перевозок в РФ, несмотря на значительную протяженность страны с Запада на Восток, является перевозка грузов на небольшие расстояния. При высокой доле автотранспорта в структуре объема перевозок (68%) его доля в структуре грузооборота составляет около 9%. Для сравнения, в США и КНР при сопоставимой доле автотранспорта в структуре объема перевозок (60-75%), доля в структуре грузооборота в этих странах достигает соответственно 40 и 34% [82].

Железнодорожные грузовые перевозки характеризуются высоким показателем средней дальности перевозок. Это объясняется географическим расположением грузоотправителей в центре страны и грузополучателями, находящимися на границах или транспортировкой грузов на экспорт. По результатам проведенной реформы на железнодорожном транспорте большая часть вагонного парка принадлежит частным операторскими компаниям, что снижает эффективность управления вагонопотоками и показывает нерациональное использование вагонного парка [5, 94, 129, 184, 203]. Это приводит к росту порожних пробегов вагонов, увеличению времени оборота, снижению пропускной способности железнодорожных станций [91, 129, 249, 327]. Среднее время оборота вагонов составляет 15 суток.

На долю морского и внутреннего водного транспорта России приходится 3,3% от общего грузооборота [165], в то время как в КНР и США значение данного показателя доходят до 50% и 10% соответственно [82].

Доля России в структуре мирового контейнерооборота составляет 0,6% или 4,6 млн TEU и далеко отстает от лидера – КНР 31,2% (213,7 млн TEU) [82]. Уровень контейнеризации перевозок в стране остается низким (34,6%) по сравнению с мировыми лидерами (КНР – 73%, ЕС – 70,6%, США – 68,8%) [148], однако наблюдается положительная динамика роста контейнерных перевозок около 6-8% в год [150].

В 2019 году в РФ был установлен рекорд производства грузовых вагонов – 79,6 тыс. вагонов. По состоянию на начало 2020 года парк грузовых вагонов в РФ

составил 1,168 млн ед., из них 11,6% инновационных вагонов. Средний возраст вагонов в РФ составляет 12,3 года, 85,2% вагонов принадлежат частным собственникам [28]. Избыток парка грузового подвижного состава на сети железных дорог создает технологические риски и снижает эффективность перевозочного процесса [42].

Численность грузовых автомобилей в РФ на начало 2020 года составила 2,565 млн ед., из них 66,1% транспортные средства отечественного и 33,9% иностранного производства [18]. Основная часть грузового автомобильного парка РФ – это транспортные средства, находящиеся в эксплуатации более 10 лет (61,2%) и от 5 до 10 лет (18%) [151]. Старение парка грузовых автомобилей и высокая доля автомобилей отечественного производства, не соответствующих экологическим стандартам, снижают надёжность и эффективность их эксплуатации и увеличивают негативное воздействие на окружающую среду.

Единственным видом транспорта в РФ, где наблюдается снижение численности подвижного состава, является морской транспорт – с 2005 по 2017 годы количество морских судов сократилось с 3574 до 2718. Парк подвижного состава является наиболее возрастным – только 7,9% от общего количества судов со сроком эксплуатации до 5 лет, 76,1% – морские суда возрастом более 20 лет [151].

По протяженности путей сообщения (внутренних водных путей, железнодорожных путей общего пользования и автомобильных дорог) Россия входит в пятерку мировых лидеров и занимает соответственно второе, третье и пятое места в мире. В 2019 году данные показатели составили 101 тыс. км на внутреннем водном транспорте, 87 тыс. км на железнодорожном и 1,54 млн км на автомобильном транспорте [165]. Однако качество транспортных коммуникаций и темпы его повышения уступают мировым лидерам. Так, доля автомобильных дорог, не отвечающих нормативным требованиям, составляет в среднем по РФ в региональном сообщении 55,8% и местном сообщении 48% (рис. 1.9). Данный показатель имеет высокую неравномерность по регионам и областям: в местном сообщении максимальные значения показателя в Архангельской области – 96% несоответствия, и минимальные в Челябинской области – 5,3%, в региональном сообщении макси-

мальное несоответствие в Республике Марий Эл – 94,3%, минимальное в Москве – 3% [165].

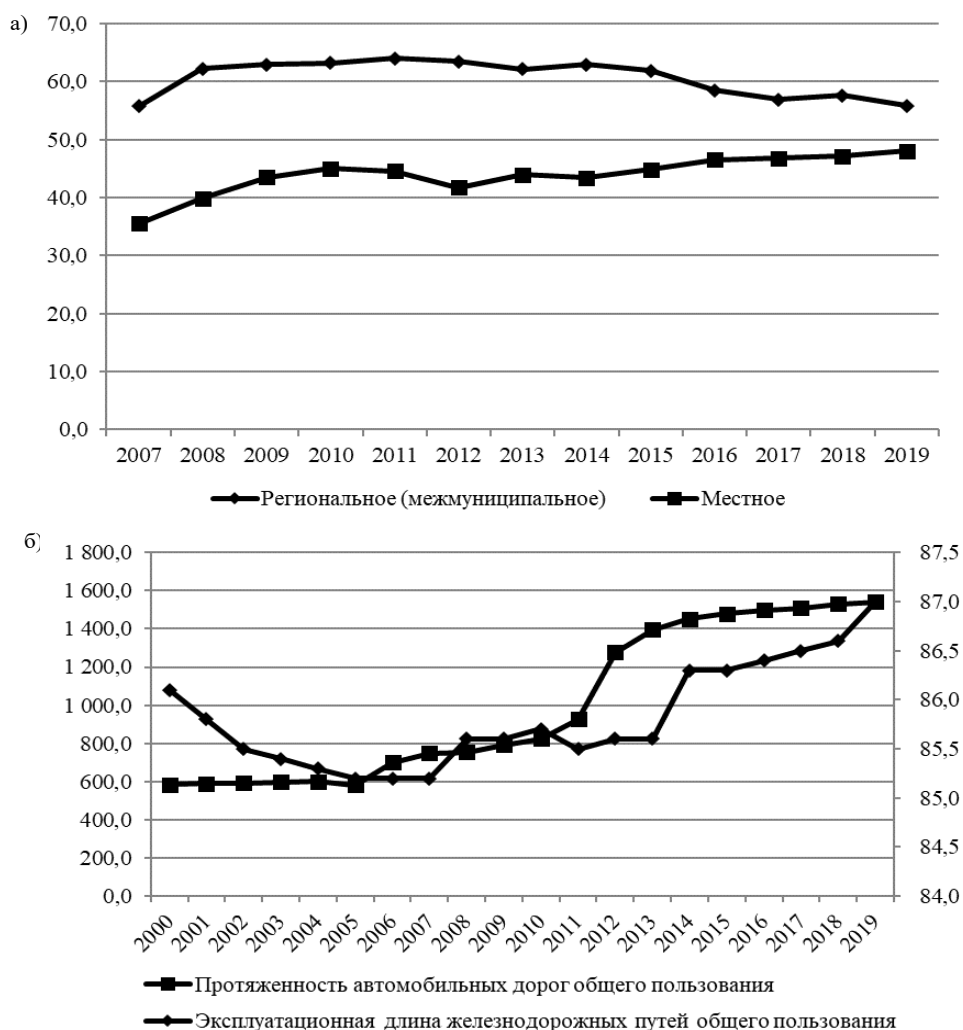


Рисунок 1.9 – Динамика доли дорог, не отвечающих нормативным требованиям (а) и протяженности дорог (б) в РФ, 1995-2019 годы

По оценкам World Economic Forum за период 2006-2019 годы среднее значение показателя качества дорог (The road quality indicator) в РФ составило 2,65 (где 1 – низкое, 7 – высокое значение показателя). Незначительный рост показателя с 2,19 (2006 год) до 3,5 (2019 год) характеризует слабую динамику улучшения качества дорожной инфраструктуры и показывает отставание РФ от среднемировых показателей, равных 4,07 (99 место РФ в общемировом рейтинге) [409].

Оценка логистической деятельности в России с использованием индекса логистической эффективности (Logistics Performance Index – LPI), предложенного Всемирным банком, показывает значительное отставание России от развитых

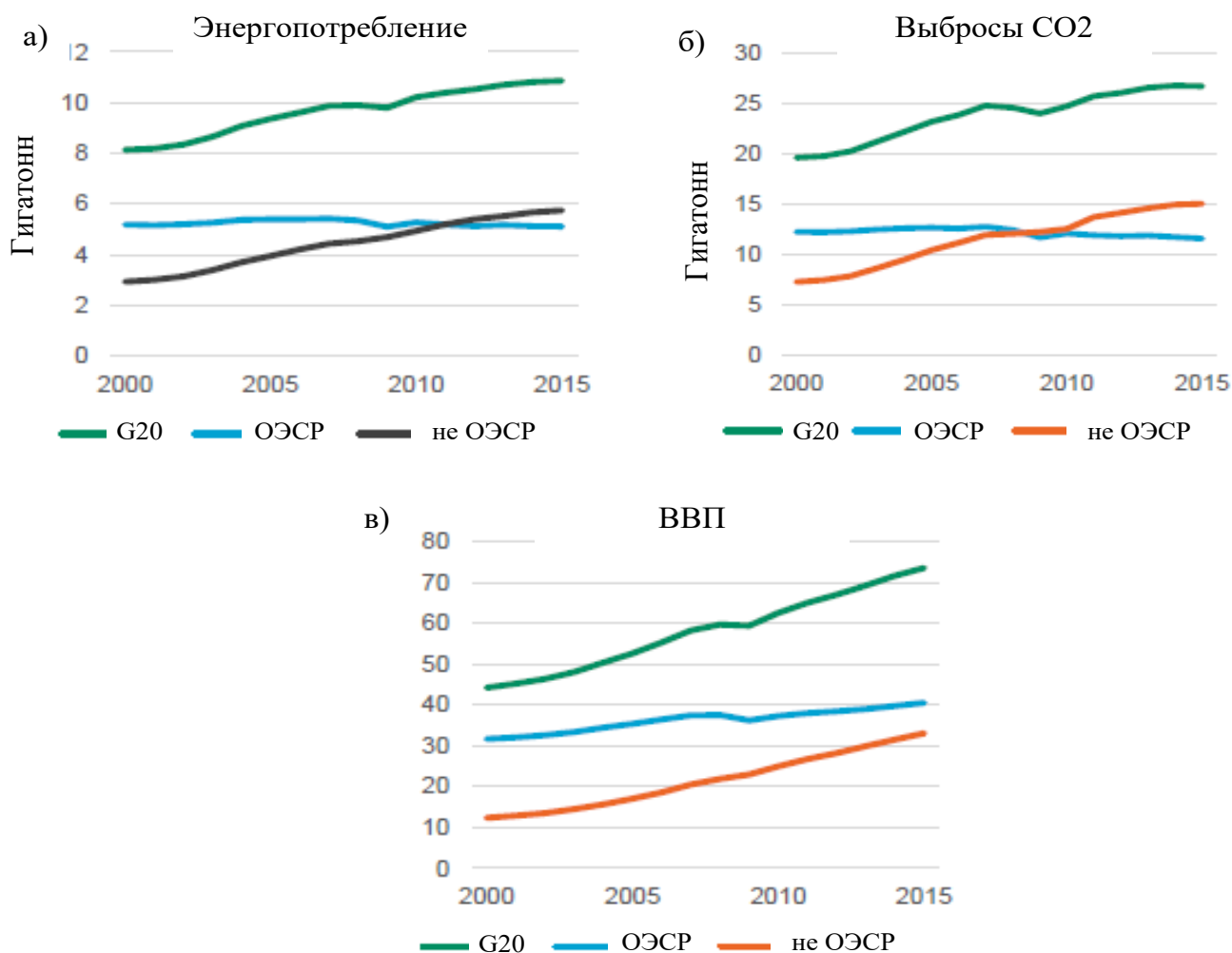
стран. По результатам оценки LPI в 2018 году Россия заняла 75 место из 160 (табл. 1.1). Изменения значения индекса LPI в России за последние 10 лет с 2,37 до 2,76 [295] характеризуют слабые темпы развития транспортной системы и логистической инфраструктуры в стране.

Таблица 1.1 – Рейтинг стран по индексу логистической эффективности (LPI) за 2018 год [295]

Страна	Значение LPI	Рейтинг						
		Общ-ций	Тамо-женное регулирование	Инфра-структура	Отслежи-ваемость грузов и транспорта	Простота междуна-родных перевозок	Качество логисти-ческого сервиса	Свое-временность
Германия	4.20	1	1	1	4	1	2	3
Швеция	4.05	2	2	3	2	10	17	7
Бельгия	4.04	3	14	14	1	2	9	1
Австрия	4.03	4	12	5	3	6	7	12
Япония	4.03	5	3	2	14	4	10	10
Нидерланды	4.02	6	5	4	11	5	11	11
Сингапур	4.00	7	6	6	15	3	8	6
Дания	3.99	8	4	17	19	9	3	2
Великобритания	3.99	9	11	8	13	7	4	5
Финляндия	3.97	10	8	11	16	15	1	8
ОАЭ	3.96	11	15	10	5	13	13	4
Гонконг	3.92	12	9	15	8	12	15	15
Швейцария	3.90	13	16	9	20	11	5	13
США	3.89	14	10	7	23	16	6	19
Новая Зеландия	3.88	15	13	13	27	8	16	9
Франция	3.84	16	19	12	17	17	12	14
Испания	3.83	17	17	19	6	18	19	20
Австралия	3.75	18	7	16	40	21	20	21
Италия	3.74	19	23	18	21	24	18	17
Канада	3.73	20	18	21	30	14	21	22
...	...	...	...	...	...	...	...	...
КНР	3.61	26	31	20	18	27	27	27
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Казахстан	2.81	71	65	81	84	90	83	50
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Россия</b>	<b>2.76</b>	<b>75</b>	<b>97</b>	<b>61</b>	<b>96</b>	<b>71</b>	<b>97</b>	<b>66</b>
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Афганистан	1.95	160	158	158	152	158	159	153



Развитие транспортных систем отражается на уровень энергопотребления. Проблемы энергопотребления по видам транспорта значительно отличаются по странам и регионам. Мировой рост спроса на энергию на транспорте удовлетворяется, в основном, за счёт использования жидкого топлива, полученного из нефти. Ежедневный спрос на транспортное топливо во всем мире составляет около 4,9 млрд литров бензина и дизельного топлива и 1,3 млрд литров реактивного топлива, с ожидаемым ежегодным ростом примерно на 1% [299]. В настоящее время (рис. 1.10) [253] и в течении следующих двух десятилетий прогнозируется увеличение использования нефти в развивающихся странах и сокращение спроса на рынках развитых стран [412].



\*ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития

Рисунок 1.10 – Динамика показателей энергопотребления (а), выбросов CO<sub>2</sub> (б) и ВВП (в) в странах Большой двадцатки (G20), стран-участников ОЭСР и не входящих в ОЭСР [253]

Энергопотребление на транспорте в мире с 1990 по 2011 годы, по оценке Международного энергетического агентства (IEA), увеличилось на 55%. Рост связанных выбросов CO<sub>2</sub> в целом соответствовал этому увеличению энергопотребления (102 ЭДж) и достиг 6,8 млрд тонн диоксида углерода [118]. На транспорт приходится около 20% всей потребляемой энергии, около 23% глобальных выбросов CO<sub>2</sub> и 14% глобальных выбросов парниковых газов [298]. По оценкам IEA на грузовые перевозки автомобильным, железнодорожным и морским транспортом приходится примерно треть всей энергии, используемой транспортом, и около 6-7% от общего мирового потребления энергии. Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют статистические данные о потреблении энергии при складировании, обработке товаров и связанных с этим ИТ-операциях [294], что затрудняет оценить энергоёмкость логистических услуг в цепях поставок. Предпринимаемые попытки определения углеродного следа от логистической деятельности, выполненные при поддержке Международного экономического форума показали, что на логистику приходится около 5,5% глобальных выбросов парниковых газов [294]. В других исследованиях [422] логистика и операции цепочек поставок являются причиной 13% всех глобальных выбросов парниковых газов.

Увеличение объёмов производства и потребления негативно отражается на состоянии окружающей среды – приводит к увеличению выброса углекислого газа, образованию отходов. В настоящее время РФ входит в первую четвёрку стран по выбросам углекислого газа (CO<sub>2</sub>), следуя за КНР, США и Индией [409]. По данным Всемирного института ресурсов (World Resources Institute) только 20 стран достигли уменьшения показателей выбросов парниковых газов наряду с увеличением валового внутреннего продукта [427]. Это не позволит достичь стратегические цели Парижского соглашения по борьбе с глобальным изменением климата [419] – удержания роста глобальной средней температуры в пределах 2°C (рис. 1.11). По оценкам международной неправительственной экологической организации «Гринпис» (Greenpeace) среднесуточные потери всей мировой экономики от загрязнения воздуха составляют 8 млрд долл. США (или почти 3,3% ми-

рового ВВП) [280]. Оценка данного ущерба учитывает затраты на лечение заболеваний, вызванных загрязнением воздуха; убытки, вызванные отсутствием работников на рабочих местах; а также потенциальные потери экономики от преждевременной смерти людей.

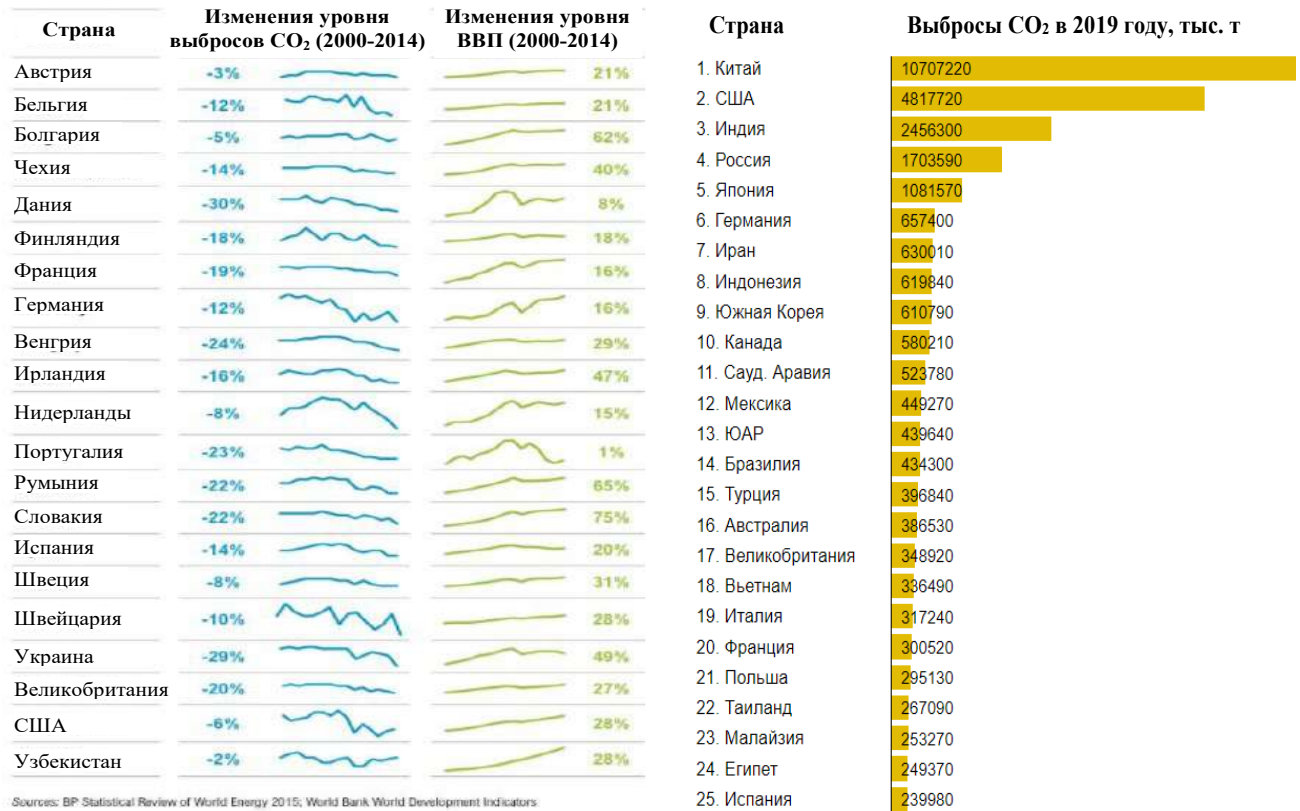


Рисунок 1.11 – Показатели выбросов CO<sub>2</sub> и изменения валового внутреннего продукта по странам

Об актуальности проблемы загрязнения окружающей среды говорят показатели перерасхода экологического капитала [20] в мировой экономике, факты неравномерного использования разными странами возобновляемых источников энергии [406], а также такого эффективного инструмента, как государственное финансирование решения проблем окружающей среды. Результаты оценки индекса эффективности борьбы с изменением климата (Climate Change Performance Index – CCPI) в 2018 году иллюстрируют наличие значительных различий в усилиях Европейского Союза и 56 других государств по защите окружающей среды и эффективности этих усилий [406]. Несмотря на снижение темпов роста выбросов

CO<sub>2</sub>, до сих пор ни одна из оцениваемых стран не достигла уровня «очень высоко» (зелёная зона на рис. 1.12).

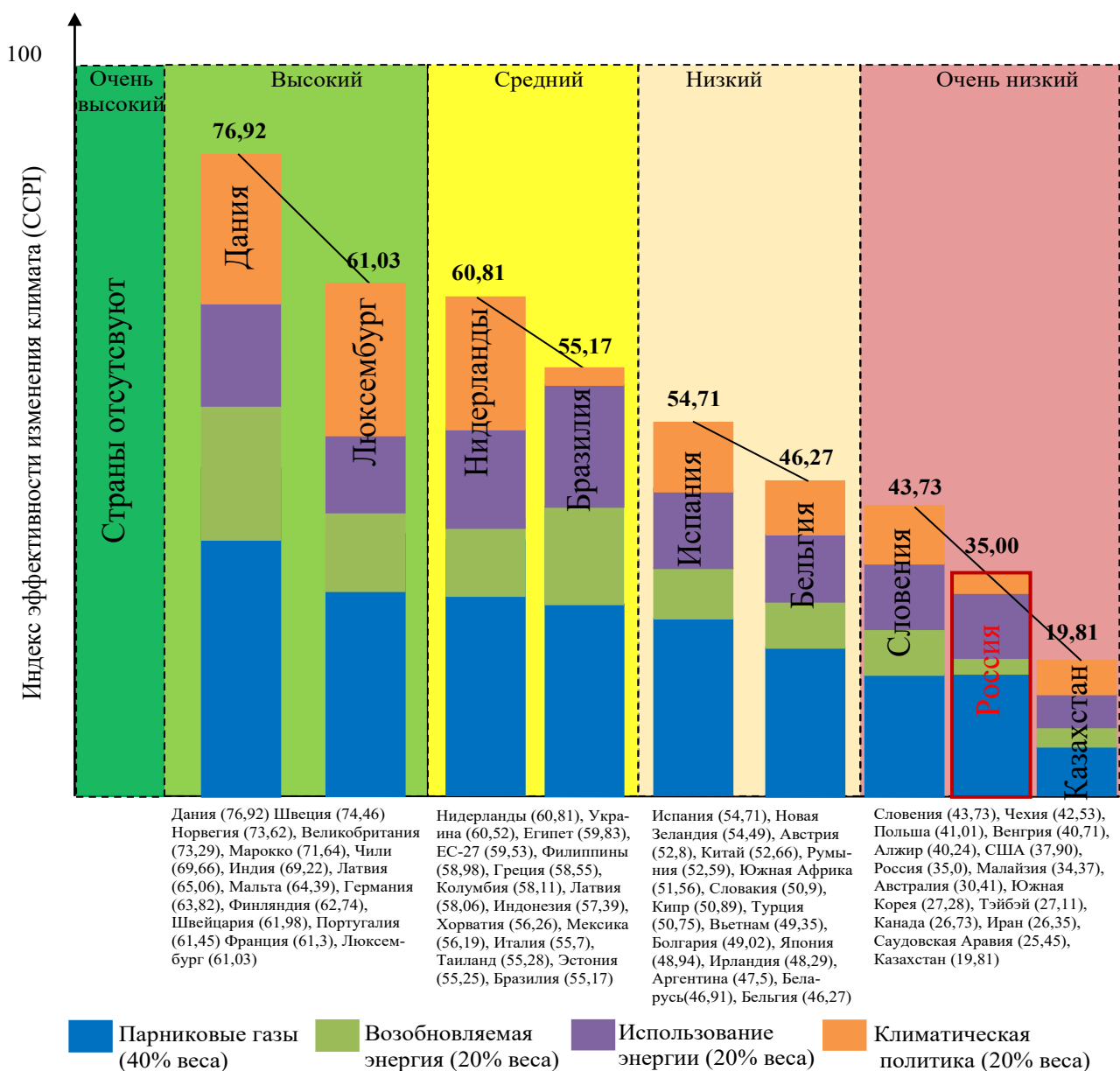


Рисунок 1.12 – Показатели использования энергетических и природных ресурсов в мире (CCPI 2021)

Таким образом, изменение торговых взаимоотношений между странами и развитие транспортных коридоров способствует повышению требований к существующим к национальным и региональным транспортным системам, делает актуальной задачи их преобразования и эффективной интеграции в глобальные производственно-сбытовые цепи и логистические цепи поставок. Устойчивое развитие логистических цепей и транспортных систем, способных обслуживать возраст

тающие объёмы перевозок на международном и национальном уровне максимально эффективно, будет способствовать повышению социально-экономических показателей России. Вместе с тем, анализ показателей экономического роста и развития транспорта в ряде стран (США, Великобритания, Япония и Германия) показывает стабилизацию, а в отдельных случаях снижение показателей грузовой работы при достижении высокого уровня экономического развития [229]. Основные причины этого – реализация низко углеродной транспортной политики, структурные изменения в экономике и совершенствование логистических процессов, систем управления на транспорте и в производстве [109].

## **1.2 Теории и концепции устойчивого развития логистических цепей грузопотоков**

Снижение вредного воздействия на окружающую среду является важнейшей государственной и международной задачей. Решение данной задачи во всем мире основывается на использовании концепции устойчивого развития (Sustainable Development). Исполнительный директор Глобального договора Организации Объединенных Наций (ООН), выступая на Саммите лидеров Глобального договора из 75 стран, отметил [224]: «Многие компании начинают смотреть на мир через призму Целей устойчивого развития. Предприниматели стремятся оценить, как их бизнес, товары и услуги соотносятся с реалиями планеты, и как они будут удовлетворять спрос сегодня и в долгосрочной перспективе» [86].

Цели устойчивого развития (ЦУР) – универсальный набор 17 целей и 169 задач, которые государства утвердили в качестве ориентиров для выработки политики в области социально-экономической сферы жизни общества и защите окружающей среды на период до 2030 года [144, 417]. ЦУР (табл. 1.2) включены в глобальную стратегическую программу «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», которая была принята на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН. Главной особенностью Повестки дня является неделимый и комплексный характер ЦУР, который обеспечи-

вает баланс всех трёх аспектов устойчивого развития: экономического, социального и экологического. Успех достижения ЦУР во многом зависит от деятельности международных и региональных организаций, способствующих устойчивому развитию, и согласованности национальных, региональных и международных политик в отношении закреплённых приоритетов и реализации принципов устойчивого развития [97].

Таблица 1.2 – Характеристика целей устойчивого развития

№ ЦУР	Содержание цели
1	 Повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах
2	 Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности, улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства
3	 Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию всех в любом возрасте
4	 Обеспечение всеохватывающего и справедливого качественного образования, поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех
5	 Обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей всех женщин и девочек
6	 Обеспечение наличия и рациональное использование водных ресурсов и санитарии для всех
7	 Обеспечение доступа к недорогим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех
8	 Содействие неуклонному, всеохватывающему и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех
9	 Создание прочной инфраструктуры, содействие обеспечению всеохватывающей и устойчивой индустриализации и внедрению инноваций
10	 Снижение уровня неравенства внутри стран и между ними
11	 Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и устойчивости городов и населённых пунктов
12	 Обеспечение рациональных моделей потребления и производства
13	 Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями
14	 Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития
15	 Защита, восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия
16	 Содействие построению миролюбивых и открытых обществ в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчётных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях
17	 Укрепление средств достижения устойчивого развития и активизация работы механизмов глобального партнерства в интересах устойчивого развития

В основу концепции устойчивого развития положена идея достижения разумного баланса между экологическим, экономическим, социальным, культурным развитием и потребностями людей. Экономическая составляющая устойчивого развития ориентирована на эффективное применение ограниченных ресурсов, экономию энергии, применение природоохранных и материалосберегающих технологий. Социально-культурная составляющая подразумевает поддержание устойчивости культурных и социальных систем, справедливое распределение благ. Экологическая составляющая ориентирована на поддержание целостности природных систем для нынешнего и будущих поколений [97].

В докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКСОР) «Наше общее будущее» [364] было дано следующее определение устойчивого развития: «развитие, которое удовлетворяло бы нужды настоящего, не подвергая риску способность будущих поколений удовлетворять свои потребности». Иными словами, сохранению подлежат рост возможностей удовлетворять потребности как в настоящее время, так и в будущем, а изменению подлежат эксплуатация ресурсов, технологическое совершенствование и качество управления [127, 164].

Российские исследователи указывали на неточность перевода *sustainable development* как «устойчивое развитие», так В.И. Данилов-Данильян подчеркивает [29]: «...дело не в переводе, а в том, как мы договоримся понимать термин. Переводы *sustainable* на другие языки тоже не слишком хороши: если буквально перетранслировать на русский, получается несдвигаемое, твёрдое и т.п. Русский вариант – один из самых удачных» [88]. Учёные Института экономики УрО РАН [75] под устойчивым развитием понимают «гарантированное достижение целевых установок при разумных интенсивностях возмущающих воздействий на окружающую среду, хозяйственный комплекс и социально-демографическую сферу» [88]. В работе [69] рассматривается концепция взаимодействия промышленности и окружающей природной среды как концепция, охватывающая три компонента устойчивого развития: ответственности за состояние окружающей природной

среды, экономическое воспроизводство (создание материальных ценностей) и социальное развитие. Во многих странах к понятию «устойчивое развитие» также подошли неоднозначно [7]. Так, в Австралии реализуется концепция «экологически устойчивого развития», а в Нидерландах – концепция «устойчивого экономического и социального роста» [88].

В научной среде ведутся споры о том, что является наиболее важным для устойчивости развития [88]. Одни авторы подчёркивают важность сохранения функциональности природы и окружающей среды, другие делают упор на социальные аспекты и политические институты или на стабильный экономический рост в обществе [88, 114, 164]. В современной науке до сих пор не выработано общепринятого определения «устойчивость», «устойчивое развитие» и «устойчивый рост» применительно к социально-экономическим системам [164], что свидетельствует как о сложности самих понятий, так и сложности объекта исследования, в качестве которого могут выступать как национальная экономика (макроэкономика), так и подсистемы экономики – производственные предприятия, транспортные организации и логистические цепи и др.

На уровне компаний концепция устойчивого развития рассматривается как «Концепция тройного критерия» (Triple Bottom Line) [251]. Это означает, что в корпоративном процессе принятия решений учитываются не только экономические показатели, но также социальные и экологические результаты деятельности компании [88, 343, 421]. Особо актуально решение данных проблем для металлургических и горнодобывающих компаний в России [255], и требует от руководителей реализации на предприятиях принципов ESG-стратегии (Экологическое, социальное и корпоративное управление). Компании должны ориентироваться не на прибыль в краткосрочной перспективе, а на экономические и экологические показатели в долгосрочном периоде, что требует изменения планов и финансовых расходов в краткосрочном периоде [88, 328] (рис. 1.13).



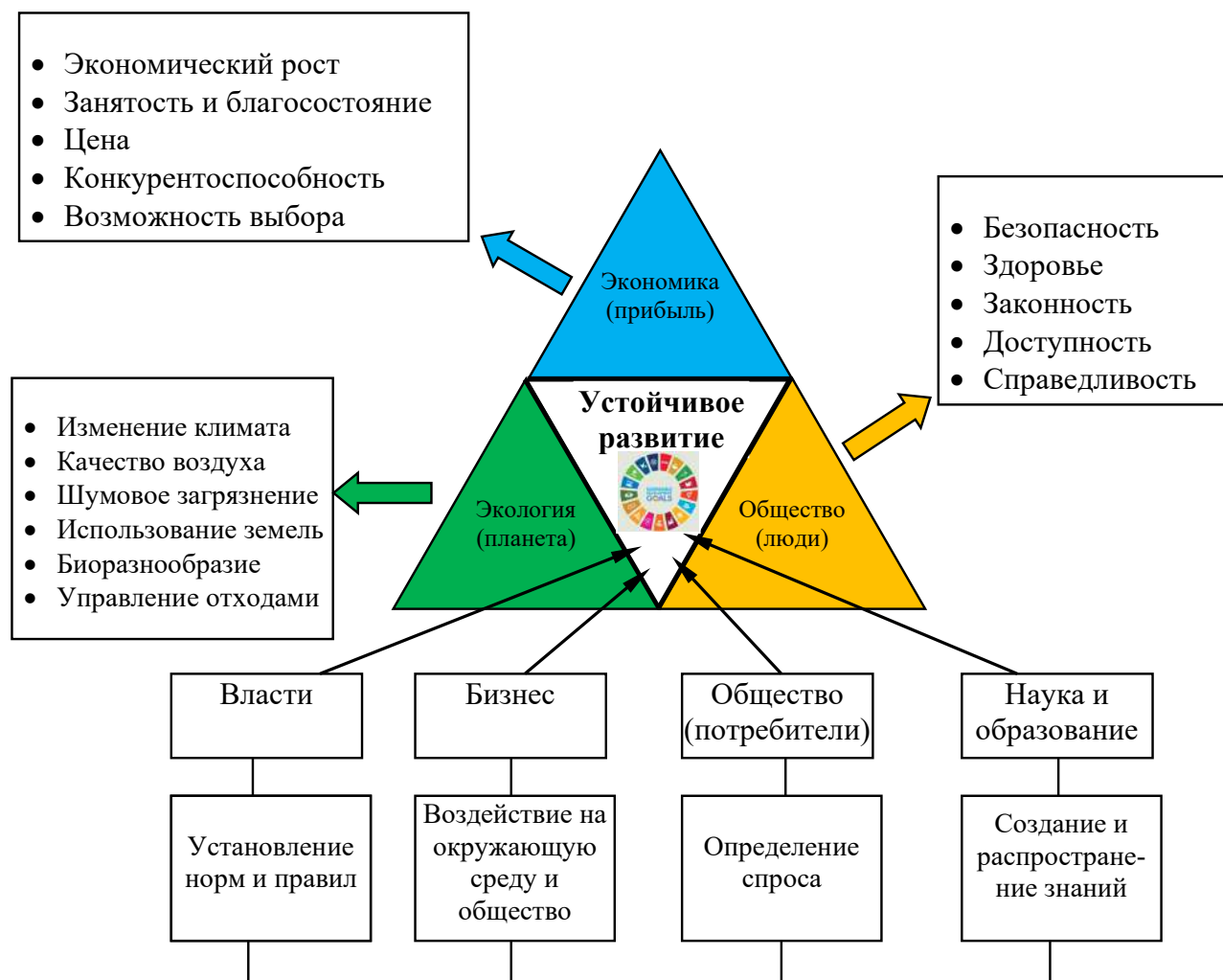


Рисунок 1.13 – Схема концепции устойчивого развития (составлена автором на основе [88, 328])

В последнее десятилетие все больший интерес научных исследователей и практиков привлекает решение проблем устойчивого развития в эпоху реализации концепции Индустрии 4.0. [300, 396], в том числе в логистике [289] и управлении цепями поставок [225, 395]. Термин «Индустрия 4.0» предложен немецкими исследователями Х. Кагерманом, В.-Д. Лукасом и В. Вальстером, а сама концепция «Индустрия 4.0» была озвучена в 2011 году президентом Всемирного экономического форума Клаусом Швабом на Ганноверской ярмарке, как обозначение процесса коренного преобразования глобальных цепочек создания стоимости путем реализации инновационных технологий в производственных системах. Индустрия 4.0 – это комплексная концепция развития промышленности путем технической

интеграции кибер-физических систем в производство и логистику, а также реализации инновационных технологий в технологических процессах [407].

Анализ зарубежного опыта реализации принципов и технологий концепции Индустрии 4.0 в логистике позволил сформулировать следующие тезисы [111, 139]:

- Индустрия 4.0 – концепция развития промышленности, основывающаяся на массовом внедрении киберфизических систем в производство. Принципы и технологии концепции Индустрии 4.0 дополняют достижения третьей промышленной революции, а не заменяют их.

- Основные принципы концепции Индустрия 4.0: функциональная совместимость человека и оборудования, автономизация и децентрализация производства, прозрачность информации, а также возможность ее виртуализации, интеграция физических операций и процессов в единое информационное пространство. Сопоставление принципов Индустрии 4.0 и принципов устойчивого развития позволяет говорить о наличии противоречий, однако большинство принципов направлены на формирование баланса между экономическими, экологическими и социальными аспектами деятельности.

- Технологии Индустрии 4.0 являются эффективным инструментом для совершенствования производства, обеспечивающим снижение негативного влияния на экологию и социальную сферу, способствуя достижению ЦУР. Например, наиболее перспективными технологиями для достижения таких ЦУР, как «Качественное образование», «Достойная работа и экономический рост», «Индустриализация, инновации и инфраструктура», «Устойчивые города» считаются «интернет вещей» (Internet of Things), облачные технологии (Cloud technologies), «умные» системы (Smart systems) и дополненная реальность [111].

- Концепция «Индустрия 4.0» позволяет в полной мере реализовать комплексный и системный подход к управлению и оптимизации цепей поставок, так как внедряемые технологии воздействуют на логистические потоки и рассчитаны на изменение (улучшение) методов их управления вдоль всей цепи поставок. Реализация принципов Индустрии 4.0 позволяет значительно повысить эффектив-

ность функционирования логистической системы за счёт совершенствования качества и оперативности работы с информационным логистическим потоком, повышая его прозрачность и управляемость. Использование технологий Индустрии 4.0 применительно к элементам ЛС приводит к оптимизации работы оборудования, повышению уровня автономности и автоматизации процессов [111].

В то же время реализация Индустрии 4.0 в ЛС недостаточно изучена. Необходимо выявлять экономические, технические и социальные факторы реализации данной концепции в ЛС и разрабатывать рекомендации по адаптации существующих технологий Индустрии 4.0 для устойчивого функционирования ЛС и цепей поставок [88, 111].

Устойчивое развитие применительно к транспорту означает, что удовлетворение транспортных потребностей не противоречит приоритетам охраны окружающей среды и здоровья, не ведёт к необратимым природным изменениям и истощению невозполнимых ресурсов [26]. В работе [313] Т. Литман отмечает растущий интерес к концепциям устойчивости (Concepts of Sustainability), жизнеспособности (Livability), устойчивого развития (Sustainable Development) и устойчивого транспорта (Sustainable Transport). Несмотря на различие в определениях и подходах по вопросам устойчивых транспортных систем, большинство экспертов указывают на баланс экономических, социальных и экологических аспектов устойчивости.

В мире наблюдается изменение отношения транспортного бизнеса к идеи устойчивого развития и проблемам экологии, в частности [252, 315]. Основные причины такого отношения вызваны следующими аспектами:

- государственное регулирование и контроль соблюдения норм экологического и социального законодательства путём использования не только ограничительных (штрафы), но и стимулирующих мер (налоговые льготы);
- повышение требований (спроса) к качеству услуг и продукции. Организации, которые производят технологически продвинутые, качественные и безвредные для окружающей среды продукцию и услуги, повышают имидж своего бренда и улучшают репутацию своей организации в глазах потребителей;

- улучшение репутации, создаваемой общественностью, собственными сотрудниками, потребителями, акционерами, другими компаниями (инвестиционными, страховыми, банковскими), в свою очередь, способствует повышению капитализации компании, улучшению её финансовых показателей в долгосрочной, как правило, перспективе;
- соблюдение требований партнёров по цепи поставок, усиливающее взаимодействие с поставщиками и клиентами, а также формирующее и развивающее социальную корпоративную ответственность;
- снижение экологических и социальных рисков. Социально и экологически ориентированные компании обычно имеют более низкие страховые издержки в связи с тем, что размер страховых премий связан с уменьшающимися экологическими рисками предприятий;
- сокращение издержек и увеличение прибыли, достигаемое в результате использования современных экологичных и одновременно экономически эффективных технологий;
- достижение конкурентного преимущества в результате позиционирования продукции и услуг как экологически чистых, что позволяет привлекать выгодных партнёров и завоёвывать новые рынки.

В научной литературе ведутся споры о том, когда решение экологических проблем стало актуальным в логистике. Если научные исследования воздействия грузовых перевозок на окружающую среду датируется серединой 60-х годов XX века [328], то учёт экологических ограничений в логистической деятельности берет начало в 80-90-х годах [341]. В работе [230] выделяются четыре этапа научных исследований по проблемам взаимодействия окружающей среды и логистики: до 1990 года – экономическая рационализация экологических факторов в производстве; 1990-2000 гг. – реверсивная логистика (Reverse Logistics); 2000-2010 гг. – «зелёная» логистика (Green Logistics) на уровне предприятия; с 2010 года по настоящее время – управление «зелёными» цепями поставок (Green Supply Chain Management). Профессор А. МакКиннон в работе [328] выделяет 5 направлений развития «зелёной» логистики: снижение негативного воздействия от грузового

автотранспорта – Городская логистика (City Logistics) – Реверсивная логистика – Логистика в корпоративной экологической стратегии - Управление «зелёными» цепями поставок [89].

В работе [88] показан потенциал логистики для осуществления экологического контроля транспортных систем, процессов утилизации продукции, контроля и минимизации загрязнения окружающей среды, процессов энерго- и ресурсосбережения. По мнению американских учёных П. Мэрфи и Р. Поиста [340] применение логистики для решения социальных и экологических проблем, таких как низкий уровень экологической культуры персонала, обеспечения необходимого уровня безопасности и комфортности труда, роста потребления является эффективным инструментом. Одновременно с этим в [207, 307, 371] отмечаются противоречия между традиционной и «зелёной» логистикой, называемые «парадоксы зелёной логистики» [88]. Они затрагивают логистическую инфраструктуру, материальные потоки, качество доставки, логистические издержки и информационные потоки [88].

Несмотря на различные подходы описания периодов развития «зелёных» технологий в логистике, в указанные периоды в научной и производственной сферах появляется новая «логистическая» терминология, сочетающая такие прилагательные, как устойчивый (sustainable), экологический (ecological, environmental, eco-friendly), зелёный (green), обратный (reverse), чистый (clean), бережливый (lean), гибкий (agile), умный (smart) и др. (рис. 1.14).

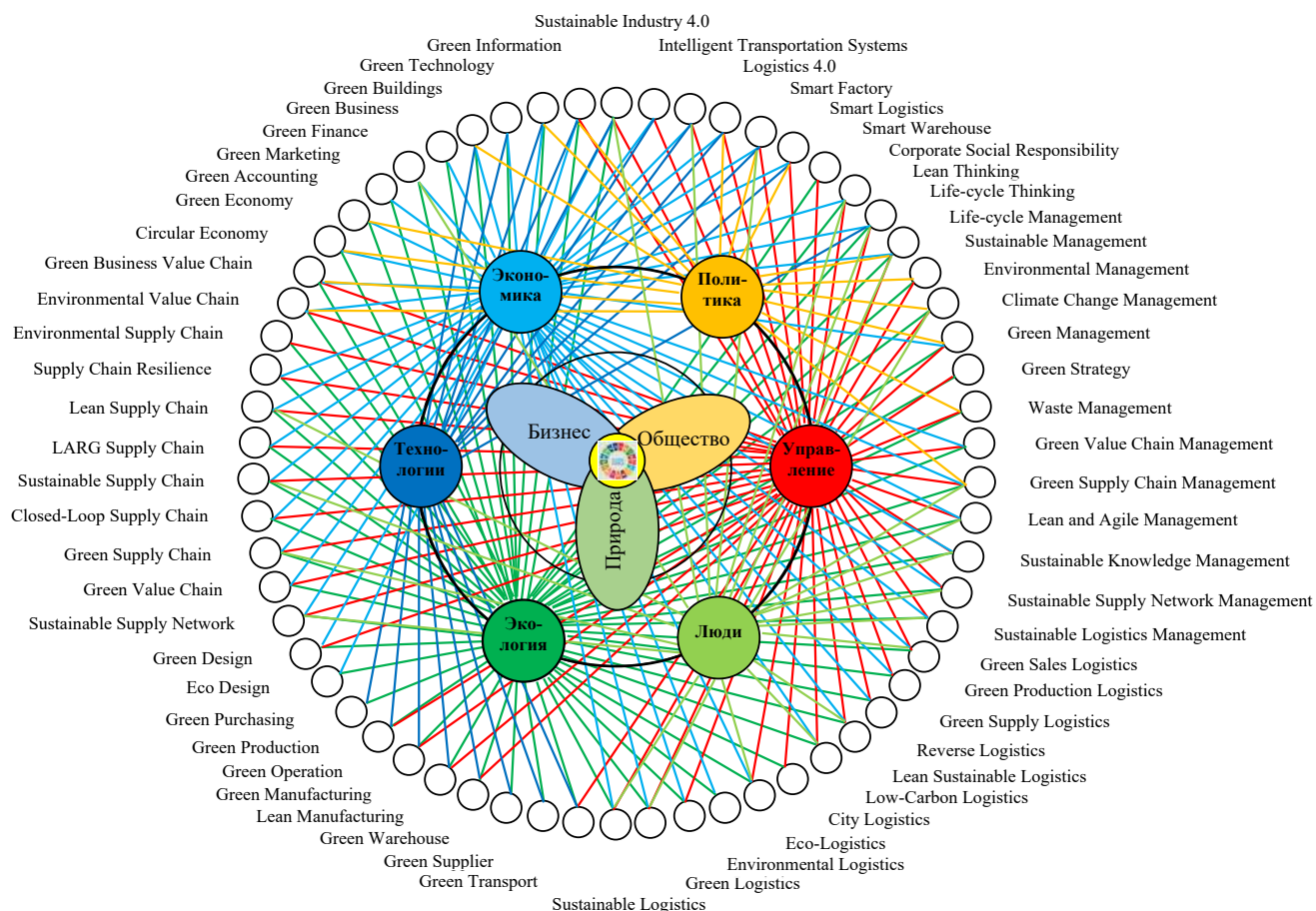


Рисунок 1.14 – Терминология, используемая при реализации «зелёных» технологий в логистике в рамках концепции устойчивого развития

Выполненный анализ представленных в настоящее время в научной литературе определений «зелёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок показывает, что охвачены все функциональные области логистики (рис. 1.15). Авторы используют множество различных терминов и определений, например «зелёная логистика», экологическая логистика, устойчивая логистика и др. (рис. 1.14). В то же время, большинство исследований затрагивают отдельные области логистики [88, 89, 198]. На рис. 1.15 приняты следующие цвета для обозначения: зелёный – «зелёная» логистика, жёлтый – экологическая логистика, голубой – управление «зелёными» цепями поставок, красный – управление устойчивыми цепями поставок.



Особое внимание в научной среде занимает исследование потоков противоположных тем, в которых протекает традиционная логистическая деятельность. Одно из самых ранних описаний реверсивной логистики (Reverse Logistics) было дано зарубежными учёными Д. Ламбертом и Дж. Стоком в 1980-х годах [309] как «движение по улице с односторонним движением в противоположную сторону потоку». Позднее, в 1989 году, П. Мэрфи и Р. Поист предложили рассматривать реверсивную логистику как систему организации потока материалов, обратного основному потоку [340]. Дж. Стоком было предложено рассматривать реверсивную логистику как функцию логистики в возврате продукции, ресурсосбережении, рециклинге, замене материалов, обращении с отходами, их восстановлении и повторном использовании [390]. В современном понимании реверсивная логистика – это процесс планирования, реализации и контроля материальных потоков и потоков сырья, незавершённого производства, готовой продукции и связанной с ними информации от потребителя к первичному источнику с целью восстановления ценности или обеспечения соответствующей утилизации [38, 373]. На рис. 1.16 представлена схема взаимосвязи прямых и обратных потоков и основных процессов реверсивной логистики [196]. Использованные или нереализованные товары (продукция) собираются и сортируются по категориям с целью принятия решений о дальнейшем обращении с ними.

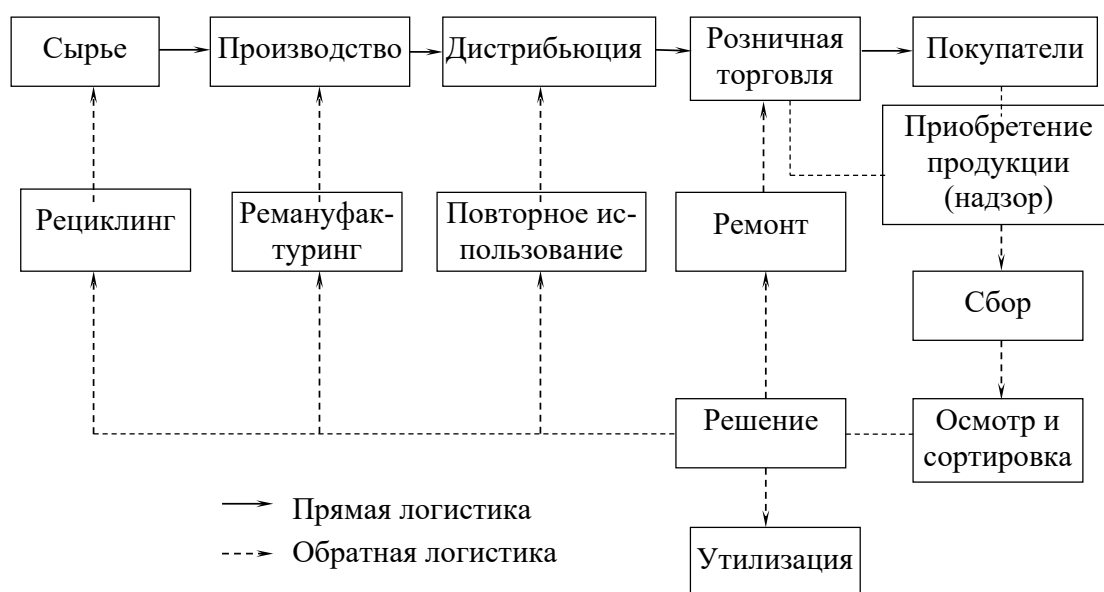


Рисунок 1.16 – Прямые и обратные потоки логистических процессов [196]



В работе [180] проанализирована эволюция взглядов зарубежных и отечественных учёных на понятие «реверсивная логистика». Отмечается, что одним из ключевых вопросов является проблема интеграции реверсивной логистики в общую структуру логистических процессов. Если первоначально данное направление было ориентировано на наиболее экономически выгодный процесс возврата товаров и тары, то в настоящее время учитывается не только экономическая, но и экологическая значимость возвратной логистики; рассматривается возможность совмещения этих двух аспектов путём использования вторичного сырья для производства новой продукции.

В таблице 1.3 показано сравнение различных характеристик логистических систем управления потоками в прямом и обратном направлениях [416].

Таблица 1.3 – Различия между прямой и реверсивной логистикой

Прямая логистика	Реверсивная логистика
Относительная простота планирования и прогнозирование обратных потоков	Сложность планирования и прогнозирования логистических потоков, особенно при взаимодействии с конечным потребителем
Работа транспорта по принципу «один ко многим»	Работа транспорта по принципу «многие к одному»
Высокое качество продукции	Качество продукции снижается из-за использования потребителем (продавцом)
Высокое качество тары (упаковки)	Снижение качества тары (упаковки) из-за использования потребителем (продавцом)
Конечный потребитель (пункт назначения) и маршрут доставки прямого потока известны	Пункт назначения / маршрут обратного потока неясны, что увеличивает продолжительность его обработки
Стандартизированный логистический канал	Управление исключениями
Варианты размещения ясны	Сложность и множество вариантов размещения обратного потока (поставок от клиентов)
Ценообразование относительно равномерное из-за высокого качества продукции (прямого потока)	Ценообразование неравномерное и зависит от множества факторов, главный из которых различное качество обратного потока
Высокие требования к скорости и срочности доставки для повышения удовлетворенности клиентов	Требования к скорости обратного потока часто не являются приоритетом
Высокий контроль затрат системами бухгалтерского учёта на формирование и продвижение прямого потока	Слабый контроль затрат по формированию и обработке обратного потока
Стабильное (устойчивое) управление запасами прямого потока	Неустойчивое управление запасами обратного потока

Прямая логистика	Реверсивная логистика
Простота взаимодействия между участниками цепи поставок	Усложнение взаимодействия между участниками цепи поставок (при наличии обратного потока)
Традиционный маркетинг для работы с клиентами	Специальные методы маркетинга для работы с обратным потоком
Информация о состоянии прямого потока в режиме реального времени	Сложность отслеживания обратного потока

Составлено автором на основе [416]

Анализ различных концептуальных подходов в логистике показывает [144], что вопросы снижения негативного влияния на окружающую среду и достижения ЦУР являются второстепенными и ориентированы на соблюдение экологического законодательства. Однако, многие российские и зарубежные авторы отмечают наличие у логистики экологического потенциала. В табл. 1.4 представлены результаты качественной оценки экологического потенциала существующих логистических концепций [144].

Таблица 1.4 – Качественная оценка экологического потенциала логистических концепций [144]

Влияние на окружающую среду	Основные концепции*				
	RP	LT	LP	DDT	SCM
<b><i>Положительное</i></b>					
Выбор близкорасположенных поставщиков материальных ресурсов		X	X		
Уменьшение транспортной составляющей за счёт эффективной обратной связи по заказам	X			X	X
Выбор оптимального вида транспорта и маршрута	X				X
Минимизация дефектов в процессе производства продукции и как следствие снижение отходов		X	X		
Минимизация уровня запасов материальных ресурсов, незавершенного производства, готовой продукции, отходов	X	X	X	X	X
Сокращение потребности в складских площадях за счёт уменьшения уровня запасов	X	X	X	X	X

Влияние на окружающую среду	Основные концепции*				
	RP	JIT	LP	DDT	SCM
Снижение энергоёмкости и рациональное использование складских помещений, рациональное землепользование		X	X		
Формирование социальной корпоративной ответственности		X	X		X
Управления возвратными материальными потоками (реверсивная логистика)				X	X
<b>Отрицательное</b>					
Увеличение интенсивности использования транспорта при переходе на выпуск продукции в малых объёмах с высокой периодичностью отправок	X	X	X	X	
Увеличение объёма погрузочно-разгрузочных работ в связи с уменьшением размера партии груза	X	X	X	X	
Увеличение нагрузки на окружающую среду в местах нахождения транспортных коридоров и узлов	X				X
Использование буферных складов хранения запасов сырья, материалов, готовой продукции и отходов	X			X	
Увеличение количества отказов в системе из-за большой её размерности и сложности	X			X	

\*Примечание: RP – концепция «планирования потребностей / ресурсов», JIT – концепция «точно в срок», LP – концепция «тощего производства»; DDT – концепция «реагирования на спрос», SCM – концепция «управления цепями поставок» [144].

В научных исследованиях логистические концепции в области логистики концепции упоминаются совместно с понятием «принципы логистики», однако большинство исследователей не конкретизирует связь между ними [144]. Профессор Фёдоров Л.С. отмечает, что принципы логистики формируются на основе её задач и общелогистических концепций [170]. В то же время, ряд зарубежных исследователей [220, 231, 317, 382] считают концепции JIT и ERP, соответственно, тянущими и толкающими принципами. На наш взгляд [144, 145], реализация каждой логистической концепции предполагает соблюдение определенной системы логистических принципов.

В последние 15-20 лет учёные акцентируют внимание на управление устойчивыми или «зелёными» цепочками поставок, объясняя это тем, что воздействие отдельной компании на окружающую среду простирается за пределы самой компании [88]. Мнение учёных сводится к тому, что аспектами устойчивого развития необходимо управлять на всех этапах цепочки поставок – от добычи сырья до доставки готовой продукции конечному потребителю. Требуется выполнить анализ современных научных работ в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков.

### **1.3 Обзор исследований в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков**

В диссертации под логистической цепью грузопотоков понимается ограниченное множество элементов логистической системы (ЛС), упорядоченных вдоль материального потока с целью выполнения определенного набора логистических функций по воздействию на логистические потоки [48]. Логистические цепи являются незаменимым компонентом экономики и играют важную роль в установлении пространственных отношений и связей между различными территориями, предназначены для удовлетворения потребностей в товарах и услугах (рис. 1.17). Они включают в себя организации, участвующие в производстве, обработке, транспортировке и доставке грузов и связанных с ними услуг [146]. Наличие множества элементов логистических цепей и взаимосвязей между ними подчеркивают сложность и мультидисциплинарность их исследования на основе синтеза экономики, экологии, математики, инженерии и других наук. Особая роль в потоковых процессах логистических систем отведена транспорту, как связующему звену цепей поставок и одному из главных загрязнителей окружающей среды.

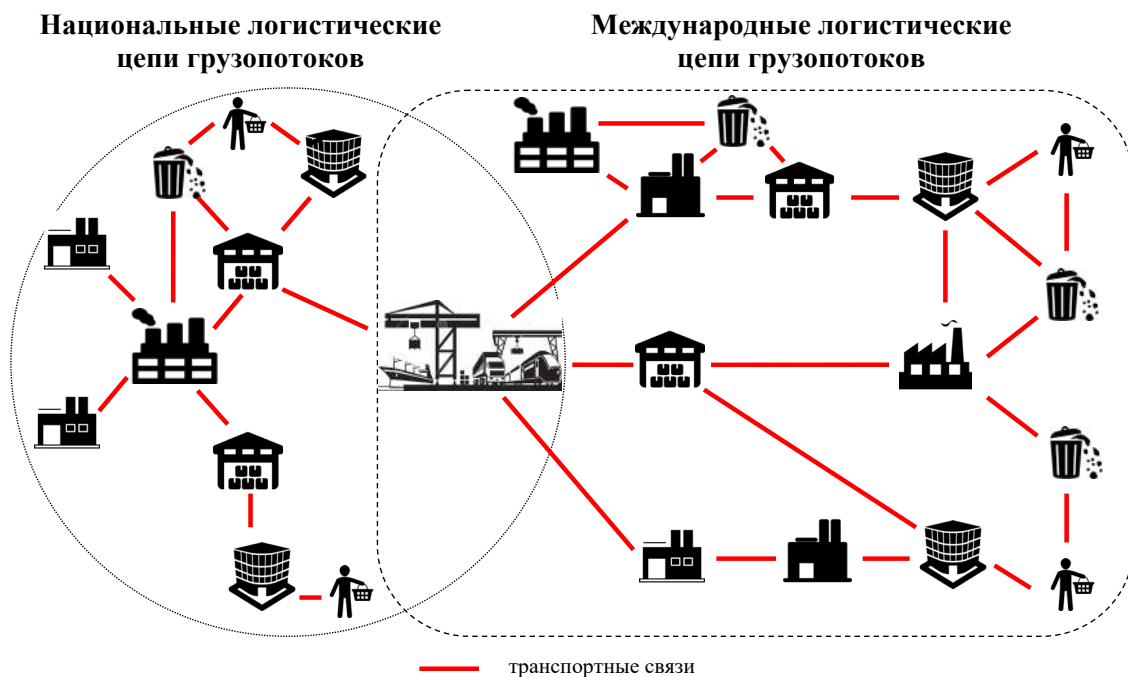


Рисунок 1.17 – Принципиальная схема логистических цепей грузопотоков

Методологической основой настоящей диссертационной работы явились труды отечественных и зарубежных учёных в области логистики и управления цепями поставок, теории развития транспортных систем, устойчивого развития, «зелёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок; исследования операций и многокритериальных методов принятия решений.

Научный вклад в области логистики и управления цепями поставок внесли труды Б.А. Аникина [2], В.В. Дыбской [35, 59], Р.Б. Ивутя [40], Ю.М. Неруша [79], В.И. Сергеева [59], А.П. Тяпухина [155], Н. Gleissner [317], Т. Gudehus [284], А. Gunasekaran [286], Н. Kotzab, , R.D. Shapiro [385], Н.М Visser [420], D. Waters [424] и многих других учёных.

Значительный вклад в решение основных проблем развития транспортных систем, методов организации и управления грузопотоками, транспортной логистики внесли работы В.И. Апатцева [3], В.В. Багиновой [4], А.Ф. Бородина [217], Г.В. Бубновой [8], В.Д. Герами [26], А.М. Гаджинского [24], А.Н. Гуда [67, 154], Е.П. Дудкина [152], В.В. Зырянова [73], П.А. Козлова [46, 47], В.М. Курганова [50, 51], П.В. Куренкова [52], С.Н. Корнилова [48, 66], Б.М. Лapidуса [53], О.Н. Ларина [54], Б.А. Лёвина [56, 57], В.С. Лукинського [63], И.В. Макаровой [242],

Э.А. Мамаева [64, 67], Л.Б. Миротина [73, 74], О.В. Москвичёва [77], В.А. Персианова [170], О.Д. Покровской [120], А.Н. Рахмангулова [129], С.М. Резера [131], В.М. Сая [135], А.В. Сладковского [387], Е.Н. Тимухиной [149], Н.А. Тушина [45], Л.С. Фёдорова [170], М.И. Шмулевича [182], В.Я. Цветкова [175], О.Н. Числова [78], Ю.А. Щербанина [184], J.P. Rodrigue [372] и многих других учёных.

Научной основой решения проблем в области устойчивого развития в диссертационной работе являлись труды С.Н. Бобылева [6], В.И. Данилова-Данильяна [29], Е.И. Павловой [115], Н.В. Пахомовой [116], Т.В. Усковой [164], А.А. Чеботаева [178], D.J. Banister [208], I. Dincer [244], E.U. von Weizsacker [14] и многих других учёных.

В области «зелёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок научной базой являются труды М.Н. Дудина [33], М.А. Журавской [36], Д. Иванова [246], А.А. Кизима [44], В.П. Мешалкина [69], И. Н. Омельченко [114], F.T.S. Chan, B. Fahimnia [259], P. Golinska [269, 401], K. Govindan [271], D.B. Grant [272], A. Gunasekaran [278, 300], M. Klumpp [304], T. Litman [313], C. Macharis [399], M. Millar [329], A. McKinnon [328], P.R. Murphy [340, 341], J. Sarkis [259, 381], S.K. Srivastava [388], Q. Zhu [437] и многих других учёных.

В области исследования операций и использования многокритериальных методов принятия управленческих решений в диссертации нашли применение труды О.И. Ларичева [55], Лотова А.В. [61], В.Г. Халина [174], Г.В. Черновой [174], Alinezhad [200], V. Belton [212], Ching-Lai Hwang [291, 292], A. Mardani [325, 337], N. Munier [339], D. Pamucar [205], T.L. Saaty [377, 378], Z. Stević [205], Kwangsun Yoon [291], E.K. Zavadskas [338, 432] и многих других учёных.

В области систем оценки и индикаторов «зелёных» и устойчивых цепей поставок научной базой являлись работы A. Aguezzoul [197], B.-R. Banasik [333], P.Ahi [199], M. Becerra [210], K. Zimmer [438], V. Deshmukh [241], M. Illahi [293], J. Rezaei [369], H. Gudmundsson [402] и многих других учёных.

Анализ научных работ перечисленных учёных, исследования автора [86, 88, 89, 103, 105, 144, 145, 274, 275, 316, 347], а также анализ обзорных статей позволили установить степень изученности проблем устойчивого развития логистиче-

ских цепей грузопотоков. Результаты данного анализа представлены в матричной форме (рис. 1.18) и указывают, что наименее изученными являются области исследования логистических потоков, их оценка и методы управления с позиции концепции устойчивого развития.



Рисунок 1.18 – Результаты анализа научных работ в области управления ЛЦГ

Исторический взгляд на эволюцию научной базы логистики представлен в трудах множества учёных. Ими предприняты успешные попытки структуризации теорий и научных дисциплин [24, 141, 145, 157], классификации и систематизации моделей и методов [63, 80, 179], принципов [24, 74, 385], составляющих научную базу логистики.

В работах учёных представлены различные подходы к пониманию того, как должна быть организована логистическая система и какие концепции положены в основу построения её структуры, как должны соблюдаться правила и принципы

логистики, каким методами достигаются цели логистической системы [144]. Во многих исследованиях термин «концепции логистики» упоминаются совместно с термином «принципы логистики». Вместе с тем, практически никто из исследователей не конкретизирует связь между этими базовыми для логистики понятиями. Только в работе [170] отмечается, что принципы логистики формируются на основе её задач и общелогистических концепций [144].

Если для российских учёных характерен общесистемный взгляд на принципы логистики (например у Л.Б. Миротина [74], А.М. Гаджинского [24]), то в трудах зарубежных учёных представлены, как правило, специфические принципы логистики, дано множество определений одинаковых логистических принципов, предложены разные подходы к систематизации принципов [144]. Кроме того, большинство известных логистических принципов обеспечивают достижение целей управления по экономическим критериям и слабо учитывают экологические аспекты логистической деятельности. Такой подход не позволит системно реализовать концепцию устойчивого развития при управлении логистическими цепями грузопотоков [109].

Сложность управления логистическими цепями грузопотоков заключается в недостаточно исследованных взаимосвязях показателей и параметров логистических потоков. При этом, если в отечественной литературе исследователи [72, 79, 129] акцентируют внимание на оценку материального потока и его физические измерители (масса, траектория, скорость, время движения и интенсивность), а также параметры качества и затраты на переработку и продвижение потока, то зарубежные авторы [199, 438] используют индикаторы оценки цепочек поставок, логистических функций (операций) или акторов. Недостатком большинства существующих подходов является недостаточная системность оценки показателей логистических потоков по достижению ЦУР. Управление логистическими потоками основано на принятии решений путём сравнения значений плановых, как правило, экономических параметров и показателей с фактическими, и не учитывает экологические аспекты логистической деятельности.



В работах [293, 402] отмечается важность индикаторов устойчивого развития транспортных систем. Отмечается, что охват всех аспектов устойчивости транспорта является сложной проблемой и является барьером между взаимоотношениями различных стейкхолдеров. При формировании и управлении устойчивыми транспортными системами индикаторы должны являться ориентирами для лиц, принимающих решения, а не самоцелью.

Д. Нортон и Р. Каплан в [302] подчёркивают, что сбалансированная система показателей должна включать помимо финансовых показателей, также и дополнительные показатели оценки удовлетворенности клиентов, внутренних процессов, инновационной деятельности. Данные показатели являются драйверами будущих финансовых результатов. Наличие различных целей формирования цепей поставок требует разработки соответствующих систем оценки эффективности цепочек с учётом данных целей, однако, как показано в работе [365], до сих пор не предложены и зачастую не учитывают оценку устойчивости цепей поставок [144].

Анализ работ в области устойчивого развития, а также результаты исследований, представленных в [144, 275, 316] показали, что в настоящее время активно формируется соответствующее научное направление, со своими законами, принципами, теориями. Однако дискуссии об устойчивом развитии, отсутствие общепринятого определения «устойчивость» и «устойчивое развитие» и многообразие принципов и подходов к достижению устойчивости, свидетельствуют как о сложности самих понятий, так и о сложности объекта исследования, в качестве которого могут выступать как национальные экономики, так и отдельные промышленные предприятия, транспортные организации, цепи поставок [144].

Профессор В.Д. Герами [26] отмечает, что реализация концепции устойчивого развития и «зелёной» логистики в настоящее время осуществляется на основе двух подходов – государственного и рыночного. Первый основан на государственном управлении и соблюдении компаниями обязательных требований и ограничений как принудительно, так и на основе стимулирующих мер. Рыночный подход основан на получении экономической выгоды, конкурентных преимуществ

ществ, повышении имиджа и общественной популярности компаний, использующих «зелёные» технологии [145].

В работах [213, 405] выполнен анализ существующих и перспективных решений комплексной реализации государственного и рыночного подхода к снижению воздействия транспортных систем на окружающую среду. Выделены следующие группы решений: экономические, целью которых является повышение стоимости транспортирования, что вынуждает компании использовать дешёвые и экологичные технологии; правовые, включающие различные нормативные ограничения и вынуждающие ускорять технологическое развитие транспортных систем; решения в области социальной политики, ориентированы на развитие транспортной инфраструктуры, внедрение интеллектуальных транспортных систем, взаимоотношений между потребителями; информационно-аналитические решения (обучение, распространение опыта, бенчмаркинг, научные исследования и др.).

Библиометрический анализ основных направлений развития транспортной науки за пятидесятилетний период (1967-2017 гг.) в ведущем мировом журнале в области транспорта «Transportation Research» [262] показал значительный рост числа публикаций за последний 10 лет, посвященных вопросам политики и практики управления, методологии исследований, развитию новых технологий, окружающей среде, логистике, транспортной психологии. В рейтинге 40 ведущих стран по общему количеству публикаций лидерами являются США, КНР и страны Европейского союза.

Выявленные в работе [282] тенденции изменения научного интереса к решению проблем в области управления цепями поставок показывают увеличение числа публикаций по цифровым, продовольственным, «зелёным», замкнутым и глобальным цепям поставок (рис. 1.19).

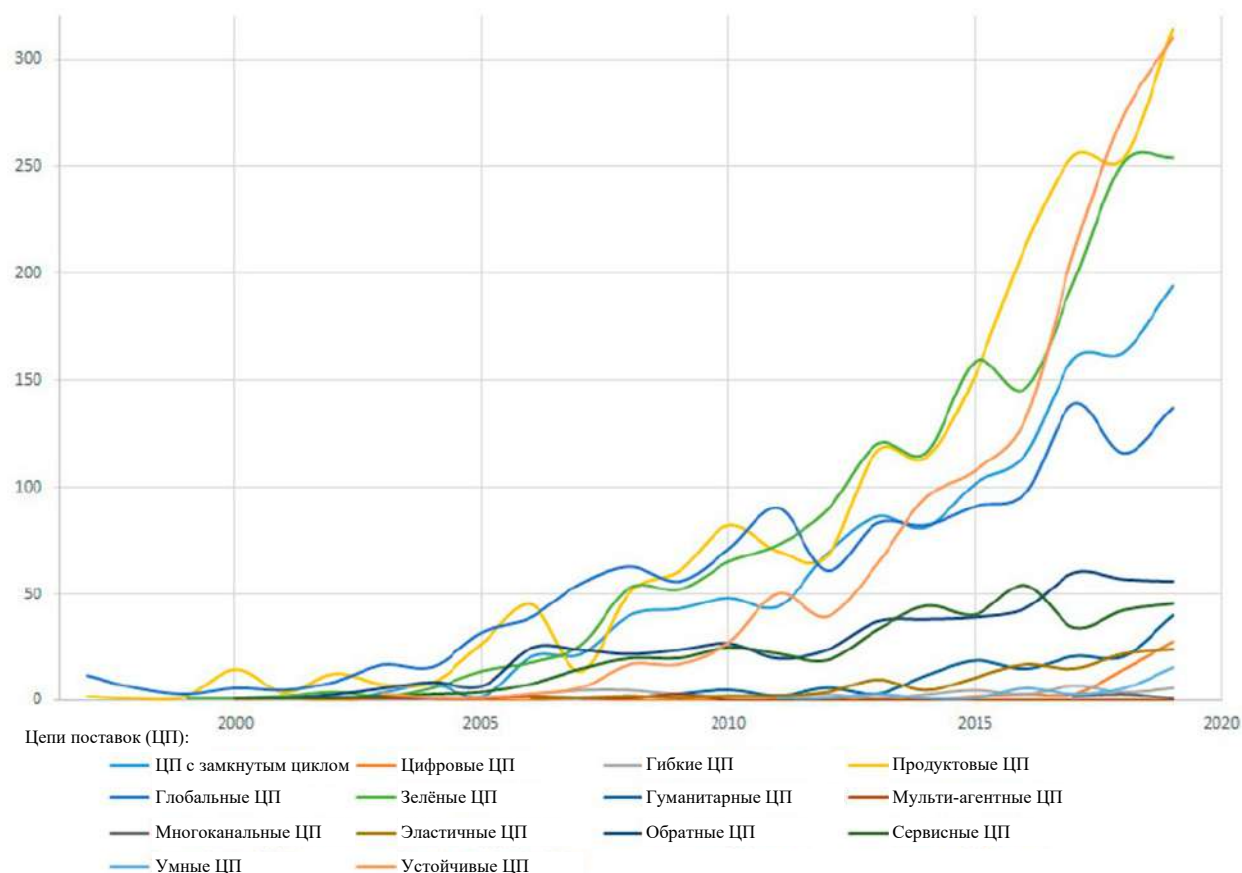


Рисунок 1.19 – Изменение числа научных работ в области управления цепями поставок [282]

В диссертационной работе выполнен анализ обзорных статей по проблемам устойчивого развития цепей поставок (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Результаты анализа обзорных статей в области устойчивого развития ЛЦГ

Цепь грузопотоков	Объекты исследования	Число статей	Предметы исследования	Источники
«Зелёные» / Устойчивые цепи поставок (ЗЦП/УЦП)	ЗЦП	339	Исследователи, методы исследования, области исследования, модели и методы	[194]
	ЗЦП	216	Проблемы исследования ЗЦП, «зелёные» практики, показатели оценки и методы моделирования	[214]
	ЗЦП	284	Факторы, методы исследования, технологии, практики	[278]
	УЦП	134	Методы исследования, аспекты устойчивости, методы и модели, стейкхолдеры	[356]
	ЗЦП	884	Исследователи, страны, области исследования	[259]
	ЗЦП	236	Исследователи, страны, область исследования, барьеры и драйверы, процессы и функции, модели и методы, показатели, практики	[190]
	ЗЦП	460	Исследователи, страны, области исследования	[215]
	ЗЦП и УЦП	455	Показатели, аспекты устойчивости, области исследования	[199]

## Продолжение таблицы 1.5

Цель грузо-потоков	Объекты исследования	Число статей	Предметы исследования	Источники
ЗЦП/УЦП	УЦП	362		[193]
	УЦП	116	Исследователи, области исследования, аспекты устойчивости, технологии	[310]
	УЦП	191	Методы исследования, аспекты устойчивости, факторы, практики	[384]
	Глобальные УЦП	66	Методы исследования, конфигурация ЦП, методы управления, показатели	[305]
	«Зелёные» сети поставок	105	Модели и методы, функции и процессы, практики управления	[422]
	Замкнутые цепи поставок	125	Методы исследования, области исследования, исследователи, страны, методы и модели, уровни управления	[308]
	Цепи ценности «зелёного» бизнеса	154	Области исследования, функции и процессы, стратегии, практики	[273]
Элементы ЗЦП / УЦП	Устойчивая поставка	143	Область исследования, функции и процессы, модели и методы, показатели, страны	[438]
	Устойчивая поставка	193	Методы исследования, области исследования, модели и методы, показатели, исследователи, страны	[277]
	Устойчивое производство	71	Проблемы, области исследования, процессы, уровни управления	[375]
	Устойчивое производство	541	Страны, исследователи, область исследования, методы и подходы, аспекты устойчивости	[321]
	Устойчивое производство и потребление	90	Страны, области исследования, методы исследования, практика	[189]
	Устойчивые запасы	91	Методы исследования, области исследования, показатели, уровни управления, аспекты устойчивости, методы и модели	[210]
	Устойчивые запасы	40	Методы исследования, аспекты устойчивости, методы и модели, показатели	[323]
	«Зелёные» склады	38	Страны, исследователи, аспекты устойчивости, методы исследования, области исследования, практики	[209]
	Устойчивый транспорт	89	Проблемы, методы исследования, аспекты устойчивости, практики,	[404]
	Устойчивый транспорт	882	Исследователи, методы исследования, области исследования, модели и методы, практики	[257]
	«Зелёные» порты и морская логистика	107	Исследователи, страны, области исследования, показатели, практики	[279]
	«Зелёные» логистические операции	156	Исследователи, области исследования, методы исследования, методы и модели	[256]
	3PL сервис	88	Страны, методы исследования, области исследования, барьеры и драйверы, практики, показатели	[258]
	«Зелёный» маркетинг	114	Области исследования, стратегии, модели	[236]
	Инновации в УЦП	107	Методы исследования, области исследования, страны, процессы и функции, аспекты устойчивости	[264]
Реверсивная логистика (РЛ)	Реверсивная логистика	242	Драйверы и барьеры, процессы, модели и методы	[196]
	Замкнутые цепи поставок	382	Проблемы, Область исследования, методы и модели, показатели	[271]
	Реверсивная логистика	59	Драйверы и барьеры, методы исследования, области исследования, стейкхолдеры	[270]
	Метаэвристические подходы	120	Процессы, области исследования, модели и методы, практики	[357]

Цепь грузопотоков	Объекты исследования	Число статей	Предметы исследования	Источники
Логистика и цепи поставок	3PL	67	Процессы, показатели, методы и модели	[197]
	Индустрия 4.0	39	Методы исследования, области исследования, технологии и процессы	[235]
	Бережливые (Lean) технологии	58	Области исследования, аспекты устойчивости, факторы, принципы	[326]
	Корпоративная социальная ответственность	42	Исследователи, страны, области исследования, аспекты устойчивости, практика	[260]
	Складирование	128	Функции и процессы, модели и методы	[283]
	Управление ЦП	92	Область исследования, методы исследования, стейкхолдеры, показатели, методы оценки	[394]
	Управление и контроль	101	Методы исследования, области исследований, практика	[324]
	Финансирование	112	Области исследования, исследователи, методы исследования, модели	[392]
	Сбыт (распределение)	255	Области исследования, объекты, управленческие решения, показатели	[330]
	Моделирования ЦП	83	Методы исследования, модели и методы, показатели	[365]
	Моделирование ЗЦП	33	Функции и процессы, Модели и методы, параметры и показатели,	[391]
	Теория нечётких множеств	301	Страны, исследователи, область исследования, методы и подходы, практики	[319]
	Системная динамика в УЦП	102	Модели и методы, область исследования, аспекты устойчивости, показатели	[362]
	Многокритериальные методы принятия решений	140	Области исследования, страны, уровни управления, функции и процессы, методы и модели	[336]
Роевой интеллект в «зелёной» логистике	115	Методы исследования, функции и процессы, модели и методы, практики	[403]	

Отмечается увеличение числа научных работ, посвященных теоретическим и практическим проблемам реализации «зелёных» решений при управлении цепями поставок и на транспорте. Наблюдается неравномерное распределение по странам публикаций по проблемам управления «зелёными» цепями поставок (рис. 1.20). Авторами [259] проанализировано более 1,5 тысяч научных работ, представленных в международных наукометрических системах. Наибольшая доля приходится на страны Европейского Союза (39%), США (29%), страны Азии (23%). Россия, Казахстан, а также большинство Африканских стран не представлены научными публикациями по проблемам управления «зелёными» цепями поставок в международных наукометрических системах [88].



Рисунок 1.20 – География научных публикаций по управлению «зелёными» цепями поставок в международных наукометрических системах [259]

С точки зрения методологии исследований в научных работах выделено пять областей [89]:

- концептуальные исследования – касающиеся обсуждения стратегической важности инициатив по управлению «зелёными» цепями поставок, новые концепции и понятия, основанные на качественном анализе в области окружающей среды;
- тематические исследования (или «*case study*») – ориентированные на проблемно-ситуационный анализ одной или нескольких реальных ситуаций;
- исследовательские (поисковые) работы – анализ данных на основе анкетного и других видов опроса, для определения наиболее распространённых методов в области охраны окружающей среды и получения общего мнения специалистов относительно экологических решений;
- эмпирические – основанные на методах социального эксперимента и социального моделирования, направленные на получение и обработку эмпириче-

ских данных, их систематизацию, получения фактов и эмпирических законов, а также проверки гипотез и теорий;

- аналитические – использование практического инструментария математического и имитационного моделирования [89].

Основными предметными областями исследований являются:

- социальные аспекты, политика – развитие корпоративной социальной ответственности, деловая этика, эко-аудиты, законодательство в области устойчивого развития;

- координация и взаимодействие – сотрудничество между бизнес-сектором, академическими структурами и политическими органами как на национальном, так и международном уровнях; формирование «зелёных» транспортных коридоров; разработка ИТ-систем;

- инфраструктура – экологическое проектирование объектов транспортной и логистической инфраструктуры, строительство и размещение логистических центров, дополнительной инфраструктуры.

- закупка, производство и сбыт – экологические проблемы, связанные со взаимоотношениями поставщиков и покупателей, вопросы экологического проектирования, разработки, производства и переработки продукции; оценка и контроль качества продукции (услуг) на соответствие экологическим нормам;

- «зелёная» логистика – выполнение логистических функций и операций, направленных на снижение выбросов CO<sub>2</sub>.

Принятие решений в транспортно-логистической деятельности и управлении цепями поставок характеризуется рассмотрением множества противоположных целей и задач, а также критериев, по которым производить их оценку. Поиск оптимальных решений из этого множества выполняется с использованием научных и эмпирических методов, которые учитывают многомерность окружающего мира – многокритериальных методов принятия решений (Multi-criteria decision making или MCDM) [105].

С использованием MCDM выполняется решение четырех типов проблем [351]: выбор наилучшей альтернативы из множества, ранжирование и сортировка

альтернатив, а также описание и систематизация решений и их последствий, для оценки и дальнейшего управления [105]. Основная цель MCDM, по мнению В. Белтона [212], состоит в том, чтобы облегчить процесс принятия решения с учётом ценностей и целей всех стейкхолдеров в рамках решаемой проблемы. Это достигается в три ключевых этапа [8]: выявление и структурирование проблемы; построение и использование моделей, и разработка планов действий [105].

В работах [200, 435] отмечается специфика применения MCDM. Показано, что ни один из множества многокритериальных методов, не может считаться универсальным для всех ситуаций принятия решений или использоваться во всех областях исследований. Это зависит от множества ограничений, например, характера и объёма данных для анализа, различия компетенций участников процесса анализа, параметров процесса оценки, разнообразия принимаемых решений и др. [105]. Рекомендации по выбору MCDM представлены в исследовании [267].

Ключевыми недостатками использования MCDM являются [105, 426, 432]: получение различных результатов при использовании разных алгоритмов агрегирования; сбор информации и возможная её потеря при оценке; структурирование проблемы; трудоёмкость и сложность использования; проблема выбора наиболее эффективного MCDM метода. Несмотря на перечисленные недостатки использование MCDM [426] обеспечивает системный, научный, объективный подход в принятии решений, учитывающий множество факторов окружающего мира [105].

Активное применение за последнее десятилетие MCDM методов в области устойчивого развития [301] и устойчивого транспорта [221], экономике [432], на транспорте [338], в реверсивной [366] и «зелёной» логистике [425], управлении цепями [303, 336] и «зелёными» [194] цепями поставок, устойчивой инженерии [205] показывает эффективность их использования для анализа функционирования перечисленных систем, достижения их целей и решения задач, требующих принятия оптимальных решений из множества вариантов [433].

Развитие MCDM осуществляется по трем направлениям [435]: формальные модели (алгоритмы, методики и парадигмы выбора), теория оценки (гипотезы о ценностях и предпочтениях) и методология оценки (выявление, оценка и масшта-



бирование индивидуальных предпочтений, полезностей и субъективных вероятностей в различных ситуациях MCDM) [105]. Часть исследований касаются изучения отдельных процессов принятия решений – проблем сортировки [201], методов нормализации [206], чувствительности и стабильности результатов [331, 383], учёта интереса всех участников процесса принятия решений [320] и др.

Автором диссертационной работы выполнен анализ использования MCDM в логистике и на транспорте [103, 105], рассмотрены подходы к классификации методов, выполнена систематизация MCDM. Существующие MCDM разделены на (табл. 1.6):

1. MODM – многоцелевое принятие решений (Multi-Objective Decision Making) – непрерывные методы с бесконечным количеством альтернатив и целью определить оптимальную альтернативу с учётом ограничений и нескольких целей, поддающихся количественной оценке.

2. MADM – принятие решений по множеству атрибутов (Multi-Attribute Decision Making) – дискретные методы с малым количеством альтернатив, которые оцениваются по отношению к различным взвешенным атрибутам для получения рейтинга предпочтений, который описывает эффективность каждой альтернативы для достижения цели в отношении атрибутов [105].

Таблица 1.6 – Сравнение MADM и MODM моделей [105]

Сравниваемый признак	MADM	MODM
Основное назначение	Ранжирование	Оптимизация
Парадигма моделирования решений	Ориентация на результат	Ориентация на процесс
Характер принятия решений	Дискретный	Непрерывный
Взаимодействие с лицом, принимающим решения	Низкое	Высокое
Ограничения	Нечёткие	Чёткие
Основа определения критериев	Альтернативы	Цели
Цели	Неявные	Конкретные
Атрибуты	Понятные	Неявные
Альтернативы	Предопределены	Не предопределены
Количество альтернатив	Малое (конечное)	Большое (бесконечное)

Методы MODM, используемые для проблемы решения «бесконечных вариантов» в транспортном секторе, обычно относятся к вопросам оптимизации и менее распространены по сравнению с методами MADM. В табл. 1.6 представлены результаты сравнительного анализа MODM и MADM моделей [105, 291].

Из-за отсутствия точных данных или их нехватки при решении реальных задач MCDM целесообразно комбинировать с нестатистическими методами, например теориями нечётких множеств, грубых множеств, возможностей или серых систем. Методы и подходы данных теорий постоянно совершенствуются и являются одними из самых обсуждаемых научных тем в области устойчивого развития в инженерии [105, 334]. Такая комбинация позволяет моделировать сложные системы на основе неопределённых, неточных, противоречивых или расплывчатых данных [433]. В табл. 1.7 представлено сравнение теорий, используемых в диссертации при комбинации с MCDM [314].

Таблица 1.7 – Сравнение теорий серых систем, вероятностей и нечётких множеств

Сравниваемый признак	Теория серых систем	Теория вероятностей и статистика	Теория нечётких множеств
Объекты исследования	Недостаточная, неопределённая информация	Стохастическая неопределённость	Когнитивная неопределённость
Базовые установки	Серые размытые контуры	Конторово множество	Нечёткие множества
Методы	Информационное покрытие	Распределение вероятностей	Функция принадлежности
Процедура	Генерация серых чисел	Распределение частоты	Маргинальное распределение
Требование	Любое распределение	Типичные распределения	Экспертный опыт
Законы	Законы реальности	Законы статистики	Когнитивное выражение
Характеристика	Небольшая выборка	Большая выборка	Опыт

Обзор и анализ современных научных работ в области устойчивого развития и логистики позволяют сделать вывод о постепенной интеграции экологического фактора в практику управления. Активно развивается научное и практиче-

ское направление по повышению эффективности логистических систем при снижении негативного воздействия на окружающую среду, разрабатываются методы, методики и модели принятия решений по реализации «зелёных» технологий в логистических транспортных системах и управлении цепями поставок. Назрела целесообразность рассмотрения проблемы устойчивого развития цепей поставок на основании систематизации знаний и подходов по управлению логистическими потоками с позиции концепции устойчивого развития. Требуется разработка единого методологического подхода формирования и устойчивого развития логистических цепей грузопотоков, основанного на использовании «зелёных» принципов, методов и решений, учитывающего сложные взаимосвязи этих факторов.

#### **1.4 Анализ проблем устойчивого развития логистических цепей грузопотоков и постановка задач исследования**

В настоящее время изменения в логистике и на транспорте происходят во всех сферах деятельности, начиная от появления потенциально революционных технологий (например, использование дронов, автоматизированных и беспилотных транспортных средств и пр.), инноваций в городском транспортно-логистическом сервисе, неустойчивое финансирование инфраструктурных проектов, до изменений в законодательстве и национальной политике, влияющих на торговлю, климат, защиту окружающей среды и энергоресурсы. Последствия данных изменений могут положительно и отрицательно влиять на функционирование транспортных систем и формирование цепей поставок и, как следствие, на качество и эффективность управления логистическими цепями грузопотоков.

По оценкам исполнительного комитета «Transportation Research Board» [234] исследование двенадцати потенциально критических проблем (рис. 1.21) на транспорте требует решения в ближайшие 5-10 лет по причине их влияния на экономику, безопасность, состояния здоровья населения и устойчивое развитие.

Систематизация критических проблем позволила сгруппировать их по трем основным направлениям:

1. Транспортно-логистическая инфраструктура.
2. Управление и менеджмент.
3. Устойчивое развитие.



Рисунок 1.21 – Критические проблемы на транспорте 2019 [234]

Увеличение спроса на перевозки в мировой транспортной системе связано с ростом потребления и повышением мобильности, что приводит к перегрузке и нехватке мощности и пропускной способности транспортной инфраструктуры. Выделяют две основных причины такой перегрузки: когда потребность в перевозках превышает возможности транспортной системы и возникновение случайных, но предсказуемых событий, вызывающих временное нарушение работы служб на транспорте. Традиционно решение проблемы перегрузки заключалось в увеличении пропускной способности на основе реализации инженерных решений по проектированию и строительству инфраструктуры.

Однако транспортная политика и планирование требуют новых решений, которые учитывали различные цели (экономические, социальные, экологические) и отвечали будущим потребностям мобильности. В основу таких решений долж-

ны быть положены методы управления спросом, концентрация/деконцентрация инфраструктуры, интеграция грузовой логистики в городскую логистику [372], логистические методы управления потоками [130], управления интеллектуальными транспортными системами [125, 358], организация близлежащих терминалов – «сухих» портов [142], выбор мест размещения объектов логистической инфраструктуры [398].

Создание современных объектов логистической инфраструктуры (логистических центров) позволит повысить согласованность работы участников логистических цепей грузопотоков, в результате чего произойдёт более рациональное использование подвижного состава, снижение простоя и порожнего пробега транспортных средств и, соответственно, снижение объёма выбросов в окружающую среду [372].

Не менее важными проблемами, с которыми сталкиваются все страны мира, являются финансирование в строительство и эксплуатацию транспортной инфраструктуры и необходимость учёта жизненного цикла инфраструктуры. Правительства стран традиционно были основным источником финансирования транспортного сектора. Однако, в современных условиях наиболее эффективными признаются способы финансирования, основанные на частном или государственно-частном партнёрстве [372].

Аналогичные подходы применимы к моделям управления транспортными системами. Изменения, происходящие на транспорте, и связанные с приватизацией инфраструктуры и транспортных компаний приводят к переходу от государственного управления к частному [372]. Низкая эффективность национальных и международных правил [275], особенно в отношении экологических вопросов, создала возможности для неправительственных субъектов, таких как частные компании и торговые группы, более активно участвовать в вопросах регулирования и управления.

Растущая роль частного сектора в транспортно-логистической деятельности потребовала изменений в управлении и отношениях собственности. Они включают [372]:

- появление горизонтально связанных глобальных корпораций, которые в результате серии приобретений и слияний скупили аналогичные операционные компании на разных рынках;
- развитие вертикально связанных корпораций за счёт слияний и поглощений с целью контроля сегментов транспортной цепи;
- появление посредников транспортных услуг в глобальном масштабе, без прямого владения инфраструктурой. Компании 3PL работают на многих рынках и являются основными участниками транспортной цепочки;
- альянсы, неформальные группы поставщиков транспортных услуг, которые объединяют ресурсы и предлагают совместные услуги между основными мировыми рынками, поскольку партнеры объединяют свои соответствующие региональные сети.

Проблемы устойчивого развития становятся все более важным фактором для транспортно-логистической деятельности. Мировым сообществом признается необходимость баланса экономической эффективности, социальных факторов и окружающей среды. Однако, если вопросы экономической эффективности для транспортных компаний выступают на первый план, а государство играли важную роль в регулировании социальных условий (безопасность, защищенность и условия труда), то вопросы негативного влияния транспорта на экологию являются для многих компаний второстепенными.

Ситуация быстро меняется, и экологические проблемы с каждым годом приобретают большую актуальность в транспортной отрасли, особенно по следующим основным направлениям:

1. Загрязнение атмосферного воздуха. Стандарты загрязнения атмосферы внедряются во всех странах, наблюдаются тенденции к усилению контроля над выбросами. В странах, где режим регулирования и контроля стандартов более строгий, повышается конкурентоспособность компаний, которые способны обеспечить требования данных стандартов.

2. Качество водных ресурсов. Вклад транспорта в загрязнение водных ресурсов значительный. Защита морской среды от биологической инвазии балласт-

ными водами, отходами и разливами нефти регулируется международными конвенциями и оказывает влияние на транспортную отрасль. Экологические ограничения, связанные с выполнением дноуглубительных работ, становятся финансовым бременем для владельцев портовой инфраструктуры.

3. Транспортный след. Рост масштабов развития транспортной и дорожной инфраструктуры приводит к отчуждению и деградации земель, связанных со строительством.

4 Изменение климата. Транспортно-логистическая деятельность подвергается давлению общества и нормативному давлению с целью улучшения экологических показателей в отношении выделяемых парниковых газов. В то же время изменение климата может отрицательно повлиять на транспортную деятельность. Суровые погодные условия разрушительно влияют на транспортные системы и инфраструктуру, сокращая их жизненный цикл и увеличивая затраты на обслуживание.

5. Декарбонизация транспорта. Как прямой результат рисков изменения климата, реализуются стратегии по сокращению, смягчению и даже устранению выбросов углерода путем адаптации транспортной инфраструктуры, транспортных средств и операций. Ключевым аспектом является переход от технологий, поддерживаемых ископаемым топливом, к технологиям, которые производят энергию с нулевым выбросом парниковых газов.

На основе систематизации наиболее известных индексов, индикаторов и критериев по аспектам устойчивого развития выполнена оценка данных показателей и определено место России в мировых экологических, экономических и социально-культурных рейтингах (табл. 1.8). Низкие значения многих показателей указывают о необходимости изменения подходов и методов управления экономическими и социальными системами, окружающей средой в России с целью их интеграции в мировую торговую систему.

Таблица 1.8 – Место России в мировых рейтингах\*

Аспек-ты	Показатель – значение показателя для РФ	Место в рейтинге	Источник
Экономические	Индекс глобальной конкурентоспособности (Global Competitiveness Index) – 67,17	45 из 63	2018, IMD World Competitiveness Center
	Индекс общей глобализации (KOF Globalisation Index) – 69,06	56 из 175	2015, KOF Swiss Economic Institute
	Индекс экономической глобализации (Economic Globalisation Index) – 50,95	105 из 175	2015, The Swiss Institute of Technology in Zurich
	Индекс доверия с точки зрения прямых иностранных инвестиций (The FDI Confidence Index)	– (из 25)	2018, A.T. Kearney
	Рейтинги долгосрочных долговых обязательств корпоративных эмитентов	Ba1	2018, Moody's Investors Service
Экологические	Индекс климатической эффективности (The Climate Change Performance Index) – 29,85	53 из 60	2018, Germanwatch and Climate Action Network Europe
	Индекс экологической эффективности (Environmental Performance Index) – 45,4	106 из 180	2015, Yale Center for Environmental Law and Policy
	Индекс счастливой планеты (Happy Planet Index) – 18,7	116 из 140	2018, New Economics Foundation
Социальные	Индекс социальной глобализации (Social Globalisation Index) – 65,81	90 из 194	2015, The Swiss Institute of Technology in Zurich
	Мировой рейтинг талантливых кадров (IMD World Talent Ranking) – 48,58	46 из 63	2018, IMD World Competitiveness Center
	Индекс процветания (The Legatum Prosperity Index) – 54,28	101 из 149	2017, The Legatum Institute
	Индекс развития человеческого потенциала (Human Development Index) – 0,816	49 из 189	2017, United Nations Organization

\* – составлено автором на основе анализа отчётов, представленных на официальных сайтах агентств и организаций

Результаты исследования актуальности проблемы и анализа методологической базы в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков позволили сделать следующие основные выводы:

1. Анализ состояния логистических цепей в современных условиях в России и за рубежом показывает, что с ростом мировых объёмов потребительского рынка и усложнении структуры товаропотоков, усилением тенденции на специализацию производства по странам, повышением конкуренции между компаниями возрастает сложность управления логистическими цепями грузопотоков. На мировом рынке наблюдается усиление требований общества и государства по реализации



мероприятий достижения ЦУР. Это повышает требования к функционированию национальных и региональных транспортно-логистических систем, делает актуальной задачей их преобразования и эффективной интеграции в глобальные производственно-сбытовые цепи и логистические цепи поставок. Устойчивое развитие логистических цепей грузопотоков, способных обслуживать возрастающие объёмы перевозок на международном и национальном уровне максимально эффективно, будет способствовать повышению социально-экономических показателей России, занимающей по выбросам углекислого газа четвёртое место в мире и 75 место по Индексу эффективности логистики (LPI).

2. Анализ теорий и концепций устойчивого развития логистических цепей грузопотоков позволил установить, что в настоящее время всё больший интерес исследователей и практиков привлекают концепции, основанные на триедином подходе – экономика, социум и окружающая среда. В течение последних тридцати лет попытки реализации такого подхода осуществлялись в реверсивной логистике, «зелёной» логистике, управлении «зелёными» и устойчивыми цепями поставок. Однако наличие противоречий между целями логистических систем (экономических), и целями устойчивого развития (экологических и социальных), приводят к снижению эффективности решений по управлению логистическими цепями грузопотоков по достижению ЦУР.

3. Обзор научных работ позволил сделать выводы, что наблюдается интеграция принципов концепции устойчивого развития в практику логистического управления. Разрабатываются методы организации и управления цепями поставок, обосновываются критерии оценки «зелёных»/устойчивых цепей поставок и разрабатываются модели принятия решений по снижению негативного воздействия логистических систем на окружающую среду. Вместе с тем, использование концепции устойчивого развития в логистической деятельности, реализация «зелёных» решений и моделей управления цепями поставок сопряжена с необходимостью разработки новых подходов и концепции управления логистическими цепями грузопотоков, основанных на использовании принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики, разработке комбинированных многокритериальных

методов и моделей принятия решений по управлению параметрами логистических потоков для достижения целей устойчивого развития. В этой связи вопросы создания методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов «зелёной» логистики стали предметом исследования данной диссертации.

Указанные выводы определили **цель** настоящей диссертационной работы – разработка методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов «зелёной» логистики, позволяющих обеспечить эффективность продвижения грузопотоков при снижении негативного воздействия на окружающую среду. Основная **идея работы** состоит в том, что устойчивое развитие логистических цепей грузопотоков достигается посредством достижения рациональных значений экономических, социальных и экологических параметров логистических потоков на всех этапах процесса продвижения грузопотоков.

Структура диссертации представлена на рис. 1.22 и включает шесть блоков, обладающих внутренним единством и содержащих новые научные результаты по решению проблемы формирования и управления логистическими цепями грузопотоков для достижения целей устойчивого развития.

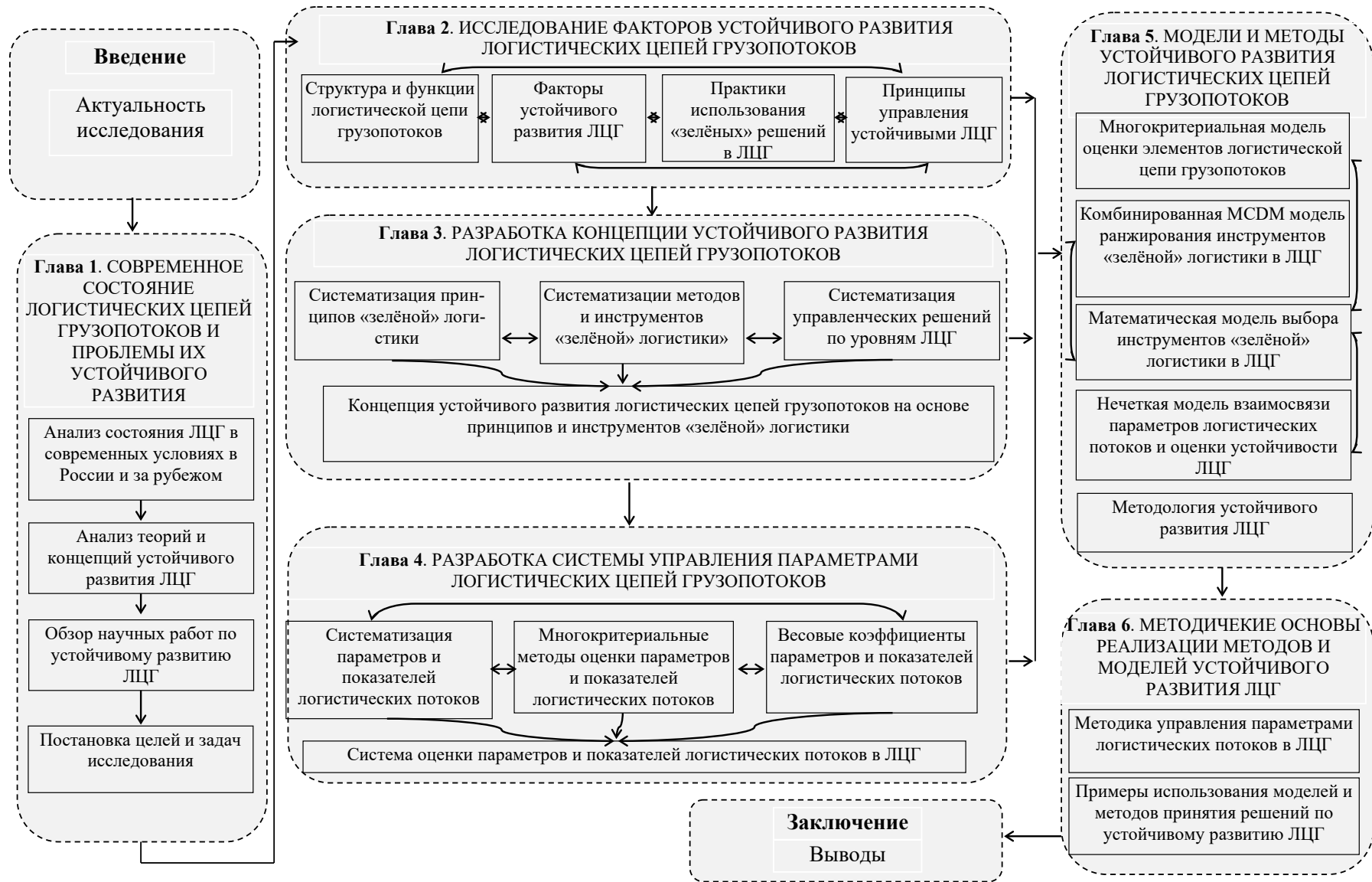


Рисунок 1.22 – Схема структуры диссертации

## Выводы по главе 1

1. Логистические цепи грузопотоков являются важнейшим элементом глобальных производственно-сбытовых цепочек и цепей поставок в международной торговой системе. Качество управления ЛЦГ оказывает существенное влияние не только на эффективность функционирования компаний-участниц, но также на устойчивое развитие стран.

2. Современное состояние логистических цепей грузопотоков в условиях глобализации мировой экономики характеризуется:

- увеличением объёмов торговых потоков, усложнением структуры и расширением товарной номенклатуры;
- различным уровнем развития региональных логистических транспортных систем стран и их слабая интеграция в мировую транспортную систему, недостаточный уровень развития транспортно-логистической инфраструктуры и дефицит её пропускной способности;
- повышением требований к экологическим аспектам транспортно-логистической деятельности.

3. Доля России в мировой торговле за последние двадцать лет в среднем составила 2,16% по экспорту и 1,65% по импорту. Результаты анализа основных показателей работы транспортной системы России показывают рост численности парка грузовых транспортных средств (за исключением морских судов), увеличение грузооборота при незначительном повышении объёмов перевозок. Наблюдается старение парка транспортных средств, слабое развитие дорожной инфраструктуры, низкий уровень логистического сервиса, а также увеличение объёма выбросов CO<sub>2</sub>.

4. Выполнение транспортно-логистической деятельности осуществляется в условиях усиления требований государств и общества по достижению целей устойчивого развития – комплекса экономических, экологических и социальных целей. Основой достижения данных целей является реализация мероприятий и программ с использованием концепций и принципов устойчивого развития, «зе-

лёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок. Однако наличие противоречий между целями логистических систем, ориентированных на достижение экономических показателей, и целями устойчивого развития, дополнительно учитывающими экологические и социальные аспекты функционирования, приводят к снижению эффективности решений по управлению логистическими цепями грузопотоков по достижению ЦУР.

5. Обзор научных исследований в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков позволяет заключить:

- в целом сформирован понятийно-терминологический аппарат «зелёной» логистики, сформулированы подходы и принципы устойчивого развития, создана нормативно-правовая база для их реализации;
- активно реализуются экологические программы и проекты при поддержке общественных и государственных институтов, бизнес структур, научно-исследовательских организаций и международных ассоциаций;
- разрабатываются подходы управления цепями поставок, обосновываются критерии оценки «зелёных»/устойчивых цепей поставок, разрабатываются модели принятия решений по снижению негативного воздействия цепей поставок на окружающую среду.

Вместе с тем, реализация принципов устойчивого развития, «зелёных» технологий и методов управления цепями поставок сопряжена с необходимостью разработки новых подходов и концепции управления логистическими цепями грузопотоков, основанных на использовании принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики, разработке комбинированных многокритериальных методов и моделей принятия решений по управлению параметрами логистических потоков для достижения ЦУР. В этой связи вопросы создания методологических основ устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов и инструментов «зелёной» логистики стали предметом исследования настоящей диссертационной работы.

## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ**

### **2.1 Структура и функции логистических цепей грузопотоков**

Логистика как научное направление является относительно новым понятием и находится в процессе формирования, не имея чётких границ [48]. С одной стороны, логистика представляет собой единый подход к управлению материальными, информационными, финансовыми потоками и потоками услуг, выражающийся в планировании, организации, координации, контроле и согласованности выполнения операций по продвижению и переработке данных потоков. С другой стороны, распространена идея о декомпозиции элементов логистических систем и рассмотрение каждого звена логистической цепи как замкнутой логистической системы [154]. Однако, рассматривая звенья логистической цепи в отдельности, концентрируя внимание на отдельных логистических операциях и функциях, а также методах согласования их работ с остальными элементами логистической системы [48] приводит к повышению эффективности отдельного элемента логистической цепи (предприятия, организации). Такой подход противоречит ключевому логистическому принципу – интеграции отдельных производств в систему с целью достижения суммарного эффекта [48].

В диссертационной работе под логистической системой (ЛС) понимают сложную организационно-завершённую экономическую систему, состоящую из функционально обособленных элементов, взаимосвязанных в едином процессе продвижения материальных и сопутствующих им потоков услуг, информационных и финансовых потоков [144].

Элементом логистической системы называется функционально обособленный объект, не подлежащий дальнейшей декомпозиции в рамках поставленной задачи анализа или построения ЛС, выполняющий свою локальную цель, связанную с определенными логистическими операциями или функциями [48]. Элементы, линейно организованные по материальному потоку, представляют логистиче-

скую цепь (ЛЦ). Таким образом, логистическая цепь грузопотоков (рис 2.1) – фрагмент глобальной логистической системы, представляющий собой линейно упорядоченную совокупность логистических элементов (входного (E2), перерабатывающего (E3), накопительного (E4), транспортного (E5), выходного (E6) и управляющего (E1)) вдоль материального и сопутствующему ему других логистических потоков (финансового, информационного и потока услуг) [92].

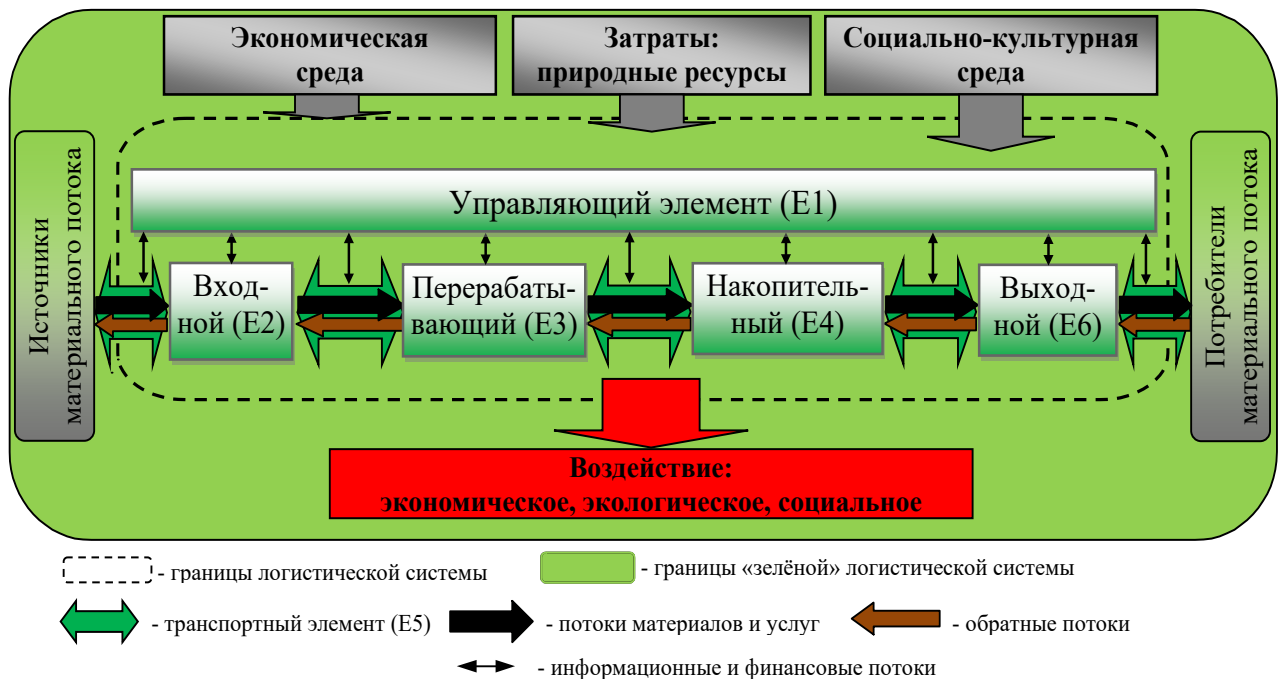


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема логистической цепи грузопотоков

Элементы ЛЦГ в процессе функционирования являются потребителями возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, загрязнителями окружающей среды и влияют на изменение климата [109, 315]. Каждый элемент ЛЦГ выполняет функции по воздействию на логистические потоки (рис. 2.2): входной элемент, реализующий функцию поступления материального потока в ЛС и обеспечивающий закупку, снабжение ЛС необходимым сырьем, материалами или услугами; накопительный элемент, реализующий функцию регулирования скорости материальных потоков в результате их торможения, накопления и хранения; транспортный элемент реализует функцию ускорения и перемещения материальных потоков; перерабатывающий элемент реализует функцию изменения качественных

свойств материальных потоков, их преобразование из сырья в готовую продукцию; выходной элемент обеспечивает выбытие материального потока из ЛС, сбыт и распределение готовой продукции и услуг; управляющий элемент обеспечивает информационную и финансовую связь между элементами ЛС, контролирует выполнение ими своих функций и операций, регулирует продвижение информационных и финансовых потоков в ЛС [92, 97].

Использование структурно-функционального подхода при описании логистической системы принципиально отличается от распространенного способа выделения функциональных областей логистики: транспортной, сбытовой, производственной логистики, логистики снабжения и складирования. Недостатком такого функционального подхода является «привязка» логистических функций и операций к инфраструктурным элементам логистических цепей – складам, промышленным предприятиям, отделам снабжения и сбыта, транспорту. При использовании функционального подхода для решения задачи систематизации логистических методов возникает ситуация, когда один и тот же метод управления логистическими потоками реализуется в разных функциональных областях логистики [97]. Это является основной причиной несогласованной реализации «зелёных» решений, когда одни и те же решения реализуются на различной методической основе, регламентируются различными, зачастую противоречащими друг другу, нормативно-правовыми документами [92, 315].

Таким образом, ЛЦГ как разновидность логистических систем, можно отнести к категории сложных и больших систем [74], обладающих такими общесистемными свойствами как [48] системность, адаптивность, развитие и самоорганизация. Свойство системности характеризует, в основном, структуру и функции логистической цепи, которые могут адаптироваться к изменениям внешних условий (свойство адаптивности) и целенаправленно развиваться, увеличивая число элементов и связей в системе, усложняя её систему управления. Основной движущей силой развития таких сложных систем следует считать свойство самоорганизации, выражающееся в самопроизвольном формировании новых организационных и экономических связей между элементами логистической цепи для полу-



чения синергетического эффекта, достижения целей логистики и, в частности, снижения затрат на продвижение логистических потоков [145].

Реализация данных общесистемных свойств достигается выполнением логистических функций, которые, в зависимости от уровня решаемых логистических задач подразделяются на [48, 274, 359]:

- ключевые – функции управления логистическими элементами и логистической системой в целом;
- базисные – обобщённые функции воздействия на логистические потоки – ввод и вывод потоков из системы (снабжение и сбыт), качественные изменения потоков (производство), продвижение (транспортирование), накопление и замедление потоков (складирование);
- поддерживающие – специфические функции каждого элемента логистической системы, представляющие собой, в свою очередь, набор конкретных операций (действий) по изменению параметров потоков. В результате выполнения логистических операций и поддерживающих функций реализуются базисные логистические функции ЛС.

Таким образом каждый элемент ЛЦГ, выполняя определенные операции и функции, должен ориентироваться на достижение общих целей логистической системы – экономических, технологических, социальных и экологических. Для эффективного управления элементами ЛЦГ и всей цепочкой в целом необходимо систематизировать и исследовать факторы устойчивого развития ЛГЦ. Учёт данных факторов и их влияние на элементы ЛГЦ позволит разрабатывать решения по достижению целей концепции устойчивого развития при формировании и управлении логистическими цепями грузопотоков.

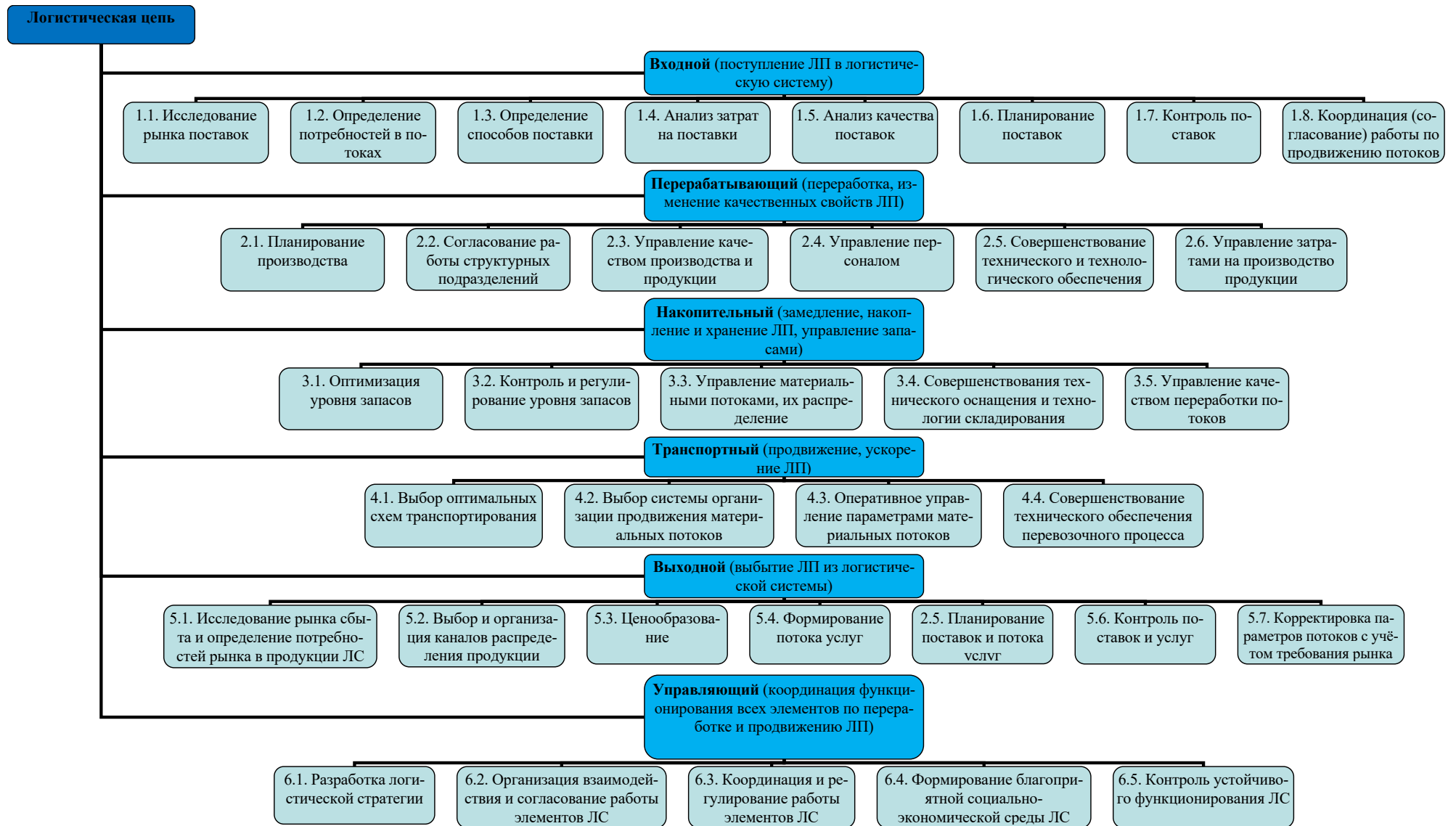


Рисунок 2.2 – Базисные и поддерживающие функции элементов логистических цепей грузопотоков [48]

## 2.2 Исследование факторов устойчивого развития логистических цепей грузопотоков

В основу концепции устойчивого развития положена идея достижения разумного баланса между экологическим, экономическим, социально-культурным развитием и потребностями людей. Экономическая составляющая устойчивого развития ориентирована на эффективное применение ограниченных ресурсов, экономию энергии, применение природоохранных и материалосберегающих технологий. Социально-культурная составляющая подразумевает поддержание устойчивости культурных и социальных систем, справедливое распределение благ. Экологическая составляющая ориентирована на поддержание целостности природных систем для нынешнего и будущих поколений [97, 113].

На рис. 2.3 представлены виды воздействия ЛЦГ на окружающую среду с позиции концепции устойчивого развития.

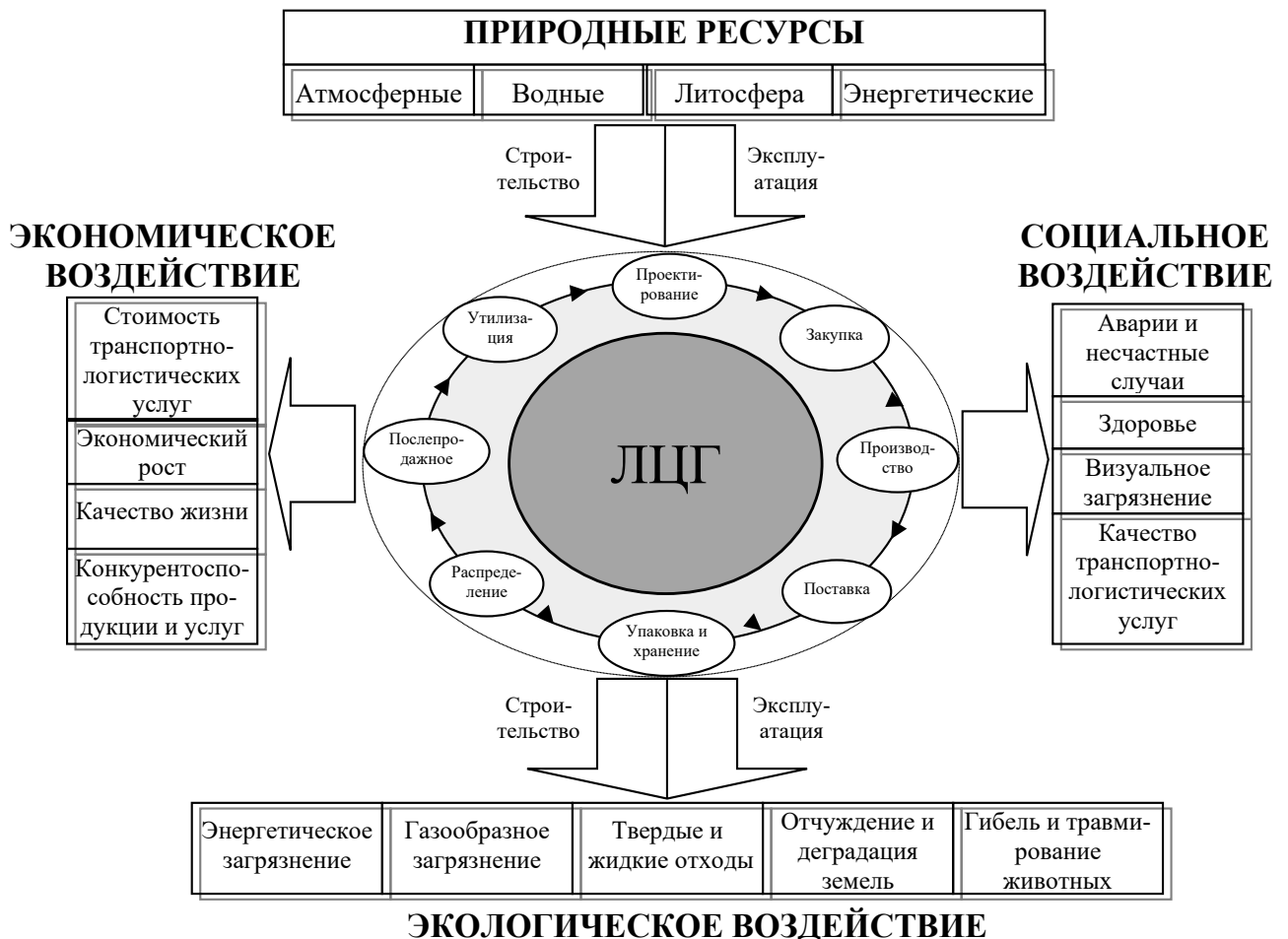


Рисунок 2.3 – Воздействие ЛЦГ на окружающую среду [316]

Выделяют следующие группы факторов устойчивости ЛЦГ [88, 90, 97, 316]:

- Экологические факторы. Оценка и учёт экологических факторов, а также ресурсных ограничений необходима в проектном и инвестиционном анализе, при стратегическом планировании развития территорий, обоснования приоритетных направлений развития транспорта и логистической инфраструктуры. Деление экологических факторов на две группы: факторы, негативно влияющие на окружающую среду при строительстве транспортно-логистической инфраструктуры, и факторы, появляющиеся непосредственно в процессе управления ЛЦГ. Недостаточный учёт экологических факторов приводит к чрезмерному потреблению природных ресурсов; загрязнению окружающей среды вредными веществами, энергетическому и визуальному загрязнению; отчуждению и деградации земель; сокращению биоразнообразия на земле, возникновению экологических патологий [97].

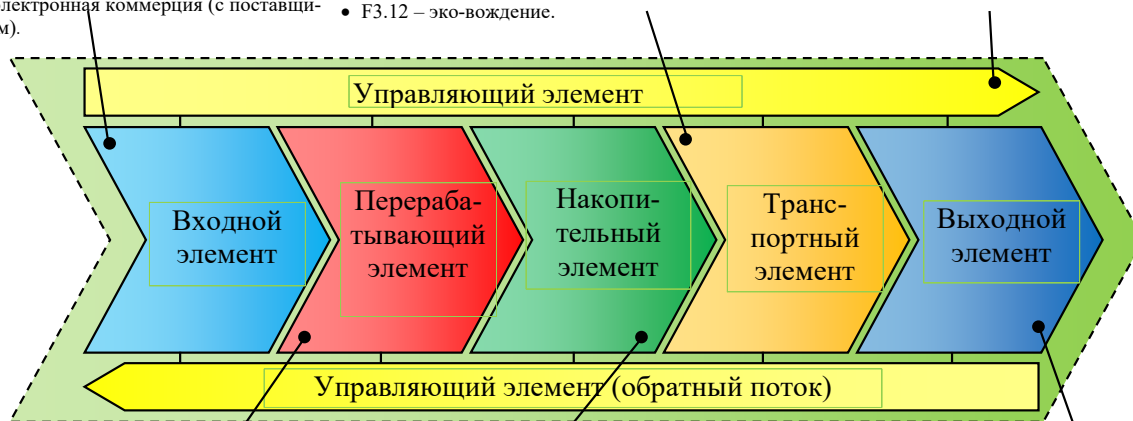
- Социальные факторы. Учёт и оценка социальных факторов при формировании и управлении ЛЦГ направлены на повышение уровня жизни в результате, в основном, обеспечения транспортной безопасности, расширения доступности и улучшения качества транспортных и логистических услуг населению, защиты здоровья, обеспечения социального благополучия, развитие экологической компетентности граждан и выработка у общества «экологического этикета» по отношению к процессам доставке груза (товара) [97]. Решение двух последних из перечисленных задач основано на формировании у людей системного взгляда на среду обитания человека и понимание влияния человеческой деятельности на природу [127, 128].

- Экономические факторы. Экономические особенности устойчивого развития ЛЦГ систем заключаются в согласовании целей устойчивого развития с целями формирования ЛЦГ – получение прибыли, экономический рост, повышение конкурентоспособности. Основная гипотеза такого согласования заключается в том, что реализация логистических методов, концепций и функций принципиально позволяет сократить затраты ресурсов и минимизировать издержки, что по-

тенциально способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду [97].

На рис. 2.4 представлены результаты систематизации факторов устойчивого развития ЛЦГ. В качестве основного признака систематизация были использованы поддерживающие функции элементов ЛЦГ [90, 97].

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• F1.1 – экологически чистые сырье и материалы (у поставщика);</li> <li>• F1.2 – сырье и материалы с возможностью повторного использования или переработки;</li> <li>• F1.3 – объем и система закупок сырья и материалов;</li> <li>• F1.4 – экологически дружелюбные поставщики;</li> <li>• F1.5 – дальность поставки сырья и материалов;</li> <li>• F1.6 – вид тары и упаковки (сырье и материалы);</li> <li>• F1.7 – эко-маркировка (сырье и материалы);</li> <li>• F1.8 – электронная коммерция (с поставщиком).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• F3.1 – вид транспорта;</li> <li>• F3.2 – вид сообщения;</li> <li>• F3.3 – маршрут транспортирования;</li> <li>• F3.4 – структура грузопотоков;</li> <li>• F3.5 – частота и размер отправок;</li> <li>• F3.6 – соответствие транспортных средств законодательным нормам;</li> <li>• F3.7 – вид горюче-смазочных материалов и топлива;</li> <li>• F3.8 – характеристика (состояние) парка транспортных средств;</li> <li>• F3.9 – тип и модель транспортного средства;</li> <li>• F3.10 – степень загрузки транспортных средств;</li> <li>• F3.11 – наличие навигационных и телекоммуникационных систем на подвижном составе;</li> <li>• F3.12 – эко-вождение.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• F6.1 – экологическая стратегия;</li> <li>• F6.2 – экологический аудит;</li> <li>• F6.3 – корпоративные информационные системы;</li> <li>• F6.4 – информационно-коммуникационные технологии;</li> <li>• F6.5 – интеллектуальные транспортные системы;</li> <li>• F6.6 – корпоративная социальная ответственность;</li> <li>• F6.7 – системы управления возвратными и обратными потоками;</li> <li>• F6.8 – процессы утилизации отходов, упаковки, готовой продукции.</li> </ul> |
|---|--|---|



- |  |  |  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• F2.1 – экологически чистые сырье и материалы (у производителя);</li> <li>• F2.2 – сырье и материалы с возможностью повторного использования или переработки;</li> <li>• F2.3 – экологически приемлемое оборудование;</li> <li>• F2.4 – энерго- и ресурсосберегающие технологии;</li> <li>• F2.5 – экологически чистые производственные технологии;</li> <li>• F2.6 – системы охраны окружающей среды;</li> <li>• F2.7 – отходы производства;</li> <li>• F2.8 – условия труда на рабочем месте;</li> <li>• F2.9 – эко-обучение.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• F4.1 – эко сырье и материалы, используемые при строительстве складов;</li> <li>• F4.2 – тип склада;</li> <li>• F4.3 – пространственная организация объектов транспортно-складского комплекса;</li> <li>• F4.4 – энергосберегающие технологии;</li> <li>• F4.5 – системы охраны окружающей среды;</li> <li>• F4.6 – экологически приемлемые погрузочно-разгрузочные средства;</li> <li>• F4.7 – механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ;</li> <li>• F4.8 – система управления запасами;</li> <li>• F4.9 – размещение и хранение готовой продукции и отходов;</li> <li>• F4.10 – вид тары и упаковки (готовая продукция);</li> <li>• F4.11 – условия труда на рабочем месте.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• F5.1 – эко-маркетинг (работа с клиентами);</li> <li>• F5.2 – экологически дружелюбные каналы сбыта;</li> <li>• F5.3 – система возврата тары и упаковки;</li> <li>• F5.4 – вид тары и упаковки (готовая продукция);</li> <li>• F5.5 – эко-маркировка (готовая продукция);</li> <li>• F5.6 – электронная коммерция (с потребителем).</li> </ul> |
|--|--|--|

Рисунок 2.4 – Схема систематизации факторов устойчивого развития ЛЦГ [97]

Для ранжирования факторов по степени важности в диссертационной работе использован серый реляционный анализ (Grey relational analysis – GRA) [240], как метод исследования, позволяющий анализировать системы в условиях недостатка исходных данных. GRA позволяет на основе сравнения факторов устойчи-

вого развития ЛЦГ установить отношения между наиболее важными факторами и остальными факторами. На основании расчёта степени корреляции Грея и выполнения серой реляционной оценки ранжируются факторы устойчивого развития ЛЦГ по степени важности.

Результаты ранжирования факторов устойчивого развития ЛЦГ с использованием серого реляционного анализа представлены на рис. 2.5 и Приложении А. Обозначение факторов (F1.1 – F6.8) выполнено в соответствии с рис. 2.4 и влиянием факторов на элементы ЛЦГ, которые представлены различными цветами: голубой – входной, красный – перерабатывающий, зелёный – накопительный, оранжевый – транспортный, синий – выходной и жёлтый – управляющий. Ранг фактора указан на каждом столбце.

Результаты использования серого реляционного анализа показывают:

- тремя наиболее значимыми факторами являются F2.5 (значение серой относительной оценки  $GRG = 0,801$ ; ранг №1), F3.6 ( $GRG = 0,768$ ; ранг №2), F6.5 ( $GRG = 0,759$ ; ранг №3), а наименее значимыми F1.4 ( $GRG = 0,385$ ; ранг №52), F5.5 ( $GRG = 0,374$ ; ранг №53) и F1.7 ( $GRG = 0,354$ ; ранг №54);
- среди элементов ЛЦГ наибольший/наименьший ранги соответственно приходятся на: входной (ранг №5 / ранг №54), перерабатывающий (ранг №1 / ранг №44), накопительный (ранг №2 / ранг №51), транспортный (ранг №7 / ранг №49), выходной (ранг №21 / ранг №53), управляющий (ранг №3 / ранг №46);
- наиболее важными являются группы факторов, оказывающие влияние на устойчивость перерабатывающего (среднее значение  $GRG = 0,595$ ), транспортного ( $GRG = 0,579$ ) и управляющего ( $GRG = 0,568$ ) элементов ЛЦГ. Наименьшее влияние у накопительного, входного и выходного элементов (среднее значение  $GRG$  соответственно 0,533; 0,515 и 0,497).

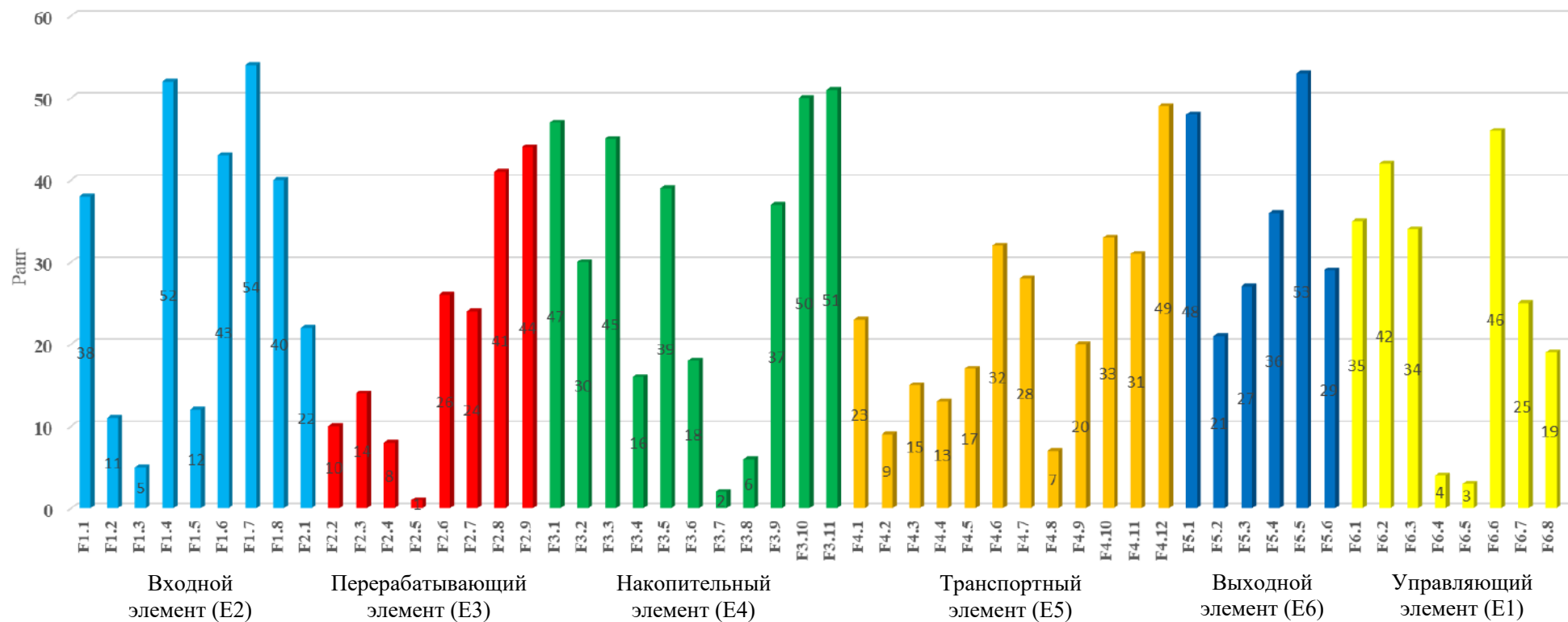


Рисунок 2.5 – Результаты ранжирования факторов устойчивого развития ЛЦГ с использованием серого реляционного анализа (GRA)

Представленная система факторов устойчивого развития ЛЦГ и результаты оценки степени влияния факторов на элементы ЛЦГ могут быть использованы как основа для систематизации и реализации «зелёных» решений при управлении логистическими цепями грузопотоков.

### **2.3 Исследование практик использования «зелёных» технологий при управлении логистическими цепями грузопотоков в России и за рубежом**

Текущую ситуацию в области устойчивого развития логистических цепей грузопотоков можно охарактеризовать процессом накопления и отбора частных решений по снижению вредного воздействия транспортных и логистических систем на окружающую среду [128]. Данные решения находят отражение в разнообразных «зелёных» программах, стратегиях и проектах, реализуемые при поддержке общественных и государственных институтов, бизнес структур, научно-исследовательских организаций и международных ассоциаций в странах Европы, Азии, Северной Америки и в странах БРИКС [86].

Среди наиболее значимых «зелёных» проектов, реализованных в последние годы, следует выделить [86]:

- проект The Global Green Freight Project, основными задачами которого являются привлечение внимания к проблемам развития экологически чистого транспорта, а также обмен информацией, разработка стандартов, оценка технологий и финансовых стимулов для различных стран и регионов при продвижении товаров в цепях поставок [86].

- проект Green Freight Europe, целью которого является разработка единого подхода по сбору, анализу и контролю выбросов вредных веществ при выполнении логистических операций, а также продвижение «зелёных» услуг при доставке товаров, сертификация и вознаграждение участников проекта [86].

- государственная программа Lean & Green, целью которой является повышение устойчивости логистических услуг в результате уменьшения выбросов



вредных веществ в атмосферу, сокращение потребления энергии и снижение шума от работы транспорта. Участниками программы являются более 300 логистических и торговых компаний из стран ЕС [86].

- проект ECO Stars, целью которого является повышение эффективности транспортных компаний при одновременном снижении выбросов CO<sub>2</sub> и потреблении энергоресурсов. Участниками проекта являются более 500 транспортных и логистических компаний [86].

- проект ICargo, целью которого является повышение эффективности и экологичности использования видов транспорта на основе использования информационно-телекоммуникационных технологий. Снижения выбросов CO<sub>2</sub> достигается в результате оптимизации управления грузовыми перевозками, согласования движения транспортных средств и выполнения логистических операций в системе доставки груза с применением методов динамического планирования и анализа оперативной информации о состоянии грузов, подвижного состава и объектов транспортной инфраструктуры [86].

- проект CORE, объединяющий в себе проекты Cassandra, CONTAIN, SUPPORT, SAFEPOST, EUROSKEY, e-Freight. Основная цель проекта – обеспечение экологической устойчивости и безопасности продвижения товаров цепях поставок на основе стандартизации и интеграции различных мероприятий и оценки рисков [86].

- комплекс проектов по формированию информационно-коммуникационных связей между стейкхолдерами процесса доставки грузов с целью обеспечения экологичности, безопасности и надёжности формирования цепей поставок. Включает проекты FREIGHTWISE, e-Freight, INTEGRITY, Smart-CM, SMART-FREIGHT, EURIDICE, RISING и DiSCwise [401].

- комплекс проектов под управлением IRU (Международный союз автомобильного транспорта), насчитывающий компаний-участников из более чем 100 стран. Включает такие проекты как Eco-Driving, SmartFusion, Commercial Vehicle of the Future, TRANSFORMERS, CO-GISTICS и I-CVUE [86].

Вклад в решение проблем управления «зелёной» цепями поставок вносит бизнес-инициатива ведущих грузовых перевозчиков и логистических компаний – «Консорциум чистого груза» (Clean Cargo Working Group (CCWG)). Основными задачами являются – разработка стандартов измерения уровня негативного воздействия на окружающую среду и оценка результативности экологической деятельности мировых морских перевозчиков. Результаты оценки деятельности 23 морских перевозчиков, на долю которых приходится до 85% мирового контейнерного оборота, использующих инструменты CCWG, показали сокращение вредных выбросов CO<sub>2</sub> в расчёте на TEU-км на 35% [86].

Примером практической реализации «зелёных» технологий в странах Азии (КНР, Индонезия, Пакистан, Филиппины, Вьетнам, Индия) является деятельность международной неправительственной организации Clean Air Asia. По её патронажем реализуются экологические программы и проекты по четырём основным направлениям: качество воздуха и изменение климата; чистые виды топлива и транспортные средства; «зелёные» перевозки и логистика; снижение уровня выбросов при развитии городов [86].

Интенсивное развитие интернет-технологий оказывает значительное влияние на качество управления «зелёными» цепями поставок. Такие веб-ресурсы, как [www.greenfreightandlogistics.org](http://www.greenfreightandlogistics.org), [www.sustainabledevelopment.un.org](http://www.sustainabledevelopment.un.org) и [www.thegreensupplychain.com](http://www.thegreensupplychain.com), являются информационными платформами не только для участников логистических цепей поставок, но и правительственных учреждений и других стейкхолдеров по вопросам организации сотрудничества в области снижения общих затрат, сокращения потребления топлива и уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу от транспортно-логистической деятельности по всему миру [86].

Обзор [89] существующих и перспективных подходов, комплексно реализующих государственный и рыночный инструменты к снижению воздействия транспортно-логистических систем на окружающую среду на период до 2050 года, позволил объединить эти инструменты в четыре группы [86, 89, 213, 405]:

- экономические – ориентированы на повышение стоимости доставки и побуждают использовать более дешёвые и экологические виды транспорта и «зелёные» технологии;

- правовые – ориентированы на контроль соблюдения нормативных ограничений. Используются для ускорения уровня технологического развития логистических транспортных систем за счёт постепенного повышения норм к экологичности транспортных средств;

- социальные – ориентированы на удобство пользования транспортной инфраструктурой, повышение качества услуг с учётом экологических требований;

- информационно-аналитические – научные исследования, обучение, распространение передового опыта, бенчмаркинг, консалтинг, использование углеродных калькуляторов и экологической маркировки [89].

В [402] представлены основные меры устойчивого развития транспорта в США, разработанные при поддержке администрации президента. Они включают следующие группы инициатив: экономические (налоги, ценообразование, кредиты); технологические (транспортные средства, топливо, транспортные и грузовые потоки, интермодальные технологии); инфраструктурные (транспортные коммуникации, землепользование); информационные (эко-программы, экообразование); научно-исследовательские [89].

В работе [399] способы сокращения выбросов вредных веществ в логистической деятельности систематизированы по трём направлениям: техническое, эксплуатационное (операционное) и логистическое. К техническим способам отнесён комплекс мероприятий по совершенствованию конструкции двигателей транспортных средств, использованию альтернативных видов топлива (энергии), снижению сопротивления движению и загрузки транспортных средств. К эксплуатационным мерам – обучение водителей и использование информационно-коммуникационных технологий. Логистические способы включают оптимизацию распределительной сети, осуществление закупочной и производственной деятельности с учётом выбросов CO<sub>2</sub>, использование интермодальных технологий, «зелёное» проектирование складов [27], управление упаковочной деятельностью,

реверсивную логистику и управление отходами [89]. В исследованиях [276] представлена матрица методов «зелёной» логистики, систематизированных по уровням управления процессами транспортирования, складирования и оказания дополнительных услуг [89].

В работе [220] в качестве приоритетных мер устойчивости логистических систем предложены десять способов, классифицированных по сложности и эффективности. К наиболее сложным и эффективным способам отнесены: технологии улавливания и хранения углерода; переход на приоритетное использование более экологичных видов транспорта; сокращение объёмов транспортной работы путём использования региональных систем закупки. Наименее эффективные и более простые в реализации: установка энергосберегающих ламп; эко-вождение; использование многооборотной тары [89].

Авторами [239, 393] выполнен анализ логистических операций управления «зелёными» цепями поставок (проектирование, планирование и контроль процессов доставки и хранения продукции, а также объектов логистической инфраструктуры) с позиции стратегического, тактического и оперативного управления. На основании данного анализа выявлены следующие особенности:

- в области стратегического управления «зелёными» цепями поставок 46% исследований посвящено «зелёной» продукции. Исследования в области управления перевозочным процессом и развития логистической инфраструктуры занимают соответственно 34% и 20%. Недостаточно исследованы проблемы проектирования «зелёных» зданий, рассматриваются частные проблемы энергопотребления при освещении и отоплении зданий, а не вопросы методологического характера, касающиеся создания обобщённых моделей, методов и расчётных методик;
- в вопросах тактического управления недостаточно исследованы проблемы «зелёного» планирования объектов логистической инфраструктуры. Предлагаемые решения, в основном, связаны с оптимизацией технологических процессов и мощностей оборудования;

- в вопросах оперативного управления недостаточно исследованы проблемы, направленные на обеспечение исправного состояния транспортных средств и оборудования для снижения негативного влияния на окружающую среду [89].

Обзор способов повышения устойчивости городских грузовых перевозок [328] позволил сгруппировать эти способы следующим образом: управление инфраструктурой; управление работой зон парковки и погрузки-разгрузки; совершенствование конструкции транспортных средств; управление дорожным движением; ценообразование, экономическое стимулирование и налогообложение; логистический менеджмент; управление спросом на грузовые перевозки; управление землепользованием [89].

В [355] выполнен анализ использования 263 «зелёных» технологий в транспортных коридорах. Данные технологии сгруппированы по 8 категориям: механизмы и система двигателя; топливо и энергоресурсы; обработка и транспортировка груза; отопление и охлаждение; загрузка и очистка подвижного состава; транспортные средства; навигационные технологии; технологии распространения инноваций [89].

Анализ работы 172 транспортных компаний в Швеции [405] позволил установить, что наиболее эффективными методами снижения воздействия на окружающую среду (в 77% компаний) являются оперативные управленческие решения, такие как оптимизация маршрутов или загрузки транспортных средств, эко-вождение и др., нежели стратегические решения по изменению структуры транспортной системы [89].

Таким образом, понимание и реализация «зелёных» проектов в практической деятельности логистических компаний показывает широкое разнообразие подходов на содержание «зелёных» решений. Это является следствием недостаточной системности их реализации [88, 89], что приводит к снижению эффективности каждого из этих подходов в отдельности. С этой целью в диссертации выполнены исследования использования «зелёных» технологий в различных сферах

бизнеса и при управлении цепями поставок в странах Южной и Северной Америки, Европы, Азии, а также Индии и Австралии.

В качестве примера недостаточной систематизации использования «зелёных» технологий в таблицах 2.1 и 2.2 представлены краткие характеристики крупных зарубежных и отечественных логистических и транспортных компаний, использующих в своей деятельности принципы устойчивого развития и «зелёные» технологии [86]. Данные технологии были сгруппированы в соответствии с функциями элементов ЛЦГ (см. рис. 2.2).

Таблица 2.1 – Характеристика компаний, реализующих «зелёные» программы (проекты) [86]

№	Наименование компании	Основной вид деятельности	«Зелёная» программа/проект	Страна
1	DB Schenker	Логистический провайдер	Программа «Climate Protection Program 2020»; Отдельные проекты	Германия
2	Green Cargo	Железнодорожный логистический оператор	Сервис «Environmental Impact Calculation»	Швеция
3	DHL	Логистическая компания (экспресс-доставка)	Программа «Go-Green»	Германия
4	FedEx	Логистическая компания (экспресс-доставка)	Проект «EarthSmart»	США
5	Kuehne Nagel	Логистический провайдер	Программа «Go Clean-Go Green», «Global Transport Carbon Calculator», Сервис «Climate Neutral Services»	Германия
6	United Parcel Service, Inc.	Логистическая компания (экспресс-доставка)	Программа «Eco Responsible Packaging»	США
7	K Line Logistics Ltd.	Логистическая компания	Система «Drive Green Network»	Япония
8	China COSCO Shipping	Судоходная корпорация	Проекты «Wind Wing Ship», «Green Trip»	КНР
9	Ekol Logistics 4.0	Логистический оператор	Проект «Virtual Server»; Участие в программе «WWF Green Office»	Турция
10	ОАО «Российские железные дороги»	Железнодорожная компания	Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года	Россия
11	ПАО «ТрансКонтейнер»	Интермодальный контейнерный оператор	Отдельные проекты	Россия
12	Universal Cargo Logistics Holding	Транспортный холдинг	Отдельные проекты	Россия

Таблица 2.2 – Систематизация «зелёных» технологий по функциям элементов ЛЦГ [86]

Элемент ЛЦГ	Функция*	Реализуемая «зелёная» технология**
Управляющий (Е1)	6.1	Экологическая стратегия – №1-12; Транспарентная отчётность – №1-12
	6.2	Интегрированные системы охраны окружающей среды – №10, 11
	6.3	Электронный документооборот – №1, 4, 8, 10; Интеллектуальные транспортные системы – №1, 7, 8; Современные информационные системы – №6
	6.4	Эко-пропаганда – №1-12; Корпоративная социальная ответственность – №1-12
Входной (Е2)	1.5	Эко-топливо – №1-4, 6-9, 12
Перерабатывающий (Е3)	2.3	Системы управления отходами – №10, 11, 12
	2.4	Эко-обучение – №1, 9, 10
	2.5	Энергоэффективные помещения – №3, 4, 5, 10; Экологически чистое оборудование и технологии – №10; Альтернативные источники энергии – №1, 4, 6, 8, 9, 10, 11
Накопительный (Е4)	3.1	Оптимизация запасов – №8
	3.4	«Зелёные» склады – №1, 5; Энергосберегающее оборудование – №1, 4, 6, 7
Транспортный (Е5)	4.1	Интермодальные технологии – №1, 2, 6, 9, 10; Оптимизация маршрутов – №1, 2, 3, 5, 8, 10; Анализ и оптимизация объёмов выбросов – №2, 3, 4, 5
	4.2	Увеличение размера отправки – №1; Консолидация поставок – №6
	4.3	Оптимизация скорости движения – №8
	4.4	Экологические транспортные средства – №1, 2, 3, 4, 6, 9; Энергосберегающее оборудование – №1, 2, 8, 10; Модернизация транспортных средств – №1, 3, 4, 7, 8, 10, 12
Выходной (Е6)	5.2	Технологии управления возвратными потоками – №3, 5, 6, 9; Методы реверсивной логистики – №4, 5, 9
	5.4	Стимулирование «зелёного» потребления – №2, 3, 4, 5, 12; Эко-упаковка – №3, 4; Снижение объёма упаковочного материала – №4, 5

\* – № поддерживающей функции, в соответствии с рисунком 2.2; \*\* – № компании, в соответствии с табл. 2.1

Для оценки популярности использования «зелёных» технологий в диссертации выполнен сравнительный анализ числа их упоминаний в научной литературе и числа их реализации на практике. На рис. 2.6 показаны результаты разложения числа упоминаний и выявленных случаев реализации «зелёных» технологий по элементам логистической цепи грузопотоков и функциям этих элементов. На рис. 2.6 используются следующие обозначения столбцов диаграммы [315]:

- высота синих, зелёных и коричневых столбцов – соответственно число упоминаний в научной литературе «зелёных» технологий с распределениями по элементам ЛЦГ, в целом по поддерживающим функциям и по отдельным функциям элементов ЛЦГ;
- высота жёлтых столбцов – число компаний, реализующих на практике «зелёные» технологии, с распределением по поддерживающим функциям элементов ЛЦГ;
- число коричневых и жёлтых столбцов – соответственно число выявленных и реализуемых «зелёных» технологий, соответствующих определённой поддерживающей функции ЛЦГ.

Результаты выполненного анализа показывают, что несмотря на большое количество разнообразных «зелёных» технологий в настоящее время отсутствует методологическая основа реализации таких решений в практике управления ЛЦГ. Компании используют отдельные «зелёные» решения применительно к элементам ЛЦГ или их функциям, что снижает эффективность использования данных решений. Необходимы исследования по систематизации «зелёных» решений применительно к ЛЦГ и принципов их реализации для достижения целей устойчивого развития.



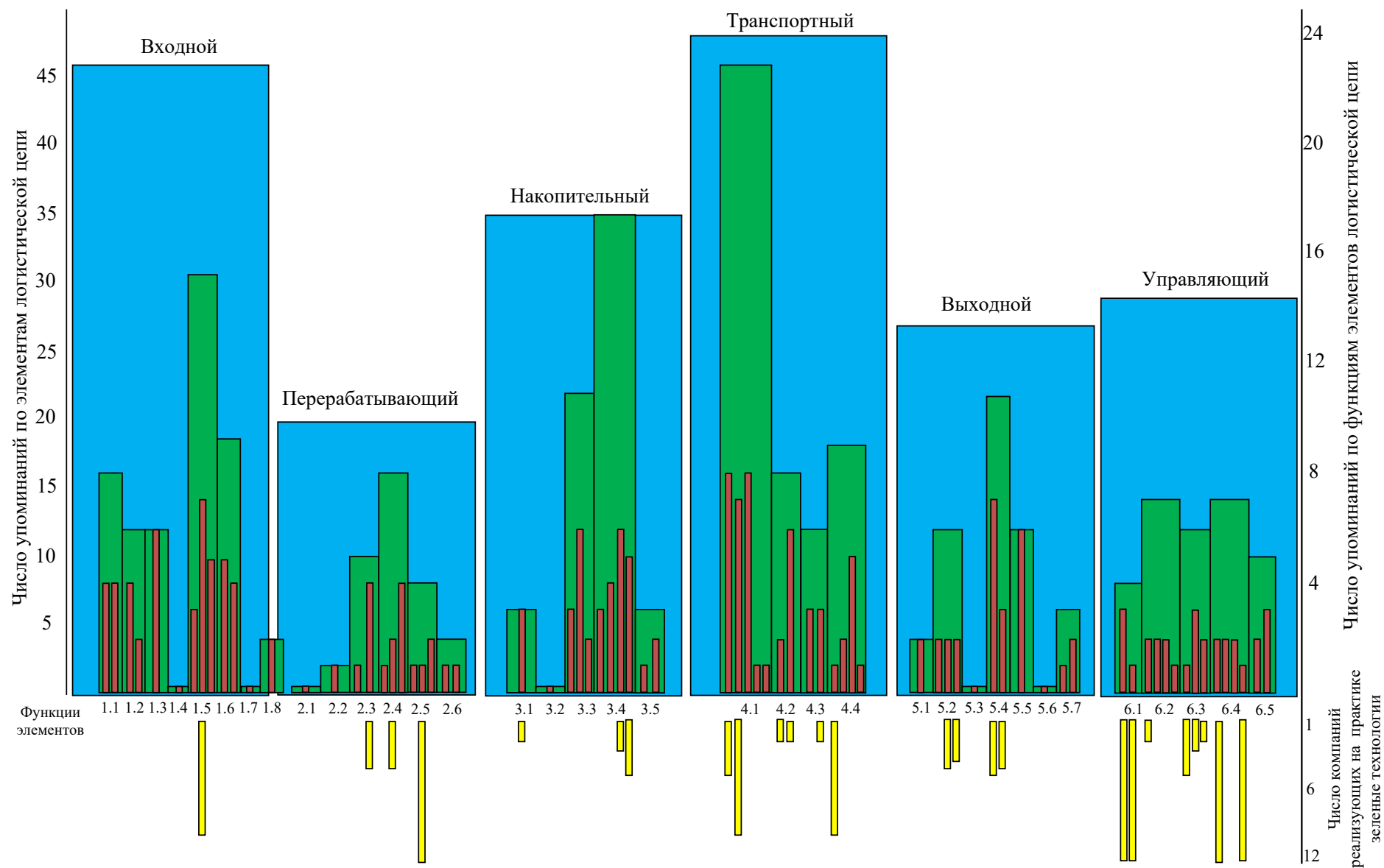


Рисунок 2.6 – Число упоминаний и случаев использования «зелёных» технологии в ЛЦГ

## 2.4 Исследование принципов управления логистическими цепями грузопотоков в рамках концепции устойчивого развития

В диссертационной работе выполнен анализ существующих многочисленных толкований принципов и методов управления логистическими цепями грузопотоков, используемых для достижения целей устойчивого развития. Основная цель анализа обоснована поиском противоречий между логистическими принципами, ориентированными, как правило, на максимизацию прибыли, обеспечение экономического роста и повышение качества обслуживания клиентов, и принципами устойчивого развития, дополнительно учитывающими экологические и социальные формирования логистических цепей.

На рис. 2.7 представлена схема взаимосвязи принципов устойчивого развития и логистики, используемых при управлении ЛЦГ. Поскольку ЛЦГ относится к категории сложных и больших систем, помимо принципов теории систем дополнительно выделены группы принципов теорий управления, организации и экономической теории, используемые как основа традиционных логистических принципов.

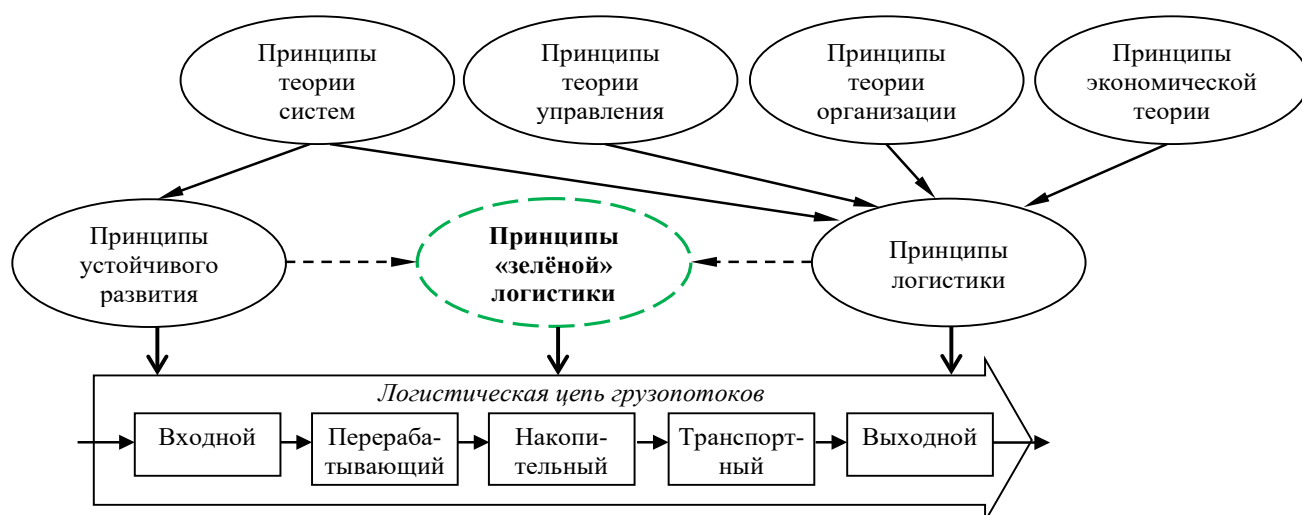


Рисунок 2.7 – Схема взаимосвязи принципов устойчивого развития и логистики при управлении ЛЦГ

*Принципы устойчивого развития.* В большинстве стран [275] закрепление и развитие принципов концепции устойчивого развития осуществляются на основе двух реализуемых подходов – нормативно-правового и научно-методического.

Нормативно-правовой подход предполагает трактовку принципов концепции устойчивого развития в различных нормативно-правовых актах российского и международного законодательства. Среди основополагающих международных нормативно-правовых актов, содержащих принципы устойчивого развития, ключевыми являются: Доклад конференции ООН по окружающей среде и развитию (27 принципов) [83] и Рамочная конвенция ООН об изменении климата [84] (5 принципов). В России правовая база устойчивого развития заложена в указах Президента РФ [158, 161]. Ряд федеральных законов содержат принципы обращения с отходами, охраны атмосферного воздуха, охраны окружающей среды, например, N89-ФЗ от 24.06.1998 [168] (содержит 7 принципов), N96-ФЗ от 04.05.1999 [166] (7 принципов) и N7-ФЗ от 10.01.2002 [167] (24 принципа). В распоряжениях Правительства РФ N1225-р от 31.08.2002 [185] определены 8 принципов, а в N2423-р от 18.12.2012 [187] представлены 16 принципов государственной политики в области экологии. Основной задачей данных нормативно-правовых актов, содержащих принципы экологии и устойчивого развития, является регулирование отношений по достижению ЦУР. Кроме того, базовая задача №17 Транспортной стратегии РФ до 2030 года [153], а также указы Президента РФ N474 от 21.06.2020 [160] и N400 от 02.07.2021 [159], посвящённые национальным целям развития РФ до 2030 года и стратегии развития национальной безопасности РФ, также должны выполняться в соответствии с ЦУР. Обобщенный перечень принципов экологического права в России представлен в работе [7] и включает в себя такие, например, принципы, как «охрана окружающей среды – дело каждого», «свободный доступ к экологической информации», «платность природопользования», «загрязнитель платит» и т.п. [144].

Научно-методический подход предполагает исследование принципов устойчивого развития и эффективность их применения в различных областях деятельности [144, 275]. Автором настоящей диссертации выполнен анализ суще-

ствующих принципов устойчивого развития и сделана попытка оценки их применения в транспортно-логистической деятельности, с которой можно ознакомиться в работах [89, 144, 275].

Так, в трудах Реймерса Ф.М. [132] изложены общие принципы экополитики, а в работе Акимовой Т.А. и Хаскина В.В. [1] принципы экоразвития, в исследованиях [163] Урсула А.Д. предложена интеграция принципов устойчивого развития и экологической безопасности, в работе Розенберга Г.С. [134] на примере экосистем разного масштаба представлены принципы управления устойчивым развитием, в работах Мельника Л.Г. [65] выделено более 40 принципов для достижения целей устойчивого развития.

Большой интерес представляют принципы, разрабатываемые различными организациями или группами исследователей. Например, «Десять принципов Белладжо» [211, 287], разработанные для оценки прогресса в области устойчивого развития, принципы Коалиции за экологически ответственную экономику CERES [29] или принципы из доклада «Римскому клубу» [13], включающие принципы экапитализма [71] и технологические принципы устойчивого развития [14, 144].

Интеграция принципов устойчивого развития с различными областями представлены в ряде исследований, например, с принципами корпоративного экологического менеджмента [116], с принципами корпоративного экологического поведения [29], с принципами макроэкологии [410], с принципами устойчивого развития социально-экономических систем [164], с принципами управления организации [155], принципы использования экологических, экономических и социальных ресурсов [290, 354], принципы формирования компетенций для устойчивого развития [126, 128, 144].

Связь экологических принципов с транспортной деятельностью рассмотрена в [31, 43, 115]. В [10, 22, 361] выполнена систематизация принципов устойчивого развития в горнодобывающей отрасли. Ряд правил и принципов по вопросам экологического менеджмента сформулирован в семействе международных стандартов ISO14000 [254].

Таким образом, большое количество принципов устойчивого развития, их разнообразие и практическое применение в различных сферах подтверждает тезис о сложности их реализации в логистических системах и цепях поставок.

**Принципы логистики.** Анализ научных публикаций в области логистики позволяет сделать вывод о различиях в понимании сущности логистических принципов. Это связано с тем, что авторы по-разному интерпретируют логистические задачи, на решение которых ориентированы эти принципы, не разделяя принципы на частные (для решения специфических задач) и общесистемные (универсальные). Это затрудняет как понимание этих принципов, так и их реализацию в конкретных методах и инструментах управления логистическими потоками [144].

Если для российских учёных характерен общесистемный взгляд на логистические принципы, то зарубежные исследователи больше уделяют внимание частным принципам, рассматривая их как правила повышения эффективности отдельных аспектов логистической деятельности. Так, Миротин Л.Б. [74] даёт определение принципам логистики как законам явлений, найденным из наблюдений специалистов по логистике, Гаджинский А.М. [24] рассматривает принципы как основные, исходные положения логистической теории. В российских научных работах [24, 40, 48, 62, 73, 81, 140, 183] наиболее распространены принципы системности, комплексности, адаптивности, гибкости, интеграции, оптимальности, гуманизации, научности, надёжности, общих затрат [144].

Одним из основополагающих зарубежных логистических принципов является принцип «Семь правил» (7R – Seven Right) [385], акцентирующий внимание на семи ключевых аспектах: продукт, качество, количество, время, место, потребитель и затраты. Уточняя данный принцип многие учёные выделяют в качестве основных следующие принципы: KANBAN [231, 317, 382], JIT («точно в срок») [220, 231, 252, 288, 317, 424], LiFo, FiFo и FeFo («последним пришёл – первым ушёл», «первым пришёл – первым ушёл», «первый истекает – первый выходит») [220, 317, 382, 389], тянущие и толкающие принципы [220, 317, 382], принципы иерархического планирования [389] и управления [322] цепями поставок.

Следует отметить группы принципов, предложенных и используемых различными организациями. Например, комплекс логистических принципов многонациональных операций (13 принципов) [297], «Принципы экватора» (10 принципов) [408], принципы «Скрытых чемпионов» (19 принципов) [342].

Отдельные группы принципов касаются функциональных областей логистики, например, принципы управления гуманитарными цепями поставок [238, 296, 306], логистики воздушных грузовых перевозок [415], логистики морских контейнерных перевозок (8 принципов) [311], логистики складских и погрузочно-разгрузочных работ (28 принципов) [352], комплектации заказов и хранения грузов [195, 352, 376, 382], доставки груза и работы с потребителями услуг [263], управления логистическими рисками [226] или деятельности менеджера цепочки поставок [231, 423]. Немецкими учёными в книге «Комплексная логистика» [284] представлена характеристика более 40 логистических принципов. Одновременно с известными принципами логистики авторы выделяют специфические, такие как «принцип ястреба», «принцип критической массы» или «принцип Чендлера».

Часть исследований посвящены вопросам интеграции принципов концепции бережливого производства [216], принципов «Шести сигм» (Lean Six Sigma) [268], бережливого мышления [216, 233, 288, 374, 376, 424] и логистического мышления [389] в практику управления цепями поставок.

В результате анализа логистических принципов выявлено 204 упоминания принципов в научной литературе. За счёт сокращения повторяющихся принципов их количество уменьшилось до 151 оригинального логистического принципа. С использованием ABC-анализа принципы были разделены на три группы в зависимости от числа упоминаний (рис. 2.8):

А – принципы с 1 по 6 (число упоминаний от 15 до 7);

Б – принципы с 7 по 27 (число упоминаний от 6 до 2);

С – принципы с 28 по 151 (число упоминаний от 2 до 1).

Как видно из рисунка 2.8 наибольшую долю составляют специфические принципы (124 выявленных принципа), направленные на повышение эффективности решения отдельных логистических задач.

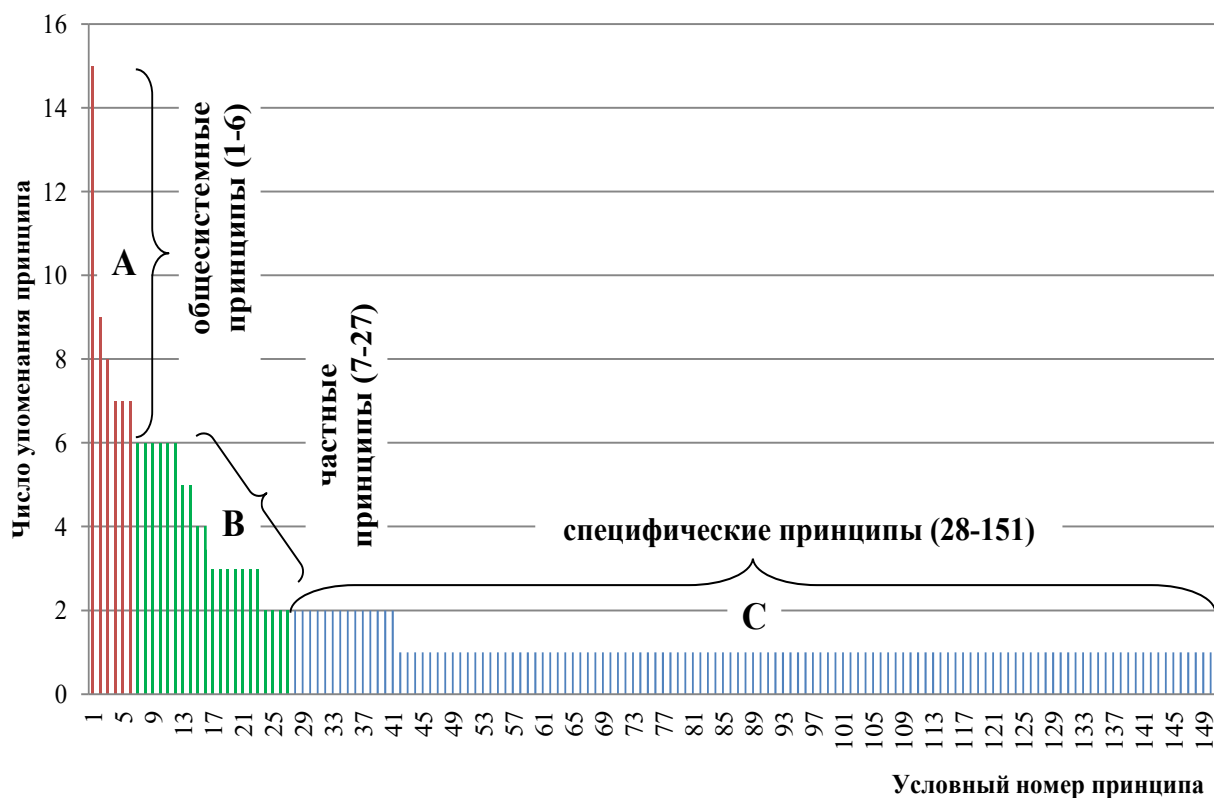


Рисунок 2.8 – Число упоминаний логистических принципов в научной литературе (результаты ABC-анализа)

Таким образом, большое количество логистических принципов, разнообразие их интерпретации, группировки и области применения для решения логистических задач позволяет сделать вывод об отсутствии в настоящее время универсального набора принципов логистики, в том числе обеспечивающих достижение ЦУР.

**Принципы «зелёной» логистики.** В научной литературе в настоящее время отсутствует устоявшееся определение того, что понимать под принципами «зелёной» логистики, также как и отсутствует общепринятая система принципов «зелёной» логистики [89, 145]. Используя понятие «принципы зелёной логистики» большинство исследователей говорят о неких правилах осуществления логистической деятельности с наименьшим вредным воздействием на окружающую среду. Базовыми подходами реализации принципов являются: государственный, основанный на контроле соблюдения компаниями экологических норм и требований, и, рыночный, основанный на получении компаниями дополнительного эко-

номического и социального эффекта от реализации «зелёных» решений в своей деятельности.

Результаты исследования принципов «зелёной» логистики в научной литературе позволили сгруппировать их следующим образом:

1. Принципы, направленные на повышение устойчивости всей цепи поставок. Например, экологические принципы цепей поставок [269], принципы эко-дизайна цепей поставок [220] или принципы «The Four A's» [399].

2. Принципы, используемые по отношению к отдельным элементам цепей поставок. Например, принципы устойчивого развития транспортных систем (8 принципов) [285], Ванкуверские принципы устойчивого транспорта [402], принципы чистого производства [272], принципы снижения выбросов CO<sub>2</sub> от логистической деятельности (6 принципов) [243], принципы управления продуктом (4 принципа) [252].

Детальные результаты авторского анализа принципов логистики, устойчивого развития и «зелёной» представлены в работах [10, 89, 144, 275, 315].

Таким образом, в результате исследования принципов устойчивого развития, логистики и «зелёной» логистики выявлены следующие недостатки:

- различное понимание и толкование принципов устойчивого развития в нормативно-правовых актах и научной литературе;
- отсутствие выраженного разделения принципов устойчивого развития для достижения экономических, экологических и социальных ЦУР;
- недостаточная конкретность или излишняя детализация принципов, что затрудняет их использование в практической деятельности;
- отсутствие общепринятой системы принципов логистики и «зелёной» логистики;
- преобладание специфических логистических принципов, расхождение в понимании их сущности, использование различной терминологии к их объяснению;
- целенаправленность принципов логистики на достижение экономических ЦУР, а принципов «зелёной» логистики – экологических ЦУР;



- недостаточная комплексность и системность использования на практике принципов логистики и «зелёной» логистики применительно к элементам и потокам ЛЦГ;

- неравномерное использование принципов «зелёной» логистики применительно к элементам ЛЦГ и их функциям.

Перечисленные недостатки снижают эффективности использования принципов устойчивого развития, логистики и «зелёной» логистики для достижения ЦУР и требуют разработки новой, синтезированной системы принципов «зелёной» логистики, которая будет являться основой управления и устойчивого развития логистических цепей грузопотоков.

## **Выводы по главе 2**

1. Доказана необходимость использования структурно-функциональных элементов логистической системы, а также выделения у элементов базисных и поддерживающих функций для формализованного описания логистических цепей грузопотоков.

2. Выполнена систематизация факторов устойчивого развития логистических цепей грузопотоков. С использованием серого реляционного анализа GRA выполнено ранжирование 54 факторов устойчивого развития ЛЦГ, установлено их влияние на элементы ЛЦГ. Учёт выявленных факторов в процессе формирования ЛЦГ позволит проводить их оценку на соответствие принципам устойчивого развития, разрабатывать мероприятия по повышению эффективности функционирования ЛЦГ, снижению негативного воздействия на окружающую среду и достижению целей устойчивого развития.

3. Исследована интеграция «зелёных» технологий в практическую деятельность логистических и транспортных компаний по всему миру. Установлено наличие большого количества «зелёных» программ и проектов, поддерживаемых различными общественными, государственными и коммерческими организациями. Однако, множество взглядов на содержание «зелёных» технологий является следствием недостаточной системности их реализации в ЛЦГ и снижает эффек-

тивность использования каждой из них. Результаты анализа показывают отсутствие методологической базы практической реализации концепции устойчивого развития применительно к ЛЦГ.

4. Установлено, при управлении ЛЦГ отсутствует универсальная система логистических принципов, обеспечивающих достижение целей устойчивого развития. При исследовании принципов логистики и устойчивого развития выявлены следующие недостатки:

- различное понимание и толкование принципов, их недостаточная конкретность или излишняя детализация, а также отсутствие выраженного разделения принципов для достижения экономических, экологических и социальных ЦУР;

- отсутствие общепринятой системы принципов логистики и «зелёной» логистики, целенаправленность принципов логистики на достижение экономических ЦУР, а принципов «зелёной» логистики – экологических ЦУР;

- недостаточная комплексность и системность использования на практике принципов логистики и «зелёной» логистики применительно к элементам и потокам ЛЦГ, а также неравномерное использование принципов «зелёной» логистики применительно к элементам ЛЦГ и их функциям.

Для эффективной реализации концепции устойчивого развития в логистических цепях грузопотоков возникает необходимость систематизации существующих принципов логистики и использование этой системы как основы для синтеза новой системы принципов «зелёной» логистики.

### **3. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ**

#### **3.1 Систематизация принципов «зелёной» логистики**

Для эффективной реализации концепции устойчивого развития при формировании и управлении логистическими цепями грузопотоков возникает необходимость систематизации существующих принципов логистики и использование этой системы как основы для синтеза новой системы принципов «зелёной» логистики.

Согласованность логистических принципов с принципами концепции устойчивого развития основана на постановке новых задач управляющего элемента логистической системы (т.е. реализация «зелёных» ключевых функций). В практике деятельности логистических компаний это выражается, с одной стороны, в соблюдении обязательных требований и ограничений в области экологии, с другой – в возможности получения экономической выгоды, конкурентных преимуществ, повышении имиджа и общественной популярности компании за счет использования «зелёных» технологии [145].

Для максимального соответствия концепции устойчивого развития предлагается перегруппировать логистические принципы, дополнительно выделив группы принципов теорий управления, организации и экономической теории (рис. 3.1). Предполагается, что принципы теории управления и организации обеспечивают достижение социальных и, частично, экологических целей устойчивого развития, а принципы экономической теории – экономических целей [145].

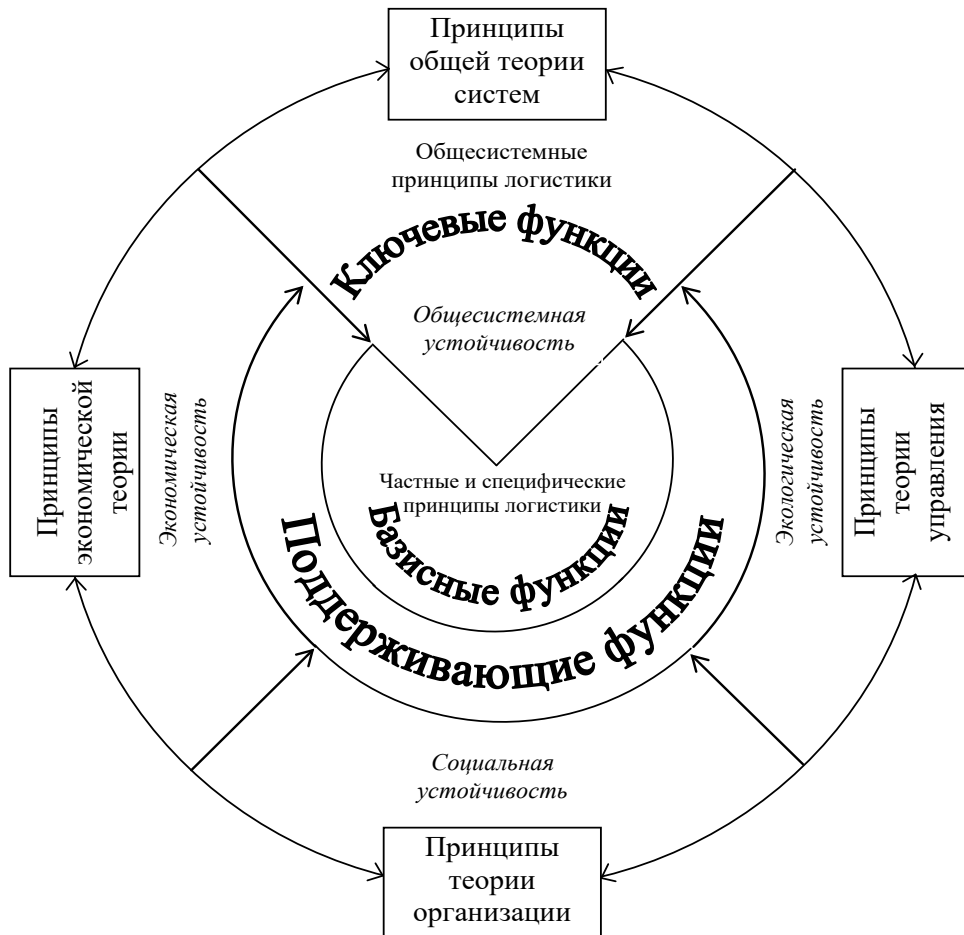


Рисунок 3.1 Схема систематизации существующих принципов логистики

Поскольку логистические системы относятся к категории сложных и больших систем, то в качестве основы для группировки логистических принципов целесообразно использовать общесистемные свойства логистических систем [145]. К таким свойствам отнесены системность, адаптивность, развитие и самоорганизация [48]. С другой стороны, современная теория логистики в концептуальном плане базируется на методологии системного анализа, кибернетического подхода, исследования операций и экономико-математического моделирования. В логистических принципах обобщены законы и принципы общей теории систем, теории управления, теории организации и экономической теории (рис. 3.2).

Свойство системности характеризует, в основном, структуру и функции логистической системы, которые могут адаптироваться к изменениям внешних условий (свойство адаптивности) и целенаправленно развиваться, увеличивая число элементов и связей в системе, усложняя её систему управления. Основной

движущей силой развития таких сложных систем следует считать свойство самоорганизации, выражающееся в самопроизвольном формировании новых организационных и экономических связей между элементами логистической системы для получения синергетического эффекта, достижения целей логистики и, в частности, снижения затрат на продвижение логистических потоков [145].

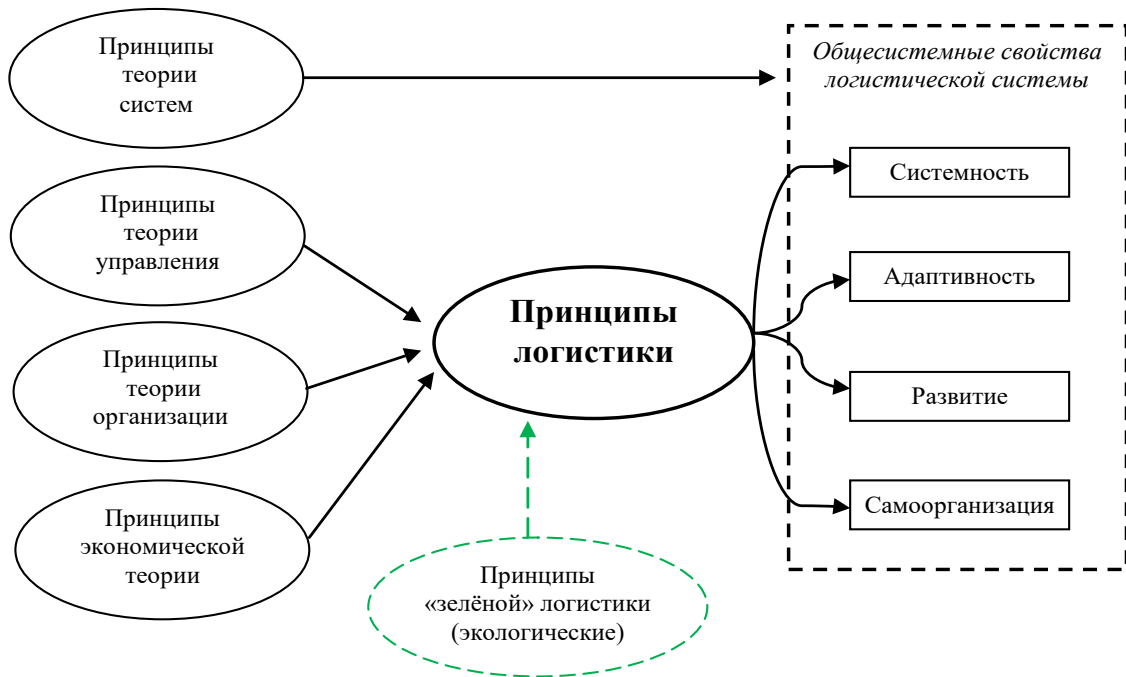


Рисунок 3.2 – Схема группировки существующих принципов логистики в соответствии с концепцией устойчивого развития [145]

Обобщая существующие логистические принципы, предлагается их систематизировать в соответствии с функциями элементов ЛЦГ – ключевых, базисных и поддерживающих (см. параграф 2.1). Предлагается выделять три группы принципов:

- общие – для обеспечения реализации ключевых логистических функций управления как отдельными элементами ЛЦГ, так и всей ЛЦГ в целом;
- частные – для обеспечения реализации базисных логистических функций по продвижению и переработке потоков в ЛЦГ в соответствии с поставленными целями;

- специфические – для обеспечения выполнения поддерживающих логистических функций каждого элемента ЛЦГ [93, 145].

Результаты обобщения и группировки специфических принципов логистики представлены на рис. 3.3–3.7 (серый цвет – общесистемные; чёрный – экономические; синий – управленческие; красный – социальные; жёлтый – экономические и управленческие; фиолетовый – экономические и социальные; зелёный – управленческие и социальные).

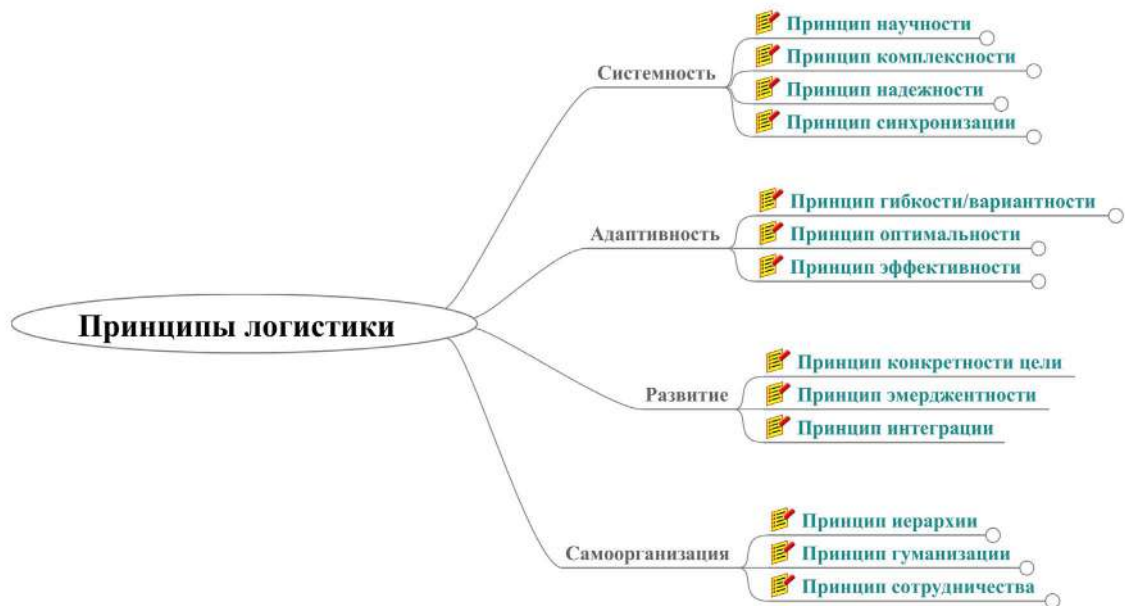


Рисунок 3.3 – Схема группировки общих и частных логистических принципов



Рисунок 3.4 – Схема группировки специфических принципов логистики (свойство системность)



Рисунок 3.5 – Схема группировки специфических принципов логистики (свойство адаптивность)



Рисунок 3.6 – Схема группировки специфических принципов логистики (свойство развитие)



Рисунок 3.7 – Схема группировки специфических принципов логистики (свойство самоорганизация)

Анализ группировки принципов позволяет сделать два основных вывода:

1. Отсутствие в традиционной логистике принципов достижения экологических ЦУР.

2. Неравномерное распределение принципов по общесистемным задачам логистики. Наибольшая доля известных принципов логистики обеспечивают реализацию свойств системности (рис. 3.4) и адаптивности (рис. 3.5). В меньшей сте-

пени на практике используют принципы, позволяющим реализовать свойства развития и самоорганизации логистических цепей.

Одновременно с группировкой принципов логистики и их объединения с принципами устойчивого развития, необходимо синтезировать новую систему принципов «зелёной» логистики, сбалансированную по критерию равного учёта всех аспектов устойчивого развития [145]. Синтез принципов «зелёной» логистики выполняется в восемь этапов, подробное описание которых представлено в работах [112, 145].

I этап – анализ научной литературы. Основная цель – выявление существующих принципов логистики (ПЛ) и принципов устойчивого развития в логистической деятельности (ПУРЛ). Результат: выявлен 151 оригинальный ПЛ и 11 ПУРЛ.

II этап – группировка принципов. Цель – объединение ПЛ и ПУРЛ в группы по логистическим функциям или аспектами устойчивого развития. Результат: три группы ПЛ – общие (4 принципа), частные (13 принципа) и специфические (35 принципов); три группы ПУРЛ – экологические (3 принципа), социальные (3 принципа) и экономические (5 принципов).

III этап – систематизация принципов. Цель – формирование системы принципов логистики на основе группировки ПЛ. Результат: 52 ПЛ.

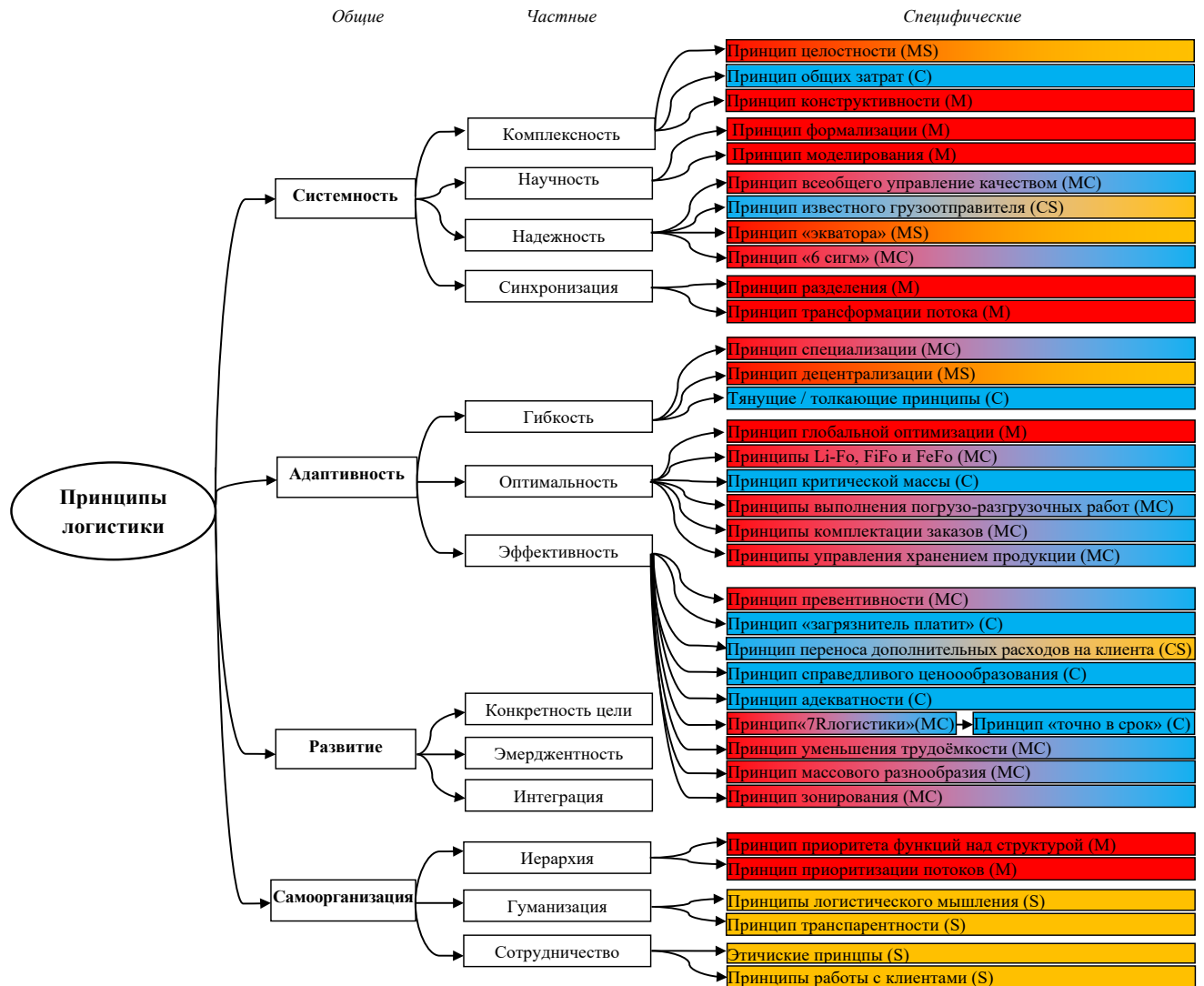
IV этап – анализ научной литературы. Основная цель – выявление основных принципов теорий, составляющих основу логистики и обеспечивающие достижение ЦУР. Результат: выявлены 17 принципов общей теории систем, 19 принципов теории управления, 37 принципов теории организации и 12 принципов экономической теории.

V этап – сопоставление принципов. Цель – сопоставление содержания 52 ПЛ с принципами теорий с целью отбора принципов, обеспечивающих достижение ЦУР в логистике.

VI этап – группировка принципов. Цель – объединение ПЛ в группы по целям логистической системы для определения какой принцип способствует дости-



жение каких ЦУР. Результат группировки логистических принципов представлен на рис. 3.8 и табл. 3.1.



Цели логистической системы: М – управленческие (красный); С – экономические (синий); S – социальные (оранжевый); E – экологические; MC – управленческие и экономические; MS – управленческие и социальные; CS – экономические и социальные; SE – экономические и экологические.

Рисунок 3.8 – Схема общих, частных и специфических логистических принципов

Таблица 3.1 – Распределение числа логистических принципов по целям ЛС [145]

Цели ЛС	C	E	S	M
C (экономические)	6	1	3	11
E (экологические)	1	—	—	—
S (социальные)	3	—	4	2
M (управленческие)	11	—	2	8
Итого принципов	21	1	9	21

VII этап – синтез принципов. Цель – комбинирование 52 ПЛ и 11 ПУРЛ для достижения общесистемных, экономических, социальных и экологических целей логистической системы. Результат: 4 группы принципов, обеспечивающих общесистемную (4 принципа), экономическую (5 принципов), социальную (5 принципов) и экологическую (5 принципов) устойчивость логистической системы.

VIII – систематизация принципов. Цель – формирование новой системы принципов «зелёной» логистики для достижения целей логистической системы и ЦУР. Результат: система принципов «зелёной» логистики (19 принципов).

Общая схема последовательности синтеза системы принципов «зелёной» логистики представлена на рис. 3.9 [145].

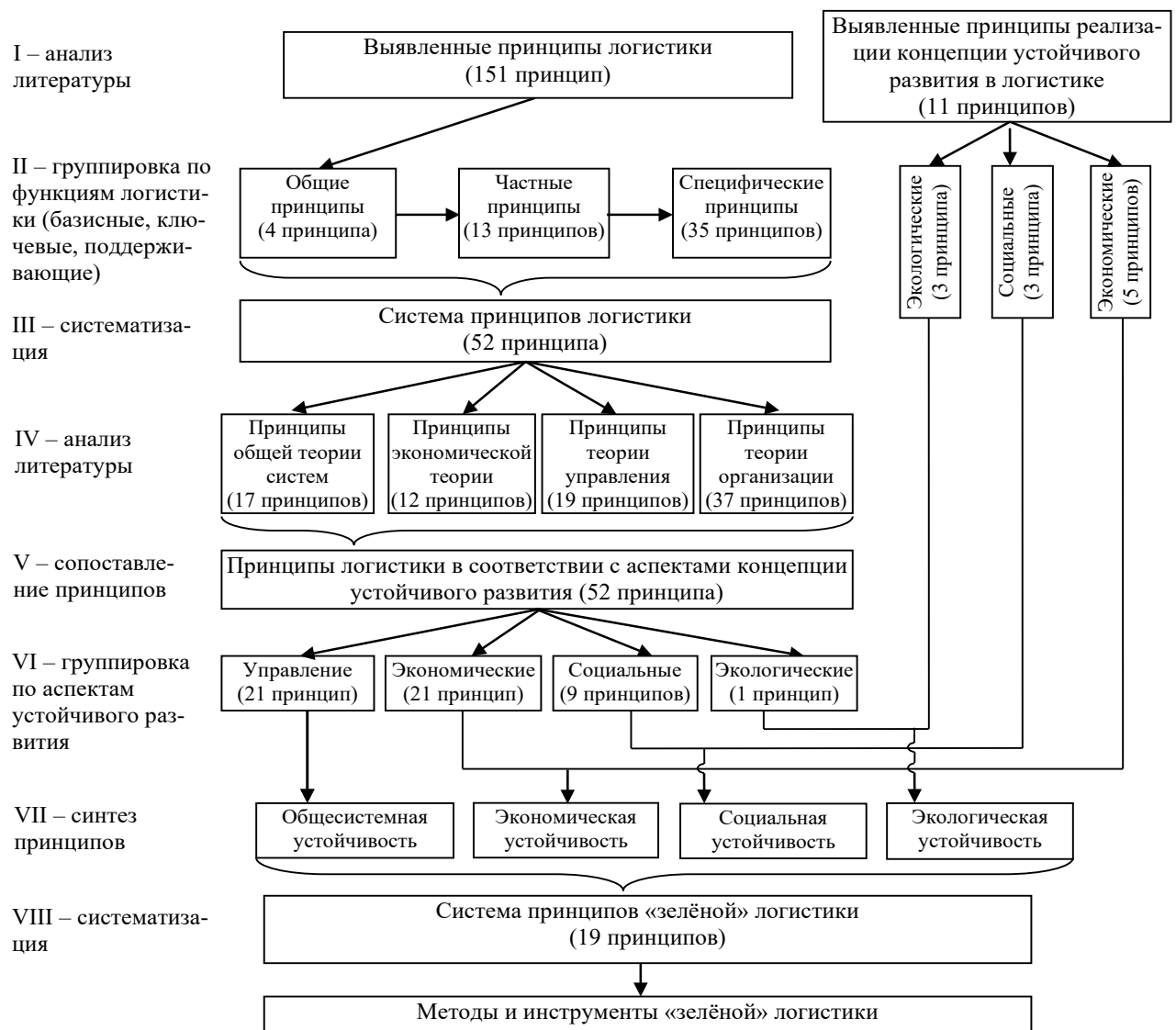


Рисунок 3.9 – Схема этапов синтеза принципов «зелёной» логистики

Таблица 3.2 – Система принципов «зелёной» логистики

Аспект устойчивости	Название принципа	Сущность принципа
Общественная устойчивость	Принцип системности	рассмотрение экологических, экономических и социально-культурных аспектов устойчивого развития логистической системы и связей между ними как единой системы
	Принцип адаптивности	адаптация к воздействию внешних факторов на логистическую систему (к изменениям окружающей среды) для сохранения устойчивости на рынке и эффективного использования передовых технологии
	Принцип развития	постоянное и целенаправленное качественное совершенствование структуры и функций логистической системы, способов, методов и инструментов «зелёной» логистики
	Принцип самоорганизации	создание условий для постоянного поиска и реализации найденных оптимальных экологических, экономических и социальных решений
Экономическая устойчивость	Принцип «загрязнитель платит»	возмещение экологического ущерба, связанного с предоставлением логистических услуг на всех этапах продвижения материального потока
	Принцип справедливости	пропорциональное распределение между производителями, продавцами и перевозчиками совокупной выгоды от удовлетворения спроса потребителей
	Принцип эффективности и безопасности	оценка решений в области развития логистической системы с точки зрения экономической эффективности, безопасности и негативного воздействия системы на окружающую среду
	Принцип оптимальности	выработка оптимальных решений в управлении логистической системой осуществляется на основе оценки экологических затрат в составе общих логистических издержек
	Принцип безотходности и ресурсосбережения	максимальное использование отходов производства, тары и упаковки как вторичного сырья или их экологически безопасная утилизация, а также минимальное использование сырья и упаковки, не подлежащих вторичному использованию или безопасной утилизации
Экологическая устойчивость	Принцип минимального воздействия	снижение негативного воздействия на окружающую среду в течение всего цикла производства, транспортировки, непосредственного использования и переработки материальных потоков
	Принцип инновационности	внедрение инновационных технологий с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду
	Принцип рациональности	рациональное использование природных ресурсов и всех ресурсов предприятий
	Принцип последовательности	реализация решений по устойчивому развитию цепей поставок должна соответствовать иерархии аспектов устойчивого развития: экология → экономика → социум → культура
	Принцип «от частного к общему»	формирование и развитие «зелёной» логистической системы осуществляется последовательно – начиная от отдельного логистического элемента и заканчивая логистической цепью или логистической сетью в целом
Социально-культурная устойчивость	Принцип ответственности	повышение экологической ответственности персонала и формирование корпоративной экологической культуры
	Принцип транспарентности	выстраивание взаимоотношений с клиентами и стейкхолдерами на основе интерактивности, информационной и финансовой прозрачности
	Принцип разумного потребления	стремление к сокращению транспортных потребностей общества и государства, не нарушающему права и свободы перемещения и торговли
	Принцип компетентности	формирование и наличие компетенций у всех участников цепи поставок, необходимых для устойчивого развития этих систем
	Принцип гуманизации	соответствие логистических функций и операций эргономическим, социальным, этическим требованиям работы персонала

В таблице 3.3 представлен пример практической реализации предлагаемого подхода. Рассмотрена транспортный элемент ЛЦГ и реализация им поддерживающей функции «выбор оптимальной схемы транспортирования» (см. рис. 2.2).

Традиционный подход подразумевает решение следующих задач: выбор вида транспорта и транспортного средства; выбор каналов сбыта и распределения продукции; распределение грузопотоков по экономичным участкам транспортной сети; в случае необходимости, выбор терминалов (пунктов перегрузки). Критерием оптимальности в этих задачах выступает минимизация суммарных логистических затрат, при условии обеспечения требуемого качества продукции или услуг ЛС. Эффективное решение перечисленных задач предполагает применение общих и специфических логистических принципов (см. 2 и 3 столбцы табл. 3.3). Однако их использование не обеспечивает достижение экологических и социальных целей устойчивого развития ЛС, а в большей степени направлено на получение экономического эффекта в результате полного удовлетворения потребностей в логистических потоках [145].

«Зелёный» подход к решению задач поддерживающей функции «выбор оптимальной схемы транспортирования» предполагает иную формулировку задач (столбец 4 в табл. 3.3) и реализацию принципов «зелёной» логистики (столбец 5 в табл. 3.3) вместе с традиционными принципами. Это обеспечить достижения как экономических, так и социальных и экологических целей.

В качестве основного инструментария решения вышеописанных задач предлагается использование системы методов и инструментов «зелёной» логистики.

Таблица 3.3 – Реализация принципов логистики транспортным элементом (на примере поддерживающей функции «Выбор оптимальных схем транспортирования») [145]

Традиционные задачи по реализации функции	Принципы логистики (см. рис. 3.8)		«Зелёные» задачи по реализации функции	Принципы «зелёной» логистики (см. табл. 3.2)	Результаты применения принципов по достижению ЦУР (традиционная логистика)			Результаты применения принципов по достижению ЦУР («зелёная» логистика)		
	Общие	Специфические			Экон.	Соц.	Экол.	Экон.	Соц.	Экол.
Выбор вида транспорта и транспортного средства	1. Эффективность 2. Надёжность 3. Гибкость	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Адекватность</li> <li>• Всеобщее управление качеством</li> <li>• Специализация</li> </ul>	Выбор экологически чистых видов транспорта и транспортных средств	1. Эффективность и безопасность 2. Минимальное воздействие	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да
Выбор каналов сбыта и распределения продукции ЛЦГ	1. Эффективность 2. Надёжность 3. Гибкость	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Справедливое ценообразование</li> <li>• Принцип 7R</li> <li>• Известный грузоотправитель / поставщик</li> <li>• Тянущие / толкающие принципы</li> </ul>	Выбор экологически дружественных каналов сбыта и формирование каналов сбыта с учётом минимального негативного воздействия на окружающую среду	1. Минимальное воздействие 2. Транспарентность	Да	Да	Нет	Да	Да	Да
Распределение грузопотоков по кратчайшим расстояниям (по экономичным участкам транспортной сети)	1. Эффективность 2. Оптимальность 3. Научность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Уменьшение трудоемкости</li> <li>• Глобальная оптимизация</li> <li>• Моделирование и информационно-компьютерная поддержка</li> </ul>	Управление материальными потоками с учётом экологических и социальных ограничений	1. Оптимальность (экологическая оптимальность) 2. Рациональность	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да
Выбор пунктов перегрузки с одного вида транспорта или с одного типа подвижного состава на другой	1. Эффективность 2. Надёжность 3. Оптимальность	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Зонирование</li> <li>• Всеобщее управление качеством</li> <li>• Управление хранением продукции</li> </ul>	Использование интермодальных технологий и комбинированных перевозок	1. Эффективность и безопасность	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да

### 3.2 Систематизация методов и инструментов «зелёной» логистики

Выполненный автором диссертации анализ работ отечественных и зарубежных учёных [86, 89, 274] показывает, что применительно к решениям по снижению негативного воздействия на окружающую среду в логистике используется различная терминология – «зелёные» технологии, «зелёные» практики, «зелёные» методы, «зелёные» решения, «зелёные» способы и др. Поэтому актуальной является задача определения общего и специфического, вкладываемых авторами в эти понятия.

В диссертационной работе предлагается использовать обобщенные понятия для различных «зелёных» решений в области логистической деятельности – методы и инструменты «зелёной» логистики (ЗЛ). Основной целью методов и инструментов «зелёной» логистики является выявление отклонений от заданных значений параметров и показателей логистических потоков и элементов логистической системы и приведение их в соответствие целям устойчивого развития ЛЦГ.

Под методами «зелёной» логистики понимается комплекс способов и решений, обеспечивающих выполнение базисных и поддерживающих логистических функций всех элементов логистической системы по достижению ЦУР. Под инструментами «зелёной» логистики понимаются специфические способы и решения для воздействия на элементы и потоки логистической системы с целью изменения их параметров в соответствии с целями устойчивого развития. В приложении Б представлена краткая характеристика инструментов «зелёной» логистики. Реализация каждого инструмента предполагает использование четырех видов ресурсов логистической системы [129]: материальных, финансовых, информационных ресурсов и услуг.

На рис. 3.10-3.15 представлены результаты систематизации методов и инструментов «зелёной» логистики на основе структурно-функционального подхода.

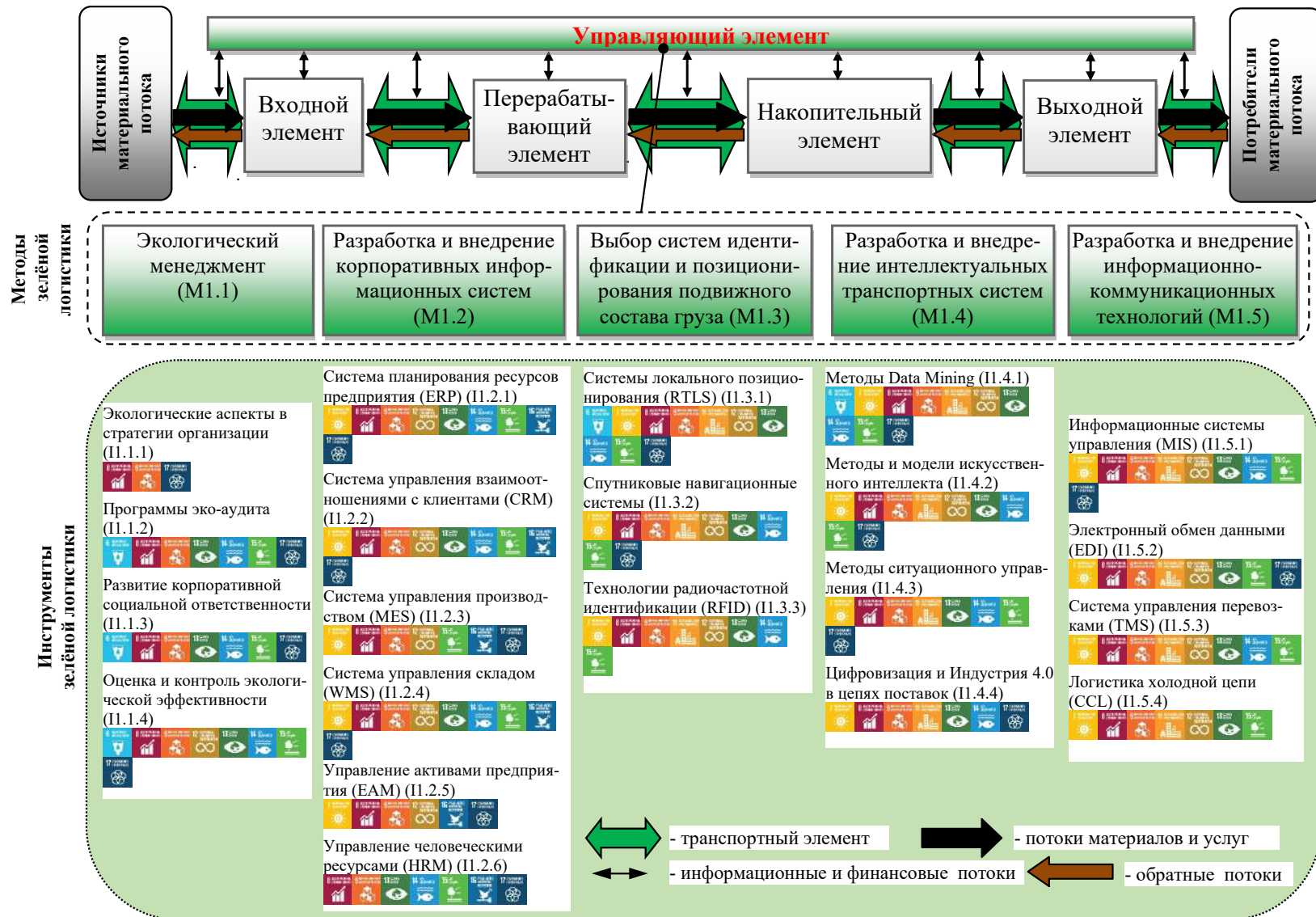


Рисунок 3.10 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (управляющий элемент)

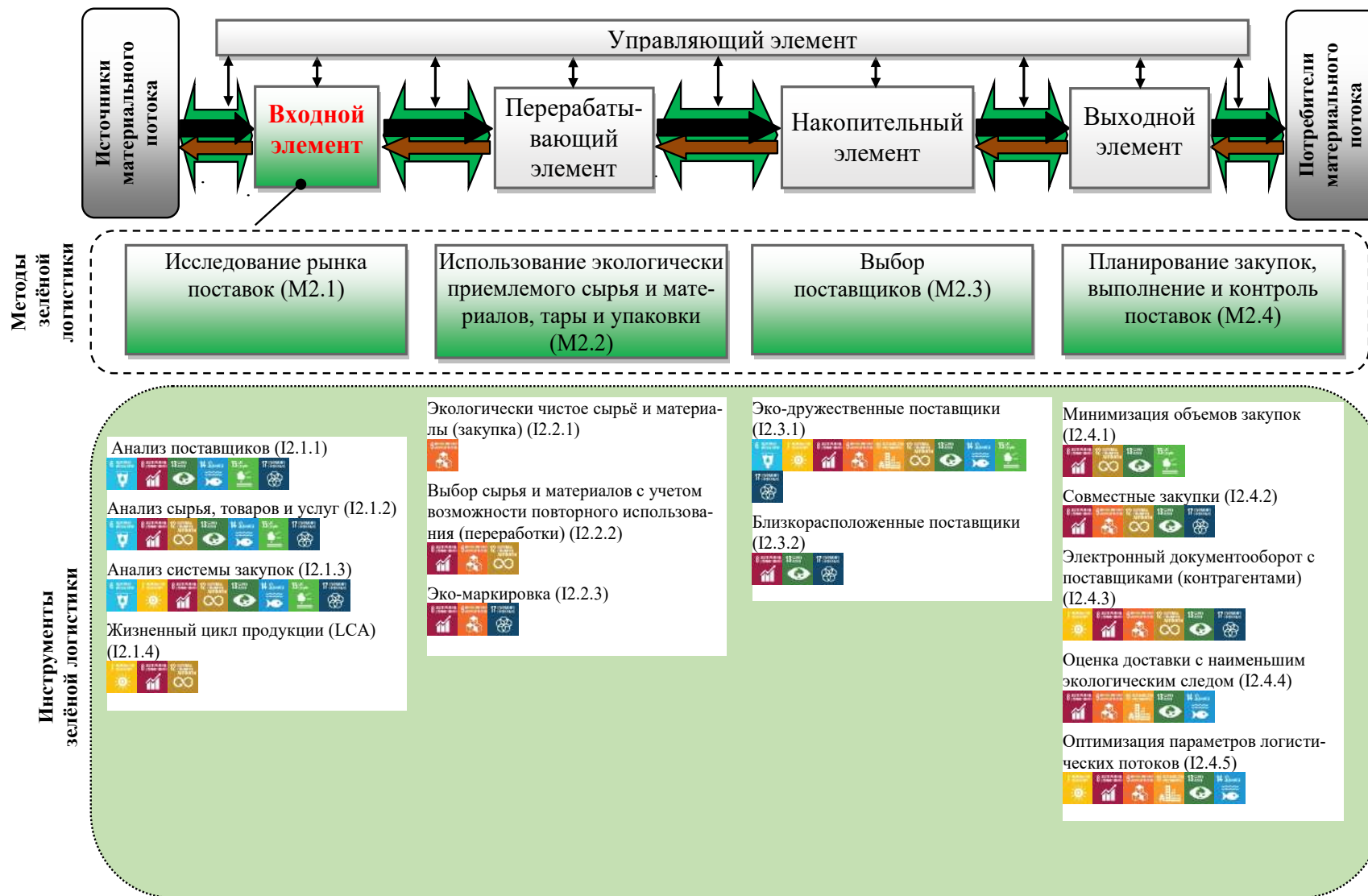


Рисунок 3.11 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (входной элемент)



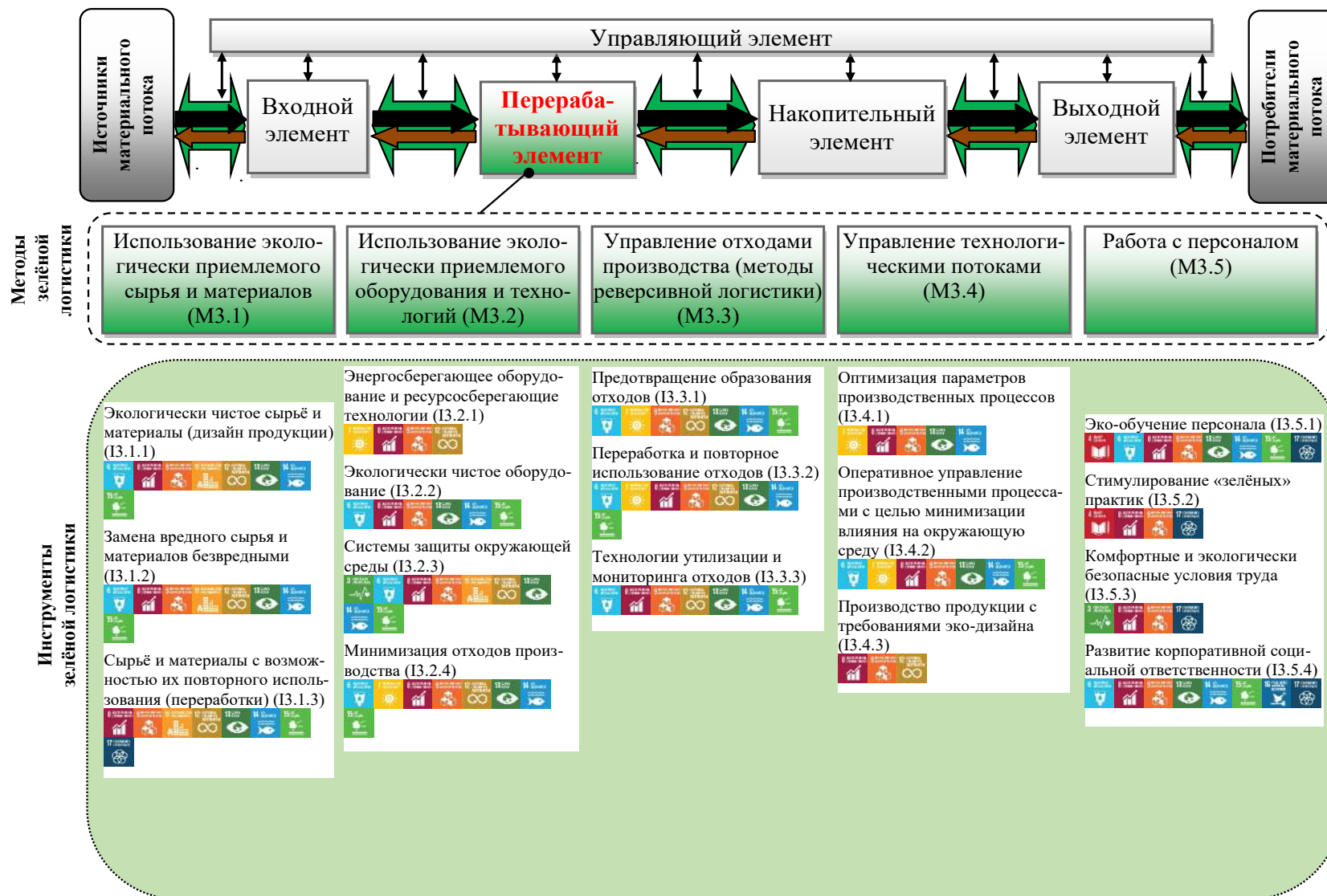


Рисунок 3.12 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (перерабатывающий элемент)

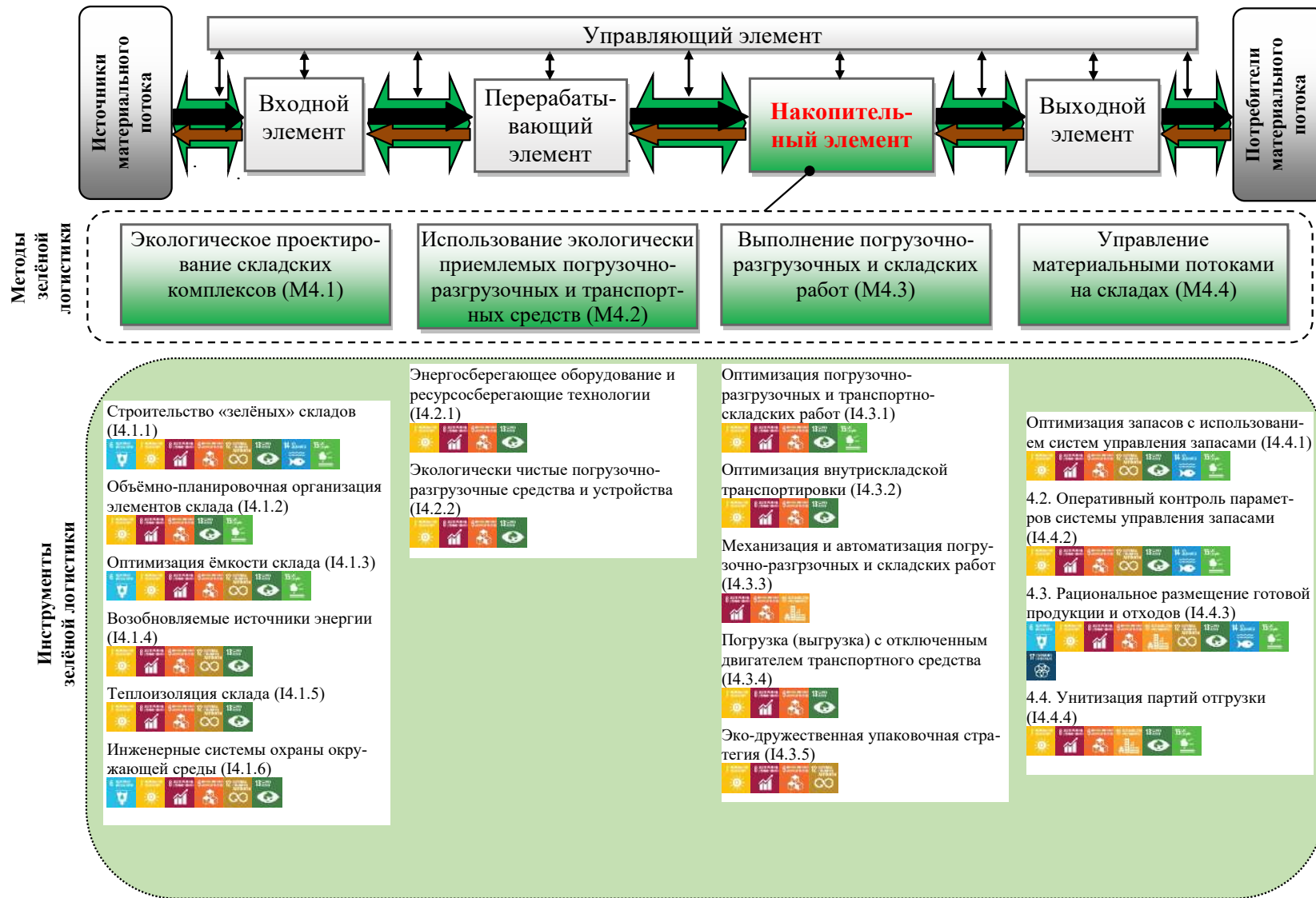


Рисунок 3.13 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (накопительный элемент)

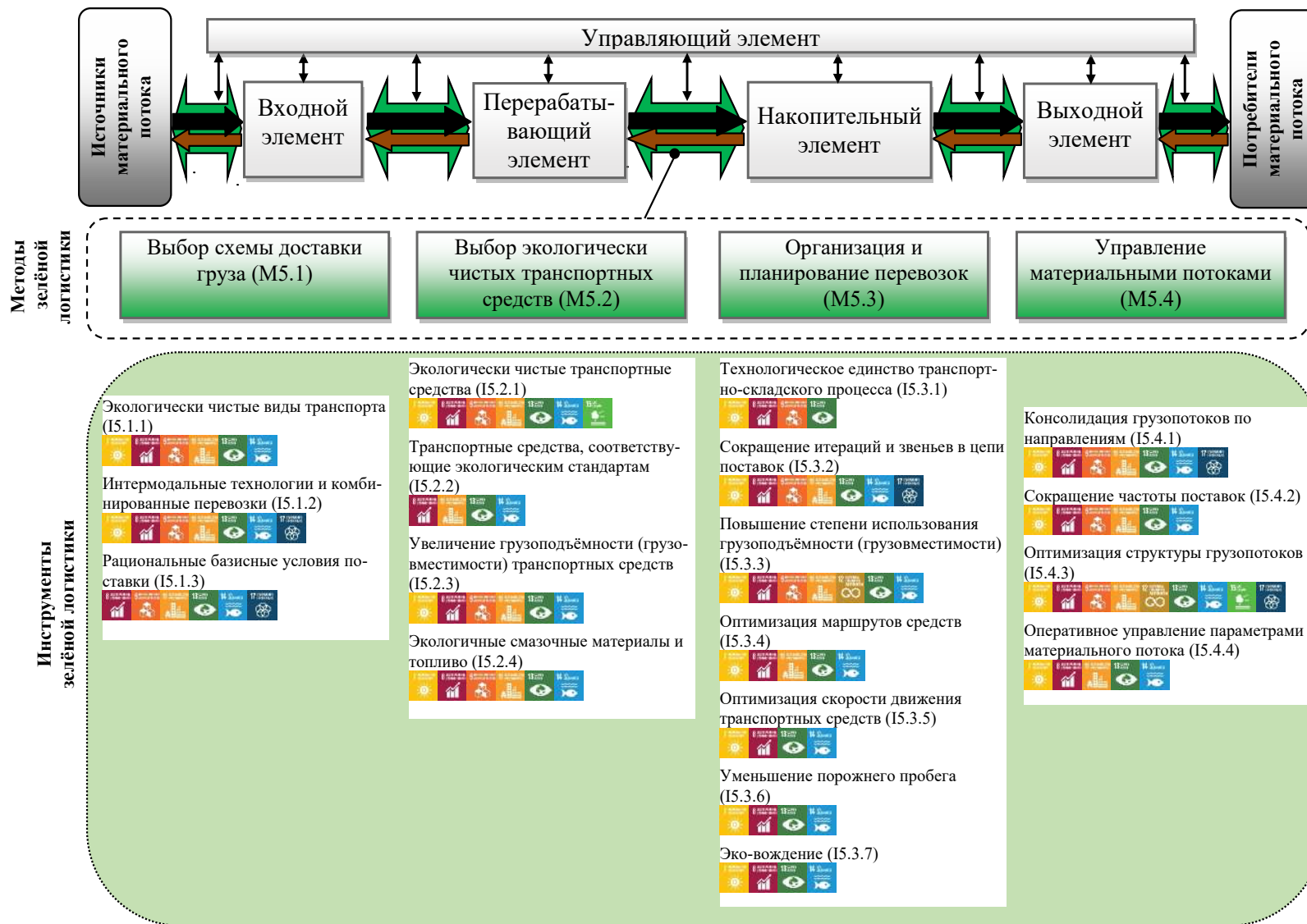


Рисунок 3.14 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (транспортный элемент)

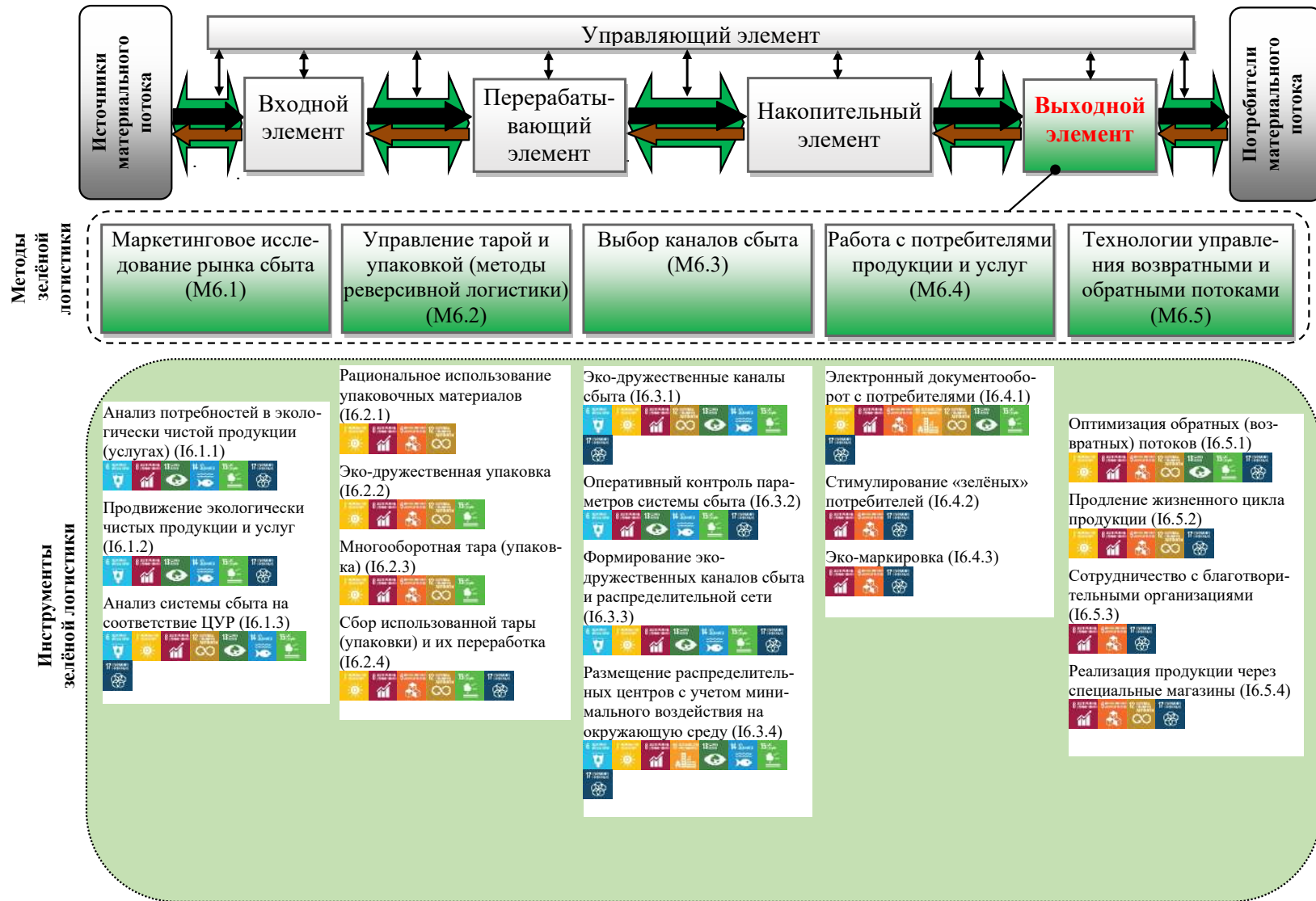


Рисунок 3.15 – Методы и инструменты «зелёной» логистики (выходной элемент)

Использование каждого инструмента способствует достижению конкретных ЦУР, обозначенных на рисунках соответствующими карточками. Названия методов и инструментов близки с формулировками традиционных логистических поддерживающих функций и задач, однако, с точки зрения «зелёной» логистики их необходимо рассматривать в качестве методов и инструментов достижения целей устойчивого развития. Например, инструмент «анализ рынка поставщиков», обычно используемый для выбора оптимальных поставщиков по критерию «цена/качество» (цель 8), в «зелёной» логистике дополнительно должен учитывать требования рационального использования водных (цели 6 и 14) и лесных (цель 15) ресурсов, а также формировать взаимовыгодные логистические связи с поставщиками сырья и материалов, вовлекая их в процесс реализации методов «зелёной» логистики (цель 17).

Анализ частоты использования методов и инструментов «зелёной» логистики для достижения ЦУР в элементах логистической системы позволяет сделать следующие выводы (табл. 3.4) [202]:

- реализация выявленных 27 методов и 105 инструментов «зелёной» логистики обеспечивает достижение тринадцати целей устойчивого развития из семнадцати. Наибольшее число инструментов реализуется управляющим элементом логистической системы (21 инструмент с частотой достижения целей равной 164), а наименьшая – входным элементом (14 инструментов с частотой достижения целей равной 71). Показатели числа инструментов и частоты их использования в остальных логистических элементах примерно одинаковы (17-18 инструментов с частотой достижения целей устойчивого развития в диапазоне от 94 до 108). Здесь необходимо обратить внимание на то, что входной логистический элемент, наряду с выходным, является граничным элементом логистической системы, обеспечивающим её связь с внешней средой, определяющим свойства материального потока в системе и, в итоге, влияние этого потока на возможности других логистических элементов достигать цели устойчивого развития. Поэтому, на наш взгляд, необходимы особо интенсивные исследо-

вания по поиску и разработке новых методов и инструментов «зелёной» логистики, специфичных именно для входного логистического элемента;

- наибольшее число известных инструментов используется для достижения целей №8 (достойная работа и экономический рост), №9 (индустриализация, инновация и инфраструктура) и №13 (противодействие изменению климата). Эти цели совпадают с традиционными экономическими и инфраструктурными целями логистики, а цель №13 соответствует действующему экологическому законодательству, обязательному для соблюдения логистическими компаниями;

- инструменты «зелёной» логистики мало используются для достижения целей №3 (хорошее здоровье и благополучие), №4 (качественное образование) и №16 (мир, правосудие и эффективные учреждения), что объясняется косвенным влиянием этих инструментов на достижение целей, являющихся приоритетными для таких сфер как здравоохранение, образование и право;

- инструменты «зелёной» логистики не оказывают прямого влияния на достижение целей №1 (ликвидация нищеты), №2 (ликвидация голода), №5 (гендерное равенство) и №10 (сокращение неравенства). Основная причина этого связана с тем, что решение данных проблем относится к глобальным и национальным приоритетам на уровне государств. Логистические методы и инструменты, обеспечивающие непосредственное достижение данных целей, не выявлены. Для установления влияния инструментов «зелёной» логистики на подобные общие цели, а также для разработки соответствующих новых инструментов и методов, требуются дополнительные исследования.

Таблица 3.4 – Анализ частоты использования методов и инструментов ЗЛ для достижения ЦУР элементами ЛС

Показатели	Элементы ЛС						
	Входной	Перерабатывающий	Накопительный	Транспортный	Выходной	Управляющий	Итого по элементам
Число методов	4	5	4	4	5	5	27
Число инструментов	14	17	17	18	18	21	105

Показатели		Элементы ЛС						
		Входной	Перерабатывающий	Накопительный	Транспортный	Выходной	Управляющий	Итого по элементам
Порядковый номер цели устойчивого развития	1	–	–	–	–	–	–	–
	2	–	–	–	–	–	–	–
	3	–	2	–	–	–	–	2
	4	–	2	–	–	–	–	2
	5	–	–	–	–	–	–	–
	6	4	7	4		7	5	27
	7	5	6	16	16	11	16	70
	8	13	16	17	19	18	20	103
	9	8	17	17	12	11	21	86
	10	–	–	–	–	–	–	–
	11	3	4	3	14	2	11	37
	12	9	10	9	2	10	15	55
	13	10	13	15	18	9	18	83
	14	6	13	4	17	7	16	63
	15	5	12	8	2	13	18	58
	16		1	–	–	–	6	7
	17	8	5	1	5	15	18	52
Частота использования инструментов		71	108	94	105	103	164	645
Число достигаемых целей		10	13	10	9	10	11	–

Использование представленного подхода позволит проводить комплексную оценку, как ЛЦГ, так и их отдельных элементов на соответствие принципам и ЦУР, выявлять недостатки в использовании рекомендованных методов. Для обеспечения устойчивого развития ЛЦГ необходимо рассмотреть особенности использования методов и инструментов «зелёной» логистики на различных уровнях управления логистической системы.

### 3.3 Выделение уровней управления логистическими цепями грузопотоков

В настоящее время не существует общепринятой классификации логистических систем [48]. Сложность процесса управления логистической системой определяется числом элементов и связей между ними, а также количеством управляемых переменных. Такими управляемыми переменными в ЛС являются параметры и показатели логистических потоков.

При управлении ЛС необходимо учитывать большое число факторов и неопределённость внутренней и внешней среды, а также ряд особенностей – различие в организационно-правовых формах и формах собственности; назначение и цели функционирования, производственную мощность, используемые технологии и ресурсы, территориальное деление и многое другое [72]. Наиболее значимым фактором внутренней среды является персонал и его способность выполнять поставленные перед ним задачи с учётом компетенции, мотивации, психофизического состояния и т.д. [85] Оценка факторов внешней среды необходима для эффективного управления ЛЦГ и адаптации к изменениям поведения потребителей и конкурентов, законодательства, политической ситуации, а также различного рода угроз – эпидемии, военные конфликты, природные катаклизмы и т.д. [127].

При управлении ЛЦГ необходимо учитывать, что звенья и элементы ЛЦГ характеризуются собственной организационно-функциональной структурой, целями и задачами, показателями оценки, которые могут отличаться от глобальных целей, задач и показателей функционирования ЛС.

По назначению ЛС делятся на микро- и макро-логистические [48]. Главное отличие таких ЛС заключается в целях функционирования. Если микро-логистические основной целью ставят оптимальную организацию грузопотоков от поставщика к потребителю с учётом снижения суммарных затрат на продвижение этих потоков, то макрологистические предназначены для решения социально-экономических, экологических и других задач на уровне территориальных или административно-территориальных образований. Другими словами, цели микрологистических систем наименее соответствуют целям устойчивого развития, чем у макрологистических. Особенно это касается достижения экологических и социально-культурных целей [128].

Используя подход, описанный в [248], предлагается выделение четырёх уровней взаимодействия ЛЦГ: микро-, мезо-, макро- и международный. На микроуровне рассматриваются логистические процессы организации и примером такого взаимодействия могут служить логистические системы промыш-



ленного, торгового предприятия или предприятия сферы услуг. Мезоуровень представляет собой кооперацию микрологистических систем в логистическую цепь, а макроуровень – в логистическую сеть поставок на региональном или национальном рынках. Международные макрологистические системы являются примером интеграции грузопотоков различных стран [128].

Управление на каждом уровне ЛС должно осуществляться в соответствии с целями устойчивого развития и принципами «зелёной» логистики. Использование процессного (логистического) подхода к решению проблемы устойчивого развития и рассмотрение взаимодействия аспектов устойчивого развития как динамической системы позволяет учитывать следующие особенности процесса выработки и реализации управленческих решений:

- разделение задачи управления на этапы;
- выбор приоритетов и очередности реализации этапов;
- адаптация к динамике аспектов устойчивого развития;
- универсальность методов управления;
- представление различных сфер человеческой деятельности в виде совокупности универсальных логистических потоков: материального, информационного, финансового и потока услуг;
- стандартизация функций по управлению логистическими потоками при помощи двух основных элементов логистической системы: накопительного (замедление и накопление потоков); транспортного (ускорение и продвижение потоков) [127].

Управленческие решения в ЛЦГ основаны на оценке и анализе дисбаланса функционирования элементов ЛЦГ по пропуску и переработке логистических потоков на рис. 3.16. Продуктивным является представление дефицита информационного потока как фактора, определяющего уровень риска. Тогда избыток по информационному потоку следует рассматривать как неспособность или невозможность элементами ЛЦГ использовать адекватные методы переработки информации, интерпретировать требования системы управления, применять актуальные показатели, оценивать и прогнозировать негативные

экологические последствия и т.п. С позиции концепции устойчивого развития это следует понимать как несоответствие организации, предприятия или даже отдельного рабочего места принципам концепции. Такое несоответствие приводит к увеличению рисков для следующих в логистической цепочке элементов уже из-за недостатка информации о действиях предшествующего элемента-смежника.

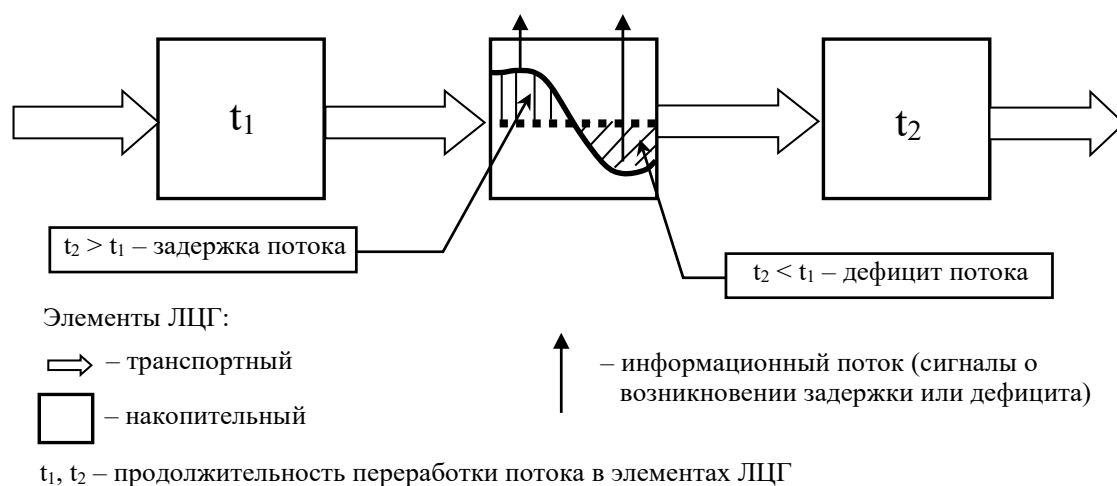


Рисунок 3.16 – Схема формирования информационных потоков в ЛС

Механизм выработки и реализации решений по повышению устойчивого развития ЛЦГ основан на последовательном поиске элементов, которые являются причиной возникновения дефицита или избытка по логистическим потокам с последующим выбором метода адаптации. Для эффективной адаптации данный механизм должен функционировать не только применительно ко всем логистическим потокам, но и действовать на всех уровнях управления ЛС [128] (рис. 3.17). На микроуровне – обеспечение выполнения основных и вспомогательных логистических процессов элементов ЛС в компании (предприятии, организации); на мезоуровне – обеспечение организационных связей и координация взаимодействия между микро-логистическими системами в пределах логистической цепи грузопотоков; на макроуровне – формирование целей, стратегий и задач устойчивого развития ЛЦГ и интеграция логистических цепей в логистические сети, формируемые на национальном и международном рынке.

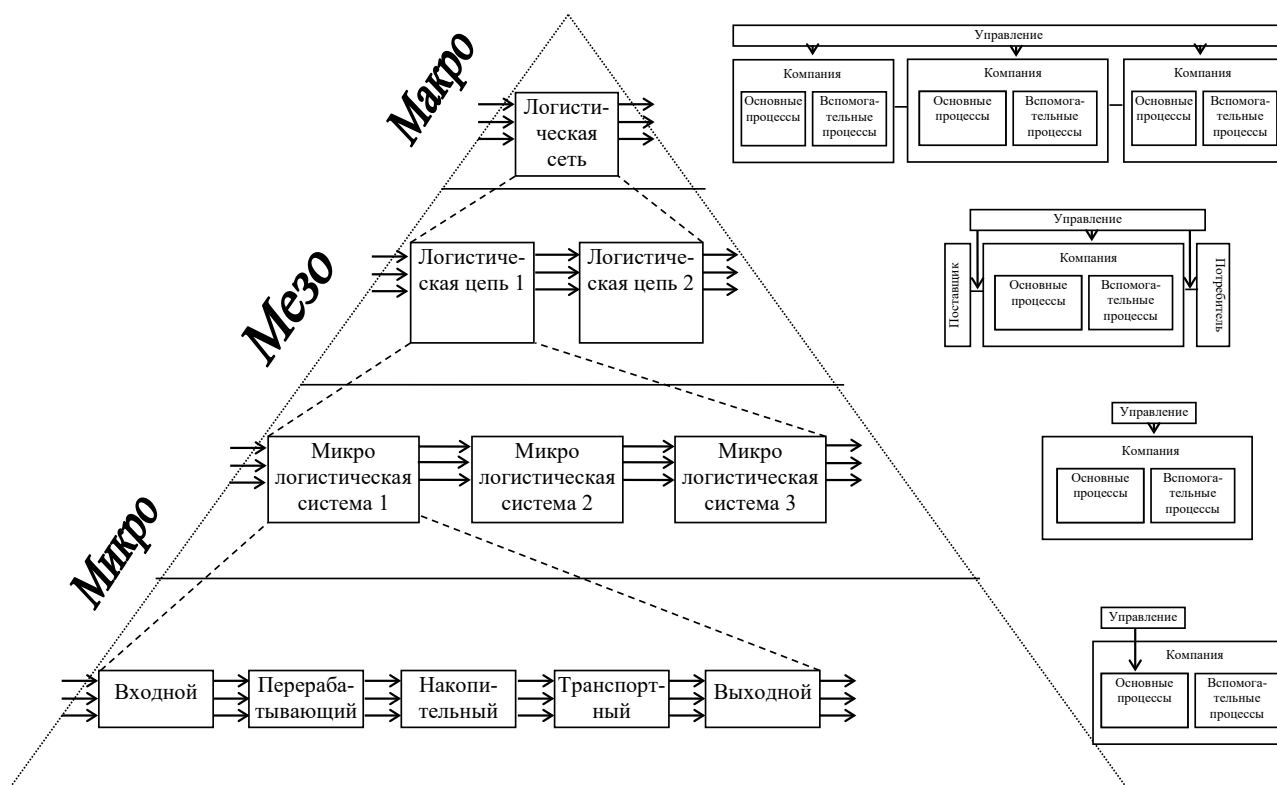


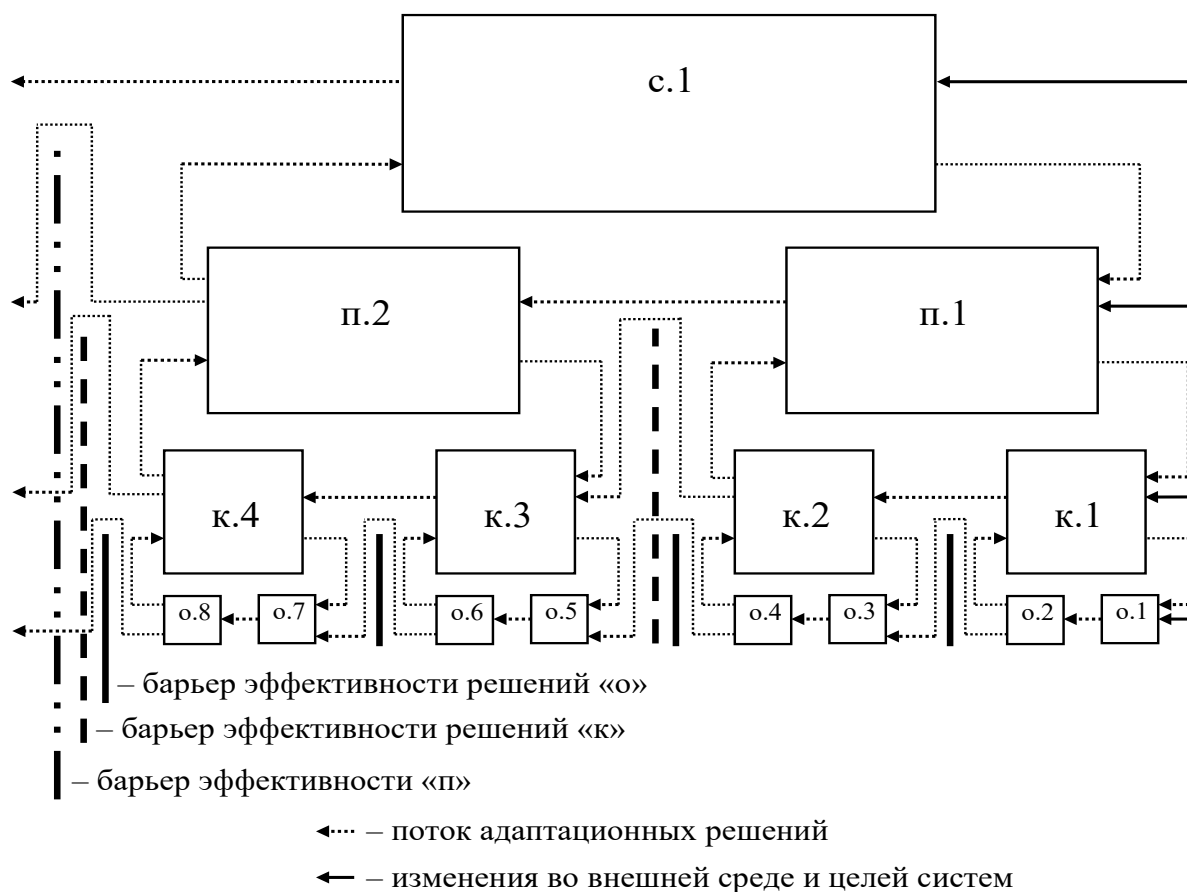
Рисунок 3.17 – Структура ЛС и схема процесса управления на различных уровнях

Наличие множества ЦУР требует в процессе управления ЛЦГ выявлять критические противоречия между различными аспектами устойчивого развития с целью выработки методов их устранения на основе следующих принципов [127, 128]:

- обоснованность и целенаправленность изменений по устойчивому развитию ЛЦГ на основе мониторинга критических мест, возникающих по всем логистическим потокам и элементам ЛЦГ;
- взаимосвязь и последовательность решений в области устойчивого развития ЛЦГ, последовательность которых образует информационный поток;
- очередность решений по устойчивому развитию ЛЦГ: экология → экономика → социум → культура (т.е. решения в области снижении вредного воздействия на окружающую среду должны быть экономически эффективными, в рамках соблюдения национального и международного законодательства и определять состав и изменения компетенций людей) [128];

- системность решений, соответствующих уровням иерархии аспектов устойчивого развития ЛЦГ: экологическом (методы оптимизации (минимизации) экологического воздействия); экономическом (методы реструктуризации экономических связей и взаимоотношений с целью обеспечения экономической эффективности решений в области экологии); социальном (изменение принципов организации функционирования социально-экономических систем); культурном (методы целеполагания) [128].

В качестве объектов, составляющих информационный поток решений в области устойчивого развития, предлагается выделять четыре типа управленческих решений (рис. 3.18).



Типы управленческих решений:

о.1-о.8 — оптимизация параметров элементов ЛЦГ («о»);

к.1-к.4 — улучшение конструкции ЛЦГ («к»);

п.1-п.2 — изменение принципов организации функционирования ЛЦГ («п»);

с.1 — изменение целей (системы) ЛЦГ («с»).

Рисунок 3.18 – Схема последовательности реализации управленческих решений в области устойчивого развития

Переход с уровня оптимизационных решений «о» на реализацию решений по изменению конструкции системы происходит в результате снижения эффективности оптимизационных решений из-за повышения динамики перерабатываемых логистических потоков. Такое снижение эффективности называется барьером эффективности (рис. 3.18) [127]. Аналогичным образом реализуется переход на следующие уровни более эффективных решений по изменению принципов и целей функционирования системы. Однако в результате реализации каждого решения более высокого уровня необходимо «перенастраивать» систему путём реализации цепочки решений всех нижестоящих уровней. Например, в результате усложнения конструкции системы расширяются возможности оптимизации по реализации более эффективных решений, что делает необходимым выработку последовательности оптимизационной цепочки решений до очередного момента снижения их эффективности. После этого возникает необходимость принятия очередного решения по изменению конструкции системы – к.2 и т. д. [128].

В качестве конкретных управленческие решения по повышению устойчивости ЛЦГ в диссертации рассмотрены методы и инструменты «зелёной» логистики. Требуется разработать концепцию устойчивого развития логистических цепей грузопотоков, основу которой будут составлять принципы и инструменты «зелёной» логистики.

### **3.4 Концепция устойчивого развития логистических цепей грузопотоков на основе принципов и инструментов «зелёной» логистики**

Для достижения ЦУР при управлении цепями поставок в диссертационной работе автором разработана концепция устойчивого развития ЛЦГ. В основу концепции положена идея формирования баланса между тремя аспектами устойчивости логистической системы – экономическом, экологическом и социальном [102].

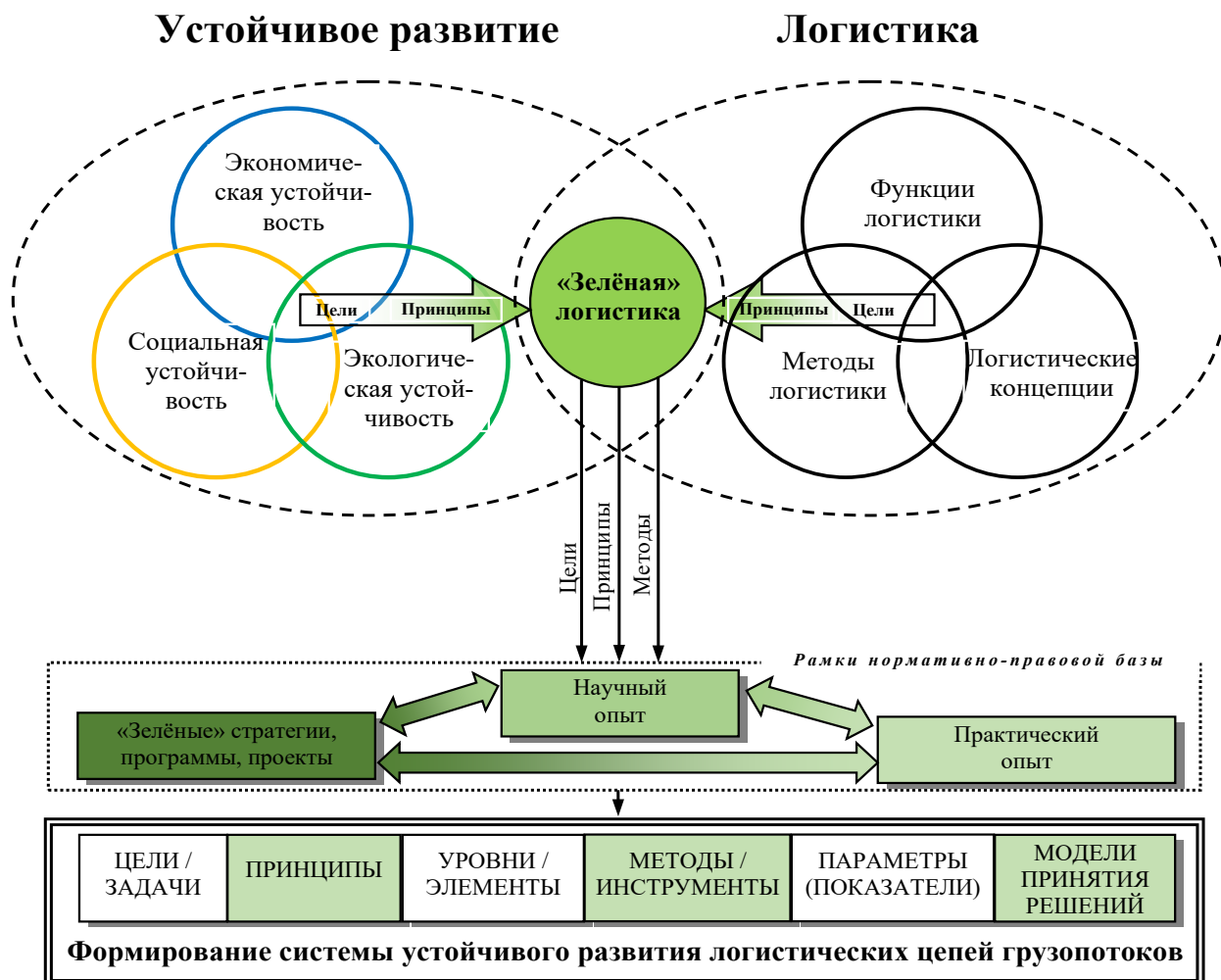


Рисунок 3.19 – Принципиальная схема концепции устойчивого развития ЛЦГ

Это требует соблюдения следующих условий (рис. 3.19):

- согласование целей и принципов устойчивого развития с целями и принципами логистики;
- формирование и поддержание устойчивости ЛЦГ выполняется с соблюдением правовых норм международного и национальных законодательств;
- основу управленческих решений по устойчивому развитию ЛЦГ составляют методы и инструменты «зелёной» логистики, формирование которых осуществляется с учётом лучших практик реализации эко- программ и проектов с участием политических, социальных и экономических институтов, научных организаций, международных союзов и организаций;
- развитие системы методов и инструментов «зелёной» логистики на основе учёта лучших практик реализации экологических программ и проектов в

деятельности общественных и государственных институтов, бизнес структур, научно-исследовательских организаций и международных ассоциаций;

- формирование системы управления ЛЦГ с использованием гибридных многокритериальных методов принятия решений по изменению параметров логистических потоков, совершенствованию элементов логистической системы и их функций в соответствии с ЦУР.

Основу концепции устойчивого развития логистических грузопотоков составляют следующие положения [102, 107]:

1. *Цели устойчивого развития ЛЦГ достигаются приведением в соответствие целей и задач цепей поставок на всех этапах доставки продукции от закупки до сбыта целям, задачам и принципам «зелёной» логистики.*

Сопоставление целей устойчивого развития и целей функционирования ЛЦГ показывает наличие между ними противоречий. С позиций «зелёной» логистики необходимо согласование ЦУР (экономических, социальных и экологических целей) и экономических логистических целей. Основная гипотеза такого согласования заключается в том, что реализация логистических методов, концепций и функций принципиально позволяет сократить затраты ресурсов в результате оптимизации параметров логистических потоков, что потенциально способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду. Эффективное, с применением логистических решений, использование ресурсов позволяет совершенствовать логистические процессы и, как следствие, реализовать социальные и экологические потребности общества. Однако для этого необходима разработка системы функций, методов и концепций логистики для выработки «синтетических» принципов «зелёной» логистики, соблюдение которых обеспечит достижение как ЦУР, так и целей ЛЦГ.

С целью воздействия на логистические потоки элементы ЛЦГ, в зависимости от уровня решаемых ими задач, выполняют следующие функции (см. рис. 2.2): ключевые, базисные и поддерживающие. Выделение логистических функций на основе структурного и функционального подходов позволяет систематизировать логистические принципы и методы в соответствии с ЦУР. Это

позволит сгруппировать известные «зелёные» технологии и методы по двум основным признакам – принадлежности к каждому логистическому элементу при реализации ими базисных и поддерживающих функций, и по признаку воздействия метода на логистические потоки на основе реализации ключевых функций управления логистическими элементами. Такой подход исключит дублирование «зелёных» методов на различных этапах логистического процесса, даст возможность использовать перспективные «зелёные» решения.

*2. Формирование и развитие ЛЦГ основано на использовании системы принципов «зелёной» логистики, представляющей собой синтез принципов устойчивого развития с логистическими принципами.*

Эффективная реализация принципов устойчивого развития при управлении ЛЦГ основана на идеи синтеза принципов логистики и принципов устойчивого развития с целью формирования баланса между экономической, экологической и социальной устойчивостью логистической системы. Новая синтезированная система принципов «зелёной» логистики включает три группы принципов (табл. 3.2): общие, частные и специфические принципы, позволяющие элементам логистической системы соответственно реализовывать ключевые, базисные и поддерживающие функции по управлению всеми видами логистических потоков в ЛЦГ.

Реализация синтезированной системы принципов «зелёной» логистики в управлении ЛЦГ позволит повысить эффективность принятия решений по разработке и реализации методов и инструментов «зелёной» логистики, унифицировать процесс устойчивого развития логистической системы за счёт устранения несогласованного использования инструментов различными элементами. Как следствие, это будет способствовать снижению негативного влияния на окружающую среду, достижению целей концепции устойчивого развития в логистической деятельности, при условии достижения экономической эффективности ЛЦГ.

*3. Повышение устойчивости ЛЦГ обеспечивается реализацией системы методов и инструментов «зелёной» логистики, воздействующих на логистиче-*



*ские потоки и элементы логистической системы по принципу «снизу-вверх»: формированию устойчивой ЛЦГ предшествует создание «зелёных» микро логистических систем, возникновение которых обеспечивается совершенствованием функций и операций на уровне элементов микро логистической системы.*

Систематизация методов и инструментов «зелёной» логистики с использованием структурно-функционального анализа позволяет исключить несогласованное использование «зелёных» инструментов применительно к инфраструктурным элементам ЛЦГ – промышленным предприятиям, складам, отделам снабжения и сбыта, транспорту. То есть, не допускать случаи использования одинаковых по существу инструментов «зелёной» логистики, которые реализуются на различной методической основе или регламентируются противоречащими нормативными актами. Например, рассмотрим выделение реверсивной логистики как отдельной функциональной области. Такое выделение является избыточным, поскольку объектом управления реверсивной логистики также является материальный поток, состоящий из отходов производства, тары, упаковки, вторичного сырья, но отличающийся от основного материального потока только направлением движения – он движется навстречу основному. Фактически «зелёные» методы управления реверсивным потоком реализуются теми же элементами ЛЦГ, объектом управления которых является материальный поток.

Процесс формирования устойчивых ЛЦГ предлагается осуществлять по принципу «снизу-вверх» (рис. 3.20). В соответствии с этим принципом, формированию «зелёной» микро логистической системы должна предшествовать реализация соответствующих методов и инструментов «зелёной» логистики, обеспечивающих совершенствование функций и операций на уровне отдельных элементов ЛС. Переходу на мезоуровень и формированию «зелёной» цепи поставок предшествует формирование на микроуровне «зелёных» логистических систем, входящих в состав данной цепи и так далее.

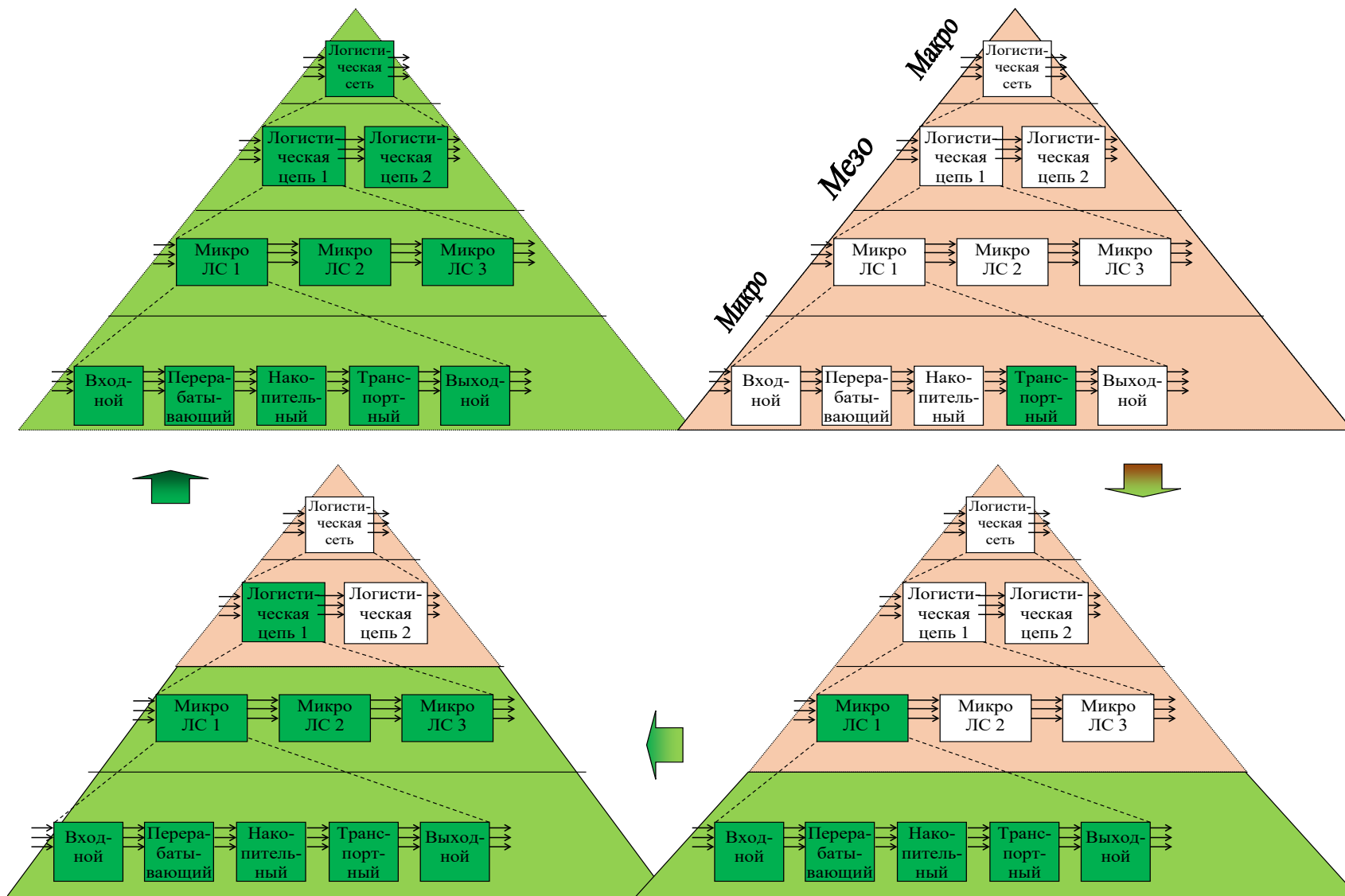


Рисунок 3.20 – Схема процесса формирования устойчивых ЛЦГ

4. *Управление параметрами логистических потоков и элементами ЛЦГ основано на использовании комплекса многокритериальных моделей и методов принятия решений, позволяющих выполнять оценку элементов ЛЦГ, анализ параметров логистических потоков, ранжирование и выбор инструментов «зелёной» логистики для повышения эффективности функционирования ЛЦГ при снижении негативного воздействия на окружающую среду.*

Двумя основными проблемами принятия решений по управлению ЛЦГ являются: множество критериев оценки логистических потоков и элементов ЛЦГ на их соответствие ЦУР, а также множество вариантов самих управленческих решений. Управление основано на мониторинге фактических значений параметров и показателей логистических потоков с последующим выбором и реализацией инструментов «зелёной» логистики с целью обеспечения устойчивости ЛЦГ, то есть соответствия её показателей целям концепции устойчивого развития. Реализация инструмента «зелёной» логистики меняет значение показателей и параметров логистических потоков.

Наиболее эффективным способом решения таких сложных многовариантных и мультикритериальных задач является использование многокритериальных методов принятия решений. Их использования для оценки и выбора наиболее эффективных решений по повышению устойчивости цепей поставок основано на поиске компромисса между экономической, социальной и экологической устойчивости ЛЦГ.

### **Выводы по главе 3**

1. Обоснована необходимость группировки существующих логистических принципов на общие, частные и специфические в соответствии с функциями элементов ЛЦГ – ключевых, базисных и поддерживающих. Анализ принципов в каждой группе показал отсутствие в традиционной логистике принципов достижения экологических ЦУР, а также неравномерное распределение принципов для выполнения общесистемных задач логистики.

2. В результате синтеза принципов логистики и принципов устойчивого развития сформирована новая система принципов «зелёной» логистики. Сформулированные 19 принципов «зелёной» логистики являются основой реализации элементами ЛЦГ их ключевых, базисных или поддерживающих функций для достижения целей устойчивого развития.

3. Выполнена систематизация методов и инструментов «зелёной» логистики. В основу систематизации положены: факторы устойчивого развития ЛЦГ, а также базисные и поддерживающие функции всех элементов ЛЦГ по достижению целей устойчивого развития. Предлагаемая система методов и инструментов «зелёной» логистики включает 27 методов и 105 инструментов, обеспечивает достижение 13 ЦУР.

4. Предложен механизм реализации управленческих решений с использованием инструментов «зелёной» логистики на различных уровнях управления ЛЦГ – микро-, мезо-, макроуровнях. Предлагается использование четырёх типов решений с использованием инструментов «зелёной» логистики по достижению ЦУР: оптимизация параметров элементов ЛЦГ; улучшение конструкции ЛЦГ; изменение принципов организации функционирования ЛЦГ; изменение целей ЛЦГ.

5. Разработана концепция устойчивого развития логистических цепей грузопотоков. Основу концепции составляет идея формирования баланса между экономической, экологической и социальной устойчивостью ЛЦГ, основанная на использовании принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики, многокритериальных методов и моделей принятия решений по управлению параметрами логистических потоков и элементами ЛЦГ.

## **4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ЦЕПЯХ ГРУЗОПОТОКОВ**

### **4.1 Формализованное представление грузопотоков в логистических цепях**

В современной литературе понятие «потока» является базовым в различных фундаментальных науках – физике, математике, философии, экономике и других. В большинстве определений поток материалов, обладает некоторой массой и движется в пространстве и во времени [109].

Изучению потоковых явлений в сферах материального производства (экономике, логистике, на транспорте) посвящено множество исследований, а решение проблем управления материальными потоками способствовало формированию отдельной науки – рохрематике. На примере исследования проблем управления потоками в логистической системе и в транспортной деятельности, можно сделать следующие выводы [109]:

1. Понятие потока. Анализ используемых в логистике определений термина «поток» [40, 48, 72] позволяет говорить о достаточно устоявшемся понятии. В общем случае поток представляет собой множество объектов (элементов потока) разнообразной природы, воспринимаемых как единое целое и существующее как процесс на некотором временном интервале, измеряемый в абсолютных единицах за определённый период времени. В логистике принято выделять четыре вида потоков – материальный, информационный, финансовый и поток услуг. В транспортной деятельности при исследовании потоков [32, 41, 73, 122], как правило, оперируют понятиями транспортный поток, грузопоток и пассажиропоток [109].

2. Классификация потоков. Общепринятой классификации потоков по их свойствам в настоящее время не существует, однако в качестве классификационных признаков различные авторы [40, 72] выделяют следующие основные свойства потока: непрерывность, регулярность, стабильность, изменчивость,

периодичность, сложность, ритмичность, управляемость, упорядоченность элементов, отношение к рассматриваемой системе и другие [109].

3. Связь потока и запаса. Многими исследователями отмечается тесная взаимосвязь и противоположность понятий «поток» и «запас». Если запас рассматривается как поток с нулевой скоростью движения, тогда поток представляет собой «ускоренный» запас. С математической точки зрения величина запаса представляет собой результат интегрирования величины интенсивности входного потока в течение периода времени, а интенсивность потока – результат дифференцирования (изменения) запаса по времени [109].

4. Измерители потока. Выполненный в работах [109, 347, 414] анализ показал, что отсутствует общепринятая универсальная система параметров и показателей логистических потоков. В качестве основных измерителей в логистической практике используются такие параметры потока, как масса, скорость (время) и маршрут продвижения [109].

5. Моделирование потоков. Исследование транспортных потоков с использованием моделей различных типов представлено в трудах отечественных и зарубежных учёных. В работах [15, 70, 137, 181, 203] представлены обзоры существующих подходов к моделированию транспортных потоков на основе построения прогнозных, имитационных и оптимизационных моделей. Большинство существующих моделей можно поделить на три класса [136, 181]: макроскопические (построенные на гидродинамической аналогии), в которых поток уподобляется движению жидкости и описывается в усреднённых терминах, таких как плотность, средняя скорость и др.; микроскопические, в которых моделируются движения каждого элемента потока; кинетические (газодинамические), в которых поток описывается кинетическим уравнением и динамикой фазовой плотности потока, т.е. плотности распределения элементов потока в фазовом пространстве координат и скоростей. Важным этапом моделирования потоков является оценка адекватности результатов [39].

Таким образом, поток в логистической системе, с одной стороны, можно рассматривать как совокупность отдельных объектов (элементов или струй),

движение которых могут быть расценены как вероятностные события. Например, различные партии (отправки) груза в материальном потоке или отдельные логистические операции в потоке услуг. Следовательно, для исследования и управления такими потоками могут быть использованы микроскопические модели. С другой стороны, поток может рассматриваться как «стационарное» явление (непрерывный процесс) с некоторыми усреднёнными характеристиками скорости, интенсивности и др. Например, доставка груза от склада отправителя до склада получателя по принципу «от двери до двери». В этом случае наиболее эффективным будет использование макроскопических моделей [109].

В этой связи предлагается использовать следующие понятия, характеризующие логистические потоки (рис. 4.1) [109]:

- элемент потока – неделимый элементарный объект потока, обладающий определёнными характеристиками;
- струя потока – часть потока, выделенная по какому-либо признаку, представляющая собой совокупность элементов, обладающих общими характеристиками и свойствами;
- поток – совокупность струй (элементов), воспринимаемых как единое целое и существующее как процесс на некотором временном интервале [109].

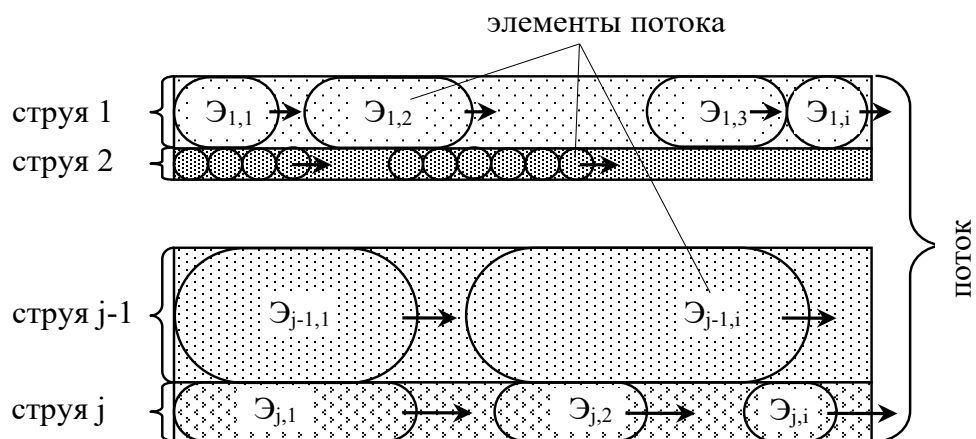


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема структуры потока

Сложность исследования и управления логистическими потоками заключается в многочисленности и многообразии их параметров, свойств и характе-

ристик. Кроме того, отсутствует общепринятая система их параметров и показателей оценки, что затрудняет принятие решений по управлению потоками в логистической системе и оценку эффективности такого управления [109]. Например, принятие решений по обеспечению своевременности доставки может привести к увеличению неравномерности грузопотока, что негативно скажется на энергоёмкости всего логистического процесса и объёме выбросов парниковых газов. С другой стороны, стремление к увеличению коэффициента дискретности потока (уменьшению размера грузовых партий) позволяет достичь более равномерного продвижения потока, но приводит к увеличению транспортных издержек. Необходимость такой системы обусловлена проведением оценки состояния логистических потоков, управления и прогнозирования ими.

#### **4.2 Систематизация параметров и показателей логистических потоков**

Логистические цепи грузопотоков – это большие, сложные и высокодинамичные системы, атрибуты которых могут значительно изменяться в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Для управления ЛЦГ крайне важно найти соответствующие индикаторы мониторинга состояния системы и её элементов, с целью разработки и принятия решений по достижению ЦУР.

Объектом исследования ЛЦГ является система потоков, а основным предметом оценки – индикаторы материального потока и поток услуг. Это объясняется тем, что продукция и услуги являются результатом деятельности любого предприятия с одной стороны, и интересом потребителей, с другой. Однако, значительная часть исследований индикаторов логистических систем и цепей поставок направлена не на оценку логистических потоков, а на анализ самих цепей, их элементов, логистических функций (операций) и акторов. Такой подход эффективен на стратегическом уровне управления и снижает эффективность принятия решений по управлению ЛЦГ на тактическом и оперативном уровне по достижению ЦУР.



Выполненный в работе [199] анализ 2555 уникальных индикаторов по управлению «зелёными» цепями поставок позволил установить, что большинство показателей использовались только один раз. Пятерка наиболее часто используемых показателей включает: качество, выбросы в атмосферу, выбросы парниковых газов, использование энергии и потребление энергии. Показатели, характеризующие логистические потоки, составляют 0,08% от общего числа индикаторов и используются для оценки финансового потока («Поток денежных средств», «Финансовый поток от операционной деятельности») и материального потока («Массовый поток расходуемых материалов», «Способность управлять обратными потоками», «Объём обратного материального потока»). Ф. Зиммер продолжил исследование критериев устойчивых цепей поставок в работе [438] и установил, что из общего числа критериев 52,5% это экономические, 38,1% экологические и 9,4% социальные (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Наиболее распространенные критерии устойчивых цепей поставок [438]

В диссертации выполнено исследование индикаторов устойчивых цепей поставок. На основе анализа 97 статей (Приложение В) выявлено 600 уникальных критериев и 1489 уникальных субкритерия оценки «зелёных»/устойчивых

цепей поставок, которые были систематизированы по функциям элементов ЛЦГ(рис. 4.3а), структуре (рис. 4.4) и методам анализа и принятия управленческих решений (рис. 4.3б).

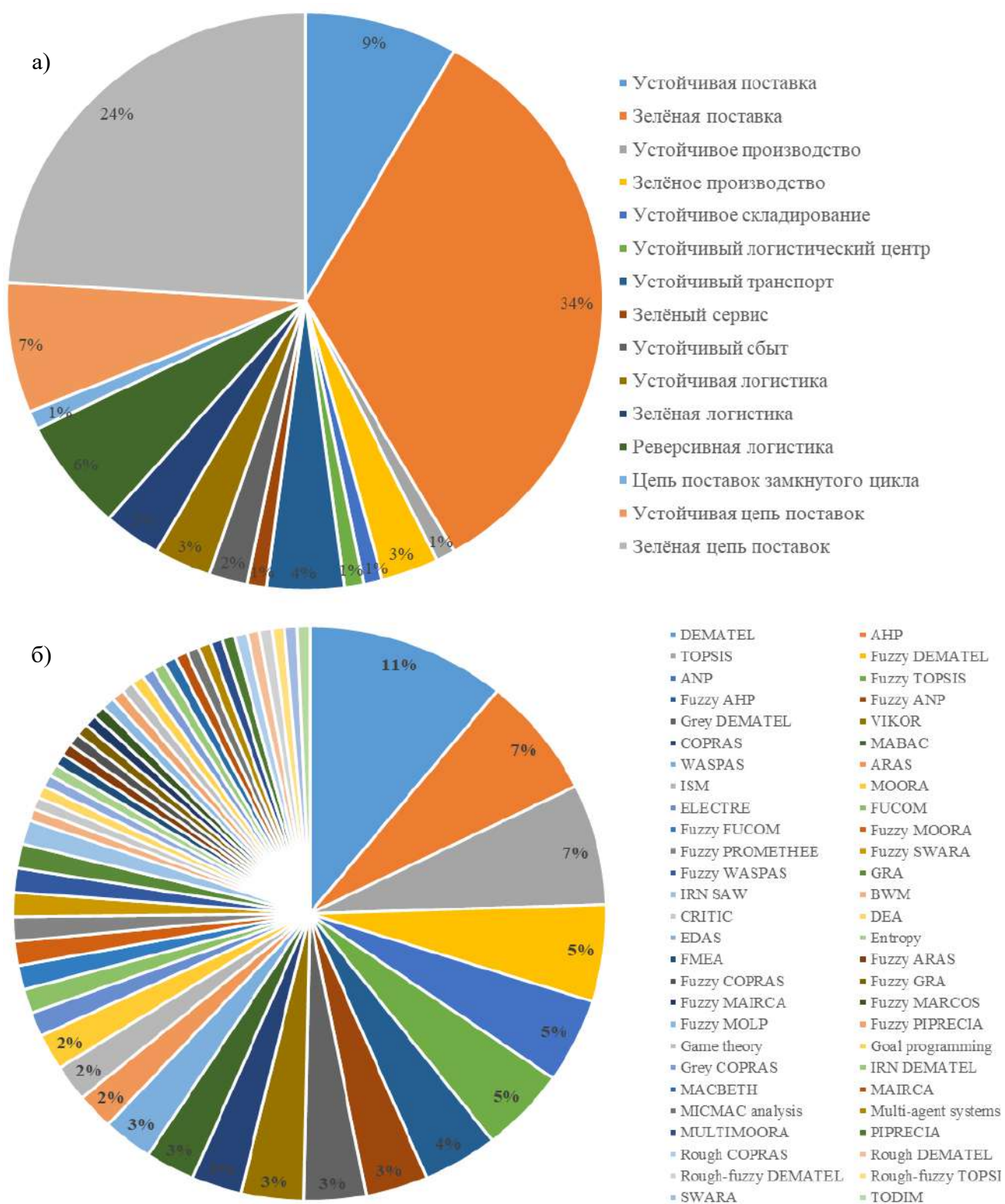


Рисунок 4.3 – Результаты анализа критериев «зелёных»/устойчивых цепей поставок (функции и методы анализа)

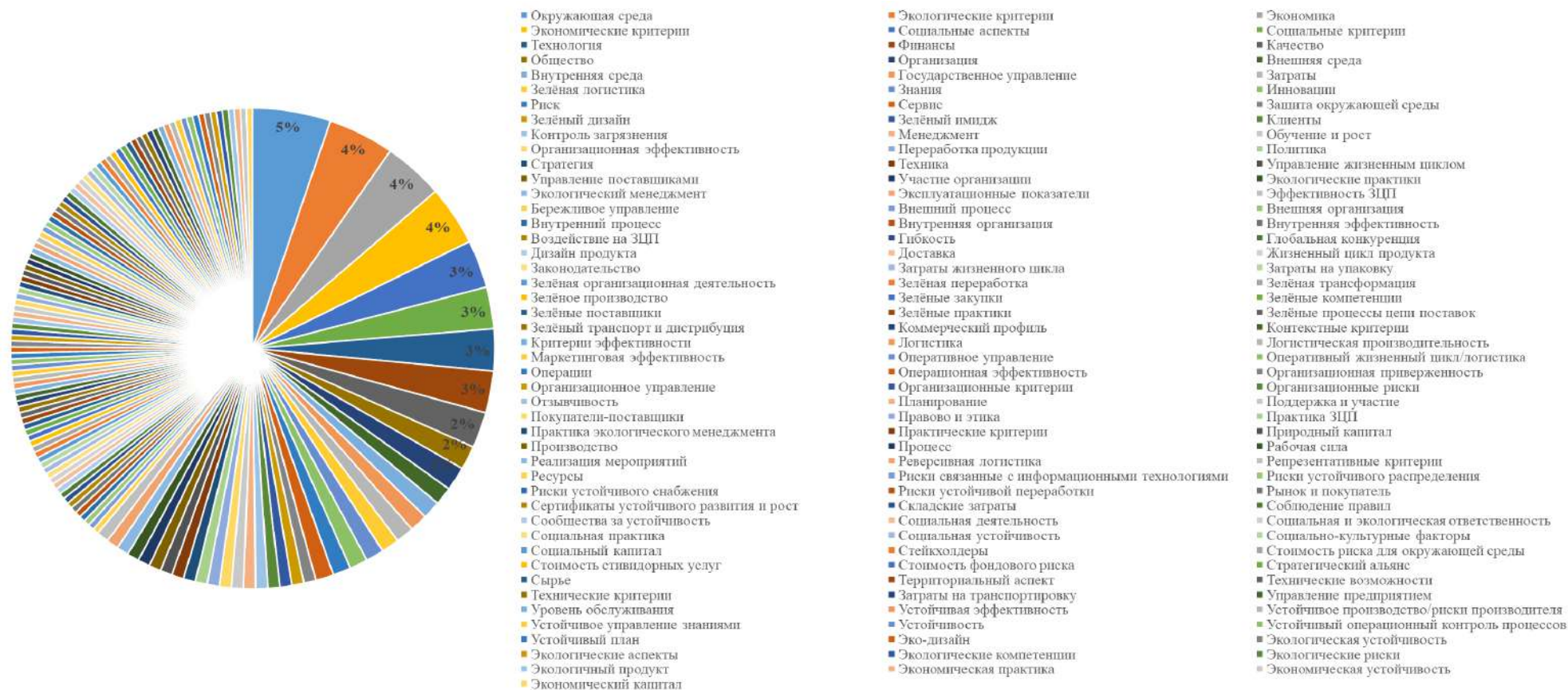


Рисунок 4.4 – Результаты анализа критериев «зелёных»/устойчивых цепей поставок

Получены следующие результаты:

- отсутствует единая, общепринятая система индикаторов оценки УЦП. Количество и состав системы индикаторов зависят от отрасли промышленности (строительство, сельское хозяйство, энергетика и т.д.), целей и стратегии развития УЦП (Индустрия 4.0, Lean и Agile технологии), масштаба УЦП (международные, национальные);

- выявлено две системы оценки УЦП – двухуровневая (62%) и одноуровневая (38%). При двухуровневой системе на первом уровне используются обобщенные группы индикаторов (далее критерии), а на втором уровне – комплекс индикаторов, характеризующих каждую группу (далее субкритерии). В двухуровневой системе выявлено всего 258 критериев на 1 уровне и 1143 субкритерия на 2 уровне. В одноуровневой системе выявлено 346 уникальных индикатора. Качественный анализ показал, что одни и те же индикаторы в различных системах оценки могут быть как критериями, так и субкритериями. Это объясняется разной степенью детализации оценки;

- структура систем критериев/субкритериев оценки УЦП различная. Среднее значение количества критериев, которое приходится на 1 уровень системы оценки – 4, а субкритериев (второй уровень) – 15. Наибольшее число критериев на первом уровне – 8, а наименьшее – 2. Наибольшее число субкритериев на втором уровне – 44, а наименьшее – 4;

- наиболее частым объектом оценки УЦП являются «устойчивая поставка» и «зелёная поставка», на долю которых приходится 43% исследований, а также «зелёная цепь поставок» (24% исследований). Наименьшее количество исследований приходится на «устойчивое производство, «устойчивое складирование» и «зелёный сервис»;

- десять наиболее часто используемых критериев УЦП (33% от общего количества критериев) составляют «окружающая среда», «экологические критерии», «экономика», «экономические критерии», «социальные аспекты», «социальные критерии», «технология», «финансы», «качество» и «организация». Среди субкритериев наибольшее распространение получили «качество», «за-

траты», «гибкость», «реверсивная логистика», «обучение», «приверженность руководства», «безопасность»;

- в качестве методов анализа и принятия управленческих решений в УЦП наибольшее распространение получили многокритериальные методы принятия решений DEMATEL, АНР и TOPSIS, а также их комбинация с теорией нечётких множеств (рис. 4.3б).

Таким образом, сложность исследования УЦП заключается в многочисленности и многообразии критериев и субкритериев их оценки. Отсутствие общепринятой системы показателей и параметров оценки управления ЦП, а также акцентировании внимания на логистических процессах и функциях, а не на самих логистических потоках, стали причиной исследования в диссертационной работе подходов к оценке логистических потоков.

Анализ научной литературы показал, что отсутствует общепринятая универсальная система параметров и показателей логистических потоков. В качестве критериев оценки логистических потоков предлагаются использовать различные измерители, отражающие свойства и характеристики потоков. Недостатком большинства существующих подходов является отсутствие комплексного и системного подхода к оценке всех логистических потоков. В логистической практике производится оценка материальных потоков, в основном, по таким их параметрам, как масса, скорость (время), маршрут продвижения. Это связано с тем, что данные параметры потоков являются управляемыми. Традиционный механизм управления логистическими потоками основан на принятии решений по результатам сравнения фактических значений этих управляемых параметров с расчётными значениями. Однако расчётные значения управляемых параметров являются результатом оптимизации потоков исключительно по логистическим, в основном, экономическим критериям, известных как «семь правил логистики» [109]. Общепринятые логистические критерии управления не учитывают экологические и социальные требования, что снижает эффективность управления логистическими потоками в соответствии с требованиями концепции устойчивого развития.

Основными измерителями материального потока [73, 79] принято считать транспортную массу, транспортный путь и транспортное время. В качестве дополнительных параметров, характеризующих поток, используют [48]: начальный, промежуточные и конечный пункты; геометрию (траекторию) потока; длину (мера траектории); скорость и время движения; интенсивность. В работе [156] параметры логистических потоков в цепях поставок объединены в четыре группы: количество; качество; затраты; время. В работе [78] рассматриваются временные параметры как критерии качества грузопотоков. Авторами [48] параметры логистических потоков предлагается разделять на две группы – физические параметры, отражающие пространственно-временные свойства потоков и статистические параметры, характеризующие закономерности изменения физических параметров. В исследовании [47] оценку потока предлагается выполнять с учётом двух параметров – средняя величина потока и дезорганизация потока. Автором [25] установлены взаимосвязи между количественными параметрами потоков и запасов в логистике. В работах [171] предлагается оценка логистических потоков по двум составляющим – векторной (направление перемещения) и скалярной (объём ресурсов). В работе [172] предложен комплекс из тридцати пяти показателей оценки совокупных издержек (финансовых потоков), возникающих при формировании потоков инноваций в логистической системе. В [70] установлена связь между параметрами материальных, информационных, трудовых и финансовых потоков в логистической системе [109]. Авторы [386] для оценки грузопотоков в логистической сети и формирования маршрута их следования используют индекс трения и коэффициент распределения потока в транспортных узлах. В работе [227] в качестве основных показателей оценки эффективности цепи поставок выделяют показатели «сотрудничества» в отношении информационного потока, «затраты» для финансового потока и «срок доставки» для материального потока. Система параметров транспортно-логистических потоков по уровням организации транспортно-технологических систем представлена в [129].

Автором диссертационной работы выполнен анализ и систематизация показателей логистических потоков [109, 138, 143] (рис. 4.5), даны определения, расчётные формулы показателей применительно к структурным элементам логистического потока – элементу, струе и потоку в целом.

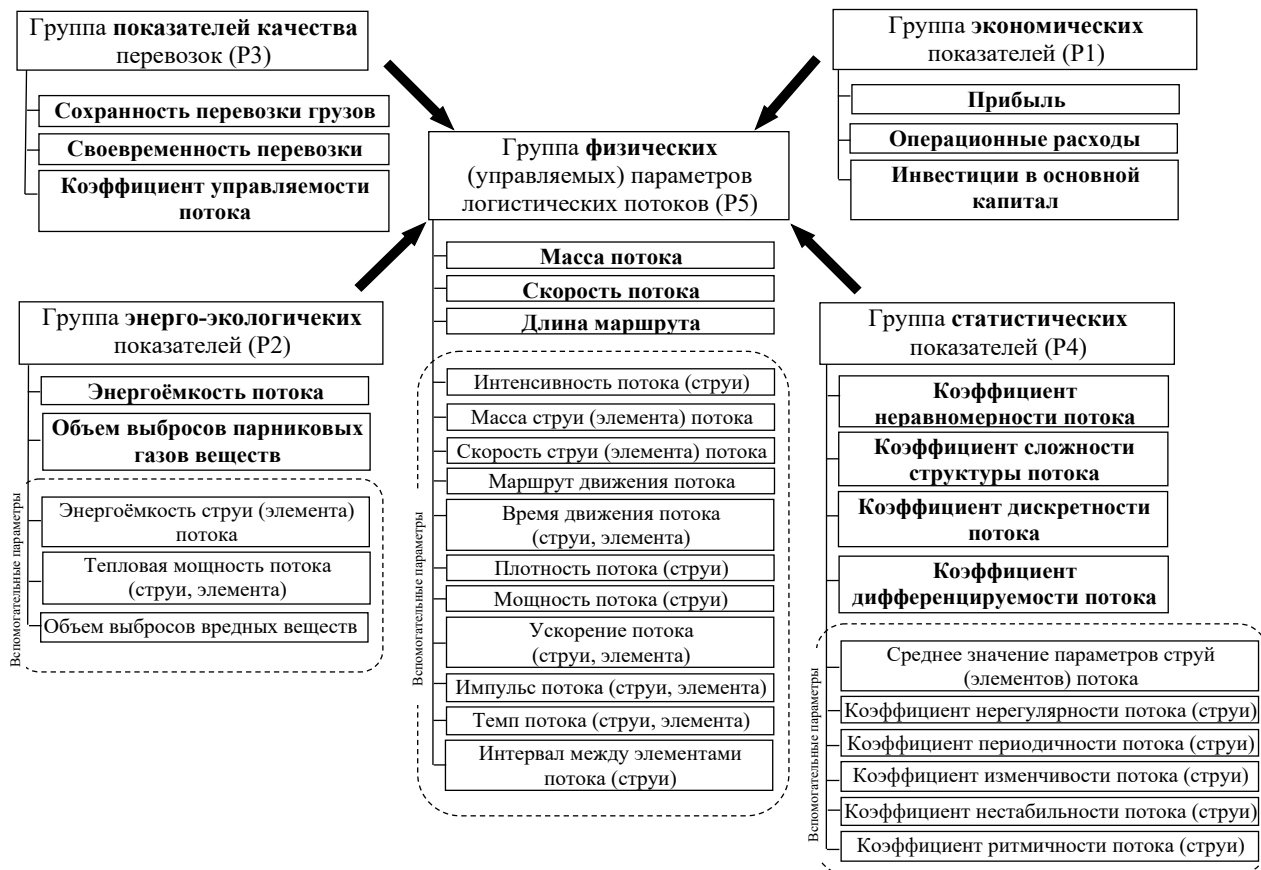


Рисунок 4.5 – Система параметров и показателей логистических потоков [109]

Выделено пять групп параметров логистических потоков:

- экономические параметры (P1), характеризующие эффективность использования всех видов ресурсов логистической системы, а также степень экономической жизнеспособности логистической системы;
- энерго-экологические параметры (P2), характеризующие эффективность использования энергии в процессе продвижения потоков и влияние логистических потоков на окружающую среду;
- параметры качества (P3), характеризующие сохранность и своевременность продвижения и переработки потоков, а также качество управления потоками;

- статистические параметры (P4), отражающие закономерности изменения управляемых параметров потоков;

- управляемые (физические) параметры потока (P5), характеризующие интенсивность потоков и свойства изменения потоков в пространстве и во времени [109].

В диссертационной работе для оценки логистических потоков на соответствие целям устойчивого развития и выработке управленческих решений по достижению целей устойчивого формирования и развития ЛЦГ предлагается использование оригинальной двухуровневой иерархической системы параметров и показателей логистических потоков. В качестве компонентов первого уровня иерархии выступают группы параметров логистических потоков, соответствующие основным аспектам концепции устойчивого развития. Компонентами второго уровня иерархии являются 15 показателей логистических потоков для оценки ЛЦГ по критерию соответствия целям концепции устойчивого развития и эффективность принятия решений по управлению потоками в логистической системе (табл. 4.1). Особенностью предлагаемой системы является оценка не отдельных элементов цепи поставок, а интегральная (комплексная) оценка логистических потоков на соответствие аспектам концепции устойчивого развития и качества управления ЛЦГ.

Таблица 4.1 – Система параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ

Параметр	Показатель	Характеристика	Расчётная формула
Группа экономических показателей (P1)	Прибыль (P1.1)	Разница между суммарным доходом и операционными расходами	$P = D - O$ , где $P$ – прибыль; $D$ – доход; $O$ – операционные расходы.
	Операционные расходы (P1.2)	Сумма всех видов расходов, связанных с превращением инвестиций в прибыль	$O = \sum_i^N o_i$ , где $o_i$ – виды операционных расходов; $N$ – количество всех видов расходов логистической системы в рассматриваемом периоде.
	Инвестиции в основной капитал (P1.3)	Величина денежных средств, расходуемых на формирование основных средств	$K = \sum_i^M K_i$ , где $K$ – инвестиции в основной капитал; $K_i$ – количество $i$ -го вида вложений на формирование основных средств.



## Продолжение таблицы 4.1

Параметр	Показатель	Характеристика	Расчётная формула
Группа энерго-экологических показателей (P2)	Энергоёмкость потока (P2.1)	Количество энергии, затраченной на продвижение потока по маршруту	$E = E_{стационар} + E_{перед}$ , где $E_{стационар}$ , $E_{перед}$ – соответственно количество энергии, затрачиваемой стационарными и передвижными источниками для продвижения потока на маршруте следования.
	Объём выбросов парниковых газов (P2.2)	Суммарный объём выбросов парниковых газов от всех источников, задействованных при продвижении потока	$Em^c = \sum_g Em_g = \sum_g Fu_g K_g$ , где $Em_g$ – объём выбросов в атмосферу парниковых газов по $g$ -му типу топлива; $Fu_g$ – количество сожжённого $g$ -го типа топлива; $K_g$ – коэффициент выбросов парниковых газов по $g$ -му типу топлива.
Группа показателей качества материальных потоков (P3)	Сохранность перевозки грузов (P3.1)	Показатели, характеризующие перевозку без повреждений, без загрязнений, без потерь и без пропажи	В соответствии с ГОСТ 51005-96
	Своевременность перевозки грузов (P3.2)	Показатели, характеризующие перевозку грузов к назначенному сроку, регулярность и срочность перевозки	В соответствии с ГОСТ 51005-96
	Коэффициент управляемости материального потока (P3.3)	Отношение массы информационного потока, элементами которого являются сообщения о соблюдении показателей сохранности и своевременности перевозки, к массе управляющего информационного потока (число информационно-управляющих сообщений)	$k_{упр.} = m_k / m_{общ}$ , где $m_n$ – количество сообщений о качественно выполненных управленческих решениях; $m_{общ}$ – общее количество сообщений.
Группа статистических показателей (P4)	Коэффициент неравномерности потока (P4.1)	Отклонение значений физических параметров потоков от их средних значений	$k_{нер.} = 1 + k_{вар} / P_{(x)}$ , где $k_{вар}$ – коэффициент вариации соответствующего параметра логистического потока; $P_{(x)}$ – среднее значение параметров.
	Коэффициент сложности структуры потока (P4.2)	Характеризует число струй, из которых состоит логистический поток	$k_{слож.} = r^{20\%} / (R - r^{20\%})$ , где $r^{20\%}$ – число струй, суммарная масса которых не превышает 20% процентов от массы потока; $R$ – общее число струй в потоке.
	Коэффициент дискретности потока (P4.3)	Характеризует число элементов, из которых состоит струя потока. Рассчитывается как отношение значения интервала времени между элементами потока к минимальному, отличному от нуля значению интервала, при котором поток считается непрерывным	$k_{дискр.} = \Delta t / \Delta t_{min}$ , $\Delta t_{min} > 0$ , где $\Delta t$ – интервал времени между элементами потока; $\Delta t_{min}$ – минимальное, отличное от нуля значение интервала, при котором поток считается непрерывным.
	Коэффициент дифференцируемости потока (P4.4)	Характеризует изменение сложности структуры потока в процессе его движения по маршруту. Рассчитывается как отношение числа струй потока в конечном пункте маршрута продвижения потока к числу струй в начальном пункте	$k_{диф.} = r_n / r_1$ , где $r_n$ – число струй потока в конечном пункте маршрута продвижения потока; $r_1$ – число струй в начальном пункте.

## Окончание таблицы 4.1

Параметр	Показатель	Характеристика	Расчётная формула
Группа управляемых (физических) параметров потока (P5)	Масса потока (P5.1)	Суммарная масса (количество) элементов потока, находящихся в движении по маршруту потока	$M = \sum_{j=1}^k M_j^{str} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n m_{j,i},$ <p>где <math>M</math> – масса потока; <math>M_j^{str}</math> – масса <math>j</math>-ой струи потока; <math>m_{j,i}</math> – масса <math>i</math>-ого элемента <math>j</math>-ой струи; <math>k, n</math> – соответственно количество струй и элементов в потоке.</p>
	Длина маршрута потока (P5.2)	Суммарное расстояние, проходимое элементом потока при движении по маршруту, сумм длин $n-1$ дуг транспортной сети, составляющих маршрут, где $n$ – число узлов транспортной сети, входящих в маршрут	$L = \sum_{i=2}^b \sqrt{(x_z - x_{(z-1)})^2 + (y_z - y_{(z-1)})^2};$ $L = \sum_{i=1}^b p_{\lambda_z z},$ <p>где <math>L</math> – длина маршрута; <math>\lambda_z</math> – номер вершины, предшествующей <math>z</math>-й при движении потока по маршруту <math>R</math>; <math>p_{\lambda_z z}</math> – длина дуги, соединяющей вершины <math>\lambda_z</math> и <math>z</math> (оценка дуги маршрута).</p>
	Скорость потока (P5.3)	Отношение длины маршрута ко времени движения потока по маршруту (усреднённая скорость струй потока)	$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_j \cdot m_{j,i}}{\sum_{j=1}^k m_{j,i}}; v_{j,i} = \frac{L}{T_j} = V_j$ <p>где <math>V, V_j, v_{j,i}</math> – скорость потока, струи и элемента потока соответственно; <math>T_j</math> – время движения элементов <math>j</math>-й струи по маршруту.</p>

Применение параметров и показателей логистических потоков в системе управления ЛЦГ требует разработки методик определения значимости (веса) каждого параметра и показателя, установления их взаимного влияния друг на друга с целью повышения качества оценки логистических потоков и выработки эффективных управленческих решений по достижению целей устойчивого развития в ЛЦГ.

### 4.3 Методика расчёта весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков

Весовой коэффициент – числовой коэффициент, параметр, отражающий значимость, относительную важность, «вес» фактора в сравнении с другими факторами, оказывающими влияние на изучаемый процесс [124]. Значения весовых коэффициентов определяются в долях, т.е. их сумма равна единице, что позволяет легко интерпретировать значимость влияющих факторов.

Определение весовых коэффициентов критериев в сложных, иерархических системах, к которым относится система параметров и показателей логистических потоков, является проблемой, которая требует решения при управлении ЛЦГ. Это вызвано различной значимостью тех или иных параметров и показателей, их неоднородностью, влиянием параметров (показателей) друг на друга, использованием интегральных показателей, а также особенностью применения различных многокритериальных методов и моделей лиц принимающих решения [49, 68, 117, 344]. Вес параметров и показателей может оказать существенное влияние на конечный результат процесса принятия решений.

В настоящее время существуют различные методы определения весовых коэффициентов, которые используют для решения различных задач MCDM. Основная цель метода взвешивания состоит в том, чтобы присвоить количественные или порядковые значения различным критериям, чтобы указать их относительную важность в MCDM. Затем эти значения используются методом MCDM при последующей оценке альтернатив.

На рис. 4.6 представлена систематизация основных методов определения весовых коэффициентов [49, 121, 344, 426]. Субъективные методы определения веса основаны на экспертной оценке, т.е. определяются из суждений и в соответствии с предпочтениями ЛПП о данных критериях. Эффективность и качество оценки зависят от опыта, знаний и интуиции ЛПП и экспертов, численности экспертов (ЛПП) и степени согласия между ними. Наибольшее распространение в MCDM получили такие методы как SMART, АНР, SIMOS и метод Delphi [344, 426]. В методах объективного взвешивания вес определяется на основе информации, собранной по каждому критерию с использованием математических алгоритмов и моделей и без участия ЛПП. Наиболее распространенными методами являются метод наименьших средних квадратов (LMS), минимальное максимальное отклонение, энтропия, TOPSIS и многокритериальная оптимизация [344, 426]. Комбинированные подходы основаны на сочетании методов субъективного и объективного взвешивания на основе мультипликативного и аддитивного синтеза.

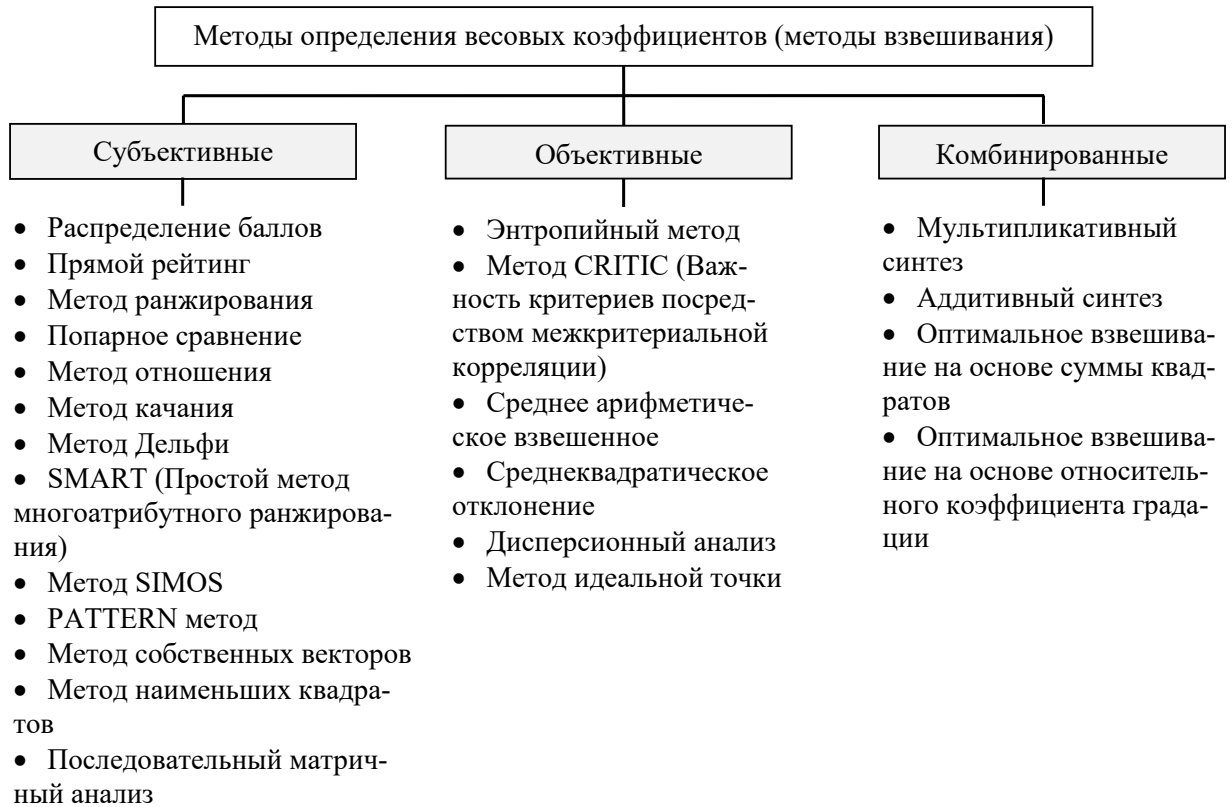


Рисунок 4.6 – Классификация методов определения весовых коэффициентов

В результате анализа различных методов взвешивания [68, 344, 426] в диссертационной работе для определения весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков выбраны:

- нечёткий аналитический иерархический процесс (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, далее F-AHP) [228];

- метод «Лаборатория оценки и испытаний принятия решений» (DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory, далее DEMATEL) [265], с использованием теории нечётких множеств (Fuzzy – F-DEMATEL), теории серых систем (Grey – G-DEMATEL) и традиционный (Crisp – C-DEMATEL).

Впервые подход Fuzzy AHP с использованием треугольных нечётких чисел и метода анализа экстенгов описан в работе Да-Юнг Чанг [228]. Использование Fuzzy AHP, в отличие от метода анализа иерархии (AHP), предложенного Томасом Саати [379], позволяет не только исключить такие недостатки, как несбалансированность шкалы суждений, неопределённость и субъективность суждения экспертов, но и повысить точность оценки [223].

В качестве функции принадлежности предлагается использование треугольной функции (рис. 4.7), лингвистические переменные и треугольные нечёткие числа (табл. 4.2) для оценки параметров и показателей логистических потоков [110].

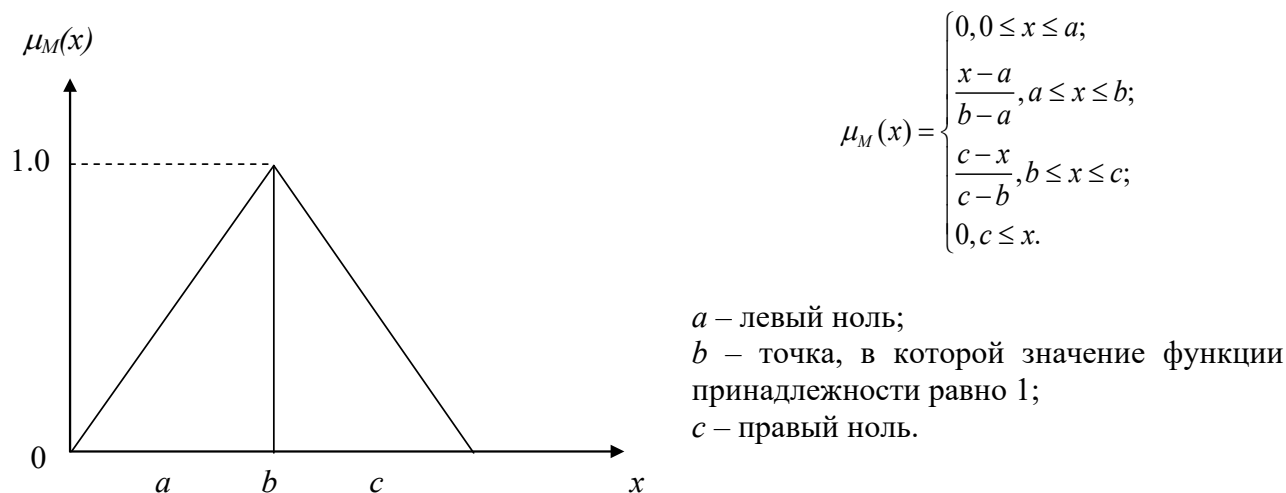


Рисунок 4.7 – Треугольная функция принадлежности

Таблица 4.2 – Нечёткие и лингвистические переменные оценки параметров и показателей логистических потоков

Нечёткое число	Лингвистическая переменная	Шкала нечётких чисел
1	Равная важность	(1,1,3)
2	Умеренное превосходство	(1,3,5)
3	Значительное превосходство	(3,5,7)
4	Сильное превосходство	(5,7,9)
5	Абсолютное превосходство	(7,9,10)

Основные этапы определения веса параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Основные этапы метода F-АНР

Этапы F-АНР	Расчётные формулы
1. Построение начальной нечёткой матрицы попарного сравнения параметров (показателей) логистических потоков	$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{u}_{12} & \dots & \tilde{u}_{1n} \\ \tilde{u}_{21} & 1 & \dots & \tilde{u}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{u}_{(n-1)1} & \tilde{u}_{(n-1)2} & \dots & \tilde{u}_{(n-1)n} \\ \tilde{u}_{n2} & \tilde{u}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{u}_{12} & \dots & \tilde{u}_{1n} \\ 1/\tilde{u}_{12} & 1 & \dots & \tilde{u}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/\tilde{u}_{1(n-1)} & 1/\tilde{u}_{2(n-1)} & \dots & \tilde{u}_{(n-1)n} \\ 1/\tilde{u}_{1n} & 1/\tilde{u}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$ <p>где <math>\tilde{A}</math> – нечёткая матрица попарного сравнения параметров (показателей) логистических потоков в ЛЦГ; <math>\tilde{u}_{ij}</math> – нечёткое число, показывающее оценку степень влияния каждой пары параметров (показателей) между собой на пересечении <math>i</math>-ой строки и <math>j</math>-го столбца</p> $\tilde{u}_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ 9^{-1}, 8^{-1}, 7^{-1}, 6^{-1}, 5^{-1}, 4^{-1}, 3^{-1}, 2^{-1}, 1^{-1}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, & i \neq j. \end{cases}$
2. Расчёт нечётких синтетических значений экстенда для параметров (показателей)	$S_i = \sum_{j=1}^m \tilde{u}_{ij} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{u}_{ij} \right]^{-1}$ $\sum_{j=1}^m \tilde{u}_{ij} = \left( \sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j \right)$ $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{u}_{ij} \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n c_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} \right)$ <p>где <math>S_i</math> – нечёткие синтетические значения экстенда для параметров (показателей) логистического потока; а, б, с – компоненты нечётких чисел треугольной функции принадлежности.</p>
3. Расчёт степени вероятности двух нечётких чисел $M_1$ и $M_2$	<p>Схема пересечения двух нечётких чисел <math>M_1</math> и <math>M_2</math></p> <p>Степень вероятности того, что <math>M_2=(a_2, b_2, c_2) &gt; M_1=(a_1, b_1, c_1)</math> определяется</p> $V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1(x)}, \mu_{M_2(y)})] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2(d)}$ $\mu_M(d) = \begin{cases} 1, & \text{если } b_2 \geq b_1; \\ 0, & \text{если } a_1 \geq c_2; \\ \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$ <p>где <math>d</math> – ордината самой высокой точки пересечения <math>D</math> между <math>\mu_{M_1(x)}</math> и <math>\mu_{M_2(y)}</math>.</p> <p>Степень вероятности того, что выпуклое нечёткое число <math>M</math> больше чем <math>k</math> выпуклых нечётких чисел <math>M_i (i=1, 2, 3, \dots, k)</math> определяется</p> $V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i=1, 2, \dots, k$

Этапы F-АНР	Расчётные формулы
4. Расчёт вектора приоритетов	$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$ <p>где <math>A_i (i = 1, 2, \dots, n)</math> – вектор оцениваемых параметров, состоящий из <math>n</math> элементов.</p> $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \text{ для } k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$
5. Расчёт нормализованных весовых векторов	$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$ <p>где <math>W</math> – нечёткое число.</p>

В отличие от F-АНР метод DEMATEL позволяет установить прямые и обратные связи между исследуемыми объектами, а также визуализировать причинно-следственные связи между объектами в виде карты сетевых отношений. Другими словами, с использованием DEMATEL выполняется анализ взаимосвязи как между группами параметров, так и между показателями логистических потоков, оценивается сила их влияния друг на друга. Комбинация DEMATEL с теорией нечётких множеств и теорией серых систем при оценке логистических потоков позволяет принимать решения с учётом неопределённой, неоднозначной или неполной информацией и, тем самым, обеспечивать более надёжные результаты анализа и оценки.

В настоящей работе рассматриваются три варианта применения DEMATEL: традиционный, с использованием пятибалльной шкалы оценки (C-DEMATEL), а также комбинация метода с теорией нечётких множеств (F-DEMATEL) и теорией серых систем (G-DEMATEL) (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Шкала чётких, нечётких и серых чисел и лингвистические переменные оценки параметров и показателей логистических потоков

Лингвистическая переменная	Шкала чисел		
	Crisp	Fuzzy	Grey
Отсутствие влияния (O)	0	[0,0,0]	[0,0]
Слабое влияние (СЛ)	1	[0,1,2]	[0,1]
Среднее влияние (С)	2	[1,2,3]	[1,2]
Высокое влияние (В)	3	[2,3,4]	[2,3]
Очень высокое влияние (ОВ)	4	[3,4,4]	[3,4]

Определение весовых коэффициентов с использованием DEMATEL выполняется в последовательности, представленной в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Основные этапы метода DEMATEL для оценки веса параметров (показателей) ЛП

Этапы DEMATEL	Crisp DEMATEL	Fuzzy DEMATEL	Grey DEMATEL
1. Построение начальной матрицы прямых связей параметров (показателей) логистических потоков	$C = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$ <p>где <math>C</math> – начальная матрица прямых связей;  <math>a_{ij}</math> – степень влияния <math>i</math>-го параметра (показателя) на <math>j</math>-й параметр (показатель).</p>	$\tilde{F} = \begin{bmatrix} [0,0,0] & \dots & \tilde{f}_{0i} & \dots & \tilde{f}_{1n} \\ \vdots & [0,0,0] & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{f}_{i1} & \dots & [0,0,0] & \dots & \tilde{f}_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & [0,0,0] & \vdots \\ \tilde{f}_{n1} & \dots & \tilde{f}_{nj} & \dots & [0,0,0] \end{bmatrix}$ <p>где <math>\tilde{F}</math> – начальная нечёткая матрица прямых связей;  <math>\tilde{f}_{ij} = (f_{ij1}, f_{ij2}, f_{ij3})</math> – степень влияния <math>i</math>-го параметра (показателя) на <math>j</math>-й параметр (показатель), представленная треугольными нечёткими числами.</p>	$G = \begin{bmatrix} [0,0] & \dots & \otimes g_{0i} & \dots & \otimes g_{1n} \\ \vdots & [0,0] & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes g_{i1} & \dots & [0,0] & \dots & \otimes g_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & [0,0] & \vdots \\ \otimes g_{n1} & \dots & \otimes g_{nj} & \dots & [0,0] \end{bmatrix}$ <p>где <math>G</math> – начальная серая матрица прямых связей;  <math>\otimes g_{ij}</math> – серое число, показывающее степень влияния <math>i</math>-го параметра (показателя) на <math>j</math>-й параметр (показатель). Если <math>\overline{g_{ij}}</math> верхняя граница серого числа, а <math>\underline{g_{ij}}</math> его нижняя граница, то <math>\otimes g_{ij} = [\underline{g_{ij}}, \overline{g_{ij}}]</math>.</p>
2. Нормализация матрицы прямых связей	$X_c = A\lambda,$ $\lambda = \min \left[ \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right]$ <p>где <math>X_c</math> – нормализованная матрица прямых связей.</p>	$\tilde{X}_f = \frac{\tilde{F}}{r},$ $\tilde{X}_f = \begin{bmatrix} [0,0,0] & \dots & \tilde{x}_{0i} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & [0,0,0] & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \dots & [0,0,0] & \dots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & [0,0,0] & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & [0,0,0] \end{bmatrix}$ $r = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n f_{ij3}$ <p>Считается, что имеется по крайней мере одно значение <math>i</math> такое, что</p> $\sum_{j=1}^n f_{ij3} > r$ <p>где <math>\tilde{X}_f</math> – нормализованная нечёткая матрица прямых связей.</p>	$X_g = \otimes s \cdot G$ $\otimes s = [s, \overline{s}] = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n \otimes g_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$ <p>где <math>X_g</math> – нормализованная серая матрица прямых связей.</p>



## Окончание таблицы 4.5

3. Вычисление общей матрицы связей	$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (X + X^2 + \dots + X^k) = X(1 - X)^{-1}$ <p>где <math>T</math> – общая матрица прямых связей между параметрами (показателями) логистических потоков.</p>	$\tilde{T}_f = \lim_{k \rightarrow \infty} (\tilde{X}_f^1 + \tilde{X}_f^2 + \dots + \tilde{X}_f^k) = \tilde{X}_f(1 - \tilde{X}_f)^{-1}$ <p>тогда</p> $\tilde{T}_f = \begin{bmatrix} [0,0,0] & \dots & \tilde{t}_{0i} & \dots & \tilde{t}_{1n} \\ \vdots & [0,0,0] & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{t}_{i1} & \dots & [0,0,0] & \dots & \tilde{t}_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & [0,0,0] & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \dots & \tilde{t}_{nj} & \dots & [0,0,0] \end{bmatrix}$ <p>где <math>\tilde{T}_f</math> – общая нечёткая матрица прямых связей между параметрами (показателями) логистических потоков;  <math>\tilde{t}_{ij} = (t_{ij1}, t_{ij2}, t_{ij3})</math> – нечёткие числа общей матрицы связей.</p> $T_{f1} = [t_{ij1}]_{n \times n} = X_{f1}(I - X_{f1})^{-1}, T_{f2} = [t_{ij2}]_{n \times n} = X_{f2}(I - X_{f2})^{-1}$ $T_{f3} = [t_{ij3}]_{n \times n} = X_{f3}(I - X_{f3})^{-1}$	$T_g = X_g(I - X_g)^{-1}$ <p>где <math>T_g</math> – общая нечёткая матрица прямых связей между параметрами (показателями) логистических потоков;  <math>I</math> – единичная матрица.</p>
4. Расчёт числа взаимосвязей ( $D_i + R_i$ ) и сил влияния ( $D_i - R_i$ ) между параметрами (показателями) логистических потоков	<p>Сумма строк и сумма столбцов обозначаются как векторы <math>D</math> и <math>R</math> в общей матрице связей <math>T</math> и определяются по формулам</p> $T = [t_{ij}]_{n \times n}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$ $D = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} = [t_i]_{1 \times n}, \quad R = \left[ \sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} = [t_j]_{n \times 1}$	<p>Вычисляются <math>(\tilde{D}_i + \tilde{R}_j)</math> и <math>(\tilde{D}_i - \tilde{R}_j)</math> в которых <math>\tilde{D}_i</math> и <math>\tilde{R}_j</math> являются суммой строк и суммой столбцов в общей нечёткой матрице связей <math>\tilde{T}_f</math>. Затем нечёткие числа переводятся в точные значения.</p>	<p>Вычисляются суммы строк <math>\otimes R_i</math> и столбцов <math>\otimes D_i</math> в общей матрице связей <math>T_g</math></p> $\otimes R_i = [\otimes R_i]_{n \times 1} = \left[ \sum_{j=1}^n \otimes t_{ij} \right]_{n \times 1}$ $\otimes D_j = [\otimes D_j]_{n \times 1} = \left[ \sum_{i=1}^n \otimes t_{ij} \right]_{n \times 1}$
5. Построение карты сетевых отношений параметров (показателей) логистических потоков	<p>Причинно-следственная диаграмма получается путём сопоставления упорядоченных пар <math>(D_i + R_i)</math> по горизонтальной оси и <math>(D_i - R_i)</math> по вертикальной оси. Она показывает структурную взаимосвязь между параметрами (показателями) и корреляцию между ними.</p>	<p>После дефаззификации векторов <math>(\tilde{D}_i + \tilde{R}_j)</math> и <math>(\tilde{D}_i - \tilde{R}_j)</math> выполняется построение причинно-следственной диаграммы.</p>	<p>Диаграмма причинно-следственных связей параметров (показателей) строится с помощью набора данных, состоящего из <math>(D_i + R_i)</math> и <math>(D_i - R_i)</math>.</p>
6. Расчёт веса каждого параметра (показателя)	$w_i = \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2}, \quad w_i = \frac{1}{2}((D_i + R_i) + (D_i - R_i)), \quad w_i = \frac{(D_i + R_i)}{\sum_{i=1}^n (D_i + R_i)^2}, \quad w_i = \frac{(D_i + R_i)}{\sum_{i=1}^n (D_i + R_i)},$ <p>где <math>w_i</math> – вес <math>i</math>-го параметра (показателя) логистического потока.</p>		

Этапы определения весовых коэффициентов с использованием DEMATEL следующие:

1) Выполняется построение начальной матрицы прямых связей параметров (показателей) логистических потоков. Эксперты выполняют попарную оценку влияния параметра (показателя)  $i$  на параметр (показатель)  $j$ , с использованием шкалы [108], представленной в табл. 4.4. Затем формируется агрегированная матрица прямых связей показателей (параметров), размером  $n \times n$  ( $n$  – число анализируемых параметров (показателей)), содержащая усреднённые оценки. Диагональные элементы матрицы равны нулю.

2) Вычисляется нормализованная матрица прямых отношений.

3) Вычисляется общая матрица связей между параметрами (или показателями).

4) Выполняется расчёт числа взаимосвязей и сил влияния между параметрами (или показателями).

Значения  $D_i$  и  $R_i$  показывают прямое и обратное воздействие каждого параметра (показателя) строки и столбца на другие параметры (показатели). Их расчёт необходим для установления причинно-следственных связей в системе. Значение  $(D_i + R_i)$  показывает важность параметра (показателя)  $i$  относительно других параметров (показателей). Это значение соответствует числу взаимосвязей показателя  $i$  с другими параметрами (показателями) [108].

Значение  $(D_i - R_i)$  показывает силу влияний параметра (показателя)  $i$  на другие параметры (показатели). Если значение  $(D_i - R_i)$  положительное, то параметр (показатель)  $i$  может быть отнесён к группе «причин» (т.е. оказывает влияние), если отрицательное, то параметр (показатель)  $i$  находится под влиянием других параметров (показателей) и относится к группе «следствие» (т.е. находится под влиянием) [108].

5. Выполняется построение причинно-следственной диаграммы (карты сетевых отношений).

Причинно-следственная диаграмма получается путём сопоставления упорядоченных пар  $(D_i + R_i)$  по горизонтальной оси и  $(D_i - R_i)$  по вертикальной оси.

Она показывает структурную взаимосвязь между рассматриваемыми параметрами (показателями) и корреляцию между ними. В соответствии с установленным экспертами пороговым значением  $\alpha$ , на диаграмме отображаются только те взаимосвязи между параметрами (показателями) из общей матрицы связей, оценка которых превышает пороговое значение. В простейшем случае пороговое значение рассчитывается как среднее значение всех показателей общей матрицы связей. Данное действие позволяет исключить несущественные взаимосвязи между параметрами (показателями) [108].

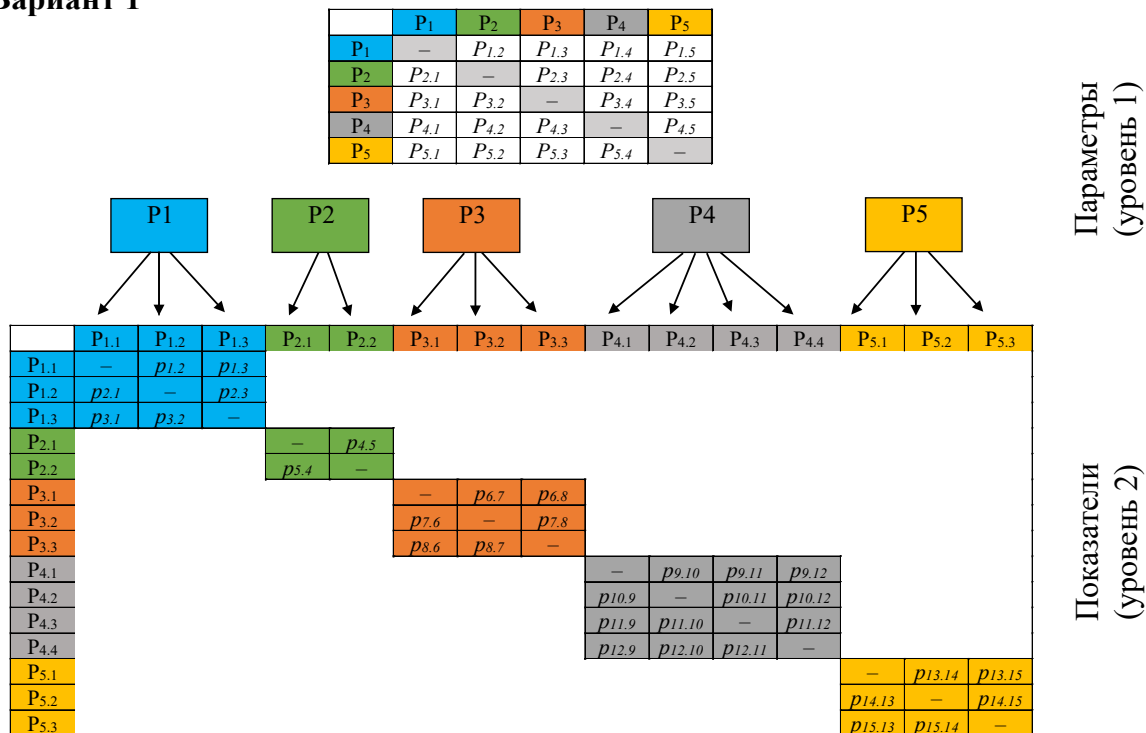
Заключительным 6 этапом является расчёт веса каждого параметра (показателя). Значения веса параметров (показателей) используется для ранжирования показателей логистических потоков в ЛЦГ.

Для оценки весовых коэффициентов необходимо представить систему параметров и показателей ЛП в виде двухуровневой иерархической модели. Элементами первого уровня модели выступают 5 групп параметров логистических потоков. Элементами второго уровня модели являются 15 показателей логистических потоков. С использованием выбранных MCDM методов необходимо отдельно рассчитать вес параметров и вес показателей ЛП. На завершающем этапе необходимо определить итоговые весовые коэффициенты показателей ЛП.

На рис. 4.8 представлены два варианта модели параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ. Вес групп параметров логистических потоков (первый уровень модели) в обоих вариантах определяются одинаково на основе попарного сравнения групп между собой. При определении веса показателей возможны два варианта. В первом варианте вес показателей логистических потоков определяется отдельно в каждой группе параметров, т.е. учитываются взаимовлияния показателей логистических потоков внутри отдельных групп параметров – экономических, экологических и т.д. Взаимовлияние между показателями, которые отнесены к разным группам, не учитывается. Во втором варианте все показатели логистических потоков рассматриваются как единая система. Это позволяет установить возможные связи и влияния показателей друг

на друга независимо от того, к какой группе параметров данные показатели относятся.

**Вариант 1**



**Вариант 2**

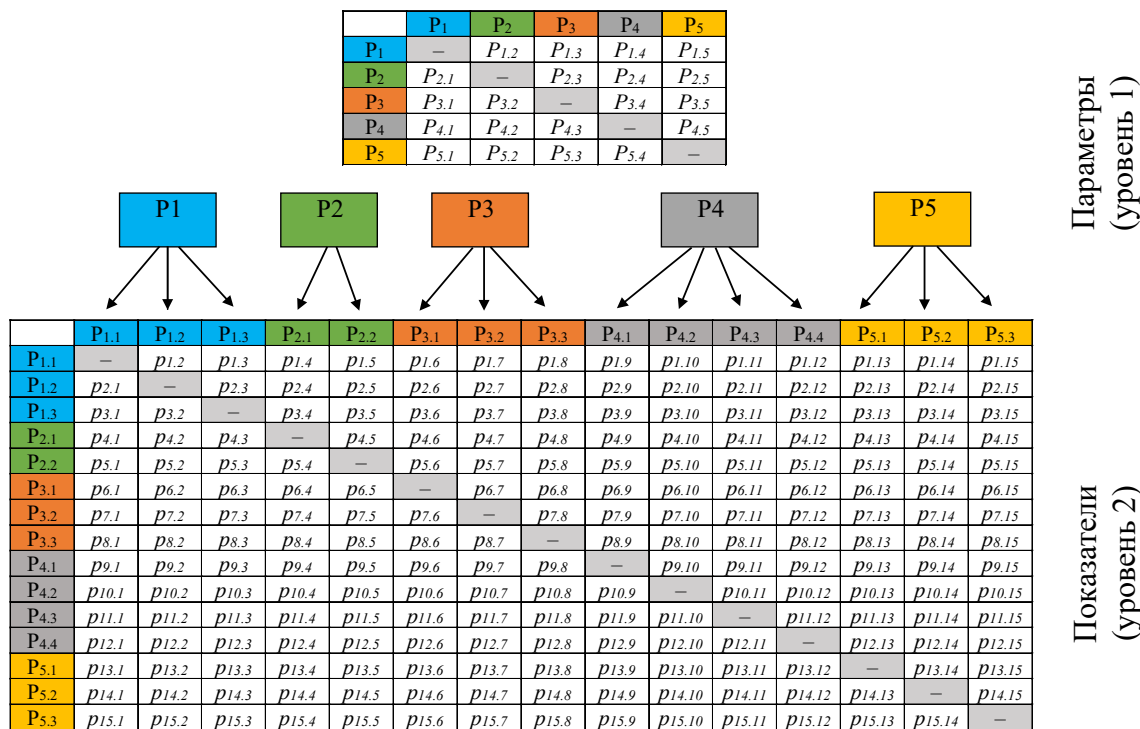


Рисунок 4.8 – Схема вариантов модели параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ

На рисунке 4.8 и далее в работе используются следующие цвета для обозначения параметров и показателей логистических потоков: синий – группа экономических показателей (P1), зелёный – группа энерго-экологических показателей (P2); оранжевый – группа показателей качества (P3); серый – группа статистических показателей (P4), жёлтый – группа управляемых параметров (P5).

В диссертационной работе выполнены расчёты по определению весовых коэффициентов с использованием нескольких MCDM методов. В табл. 4.6 представлены результаты расчёта весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков, а на рис. 4.9 результаты расчёта итоговых весовых коэффициентов. В приложении Г представлены исходные данные и результаты этапов использования метода DEMATEL.

Таблица 4.6 – Весовые коэффициенты параметров и показателей логистических потоков различными MCDM методами

Параметры/ показатели	MCDM модель (вариант 1)				MCDM модель (вариант 2)		
	F-АНР	C-DEMATEL	F-DEMATEL	G-DEMATEL	C-DEMATEL	F-DEMATEL	G-DEMATEL
	Вес группы параметров логистических потоков (1 уровень иерархии)						
P1	0,4388	0,2411	0,2332	0,2448	0,2411	0,2332	0,2448
P2	0,2083	0,1903	0,1925	0,1899	0,1903	0,1925	0,1899
P3	0,2194	0,2200	0,2159	0,2217	0,2200	0,2159	0,2217
P4	0,0027	0,1357	0,1474	0,1300	0,1357	0,1474	0,1300
P5	0,1307	0,2128	0,2110	0,2136	0,2128	0,2110	0,2136
	Вес показателей логистических потоков (2 уровень иерархии)						
P1.1	0,68956	0,3451	0,3453	0,3512	0,0789	0,0817	0,0805
P1.2	0,26721	0,3163	0,3183	0,3118	0,0795	0,0819	0,0809
P1.3	0,04324	0,3386	0,3364	0,3371	0,0675	0,0733	0,0666
P2.1	0,77670	0,5217	0,5000	0,5000	0,0734	0,0778	0,0744
P2.2	0,22330	0,4783	0,5000	0,5000	0,0493	0,0569	0,0487
P3.1	0,50307	0,2929	0,3046	0,2880	0,0599	0,0593	0,0591
P3.2	0,38253	0,3484	0,3451	0,3519	0,0727	0,0685	0,0738
P3.3	0,11440	0,3588	0,3503	0,3601	0,0705	0,0675	0,0701
P4.1	0,38360	0,2471	0,2462	0,2479	0,0642	0,0622	0,0633
P4.2	0,36088	0,2664	0,2639	0,2675	0,0653	0,0634	0,0653
P4.3	0,21406	0,2387	0,2409	0,2379	0,0615	0,0595	0,0607
P4.4	0,04147	0,2478	0,2490	0,2467	0,0591	0,0585	0,0574
P5.1	0,91213	0,3291	0,3260	0,3308	0,0730	0,0686	0,0742
P5.2	0,03014	0,3973	0,3857	0,4046	0,0712	0,0680	0,0716
P5.3	0,05774	0,2736	0,2883	0,2645	0,0541	0,0529	0,0534

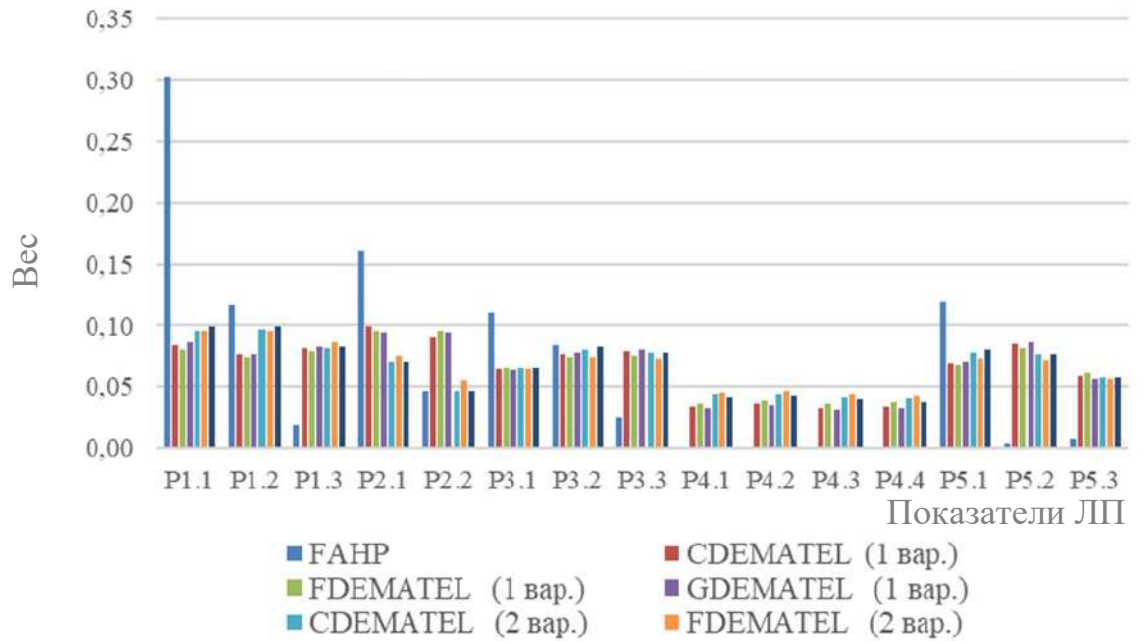


Рисунок 4.9 – Итоговые весовые коэффициенты показателей логистических потоков различными MCDM методами

При сравнении результатов использования различных MCDM методов при определении весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков получено:

- наименьшая корреляция результатов при использовании метода F-АНР (коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил 0,7357);
- корреляция результатов при использовании группы методов DEMATEL в 1 варианте MCDM модели, выше, чем во 2 варианте. Средний коэффициент корреляции соответственно составил 0,9976 (1 вариант) и 0,9802 (2 вариант).
- для MCDM модели (1 вариант) наивысший ранг у метода F-DEMATEL, для 2 варианта – C-DEMATEL.

Таким образом, F-DEMATEL и C-DEMATEL целесообразно использовать для оценки весовых коэффициентов показателей ЛП, т.к. результаты наиболее точные. Метод F-DEMATEL целесообразно использовать при оценки взаимосвязи между показателями отдельно в группах параметров потоков, а метод C-DEMATEL – при учёте взаимосвязей между всеми показателями потоков.

Предлагаемые подходы определения веса параметров и показателей позволяют выполнять комплексную двухуровневую оценку показателей логистических потоков в ЛЦГ, определять значимость тех или иных показателей. Результаты данной оценки положены в основу MCDM моделей и системы управления параметрами и показателями логистических цепей грузопотоков с учётом требований концепции устойчивого развития.

#### **4.4 Система оценки параметров и показателей логистических потоков**

Одной из причин снижения эффективной реализации инструментов «зелёной» логистики является недостаточная системность и комплексность оценки и анализа элементов ЛЦГ и логистических потоков в соответствии с ЦУР. Это связано с наличием множества критериев оценки и отсутствием научно обоснованных методик оценки показателей логистических потоков в ЛЦГ и связей между этими показателями.

Комплексная оценка параметров и показателей логистических потоков позволит:

- установить взаимосвязи как между группами параметров логистических потоков, так и между показателями логистических потоков внутри групп параметров. Если группы параметров больше необходимы для оценки достижения целей устойчивого развития и реализации стратегии развития ЛЦГ, то показатели больше нацелены на оперативное управление логистическими потоками в ЛЦГ.

- установить силу влияния и взаимосвязи между показателями ЛП. Многообразие свойств и характеристик логистических потоков требует учёта множества внешних и внутренних факторов, влияние которых неодинаково. При оценке логистических потоков и принятия решений по их управлению необходимо учитывать данное влияние;

- установить веса параметров и показателей логистических потоков, а также выполнить ранжирование показателей. Результаты ранжирования показате-

телей логистических потоков в ЛЦГ рекомендуется использовать при выборе инструментов «зелёной» логистики с целью корректировки фактических значений показателей логистических потоков в соответствии с ЦУР.

На рис. 4.10 представлена принципиальная схема предлагаемой методики формирования и оценки системы показателей логистических потоков в ЛЦГ с использованием метода DEMATEL.

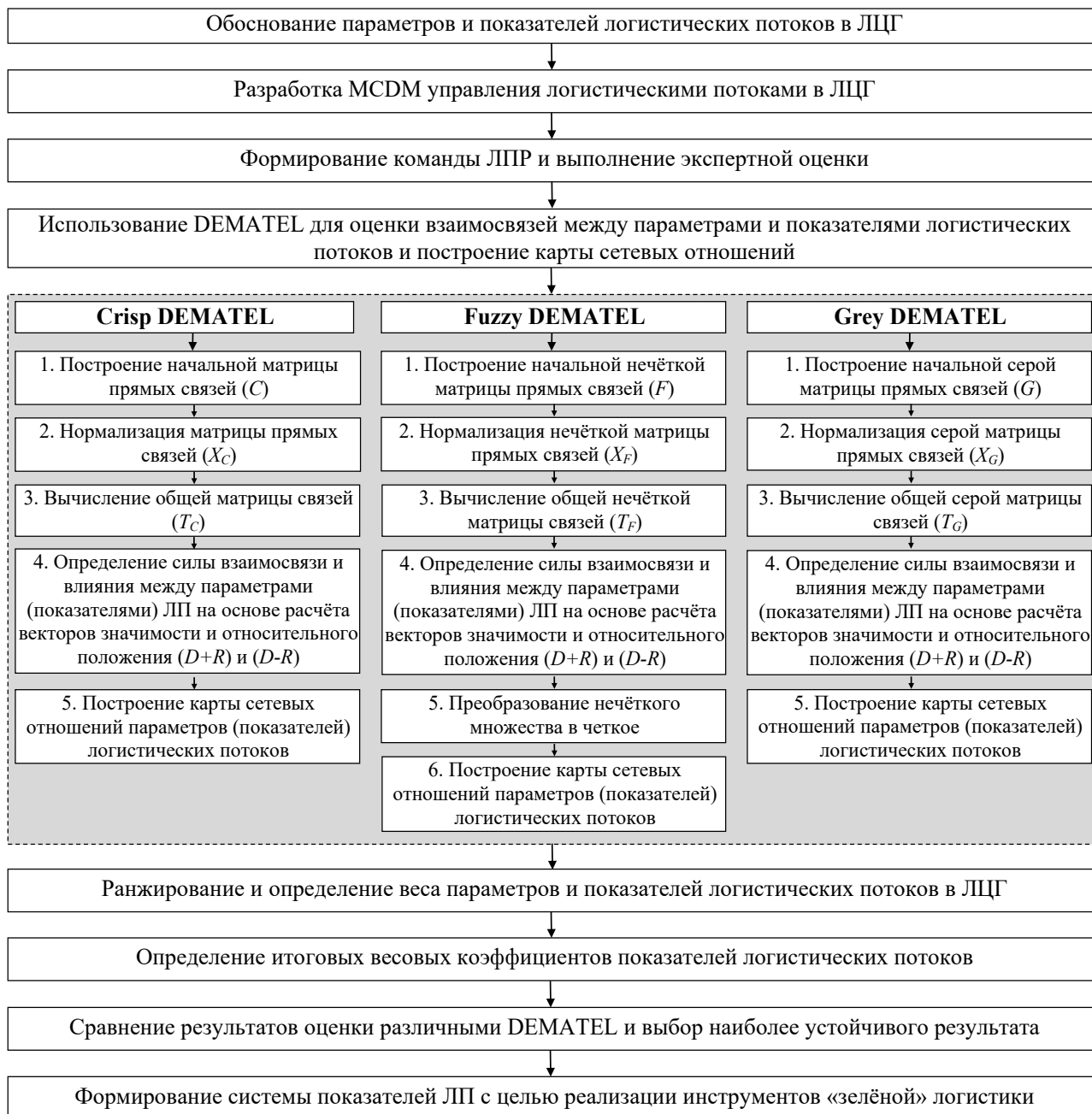


Рисунок 4.10 – Принципиальная схема формирования системы показателей ЛП на основе метода DEMATEL



На начальном этапе на основе литературного обзора и практики управления цепями поставок выполняется обоснование параметров и показателей логистических потоков для конкретной логистической цепи грузопотоков. В качестве такой системы параметров и показателей логистических потоков для оценки ЛЦГ целям и принципам устойчивого развития в настоящем исследовании предлагается система, описание которой представлено в параграфе 4.2.

На следующем этапе выполняется формирование команды ЛПР для экспертной оценки важности параметров и показателей ЛП. Основная цель данного этапа – установить значимость и оценить степень влияния параметров логистических потоков на достижения целей устойчивого развития и реализацию стратегии развития ЛЦГ, а показателей на оперативное управление логистическими потоками в ЛЦГ. При этом необходимо учитывать согласованность мнений ЛПР, используя известные методы.

Результаты экспертной оценки используются при реализации метода DEMATEL для анализа взаимосвязи между группами параметров логистических потоков и между показателями ЛП. Результатом выполнения являются карты сетевых отношений параметров и показателей ЛП в ЛЦГ. В зависимости от неопределённости, точности и полноты исходных данных, полученных в результате экспертной оценки, метод DEMATEL комбинируется с теорией нечётких множеств и теорией серых систем для повышения надёжности и точности оценки.

Определение весовых коэффициентов показателей логистических потоков выполняется в соответствии с полученными значениями числа взаимосвязей ( $D_i + R_i$ ) и сил влияния ( $D_i - R_i$ ) между показателями логистических потоков. Весовые коэффициенты рассчитываются в два этапа: 1) отдельно по параметрам и по показателям логистических потоков; 2) итоговые весовые показатели логистических потоков.

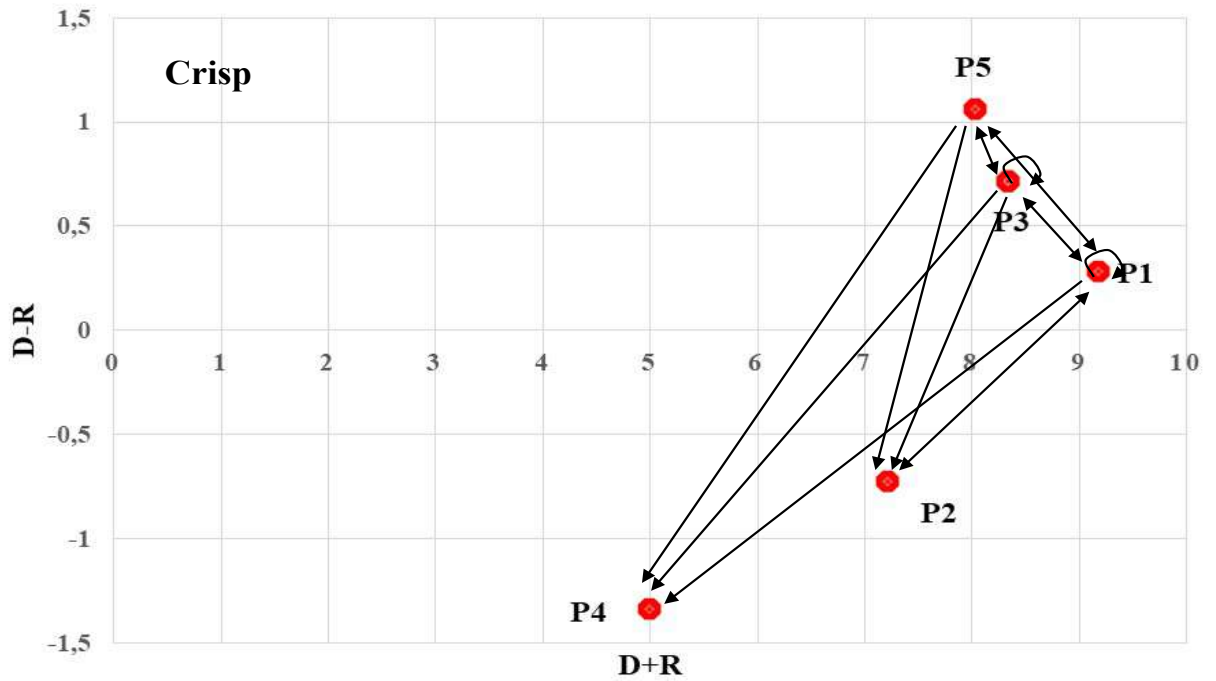
Расчёт весовых коэффициентов выполняется с использованием различных подходов, представленных в [250].

На заключительном этапе результаты DEMATEL и весовые коэффициенты показателей логистических потоков положены в основу формирования системы показателей логистических потоков. В предлагаемой системе показателей карты сетевых отношений используются для построения структурной взаимосвязи между показателями логистических потоков (количество связей, сила связей) и корреляцию между ними, а весовые коэффициенты – значимость каждого показателя. Такую систему показателей рекомендуется использовать при выборе инструментов «зелёной» логистики с целью корректировки фактических значений показателей логистических потоков в соответствии с ЦУР.

В качестве примера рассмотрим формирование системы управления показателями логистических потоков с использованием двух разработанных моделей (см. рис. 4.8): вариант 1 – оценка взаимовлияния показателей ЛП выполняется отдельно в каждой группе параметров; вариант 2 – выполняется оценка взаимовлияния всех показателей ЛП. Методом анкетирования проведена оценка параметров и показателей ЛП с использованием 5-бальной шкалы (см. табл. 4.5).

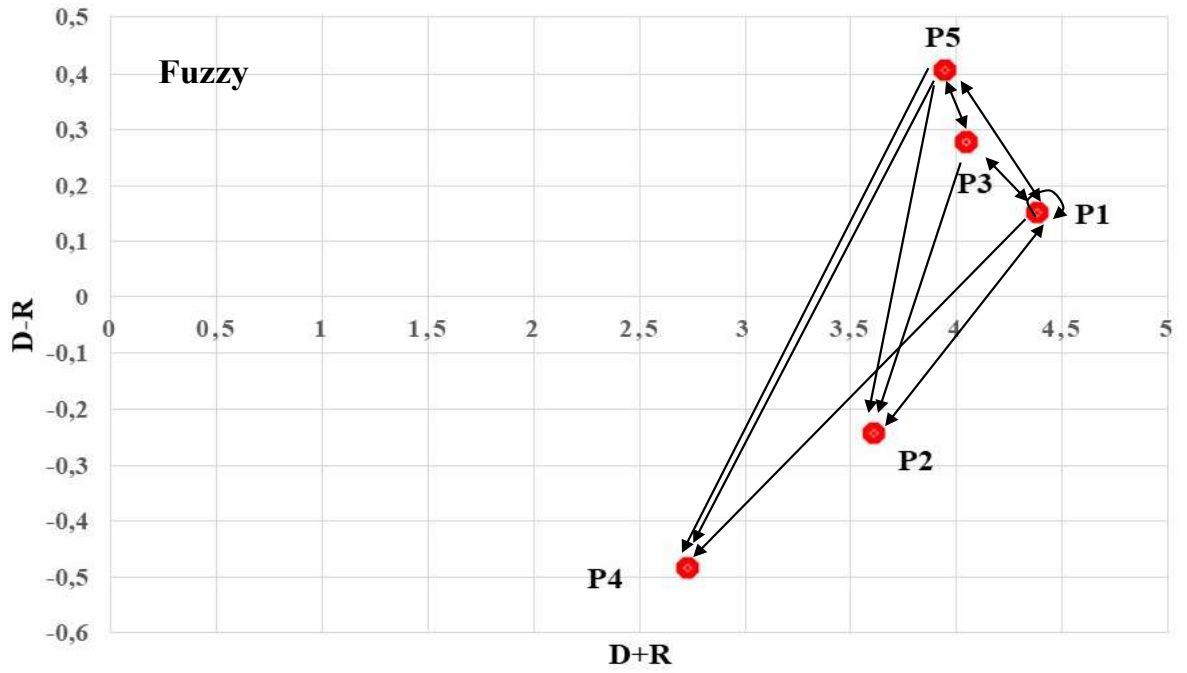
Результаты выполнения этапов C-DEMATEL, F-DEMATEL и G-DEMATEL представлены в приложении Г. На рис. 4.11-4.13 представлены конечные результаты метода DEMATEL – общие матрицы связей между параметрами логистических потоков в ЛЦГ и карты сетевых отношений.

Закрашенные ячейки в таблицах показывают наличие существенных взаимосвязей между параметрами логистических потоков, оценка которых выше установленных экспертами пороговых значений:  $\alpha_{Crisp}=0,755$ ,  $\alpha_{Fuzzy}=0,373$  и  $\alpha_{Grey}=0,345$ . В соответствии со значениями  $(D_i - R_i)$  во всех моделях параметры P1, P3 и P5 отнесены к группе «причина», а P2 и P4 к группе «следствие».



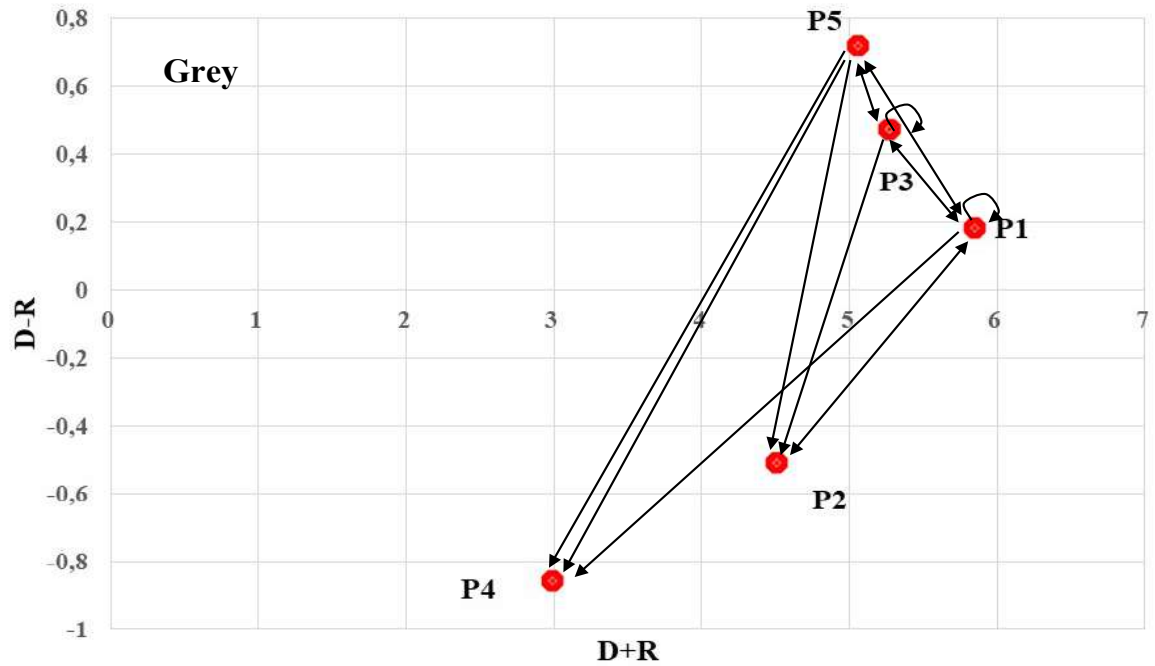
Crisp	P1	P2	P3	P4	P5	D
P1	<b>0,927836</b>	<b>1,042319</b>	<b>1,029071</b>	<b>0,797996</b>	<b>0,929971</b>	4,727193
P2	<b>0,826053</b>	0,570926	0,669074	0,542684	0,633861	3,242598
P3	<b>1,131379</b>	<b>0,973227</b>	<b>0,763449</b>	<b>0,783158</b>	<b>0,877749</b>	4,528962
P4	0,447692	0,3698	0,411847	0,254789	0,346047	1,830174
P5	<b>1,112247</b>	<b>1,009729</b>	<b>0,943297</b>	<b>0,783603</b>	0,697772	4,546649
R	4,445207	3,966	3,816738	3,16223	3,4854	<b><math>\alpha=0,7550</math></b>

Рисунок 4.11 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей параметров логистических потоков (C-DEMATEL)



Fuzzy	P1	P2	P3	P4	P5	D
P1	<b>0,383827</b>	<b>0,508557</b>	<b>0,510911</b>	<b>0,403865</b>	<b>0,469094</b>	2,276254
P2	<b>0,422554</b>	0,258177	0,344707	0,292938	0,339183	1,65756
P3	<b>0,540158</b>	<b>0,467082</b>	0,325336	<b>0,399772</b>	<b>0,438465</b>	2,170813
P4	0,256616	0,210314	0,247221	0,136486	0,207327	1,057964
P5	<b>0,528073</b>	<b>0,494742</b>	<b>0,458296</b>	<b>0,399088</b>	0,306306	2,186506
R	2,131229	1,938871	1,886471	1,632149	1,760376	<b><math>\alpha=0,3739</math></b>

Рисунок 4.12 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей параметров логистических потоков (F-DEMATEL)



Grey	P1	P2	P3	P4	P5	D
P1	<b>0,439188</b>	<b>0,524262</b>	<b>0,524228</b>	<b>0,380675</b>	<b>0,467934</b>	2,336288
P2	<b>0,411737</b>	0,235544	0,308114	0,218977	0,287834	1,462206
P3	<b>0,569875</b>	<b>0,482728</b>	<b>0,354903</b>	<b>0,375703</b>	<b>0,435724</b>	2,218933
P4	0,143972	0,07604	0,117016	0	0,053887	0,390915
P5	<b>0,554752</b>	<b>0,50966</b>	<b>0,467854</b>	<b>0,375764</b>	0,315855	2,223886
R	2,119524	1,828234	1,772115	1,35112	1,561235	<b><math>\alpha=0,3452</math></b>

Рисунок 4.13 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей параметров логистических потоков (G-DEMATEL)

Аналогичные расчёты выполняются для оценки показателей логистических потоков ЛЦГ по двум вариантам. Для MCDM модели варианта 1 результаты представлены на рис. 4.14-4.15, для варианта 2 – на рис. 4.16-4.17. Из рисунков видно, что применение Crisp, Fuzzy и Grey моделей даёт различные результаты: меняются число связей и значения силы влияния показателей ЛП друг на друга.

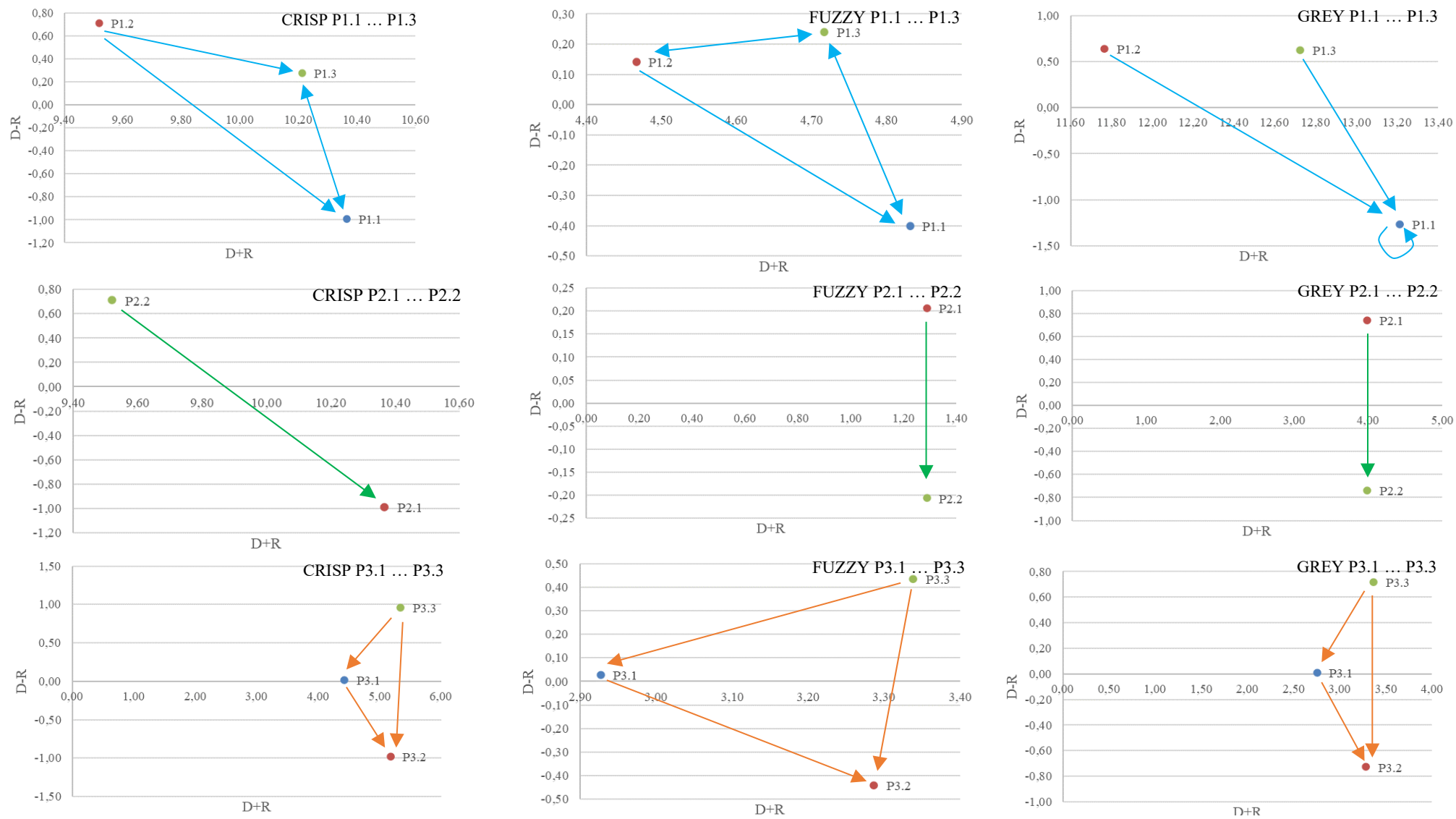


Рисунок 4.14 – Карты сетевых отношений показателей P<sub>1.1</sub>-P<sub>3.3</sub> логистических потоков (MCDM модель вариант 1)

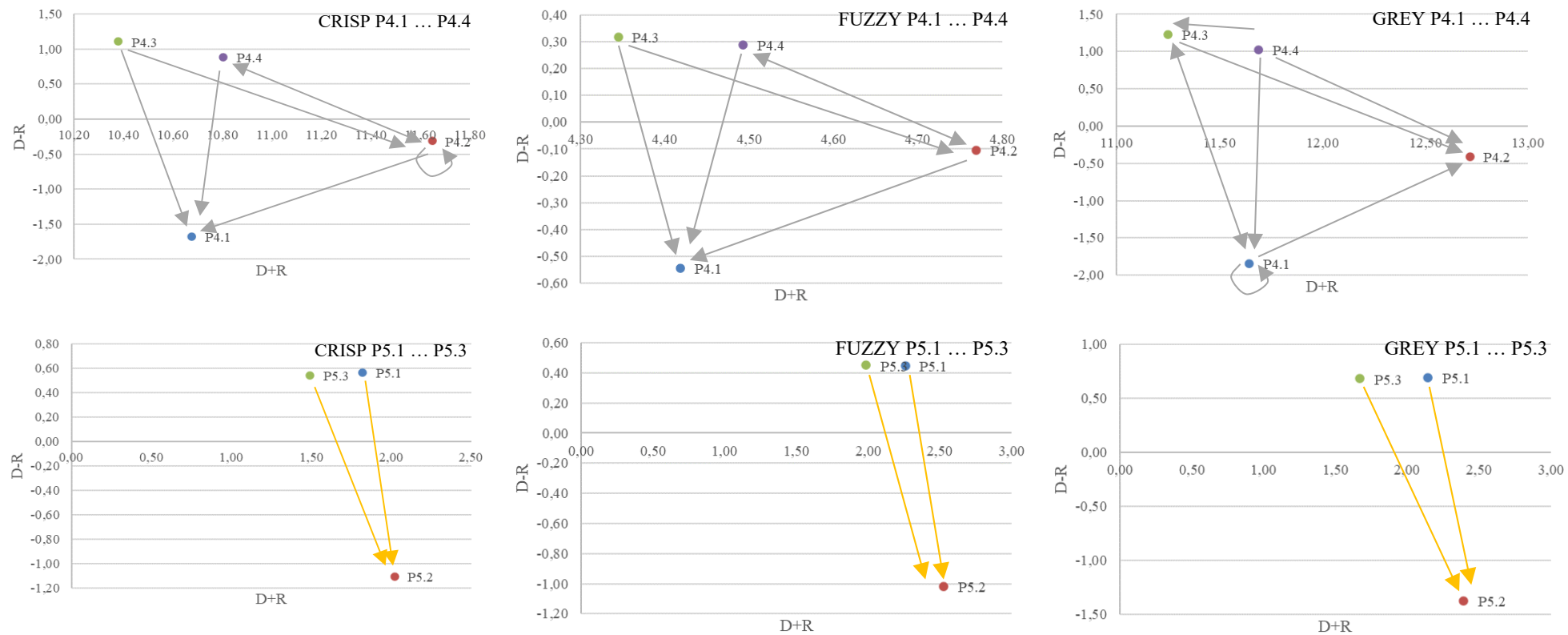


Рисунок 4.15 – Карты сетевых отношений показателей P<sub>4.1</sub>-P<sub>5.3</sub> логистических потоков (MCDM модель вариант 1)

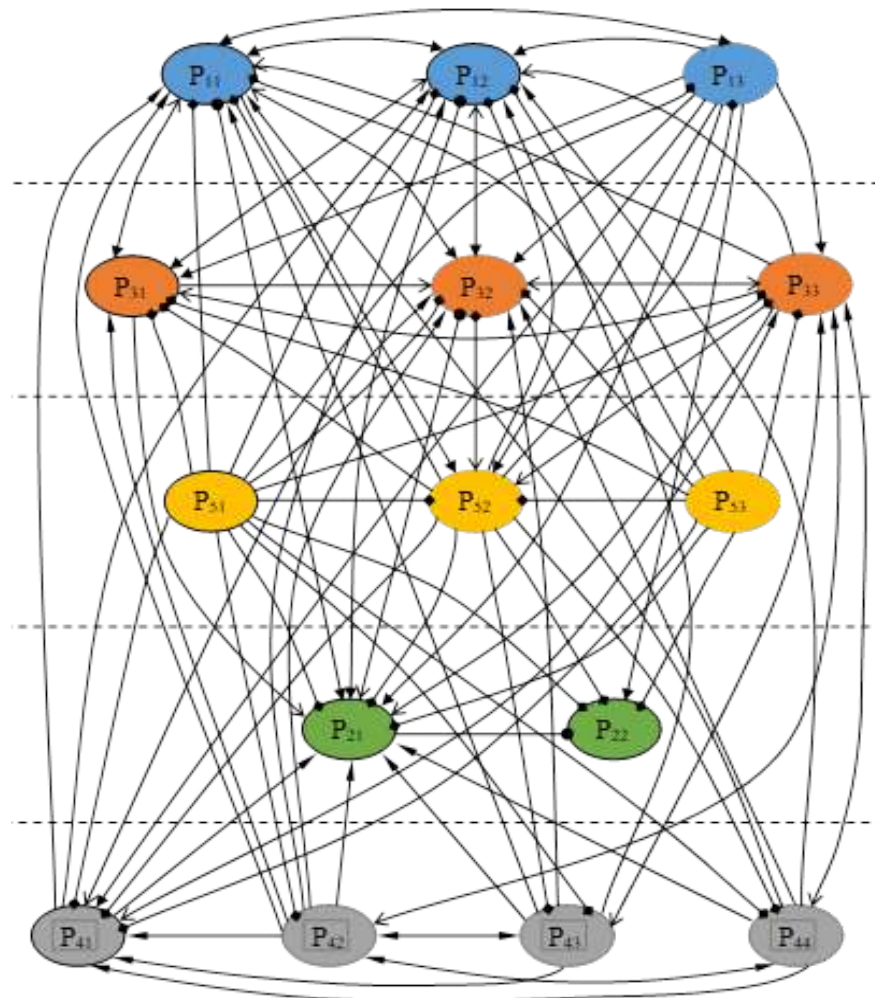
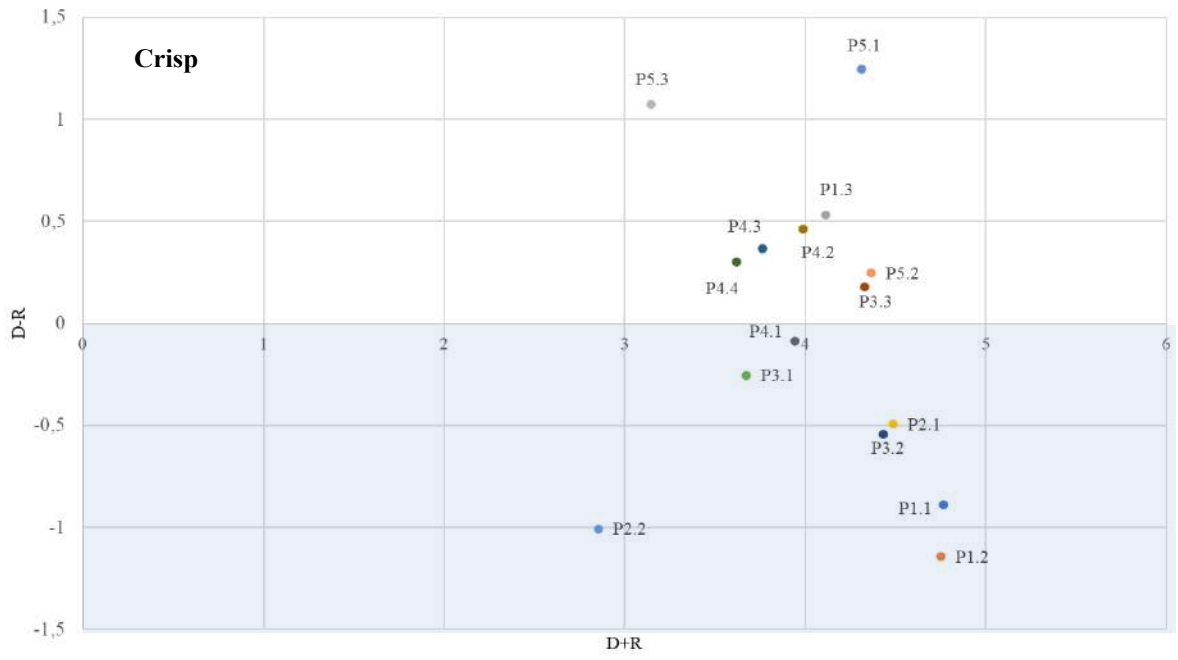


Рис. 4.16. Карты сетевых отношений показателей логистических потоков в ЛЦГ (MCDM модель вариант 2) C-DEMATEL



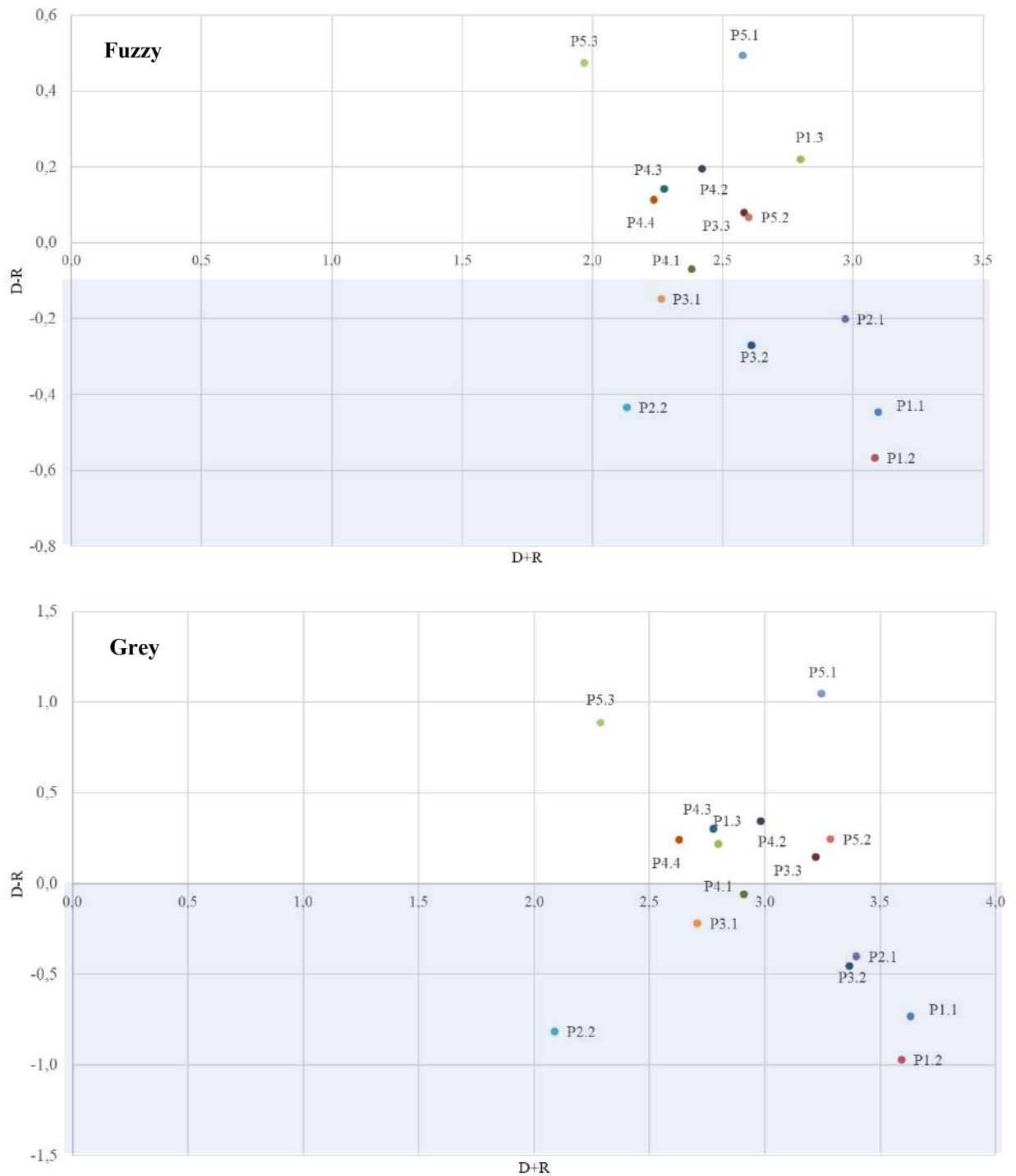


Рисунок 4.17 – Карты сетевых отношений показателей логистических потоков в ЛЦГ (MCDM модель вариант 2) F-DEMATEL и G-DEMATEL

В табл. 4.7 представлены результаты ранжирования параметров и показателей логистических потоков. Весовые коэффициенты рассчитываются по результатам оценки числа взаимосвязей ( $D_i + R_i$ ) и силы влияния ( $D_i - R_i$ ) между параметрами (показателями).

Таблица 4.7 – Результаты ранжирования параметров и показателей ЛП

Параметры / показатели логистических потоков	Ранг (вес) – 1 вариант			Ранг (вес) – 2 вариант		
	Crisp	Fuzzy	Grey	Crisp	Fuzzy	Grey
Экономические (P1)	1 (0,241)	1 (0,233)	1 (0,244)	1 (0,241)	1 (0,233)	1 (0,244)
Энерго-экологические (P2)	4 (0,190)	4 (0,192)	4 (0,189)	4 (0,190)	4 (0,192)	4 (0,189)
Параметры качества (P3)	2 (0,220)	2 (0,215)	2 (0,221)	2 (0,220)	2 (0,215)	2 (0,221)
Статистические (P4)	5 (0,135)	5 (0,147)	5 (0,130)	5 (0,135)	5 (0,147)	5 (0,130)
Физические (P5)	3 (0,212)	3 (0,211)	3 (0,213)	3 (0,212)	3 (0,211)	3 (0,213)
Прибыль (P1.1)	1 (0,345)	1 (0,345)	1 (0,351)	2 (0,078)	2 (0,081)	2 (0,080)
Операционные расходы (P1.2)	3 (0,316)	3 (0,318)	3 (0,311)	1 (0,079)	1 (0,081)	1 (0,080)
Инвестиции в основной капитал (P1.3)	2 (0,338)	2 (0,336)	2 (0,337)	8 (0,067)	4 (0,073)	4 (0,066)
Энергоёмкость грузопотока (P2.1)	1 (0,521)	1 (0,500)	1 (0,500)	3 (0,073)	3 (0,077)	3 (0,074)
Объём выбросов парниковых газов (P2.2)	2 (0,478)	1 (0,500)	1 (0,500)	15 (0,049)	14 (0,056)	15 (0,048)
Сохранность перевозки грузов (P3.1)	3 (0,292)	3 (0,304)	3 (0,288)	12 (0,059)	12 (0,059)	12 (0,059)
Своевременность перевозки грузов (P3.2)	2 (0,348)	2 (0,345)	2 (0,351)	5 (0,072)	6 (0,068)	5 (0,073)
Коэф. управляемости грузопотока (P3.3)	1 (0,358)	1 (0,350)	1 (0,360)	7 (0,070)	8 (0,067)	7 (0,070)
Коэф. неравномерности грузопотока (P4.1)	3 (0,247)	3 (0,246)	2 (0,247)	10 (0,064)	10 (0,062)	10 (0,063)
Коэф. сложности структуры грузопотока (P4.2)	1 (0,266)	1 (0,263)	1 (0,267)	9 (0,065)	9 (0,063)	9 (0,065)
Коэф. дискретности грузопотока (P4.3)	4 (0,238)	4 (0,240)	4 (0,237)	11 (0,061)	11 (0,059)	11 (0,060)
Коэф. дифференцируемости грузопотока (P4.4)	2 (0,247)	2 (0,249)	3 (0,246)	13 (0,059)	13 (0,058)	13 (0,057)
Масса грузопотока (P5.1)	2 (0,329)	2 (0,326)	2 (0,330)	4 (0,073)	5 (0,068)	4 (0,074)
Длина маршрута грузопотока (P5.2)	1 (0,397)	1 (0,385)	1 (0,404)	6 (0,071)	7 (0,068)	6 (0,071)
Скорость грузопотока (P5.3)	3 (0,273)	3 (0,288)	3 (0,264)	14 (0,054)	15 (0,052)	14 (0,053)

Итоговые весовые коэффициенты показателей логистических потоков представлены в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Итоговые весовые коэффициенты показателей ЛП

Показатели логистических потоков	Crisp (1 вар.)	Fuzzy (1 вар.)	Grey (1 вар.)	Crisp (2 вар.)	Fuzzy (2 вар.)	Grey (2 вар.)
Прибыль (P1.1)	0,083	0,081	0,086	0,096	0,096	0,099
Операционные расходы (P1.2)	0,076	0,074	0,076	0,097	0,096	0,100
Инвестиции в основной капитал (P1.3)	0,082	0,078	0,083	0,082	0,086	0,082
Энергоёмкость грузопотока (P2.1)	0,099	0,096	0,095	0,070	0,075	0,071
Объём выбросов парниковых газов (P2.2)	0,091	0,096	0,095	0,047	0,055	0,047

## Окончание таблицы 4.8

Показатели логистических потоков	Crisp (1 вар.)	Fuzzy (1 вар.)	GreyL (1 вар.)	Crisp (2 вар.)	Fuzzy (2 вар.)	Grey (2 вар.)
Сохранность перевозки грузов (P3.1)	0,064	0,066	0,064	0,066	0,064	0,066
Своевременность перевозки грузов (P3.2)	0,077	0,075	0,078	0,081	0,074	0,082
Коэф. управляемости грузопотока (P3.3)	0,079	0,076	0,080	0,078	0,073	0,078
Коэф. неравномерности грузопотока (P4.1)	0,034	0,036	0,032	0,044	0,046	0,041
Коэф. сложности структуры грузопотока (P4.2)	0,036	0,039	0,035	0,045	0,047	0,043
Коэф. дискретности грузопотока (P4.3)	0,032	0,036	0,031	0,042	0,044	0,040
Коэф. дифференцируемости грузопотока (P4.4)	0,034	0,037	0,032	0,040	0,043	0,038
Масса грузопотока (P5.1)	0,070	0,069	0,071	0,078	0,073	0,080
Длина маршрута грузопотока (P5.2)	0,085	0,081	0,086	0,076	0,072	0,077
Скорость грузопотока (P5.3)	0,058	0,061	0,057	0,058	0,056	0,057
Итого вес	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

В табл. 4.9 представлены результаты оценки стабильности использования методов с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Наиболее стабильны результаты у методов C-DEMATEL и F-DEMATEL.

Таблица 4.9 – Результаты оценки стабильности использования методов DEMATEL

MCDM метод	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена						Среднее
	C- DEMATEL (1 вар.)	F- DEMATEL (1 вар.)	G- DEMATEL (1 вар.)	C- DEMATEL (2 вар.)	F- DEMATEL (2 вар.)	G- DEMATEL (2 вар.)	
C-DEMATEL	1,0000	0,998	0,995	0,579	0,664	0,571	0,801
F-DEMATEL	0,998	1,000	0,996	0,545	0,630	0,538	0,785
G-DEMATEL	0,995	0,996	1,000	0,552	0,638	0,545	0,788
C-DEMATEL	0,577	0,545	0,552	1,000	0,962	0,996	0,772
F-DEMATEL	0,664	0,630	0,638	0,961	1,000	0,954	0,808
G-DEMATEL	0,571	0,538	0,545	0,996	0,954	1,000	0,767

На заключительном этапе сформирована система показателей логистических потоков. Рассмотрены два варианта исследуемых моделей показателей, получившие наивысший ранг (табл. 4.11): C-DEMATEL (модель варианта 1) и

F-DEMATEL (модель варианта 2). Общие схемы системы показателей логистических потоков представлены на рис. 4.18.

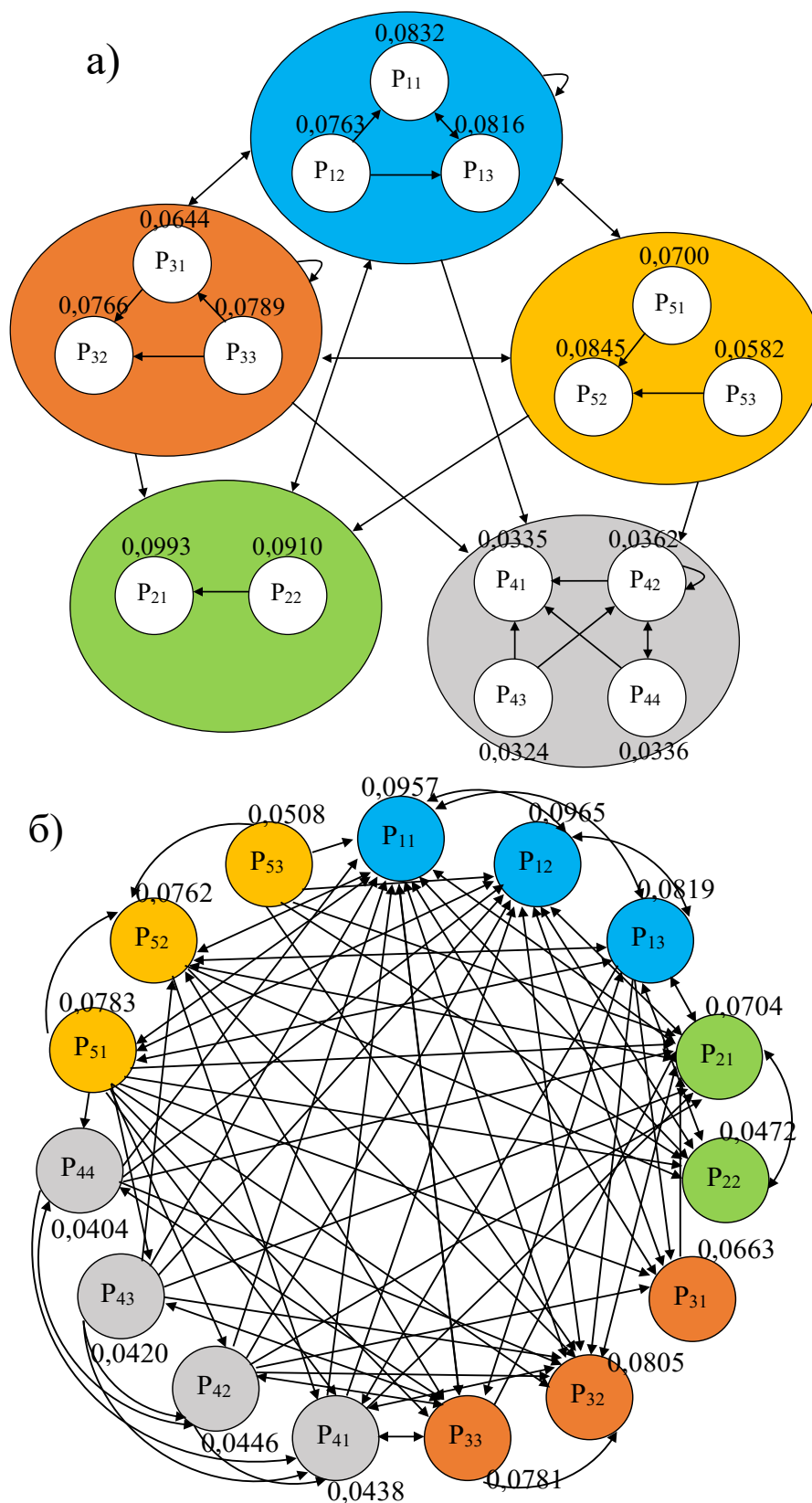


Рисунок 4.18 – Схема связей между показателями логистических потоков:  
а – результаты использования C-DEMATEL (1 вариант);  
б – результаты использования F-DEMATEL (2 вариант)

Сравнительный анализ систем показателей логистических потоков двух моделей (вариант 1 – оценка показателей ЛП отдельно в группах; вариант 2 – оценка всех показателей ЛП вместе) показал:

- в вариантах отличается количество установленных связей между показателями логистических потоков. Если при использовании C-DEMATEL (1 вариант) установлено 17 связей, то применение F-DEMATEL (2 вариант) позволило установить 108 связей между показателями. Такое значительное различие количества связей объясняется возможностью C-DEMATEL (1 вариант) оценивать показатели между собой только внутри конкретной группы параметров логистических потоков, а не все показатели между собой;

- в вариантах различаются результаты оценки силы влияния показателей друг на друга. Кроме того, число показателей, а также сами показатели, отнесенные к группе «влияющие» и к группе «зависимые» также отличаются. Так, в C-DEMATEL (1 вариант) в группе «зависимые» находятся 6 показателей –  $P_{1.1}$ ,  $P_{2.1}$ ,  $P_{3.2}$ ,  $P_{4.1}$ ,  $P_{4.2}$ ,  $P_{5.2}$ , а в F-DEMATEL (2 вариант) – 7 показателей –  $P_{1.1}$ ,  $P_{1.2}$ ,  $P_{2.1}$ ,  $P_{2.2}$ ,  $P_{3.1}$ ,  $P_{3.2}$ ,  $P_{4.1}$ .

- в показателях  $P_{2.1}$ ,  $P_{3.2}$ ,  $P_{5.1}$ ,  $P_{5.2}$  имеются различия в итоговых рангах. Наибольшее расхождение у показателя  $P_{2.1}$  – в четыре пункта (ранг 8 против ранга 4). Расхождение у показателей  $P_{3.2}$ ,  $P_{5.1}$  и  $P_{5.2}$  не более, чем в два пункта. По остальным показателям ранги одинаковые.

Пример использования методики показывает, что модели C-DEMATEL и F-DEMATEL наиболее подходят для оценки веса показателей логистических потоков, вследствие точности и надёжности результатов. Полученные результаты являются основой планирования и использования инструментов «зелёной» логистики для повышения устойчивости логистических цепей грузопотоков.

#### **Выводы по главе 4**

1. Установлено, что сложность исследования логистических потоков в ЛЦГ заключается в множественности и разнообразии их свойств и параметров

оценки. Принятие решений по управлению потоками в ЛЦГ осложняется отсутствием общепринятой системы показателей оценки потоков; закономерностей, описывающих взаимосвязи параметров и показателей потоков; комплексного подхода к оценке показателей потоков в соответствии с ЦУР.

2. Предложена оригинальная система показателей и параметров логистических потоков в ЛЦГ, включающая пять групп параметров (экономические, энерго-экологические, качества, статистические и управляемые) и 15 показателей. Особенностью предлагаемой системы является оценка не отдельных элементов ЛЦГ, а комплексная оценка логистических потоков на соответствие аспектам устойчивого развития и эффективности управления ЛЦГ.

3. Разработана методика определения весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ. Основу методики составляет идея сравнения результатов использования различных многокритериальных методов взвешивания для определения веса показателей логистических потоков с использованием нечёткой (Fuzzy), серой (Grey) и традиционной (Crisp) шкалы оценки. Это позволит выполнять комплексную двухуровневую оценку показателей логистических потоков в ЛЦГ, определять взаимосвязи как между группами параметров, так и между показателями логистических потоков, оценивать силу влияния параметров (показателей) друг на друга, и в итоге определять вес каждого параметра (показателя) логистического потока в ЛЦГ.

4. Установлено, что для определения веса показателей логистических потоков целесообразно использование методов Fuzzy DEMATEL и Crisp DEMATEL. Результаты расчётов, полученные при использовании данных методов, являются более точными и надёжными, по сравнению с другими методами. Метод F-DEMATEL целесообразно использовать при оценке взаимосвязи между показателями отдельно в группах параметров потоков в ЛЦГ, а метод C-DEMATEL – при учёте взаимосвязей между всеми показателями потоков в ЛЦГ.

5. Предложена система комплексной оценки показателей логистических цепей грузопотоков. Элементами системы являются параметры и показатели

логистических потоков, весовые коэффициенты параметров (показателей) логистических потоков, структурные взаимосвязи между параметрами (показателями) логистических потоков, а также совокупность DEMATEL моделей. Комплексная оценка позволяет установить взаимозависимость между показателями логистических потоков и отразить причинно-следственные связи между ними. Такую систему показателей рекомендуется использовать при выборе инструментов «зелёной» логистики с целью корректировки фактических значений показателей логистических потоков в соответствии с ЦУР.

6. Разработана методика комплексной оценки и ранжирования показателей логистических потоков в ЛЦГ с использованием метода DEMATEL. Использование методики позволит: повысить качество оценки состояния грузопотоков на соответствие ЦУР с целью повышения эффективности управленческих решений по выбору и использованию инструментов «зелёной» логистики.

## **5. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ**

### **5.1 Многокритериальная модель оценки состояния элементов логистической цепи грузопотоков**

Целенаправленность и динамичность функционирования ЛЦП неизбежно приводит к возникновению проблем принятия управленческих решений, что может быть успешно смоделировано и изучено при помощи многокритериальных методов принятия решений. Выработка логистических решений осуществляется на разных уровнях управления в ЛЦГ. Такие решения характеризуются определенными значениями параметров ЛС, которые устанавливаются управляющим органом и зависят от уровня принятия решения: стратегического – выработка целей ЛЦГ, тактического – координация взаимодействия элементов ЛЦГ и управление ими как единой системой, оперативного – корректировка параметров технологических процессов обработки и продвижения логистических потоков [48].

Решения по устойчивому развитию ЛЦГ должны основываться на комплексной оценке и анализе элементов ЛС и связей между ними, целей и функций, которые они выполняют, а также логистических операций по воздействию на ЛП.

Потоковые процессы в ЛС немыслимы без перспективного их планирования, обоснованного научного прогноза параметров внешней среды, факторов внешней и внутренней среды ЛС. Для этой цели может быть использован STEEP-анализ [363]. Главная задача STEEP-анализа – формирование и оценка влияния пяти групп внешних факторов (общество, технологии, экономика, окружающая среда и политика) на ЛС и её элементы при разработке стратегии и выработке четырёх типов управленческих решений по применению методов и инструментов «зелёной» логистики (рис. 5.1): оптимизационных («о»), конструктивных («к»), принципиальных («п») и системных «с».



Управленческие решения «о» и «к» относятся к методам параметрической и структурной адаптации и применяются на низших уровнях оперативного управления ЛЦГ, а решения «п» и «с» к методам развития для реализации стратегических решений в более сложных системах управления [129] (см. параграф 3.3).

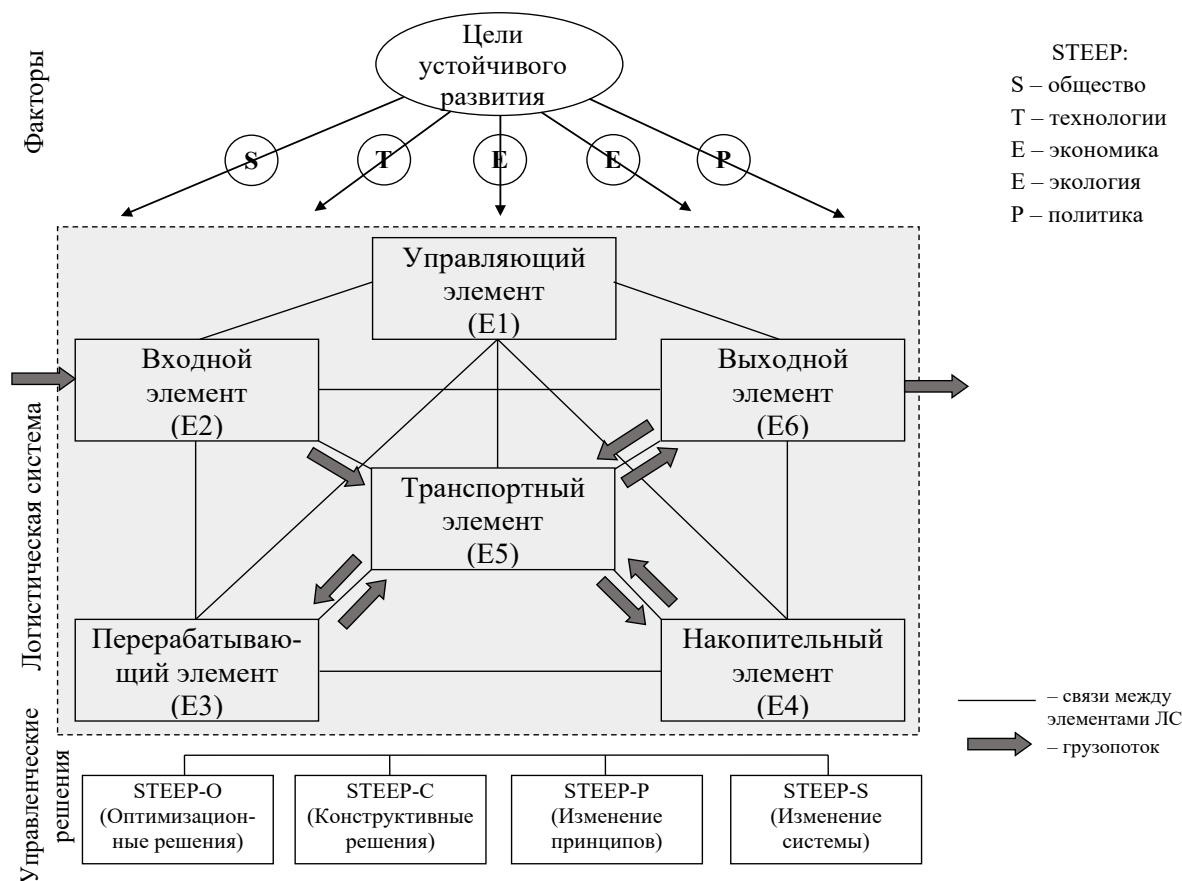


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема взаимосвязей элементов ЛС при формировании стратегии устойчивого развития ЛЦГ

Для оценки и выбора оптимальных управленческих решений в диссертационной работе используется комбинированная многокритериальная модель, включающая методы DEMATEL, BWM-SAW в сочетании с приближительными интервальными числами (IRN). Принципиальная схема комбинированной MCDM модели оценки элементов ЛЦГ при выборе управленческих решений по устойчивому развитию логистических цепей грузопотоков представлена на рис. 5.2. Использование DEMATEL обосновано наличием большого количества взаимосвязей между элементами ЛЦГ и необходимостью установления степени

влияния элементов ЛЦГ друг на друга, а также определения значимости (ранга) каждого элемента в ЛЦГ. В работе рассмотрено три варианта применения DEMATEL: чёткий/Crisp C-DEMATEL, нечёткий/Fuzzy F-DEMATEL и серый/Grey G-DEMATEL (см. табл. 4.5)

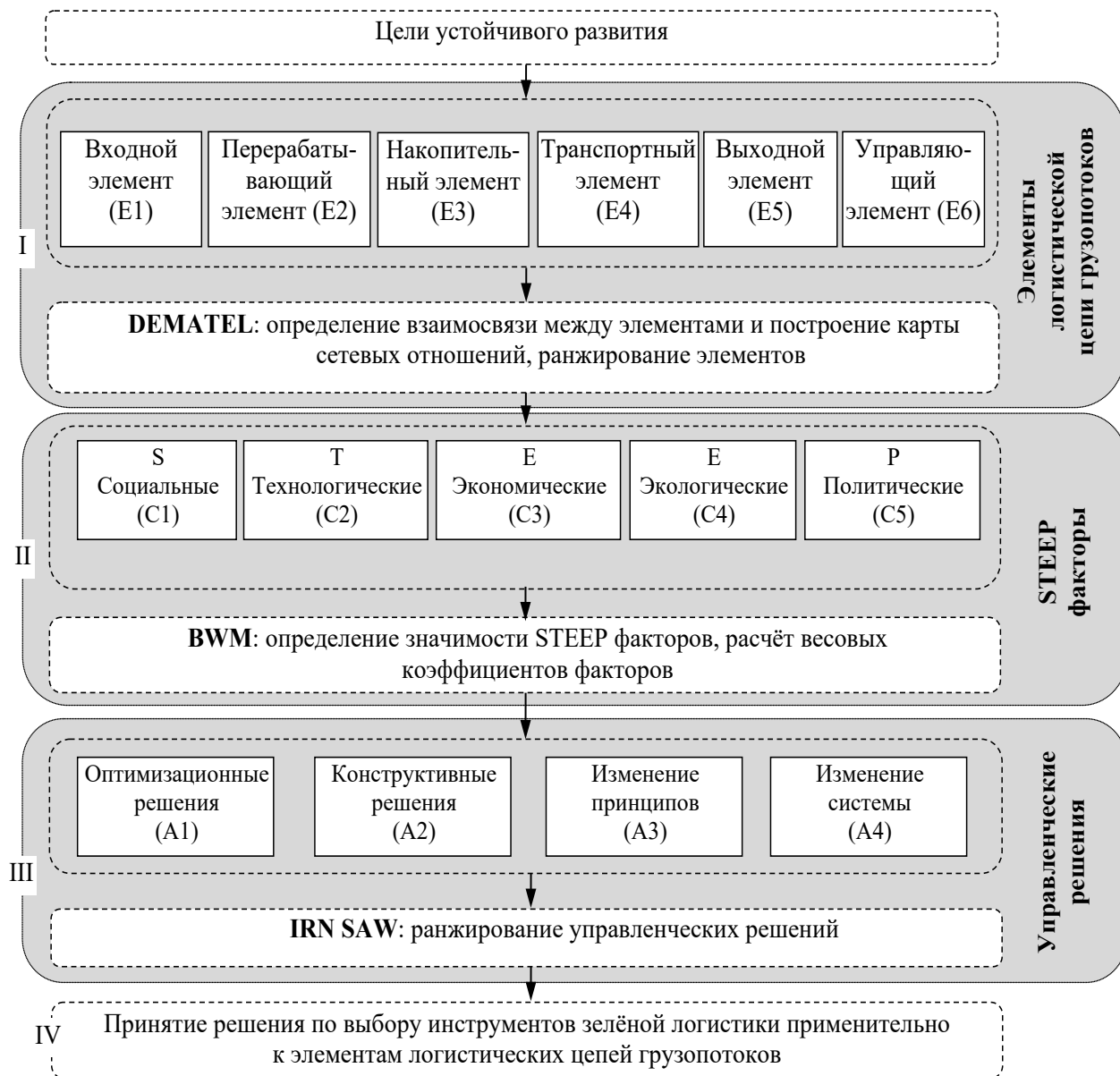


Рисунок 5.2 – Схема комбинированной MCDM модели оценки элементов ЛЦГ при принятии управленческих решений по устойчивому развитию

Использование модели BWM–SAW–IRN совместно со STEEP-анализом позволяет комплексно оценить факторы устойчивого развития ЛЦГ и ранжировать управленческие решения в стратегии устойчивого развития по применению инструментов «зелёной» логистики. В модели используются два метода:

1. BWM – Best Worst Method («Лучший худший метод»), предложен Д. Резаи в 2015 году [367]. В основу BWM положен выбор лучшего и худшего критериев и последующее попарное сравнение каждого из них со всеми остальными критериями оценки. Далее формулируется и решается задача максимального минимума для определения веса всех критериев, а также выполняется расчёт коэффициента несогласованности и оценки достоверности сравнений. Это делает BWM относительно простым в использовании и позволяет получить надёжные результаты, по сравнению с другими MCDM методами, например, аналитическим иерархическим процессом (АИР). BWM использует намного меньше сравнений ( $2n - 3$ ) путем формирования векторов сравнения. Это обеспечивает большую надёжность весов, полученных методом BWM, по сравнению с весами, полученными методом АИР. В BWM не используются дробные числа, что упрощает вычисления. Д. Резаи [368] статистически подтвердил, что BWM вычисляет веса критериев значительно лучше, чем АИР, с точки зрения оценки индекса однородности [100]. Коэффициент согласованности в методе АИР в основном используется для подтверждения достоверности сравнений, однако в BWM его основная функция заключается в определении степени надёжности парных сравнений, что обеспечивает более согласованные результаты [99, 100]. Основные этапы применения BWM представлены в табл. 5.1.

2. SAW – Simple Additive Weighting (Метод простого аддитивного взвешивания) [232] один из распространённых и легко применимых методов MCDM. Основная идея SAW – получение взвешенной суммы оценок эффективности каждого решения (альтернативы) по всем критериям. Это требует нормализации матрицы решений. Однако, используя только точные числа, сложно получить результаты, адекватно трактующие неопределённость и объективность оценки [413]. Применение подхода, основанного на интервальных приближительных числах, позволяет исключить субъективность описания интервала (как это происходит при использовании нечётких и серых методов) и тем самым, снизить неопределённость данных и повысить эффективность принимаемого решения [100]. Основные этапы IRN SAW представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.1 – Основные этапы метода BWM [100]

Этапы BWM	Расчётные формулы																				
1. Определение критериев оценки	$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , где $n$ – количество критериев.																				
2. Выбор наилучшего и наихудшего критериев	Экспертами выбираются наиболее влиятельный (наилучший) и наименее значимый (наихудший) критерии из множества $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ .																				
3. Сравнение наилучшего с остальными критериями	Наилучший критерий ( $B$ ) сравнивается со всеми остальными критериями по 9-ти бальной шкале, где 1 – самое низкое предпочтение, а 9 – самое высокое предпочтение. Формируется вектор «от наилучшего к остальным» (ВО): $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}),$ где $a_{Bj}$ – предпочтение наилучшего критерия $B$ критерию $j$ , $a_{BB} = 1$ .																				
4. Сравнение наихудшего с остальными критериями	Наихудший критерий ( $W$ ) сравнивается со всеми остальными критериями по 9-ти бальной шкале. Формируется вектор «от остальных к наихудшему» (OW): $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{BW})^T,$ где $a_{jW}$ – предпочтение критерия $j$ над наихудшим критерием $W$ , $a_{WW} = 1$ .																				
5. Определение относительной важности критериев путем расчёта окончательных и оптимальных весов	Определение оптимальных весов ( $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ ) Для каждой пары $\frac{W_B}{W_j}$ и $\frac{W_j}{W_W}$ оптимальный вес должен удовлетворять требованию $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$ и $\frac{W_j}{W_W} = a_{jW}$ . Формирование модели для определения окончательных значений весовых коэффициентов критериев оценки $\min \max_j \left\{ \left  \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right , \left  \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right  \right\},$ $\sum_j w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ для всех } j.$ Модель может быть преобразована как: $\begin{cases} \left  \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right  \leq \xi; \left  \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right  \leq \xi & \text{ для всех } j \\ \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0 & \text{ для всех } j \end{cases},$ Решение данных уравнений позволит получить оптимальные веса критериев.																				
6. Расчёт коэффициента согласованности	Расчёт коэффициента согласованности ( $K_{si}$ ) для проверки уровня надёжности парных сравнений $K_{si} = \frac{\xi^*}{CI},$ где $CI$ – индекс согласованности. Значения индекса согласованности $CI$ для метода BWM <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>a_{BW}</math></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td><math>CI (\max \xi^*)</math></td> <td>0</td> <td>0,44</td> <td>1,00</td> <td>1,63</td> <td>2,30</td> <td>3,00</td> <td>3,73</td> <td>4,47</td> <td>5,23</td> </tr> </table>	$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$CI (\max \xi^*)$	0	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23
$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9												
$CI (\max \xi^*)$	0	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23												

Таблица 5.2 – Основные этапы метода IRN SAW

Этапы IRN SAW	Расчётные формулы
1. Определение альтернатив и критериев оценки	<p>Формирование исходных матриц</p> $Y = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ IRN(x_{11}) & IRN(x_{11}) & \dots & IRN(x_{11}) \\ IRN(x_{21}) & IRN(x_{21}) & \dots & IRN(x_{21}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRN(x_{m1}) & IRN(x_{m1}) & \dots & IRN(x_{m1}) \end{bmatrix}_{m \times n}$ <p>где <math>A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}</math> – альтернативы, <math>C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}</math> – критерии оценки, <math>m</math> – количество альтернатив, <math>n</math> – количество критериев.</p>
2. Формирование грубой групповой матрицы	<p>Формирование грубой групповой матрицы экспертов <math>k_1, k_2, \dots, k_n</math> [192]:</p> $RGN = \left[ \left[ x_{ij}^L, x_{ij}^U \right] \right]_{n \times m} = \begin{bmatrix} [x_{11}^L, x_{11}^U] & [x_{12}^L, x_{12}^U] & \dots & [x_{1n}^L, x_{1n}^U] \\ [x_{21}^L, x_{21}^U] & [x_{22}^L, x_{22}^U] & \dots & [x_{2n}^L, x_{2n}^U] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [x_{m1}^L, x_{m1}^U] & [x_{m2}^L, x_{m2}^U] & \dots & [x_{mn}^L, x_{mn}^U] \end{bmatrix}$ <p>где <math>[x_{ij}^L, x_{ij}^U]</math> – соответственно значения нижнего и верхнего интервала оценки <math>i</math>-ой альтернативы по <math>j</math>-му критерию.</p>
3. Нормализация грубой групповой матрицы	<p>Формирование нормализованной грубой групповой матрицы</p> $Rn = \begin{bmatrix} [r_{11}^L, r_{11}^U] & [r_{12}^L, r_{12}^U] & \dots & [r_{1n}^L, r_{1n}^U] \\ [r_{21}^L, r_{21}^U] & [r_{22}^L, r_{22}^U] & \dots & [r_{2n}^L, r_{2n}^U] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [r_{m1}^L, r_{m1}^U] & [r_{m2}^L, r_{m2}^U] & \dots & [r_{mn}^L, r_{mn}^U] \end{bmatrix}$ <p>Для критериев «выгода» <math>r_{ij} = \left[ \frac{x_{ij}^L}{x_{ij}^{+U}}, \frac{x_{ij}^U}{x_{ij}^{+L}} \right]</math> если <math>C_1, C_2, \dots, C_n \in B</math></p> <p>Для критериев «затраты» <math>r_{ij} = \left[ \frac{x_{ij}^{-L}}{x_{ij}^U}, \frac{x_{ij}^{-U}}{x_{ij}^L} \right]</math> если <math>C_1, C_2, \dots, C_n \in NB</math></p> <p>«+» и «-» – соответственно максимальные и минимальные значения критериев <math>C_1 \dots C_n</math>.</p>
4. Формирование взвешенной нормализованной грубой матрицы	$Vn = \left[ v_{ij}^L, v_{ij}^U \right]_{m \times n} = \left[ w_j \times r_{ij}^L, w_j \times r_{ij}^U \right], \quad i = 1, 2, \dots, m, j,$ <p>где <math>w_j</math> – вес <math>j</math>-го критерия.</p>
5. Ранжирование альтернатив	<p>Вычисляется сумма значений оценки альтернатив для нижнего и верхнего значений интервала</p> $S = \left[ s_{ij}^L, s_{ij}^U \right]$ <p>Наилучшей альтернативой считается альтернатива с максимальным значением <math>S_i</math>.</p>

Рассмотрим пример использования комбинированной MCDM модели оценки элементов ЛЦГ при формировании стратегии устойчивого развития.

На первом этапе выполняются оценка элементов ЛЦГ с использованием методов DEMATEL. В табл. 5.3-5.5 представлены результаты экспертной оценки, а также фрагменты исходной и нормализованной матрицы прямых связей элементов ЛЦГ.

Таблица 5.3 – Результаты экспертной оценки элементов ЛЦГ

Эксперты	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Элементы ЛЦГ	Управляющий E1					Входной E2					Перерабатывающий E3				
Управляющий (E1)	О	О	О	О	О	ОВ	ОВ	ОВ	СЛ	С	ОВ	ОВ	ОВ	В	В
Входной (E2)	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	О	О	О	О	О	О	В	В	ОВ	С	В
Перерабатывающий (E3)	В	С	С	СЛ	СЛ	В	В	В	СЛ	С	О	О	О	О	О
Накопительный (E4)	В	СЛ	С	СЛ	СЛ	В	СЛ	В	СЛ	С	В	С	С	С	СЛ
Транспортный (E5)	В	В	С	С	СЛ	В	С	СЛ	СЛ	СЛ	В	С	С	В	СЛ
Выходной (E6)	В	ОВ	В	С	О	С	СЛ	СЛ	О	О	В	В	ОВ	СЛ	СЛ

Эксперты	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Элементы ЛЦГ	Накопительный E4					Транспортный E5					Выходной E6				
Управляющий (E1)	В	ОВ	ОВ	С	Н	Н	ОВ	ОВ	В	В	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	С
Входной (E2)	В	В	С	В	В	В	В	В	В	СЛ	С	СЛ	С	ОВ	О
Перерабатывающий (E3)	ОВ	С	ОВ	В	С	ОВ	С	ОВ	В	В	В	В	ОВ	В	О
Накопительный (E4)	О	О	О	О	О	В	ОВ	С	В	С	ОВ	В	В	В	С
Транспортный (E5)	В	ОВ	С	В	СЛ	О	О	О	О	О	ОВ	С	В	В	СЛ
Выходной (E6)	ОВ	С	В	СЛ	С	ОВ	С	С	СЛ	О	О	О	О	О	О

Таблица 5.4 – Исходная матрица прямых связей (фрагмент)

Элементы	C-DEMATEL			F-DEMATEL			G-DEMATEL		
	E1	...	E6	E1	...	E6	E1	...	E6
E1	0	...	4	[0; 0; 0]	...	[3; 4; 4]	[0; 0]	...	[3; 4]
E2	2	...	2	[1; 2; 3]	...	[1; 2; 3]	[1; 2]	...	[1; 2]
E3	3	...	3	[2; 3; 4]	...	[2; 3; 4]	[2; 3]	...	[2; 3]
E4	3	...	4	[2; 3; 4]	...	[3; 4; 4]	[2; 3]	...	[3; 4]
E5	3	...	4	[2; 3; 4]	...	[3; 4; 4]	[2; 3]	...	[3; 4]
E6	3	...	0	[2; 3; 4]	...	[0; 0; 0]	[2; 3]	...	[0; 0]

Таблица 5.5 – Нормализованная матрица прямых связей (фрагмент)

Элементы	C-DEMATEL			F-DEMATEL			G-DEMATEL		
	E1	...	E6	E1	...	E6	E1	...	E6
E1	0,0	...	0,214	(0; 0; 0)	...	(0,136; 0,189; 0,200)	(0; 0)	...	(0,155; 0,214)
E2	0,059	...	0,107	(0,010; 0,052; 0,105)	...	(0,055; 0,097; 0,138)	(0,012; 0,060)	...	(0,060; 0,107)
E3	0,107	...	0,155	(0,040; 0,093; 0,146)	...	(0,093; 0,135; 0,178)	(0,048; 0,107)	...	(0,107; 0,155)
E4	0,095	...	0,179	(0,030; 0,083; 0,136)	...	(0,105; 0,157; 0,200)	(0,036; 0,095)	...	(0,119; 0,179)
E5	0,131	...	0,155	(0,062; 0,115; 0,167)	...	(0,083; 0,136; 0,179)	(0,071; 0,131)	...	(0,095; 0,155)
E6	0,143	...	0,0	(0,082; 0,123; 0,166)	...	(0; 0; 0)	(0,095; 0,143)	...	(0; 0)

Общие матрицы связей элементов ЛЦГ представлены в табл. 5.6-5.8.

Таблица 5.6 – Общая матрица связей –  $T_{Crisp}$ 

Элементы	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	0,335	0,497	0,629	0,642	0,644	0,651
E2	0,289	0,238	0,461	0,476	0,463	0,423
E3	0,362	0,397	0,355	0,533	0,536	0,508
E4	0,324	0,346	0,422	0,337	0,474	0,484
E5	0,353	0,330	0,433	0,473	0,334	0,469
E6	0,340	0,271	0,412	0,432	0,401	0,305

Таблица 5.7 – Общая нечёткая матрица связей –  $T_{Fuzzy}$ 

Элементы	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	0,303	0,434	0,529	0,532	0,536	0,538
E2	0,291	0,239	0,428	0,440	0,427	0,393
E3	0,344	0,372	0,325	0,470	0,474	0,450
E4	0,318	0,335	0,393	0,315	0,434	0,440
E5	0,342	0,320	0,402	0,430	0,312	0,426
E6	0,325	0,263	0,376	0,390	0,365	0,278

Таблица 5.8 – Общая серая матрица связей –  $T_{Grey}$ 

Элементы	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	0,241	0,462	0,599	0,600	0,608	0,622
E2	0,175	0,095	0,425	0,438	0,420	0,364
E3	0,284	0,338	0,266	0,499	0,508	0,474
E4	0,230	0,264	0,358	0,242	0,434	0,450
E5	0,279	0,238	0,375	0,428	0,239	0,426
E6	0,272	0,150	0,359	0,383	0,341	0,202

Цвет ячеек в таблицах 5.6-5.8 показывает силу взаимосвязей между элементами ЛЦГ: оранжевый – слабые, ниже установленного экспертами порогового  $\alpha_{Crisp}=0,4271$ ,  $\alpha_{Fuzzy}=0,3885$  и  $\alpha_{Grey}=0,3634$ ; зелёный – существенные, выше порогового значения.

На рис. 5.3-5.5 представлены результаты расчёта количества взаимосвязей между элементами, силы их влияния, а также карты сетевых отношений.

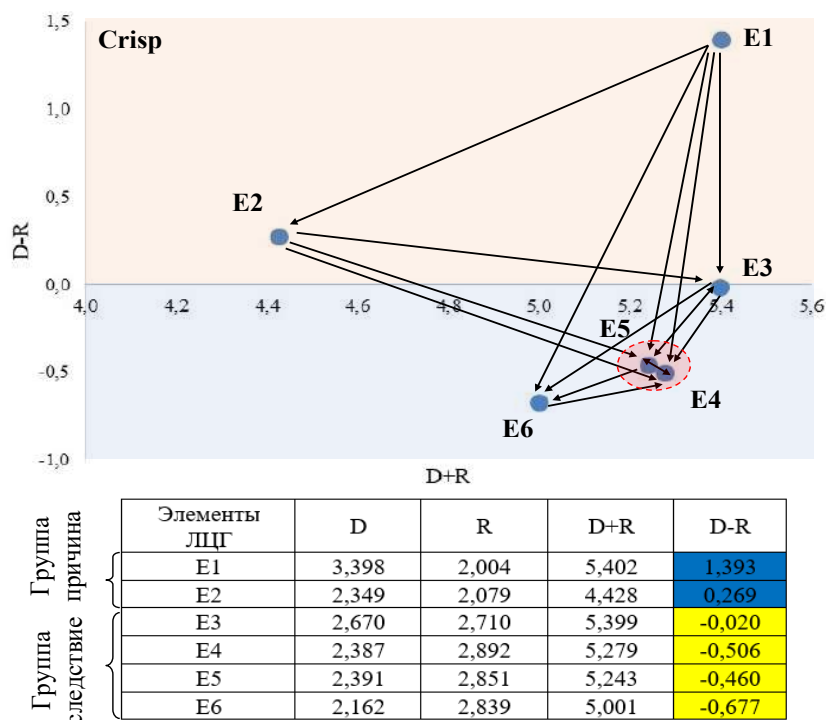


Рисунок 5.3 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей между элементами ЛЦГ (C-DEMATEL)

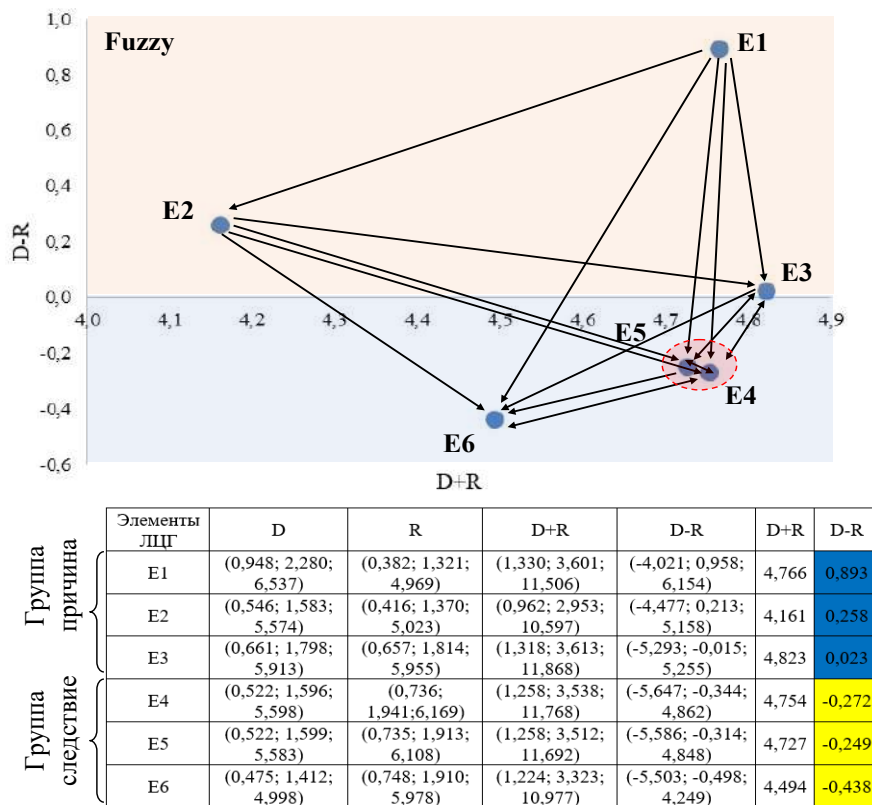


Рисунок 5.4 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей между элементами ЛЦГ (F-DEMATEL)



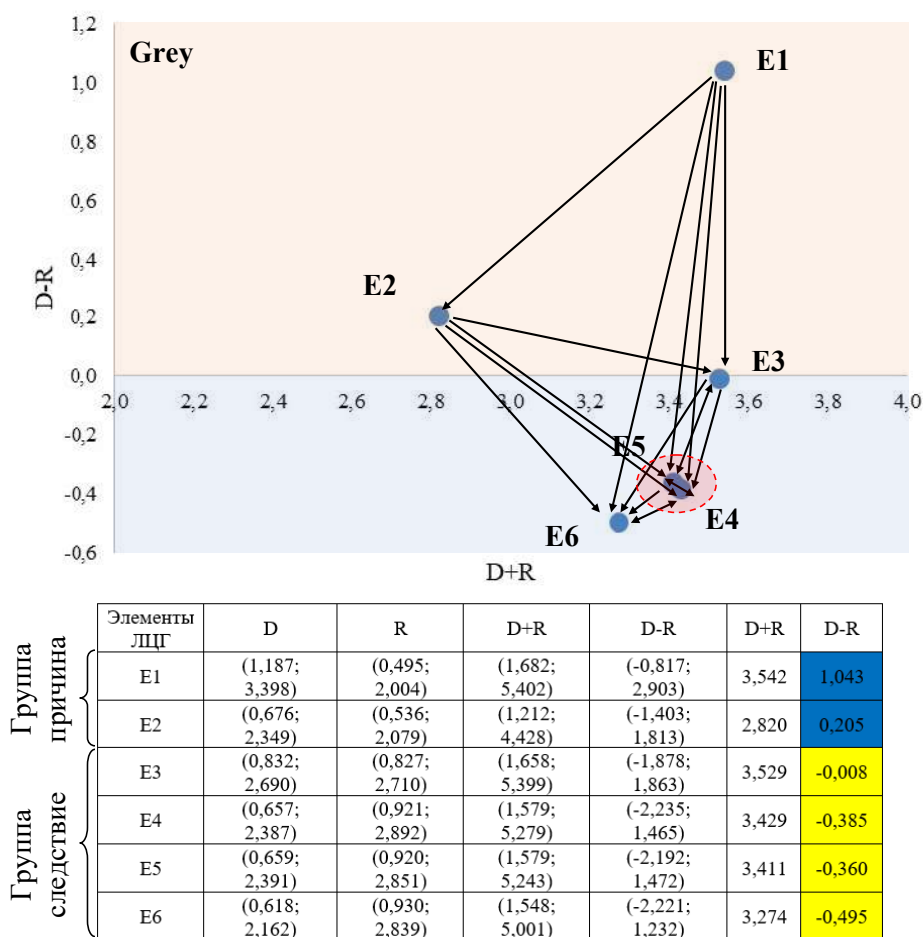


Рисунок 5.5 – Карта сетевых отношений и общая матрица связей между элементами ЛЦГ (G-DEMATEL)

Результаты расчёта весовых коэффициентов и рангов элементов ЛЦГ представлены на рис. 5.6.

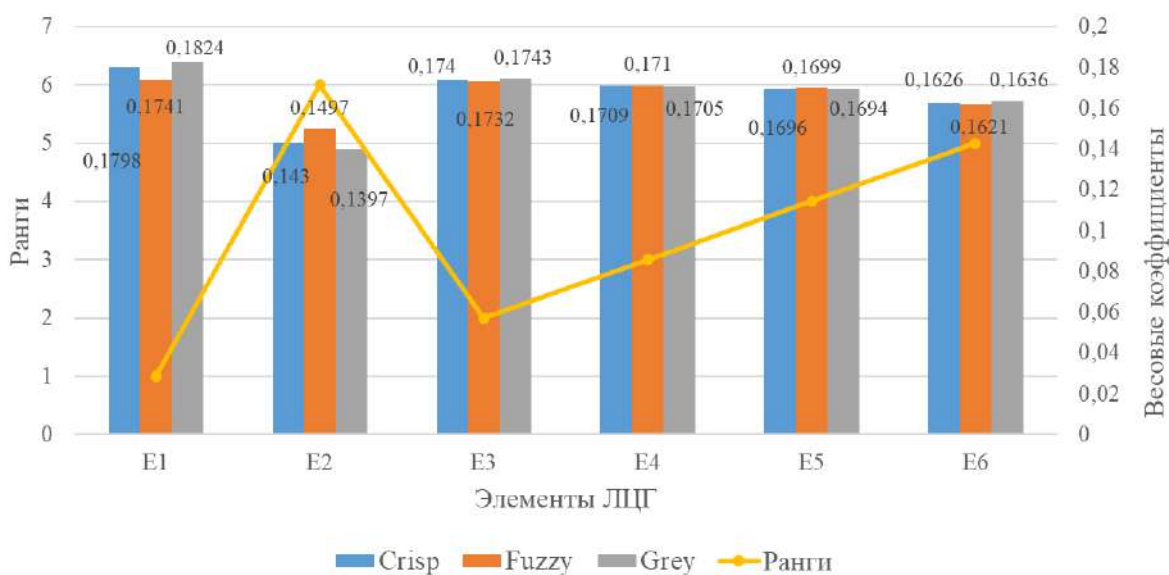


Рисунок 5.6 – Весовые коэффициенты и ранги элементов ЛЦГ

Результаты применения DEMATEL для оценки элементов ЛЦГ показывают:

- различное число установленных взаимосвязей как между элементами ЛЦГ, так при использовании различных DEMATEL моделей. Так, среди элементов наибольшее количество взаимосвязей у транспортного и накопительного элементов (красная зона на рис. 5.3-5.5). Среди DEMATEL моделей наибольшее количество взаимосвязей позволяет выявлять F-DEMATEL, а наименьшее – С-DEMATEL;

- различную силу влияния элементов друг на друга. Во всех DEMATEL моделях наибольшая сила влияния у управляющего элемента, наименьшая – у выходного элемента. При этом численные значения силы отличаются при использовании различных DEMATEL моделей;

- различное число элементов в группах «Причина» и «Следствие» при использовании разных DEMATEL моделей. При использовании С-DEMATEL и G-DEMATEL два элемента ( $E_1$ ,  $E_2$ ) отнесены к группе «Причина», а при использовании F-DEMATEL – три элемента ( $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ );

- различные итоговые весовые коэффициенты элементов при использовании DEMATEL моделей. При этом ранги во всех трёх вариантах оценки совпадают, что говорит о высокой надёжности результатов. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил 0,999.

Таким образом, F-DEMATEL и G-DEMATEL являются наиболее подходящими методами для оценки элементов ЛЦГ. Результаты, полученные при использовании данных методов, являются более точными и надёжными, по сравнению с С-DEMATEL.

На втором этапе используется комбинированная модель BWM–IRN SAW для оценки STEEP факторов при выборе управленческих решений в стратегии устойчивого развития ЛЦГ.

Исходная матрица принятия управленческих решений включает пять STEEP факторов ( $C_1$  – социальный,  $C_2$  – технологический,  $C_3$  – экономический,  $C_4$  – экологический и  $C_5$  – политический) и четыре альтернативы ( $A_1$  – оптими-

зационные решения,  $A_2$  – конструктивные решения,  $A_3$  – изменение принципов,  $A_4$  – изменение системы).

Для оценки важности STEEP факторов и определения весовых коэффициентов методом BWM были сформированы пять исходных моделей для определения векторов «от наилучшего к остальным» и «от остальных к наихудшему» (табл. 5.9).

Таблица 5.9 – Векторы ВО и ВО

Вектор ВО «от наилучшего к остальным»										Вектор ВО «от остальных к наихудшему»									
Экс.1		Экс.2		Экс.3		Экс.4		Экс.5		Экс.1		Экс.2		Экс.3		Экс.4		Экс.5	
$C_3$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг	$C_1$	Ранг
$C_1$	4	$C_1$	7	$C_1$	7	$C_1$	5	$C_1$	6	$C_1$	1	$C_1$	1	$C_1$	1	$C_1$	1	$C_1$	1
$C_2$	2	$C_2$	2	$C_2$	4	$C_2$	1	$C_2$	2	$C_2$	6	$C_2$	6	$C_2$	4	$C_2$	7	$C_2$	6
$C_3$	1	$C_3$	1	$C_3$	1	$C_3$	2	$C_3$	1	$C_3$	7	$C_3$	8	$C_3$	8	$C_3$	5	$C_3$	6
$C_4$	3	$C_4$	6	$C_4$	3	$C_4$	7	$C_4$	4	$C_4$	3	$C_4$	3	$C_4$	5	$C_4$	2	$C_4$	5
$C_5$	5	$C_5$	3	$C_5$	5	$C_5$	3	$C_5$	3	$C_5$	5	$C_5$	7	$C_5$	3	$C_5$	3	$C_5$	4

Модель для расчёта оптимальных весовых коэффициентов первого эксперта будет иметь вид:

$$\min \xi$$

$$\left| \frac{w_3}{w_1} - 4 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_3}{w_2} - 2 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_3}{w_4} - 3 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_3}{w_5} - 5 \right| \geq \xi,$$

$$\left| \frac{w_2}{w_1} - 6 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_3}{w_1} - 7 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_4}{w_1} - 3 \right| \geq \xi, \left| \frac{w_5}{w_1} - 5 \right| \geq \xi,$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 = 1$$

$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 \geq 0$$

Результаты решение модели: векторы весовых коэффициентов  $w_j = (0,054; 0,273; 0,382; 0,182; 0,109)$  и  $\xi = 0,164$ . В соответствии с табл. 5.6 определяем коэффициент согласованности  $0,1636/3,73=0,044$ . Результаты расчёта по всем экспертам представлены в табл. 5.10. Как видно из таблицы значения коэффициента согласованности являются высокими, что говорит о надёжности результатов оценки.

Таблица 5.10 – Результаты оценки STEEP факторов методом BWM

STEER факторы	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Средний вес	Ранг
$C_1$	0,055	0,043	0,057	0,069	0,048	0,054	5
$C_2$	0,273	0,269	0,145	0,429	0,255	0,274	2
$C_3$	0,382	0,419	0,489	0,257	0,399	0,389	1
$C_4$	0,182	0,089	0,193	0,074	0,128	0,133	4
$C_5$	0,109	0,179	0,116	0,172	0,170	0,149	3
$\xi$	0,164	0,120	0,091	0,086	0,112		
$K_{si}$	0,044	0,027	0,020	0,023	0,037		

На третьем этапе для ранжирования управленческих решений используется IRN SAW. Экспертами выполняется оценка управленческих решений, которые являются альтернативами  $A_1...A_4$  в IRN SAW модели по STEER факторам. Результаты представлены в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Результаты оценки экспертами управленческих решений ( $A_1...A_4$ ) по STEER факторам

$C_j$	Эксперт 1				Эксперт 2				Эксперт 3				Эксперт 4				Эксперт 5			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_1$	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	3	4
$C_2$	4	3	2	1	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	2	1	2	3	3	4
$C_3$	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3
$C_4$	2	2	3	3	2	2	3	4	1	1	2	2	3	3	4	3	2	2	3	3
$C_5$	1	2	3	4	1	2	2	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	3

Далее выполняется формирование грубой групповой матрицы (табл. 5.12) на основе результат оценок из табл. 5.11 с использованием методики [192]. Например, для элемента  $x_{24} = \{1,2,3,1,4\}$  значение нижнего и верхнего интервал определяется следующим образом:

$$\overline{\lim}(1) = 1, \quad \underline{\lim}(1) = \frac{1}{5}(1+2+3+1+4) = 2,2$$

$$\overline{\lim}(2) = \frac{1}{3}(1+2+1) = 1,33, \quad \underline{\lim}(2) = \frac{1}{3}(2+3+4) = 3$$

$$\overline{\lim}(3) = \frac{1}{4}(1+2+3+1) = 1,75, \quad \underline{\lim}(3) = \frac{1}{2}(3+4) = 3,5$$

$$\overline{\text{lim}}(4) = \frac{1}{4}(1+2+3+1+4) = 2,2, \quad \overline{\text{lim}}(4) = 4$$

$$RN(x_{24}^1) = RN(x_{24}^4) = [1; 2, 2], \quad RN(x_{24}^2) = [1, 33; 3],$$

$$RN(x_{24}^3) = [1, 75; 3, 5], \quad RN(x_{24}^5) = [2, 2; 4]$$

$$x_{24}^L = \frac{x_{24}^1 + x_{24}^2 + x_{24}^3 + x_{24}^4 + x_{24}^5}{S} = \frac{1+1,33+1,75+1+2,2}{5} = 1,45$$

$$x_{24}^U = \frac{x_{24}^1 + x_{24}^2 + x_{24}^3 + x_{24}^4 + x_{24}^5}{S} = \frac{2,2+3+3,5+2,2+4}{5} = 2,98$$

Таблица 5.12 – Грубая групповая матрица

СТЕЕР факторы	Альтернативы			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_1$	[1,36; 1,84]	[1,36; 1,96]	[1,94; 2,83]	[2,36; 3,52]
$C_2$	[2,36; 3,25]	[2,64; 2,96]	[2,04; 2,36]	[1,45; 2,98]
$C_3$	[2,36; 2,84]	[2,16; 2,64]	[2,16; 2,64]	[2,36; 2,84]
$C_4$	[1,86; 2,35]	[1,65; 2,35]	[2,95; 3,35]	[2,65; 3,35]
$C_5$	[1,04; 1,36]	[1,16; 1,64]	[1,36; 2,25]	[1,92; 3,25]

Выполняется нормализация грубой групповой матрицы (табл. 5.13).

Например, для элемента  $x_{24}$

$$r_{24} = \left[ \frac{1,45}{3,25}; \frac{2,98}{2,64} \right] \rightarrow r_{24} = [0,45; 1,13]$$

Таблица 5.13 – Нормализованная грубая групповая матрица

Альтернативы	СТЕЕР факторы				
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	[0,39; 0,78]	[0,73; 1,23]	[0,83; 1,20]	[0,70; 1,26]	[0,76; 1,31]
$A_2$	[0,47; 0,83]	[0,81; 1,12]	[0,76; 1,12]	[0,70; 1,42]	[0,63; 1,17]
$A_3$	[0,55; 1,20]	[0,63; 0,89]	[0,76; 1,12]	[0,49; 0,89]	[0,46; 1,00]
$A_4$	[0,67; 1,49]	[0,45; 1,13]	[0,83; 1,20]	[0,49; 0,89]	[0,32; 0,71]

Полученные по результатам использования BWM весовые коэффициенты СТЕЕР факторов используются для формирования взвешенной нормализованной грубой матрицы (табл. 5.14).

Таблица 5.14 – Взвешенная нормализованная грубая групповая матрица

$A_i$	STEER факторы				
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	[0,021; 0,042]	[0,199; 0,338]	[0,323; 0,468]	[0,094; 0,168]	[0,114; 0,195]
$A_2$	[0,025; 0,045]	[0,223; 0,308]	[0,296; 0,435]	[0,094; 0,190]	[0,095; 0,175]
$A_3$	[0,030; 0,065]	[0,172; 0,245]	[0,296; 0,435]	[0,066; 0,118]	[0,069; 0,149]
$A_4$	[0,036; 0,081]	[0,122; 0,310]	[0,323; 0,468]	[0,066; 0,118]	[0,048; 0,106]

Результаты ранжирования альтернатив представлены в табл. 5.15.

Таблица 5.15 – Результаты ранжирования альтернатив методом IRN SAW

Альтернативы	Нижнее значение $s_{ij}^L$	Верхнее значение $s_{ij}^U$	Среднее значение	Ранг
$A_1$	0,751	1,212	0,981	1
$A_2$	0,732	1,152	0,942	2
$A_3$	0,633	1,013	0,823	4
$A_4$	0,595	1,082	0,839	3

Оценка стабильности результатов моделирования выполнялась тремя способами:

1. Выполнено сравнение предлагаемой модели BWM-IRN SAW с моделью BWM-Crisp SAW. Данный способ предполагает замену интервальных приближительных чисел при оценки альтернатив на чёткие числа.

2. Рассмотрен вариант, когда STEER факторы равнозначны, их значение принято равным 0,2.

3. Использованы динамические матрицы и рассмотрены сценарии последовательного исключения альтернатив с наименьшим рангом. В первом сценарии исключена альтернатива  $A_3$ , затем  $A_4$  и получено предпочтение  $A_1 > A_2$ .

Таблица 5.16 – Результаты анализа чувствительности

$A_i$	Crisp SAW		IRN SAW ( $C_j=0,2$ )			IRN SAW (без $A_3$ )			IRN SAW (без $A_4$ )		
	$S_{ij}$	Ранг	$s_{ij}^L$	$s_{ij}^U$	Ранг	$s_{ij}^L$	$s_{ij}^U$	Ранг	$s_{ij}^L$	$s_{ij}^U$	Ранг
$A_1$	0,976	1	0,682	1,157	1	0,751	1,212	1	0,751	1,212	1
$A_2$	0,916	2	0,675	1,133	2	0,732	1,152	2	0,732	1,153	2
$A_3$	0,796	3	0,579	1,020	4	-	-	-	-	-	-
$A_4$	0,779	4	0,552	1,084	3	0,595	1,082	3	-	-	-

Все три способа оценки чувствительности результатов моделирования с использованием STEEP BWM-IRN SAW не приводят к изменению ранга среди альтернатив, что подтверждает надёжность и точность ранжирования.

Таким образом, расчётный пример показал, что наиболее эффективными управленческими решениями в стратегии устойчивого развития ЛЦГ являются оптимизационные решения  $A_1$  (ранг 1) по регулированию параметров управляющего элемента  $E_1$  ЛЦГ (ранг 1), а наименее эффективными – решения по изменению принципов организации функционирования  $A_4$  (ранг 4) входного элемента  $E_2$  ЛЦГ (ранг 6). Реализация управленческих решений по отношению к элементам ЛЦГ (рис. 5.7).

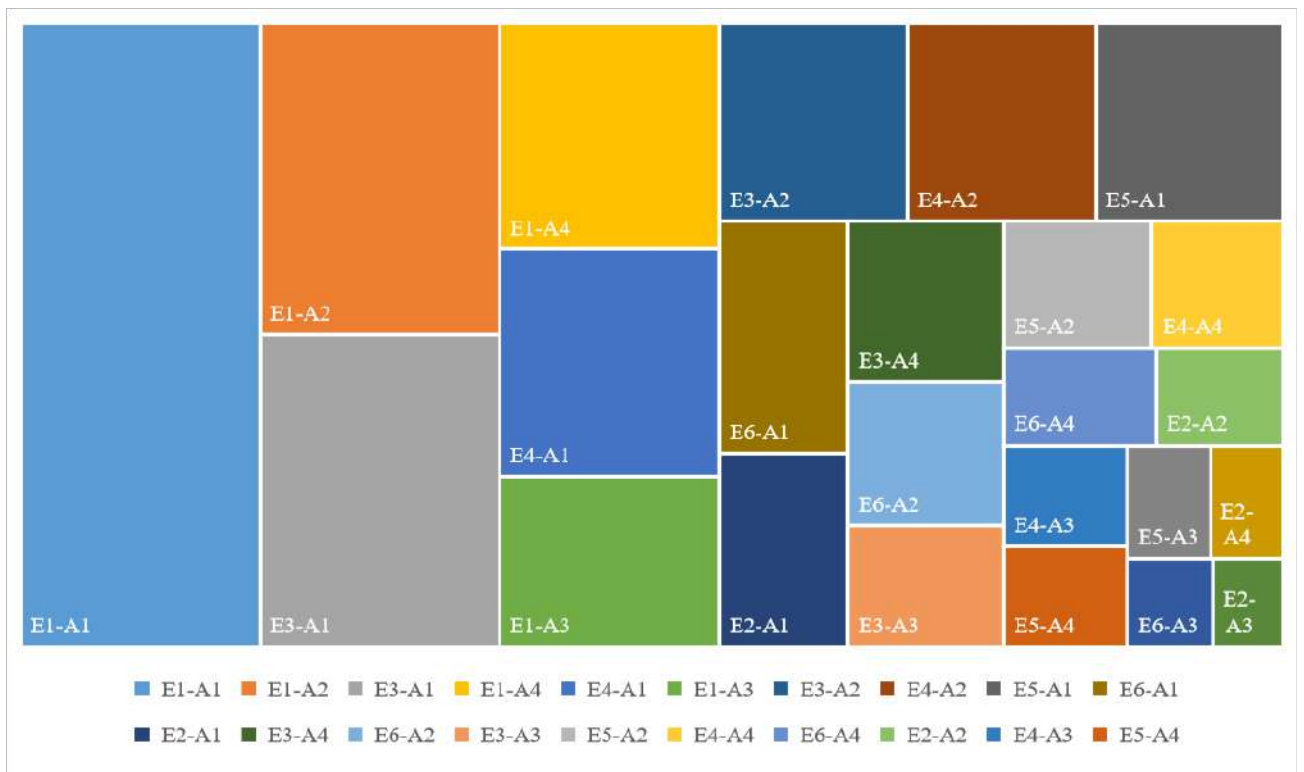


Рисунок 5.7 – Ранжирование управленческих решений ( $A_1 \dots A_4$ ) применительно к элементам ( $E_1 \dots E_6$ ) логистической цепи грузопотоков

Результаты ранжирования элементов ЛЦГ и управленческих решений можно использовать по реализации инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ.

## **5.2 Комбинированная многокритериальная модель ранжирования инструментов «зелёной» логистики**

Множество целей устойчивого развития применительно к логистическим цепям грузопотоков и их элементам, а также использование методов и инструментов «зелёной» логистики требуют реализации сложных моделей поддержки принятия решений с использованием многокритериальных методов (MCDM). Автором настоящей работы выполнены исследования [101, 103, 104, 106, 316, 347, 361] по использованию MCDM при управлении транспортными и логистическими системами, «зелёными» цепями поставок. Этапы процесса принятия решения с использованием MCDM включают (рис. 5.8):

1. Структуризацию проблемы. На данном этапе определяются цели и задачи; выполняется анализ возможных решений по достижению целей, их принято называть альтернативами; обосновываются критерии оценки решений, их называют атрибуты; определяются ЛПП. Полученная информация является основой выбора наиболее эффективного многокритериального метода [105].

2. Выбор и применение MCDM метода. На этапе выполняется формирование исходной матрицы решений; определение значимости атрибутов по отношению к цели; оценка предпочтения альтернатив по отношению к критериям; расчёт общих взвешенных оценок альтернатив; агрегирование альтернативных оценок; сортировка и ранжирование альтернатив. Применение того или иного MCDM метода оказывает влияние на результаты оценки [105].

3. Рекомендации для принятия решений. На данном этапе выполняется интерпретация результатов, а также анализ чувствительности с целью оценки стабильности полученных результатов [105].



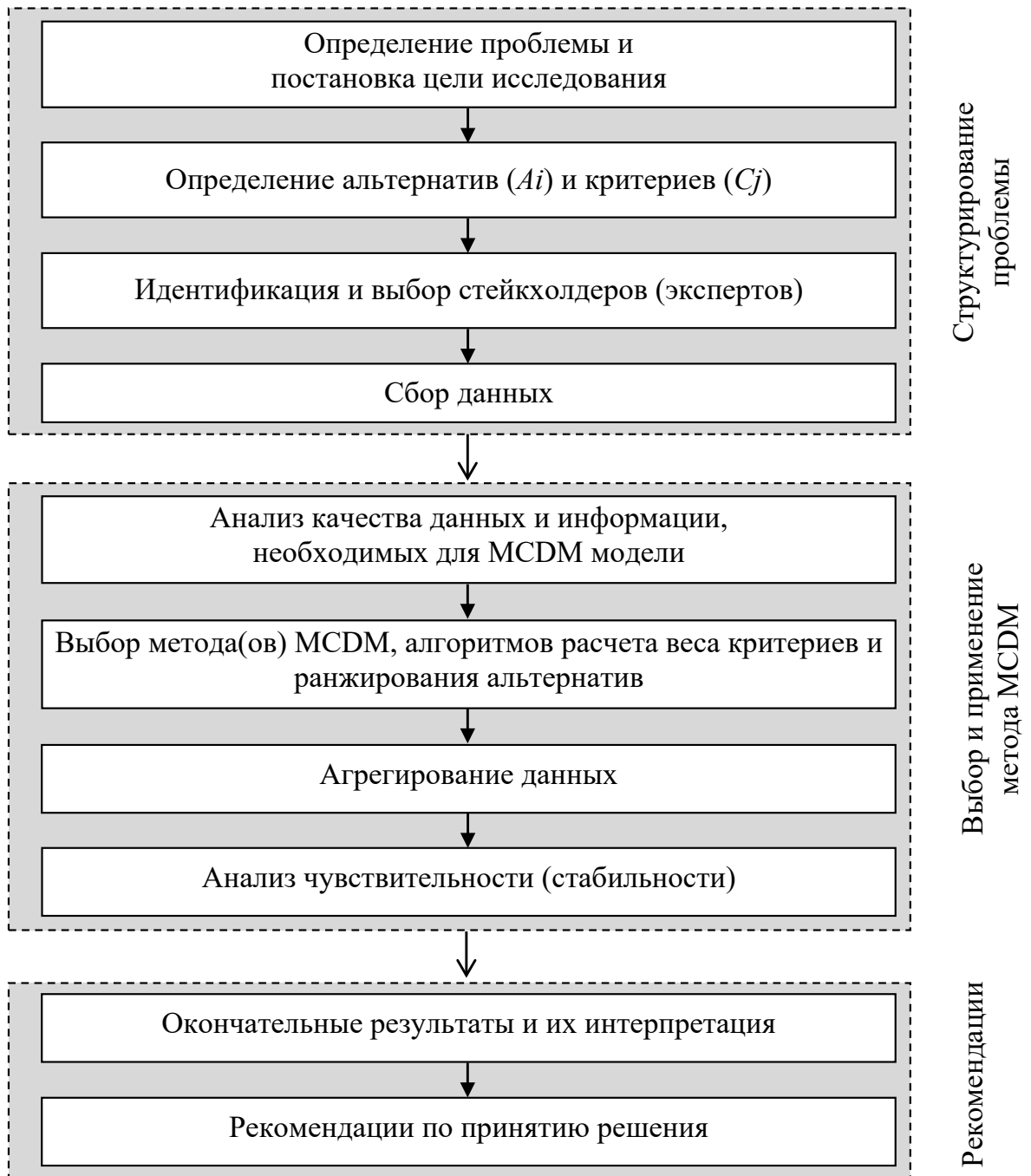


Рисунок 5.8 – Общая схема использования MCDM

В табл. 5.17 представлена краткая характеристика используемых в диссертационной работе MCDM для ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики. С оригинальными методикам применения методов можно ознакомиться в [188, 191, 218, 219, 232, 291, 335, 346, 349, 350, 400, 431, 434, 436].

Таблица 5.17 – Характеристика MCDM методов [348]

№	Акроним метода*	Сущность метода	Сложность применения
1	SAW [232]	Оценка каждой альтернативы по каждому критерию с использованием взвешенной суммы оценок [348].	Низкая
2	TOPSIS [291]	Выбор альтернативы, наиболее близкой к положительному идеальному решению и наиболее далёкой от отрицательного идеального решения [348].	Средняя
3	PROMETHEE [218]	Ранжирование выполняется на основе использования различных функции предпочтения для преобразования парных сравнений в степень предпочтения по единому критерию. Затем рассчитывается степень предпочтения по нескольким критериям для сравнения критериев друг с другом, вычисляются исходящий и входящий потоки, разница между которыми является основой для определения превосходства альтернатив друг над другом.	Высокая
4	COPRAS [436]	Выбор лучшей альтернативы с учётом как наилучшего, так и наихудшего решений [348].	Низкая
5	VIKOR [346]	Выбор лучшей альтернативы на основе многокритериального индекса ранжирования, основанного мере близости к идеальному решению, называемому компромиссом.	Средняя
6	MOORA [219]	Оценка каждой альтернативы сравнивается с квадратным корнем из суммы квадратов оценок каждой альтернативы для каждой цели. Ранжирование альтернатив основано на определении индекса ранжирования как разности между его суммами взвешенных нормализованных степеней эффективности критериев «выгода» и «затраты» [348].	Низкая
7	ARAS [431]	Сравнение значения функции полезности каждой альтернативы со значением функции полезности оптимальной альтернативы [348].	Средняя
8	WASPAS [434]	Сочетание модели взвешенной суммы (WSC) и модели взвешенного продукта (WPC) для определения совместного обобщённого критерия взвешенной агрегации аддитивных и мультипликативных методов для каждой альтернативы [348].	Низкая
9	MAIRCA [349]	Оценка разницы («разрыва») между идеальными и эмпирическими оценками. Наилучшей является альтернатива наиболее близкая к идеальным оценкам по большинству критериев, т.е. альтернатива с наименьшим значением общего «разрыва» [348].	Средняя
10	EDAS [335]	Оценка и ранжирование альтернатив на основе расчёта положительных и отрицательных расстояний от среднего значения [348].	Средняя
11	MABAC [350]	Оценка и ранжирование альтернатив на основе расчёта расстояний между альтернативами и границами области аппроксимации [348].	Низкая
12	CODAS [191]	Расчёт евклидова расстояния и расстояния такси для выбора лучшей альтернативы. Если две альтернативы имеют одинаковое значение евклидова расстояния, то расстояние такси используется для выбора лучшей альтернативы [348].	Средняя
13	CoCoSo [188]	Основан на интегрированной простой аддитивной модели взвешивания и экспоненциально взвешенной модели продукта. Это интегрированная форма метода взвешенной суммы (WSC) и метода взвешенного продукта (WPC).	Средняя
14	MARCOS [400]	Расчёт отношения между альтернативами и эталонными значениями (идеальные и анти-идеальные альтернативы) и определения функций полезности в отношении идеальной и анти-идеальной альтернативы [348].	Средняя

\* – оригинальное название метода и его перевод представлены в разделе «Список сокращений и условных обозначений»

Разработанная комбинированная MCDM модель ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ включает следующие элементы и исходные данные:

- систему параметров и показателей логистических потоков (параграф 4.2);
- весовые коэффициенты показателей логистических потоков (параграф 4.3);
- систему методов и инструментов «зелёной» логистики (параграф 3.2);
- комплекс многокритериальных моделей принятия управленческих решений (табл. 5.17);
- результаты экспертной оценки методов и инструментов «зелёной» логистики (приложение Д).

Методика включает следующие основные этапы (рис. 5.9):

Этап 1. Формирование многокритериальных моделей ЛЦГ. Основу каждой модели составляет система показателей логистических потоков, а также для всей ЛЦГ – система методов «зелёной» логистики, для каждого элемента ЛЦГ – система инструментов «зелёной» логистики. Таким образом, формируется семь MCDM моделей: одна для ранжирования 23 методов ( $M_{1.1} \dots M_{6.5}$ ) и шесть для ранжирования инструментов по каждому элементу ЛЦГ: управляющего (21 инструмент –  $I_{1.1.1}-I_{1.5.4}$ ), входного (14 инструментов –  $I_{2.1.1}-I_{2.4.5}$ ), перерабатывающего (17 инструментов –  $I_{3.1.1}-I_{3.5.4}$ ), накопительного (17 инструментов –  $I_{4.1.1}-I_{4.4.4}$ ), транспортного (18 инструментов –  $I_{5.1.1}-I_{5.4.4}$ ), выходного (18 инструментов –  $I_{6.1.1}-I_{6.5.4}$ ). Для оценки методов и инструментов «зелёной» логистики используется система из 15 показателей логистических потоков ЛЦГ (табл. 4.2).

Этап 2. Установление весовых коэффициентов показателей логистических потоков. Весовые коэффициенты показателей потоков определяются с использованием комбинации методов DEMATEL. В работе рассмотрены два варианта оценки весовых коэффициентов: 1) оценка взаимовлияния показателей

ЛП выполнялась отдельно в каждой группе параметров потоков ЛЦГ; 2) оценка взаимовлияния выполнялась между всеми показателями потоков ЛЦГ.

Этап 3. Использование MCDM методов для ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики, а также оценка чувствительности результатов применения MCDM. В диссертационной работе рассмотрено сравнение четырнадцатью различными MCDM (табл. 5.17).

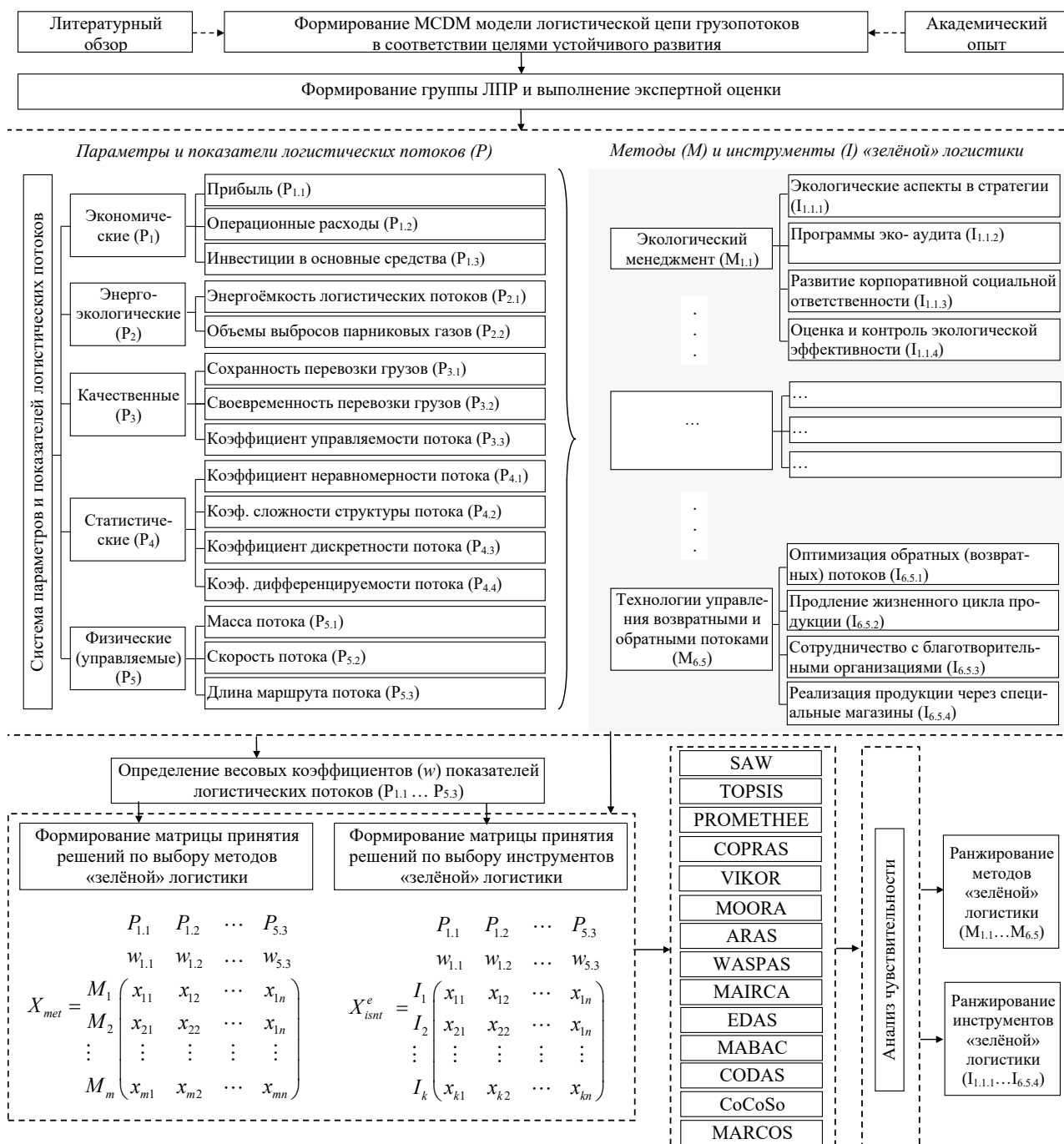


Рисунок 5.9 – Общая схема MCDM модели ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ

В приложении Д диссертационной работы представлены результаты экспертной оценки методов и инструментов «зелёной» логистики. В результате усредненной оценки экспертов сформированы начальные матрицы решений, которые используются на начальном этапе используемых в работе MCDM методов:

Для методов «зелёной» логистики

$$X_{met} = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ M_1 & \left( x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \right) \\ M_2 & \left( x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \right) \\ \vdots & \left( \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \right) \\ M_m & \left( x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \right) \end{matrix}, \quad (5.1)$$

Для инструментов «зелёной» логистики

$$X_{inst} = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ I_1 & \left( x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \right) \\ I_2 & \left( x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \right) \\ \vdots & \left( \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \right) \\ I_k & \left( x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \right) \end{matrix}, \quad (5.2)$$

где  $M = \{M_1, M_2 \dots M_m\}$  – методы «зелёной» логистики;  $m$  – количество методов, равное 27;  $I = \{I_1, I_2 \dots I_k\}$  – инструменты «зелёной» логистики;  $k$  – количество инструментов, равное 105;  $P = \{P_1, P_2 \dots P_n\}$  – показатели логистических потоков;  $n$  – количество показателей, равное 15;  $w = \{w_1, w_2 \dots w_n\}$  – вес показателей логистических потоков в ЛЦГ;  $x_{ij}$  или  $x_{gj}$  – соответственно значение оценки  $i$ -й метода (или  $g$ -го инструмента) по  $j$ -му показателю  $P$ .

Результаты ранжирования методов «зелёной» логистики для ЛЦГ представлены на рис. 5.10 и в приложении Е.

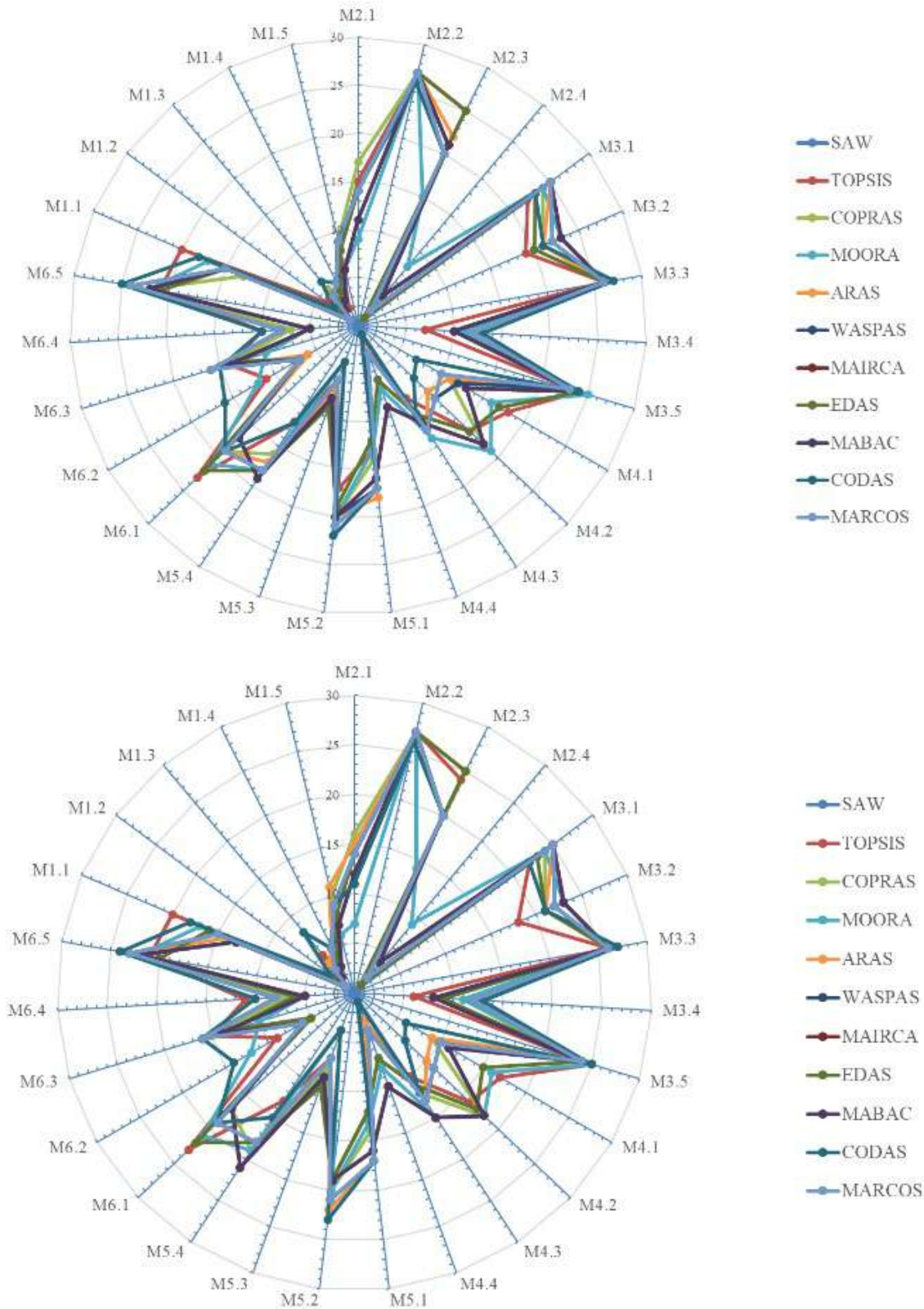


Рисунок 5.10 – Результаты ранжирования методов «зелёной» логистики: а – вариант 1 (Crisp DEMATEL+MCDM; б – вариант 2 (Fuzzy-DEMATEL+MCDM))

При ранжировании методов «зелёной» логистики одиннадцатью различными MCDM коэффициент ранговой корреляции для двух вариантов оценка

веса показателей потоков (см. рис. 4.8) составил: для варианта 1 – 0,94; для варианта 2 – 0,93. Наиболее согласованы результаты у методов SAW, WASPAS и MARCOS, а наименее – MOORA и CODAS (табл. 5.18).

Таблица 5.18 – Результаты оценки согласованности MCDM методов (ранжирование методов «зелёной» логистики)

№ метода	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (вариант 1)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Среднее
1	1,000	0,897	0,961	0,899	0,995	0,997	0,951	0,938	0,951	0,945	1,000	0,957
2	0,897	1,000	0,932	0,877	0,907	0,915	0,894	0,952	0,894	0,883	0,897	0,913
3	0,961	0,932	1,000	0,876	0,964	0,965	0,948	0,967	0,948	0,891	0,961	0,946
4	0,899	0,877	0,876	1,000	0,874	0,902	0,950	0,915	0,950	0,843	0,899	0,907
5	0,995	0,907	0,964	0,874	1,000	0,995	0,940	0,941	0,940	0,940	0,995	0,953
6	0,997	0,915	0,965	0,902	0,995	1,000	0,955	0,950	0,955	0,937	0,997	0,960
7	0,951	0,894	0,948	0,950	0,940	0,955	1,000	0,960	1,000	0,858	0,951	0,946
8	0,938	0,952	0,967	0,915	0,941	0,950	0,960	1,000	0,960	0,854	0,938	0,943
9	0,951	0,894	0,948	0,950	0,940	0,955	1,000	0,960	1,000	0,858	0,951	0,946
10	0,945	0,883	0,891	0,843	0,940	0,937	0,858	0,854	0,858	1,000	0,945	0,904
11	1,000	0,897	0,961	0,899	0,995	0,997	0,951	0,938	0,951	0,945	1,000	0,957
№ метода	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (вариант 2)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Среднее
1	1,000	0,911	0,966	0,886	0,996	1,000	0,950	0,943	0,950	0,941	1,000	0,958
2	0,911	1,000	0,914	0,860	0,899	0,911	0,879	0,958	0,879	0,870	0,911	0,908
3	0,966	0,914	1,000	0,849	0,964	0,966	0,951	0,962	0,951	0,886	0,966	0,943
4	0,886	0,860	0,849	1,000	0,856	0,886	0,924	0,886	0,924	0,828	0,886	0,889
5	0,996	0,899	0,964	0,856	1,000	0,996	0,931	0,929	0,931	0,946	0,996	0,949
6	1,000	0,911	0,966	0,886	0,996	1,000	0,950	0,943	0,950	0,941	1,000	0,958
7	0,950	0,879	0,951	0,924	0,931	0,950	1,000	0,951	1,000	0,837	0,950	0,938
8	0,943	0,958	0,962	0,886	0,929	0,943	0,951	1,000	0,951	0,841	0,943	0,936
9	0,950	0,879	0,951	0,924	0,931	0,950	1,000	0,951	1,000	0,837	0,950	0,938
10	0,941	0,870	0,886	0,828	0,946	0,941	0,837	0,841	0,837	1,000	0,941	0,897
11	1,000	0,911	0,966	0,886	0,996	1,000	0,950	0,943	0,950	0,941	1,000	0,958

Примечание: 1 – SAW, 2 – TOPSIS, 3 – COPRAS, 4 – MOORA, 5 – ARAS, 6 – WASPAS, 7 – MAIRCA, 8 – EDAS, 9 – MABAC, 10 – CODAS, 11 – MARCOS

На рис. 5.11 и 5.12 представлены сравнение результатов ранжирования инструментов «зелёной» логистики для элементов ЛЦГ. Рассмотрены два варианта весовых коэффициентов потоков: вариант 1 – Crisp DEMATEL+14 MCDM и вариант 2 – Fuzzy-DEMATEL+14 MCDM. Численные значения результатов ранжирования представлены в приложении Е.

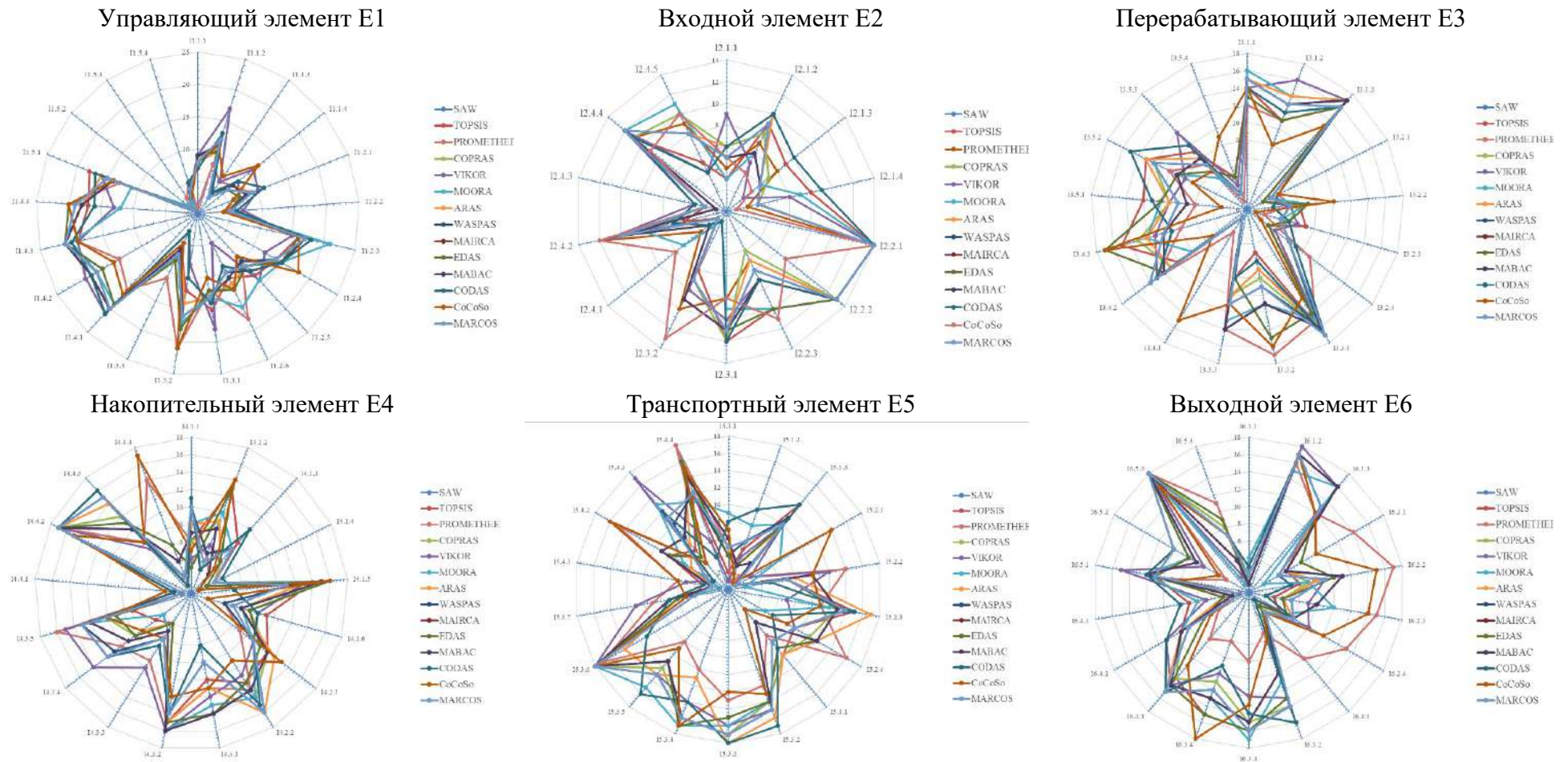


Рисунок 5.11 – Результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики для элементов ЛЦГ (вариант 1 – Crisp DEMATEL+MCDM)



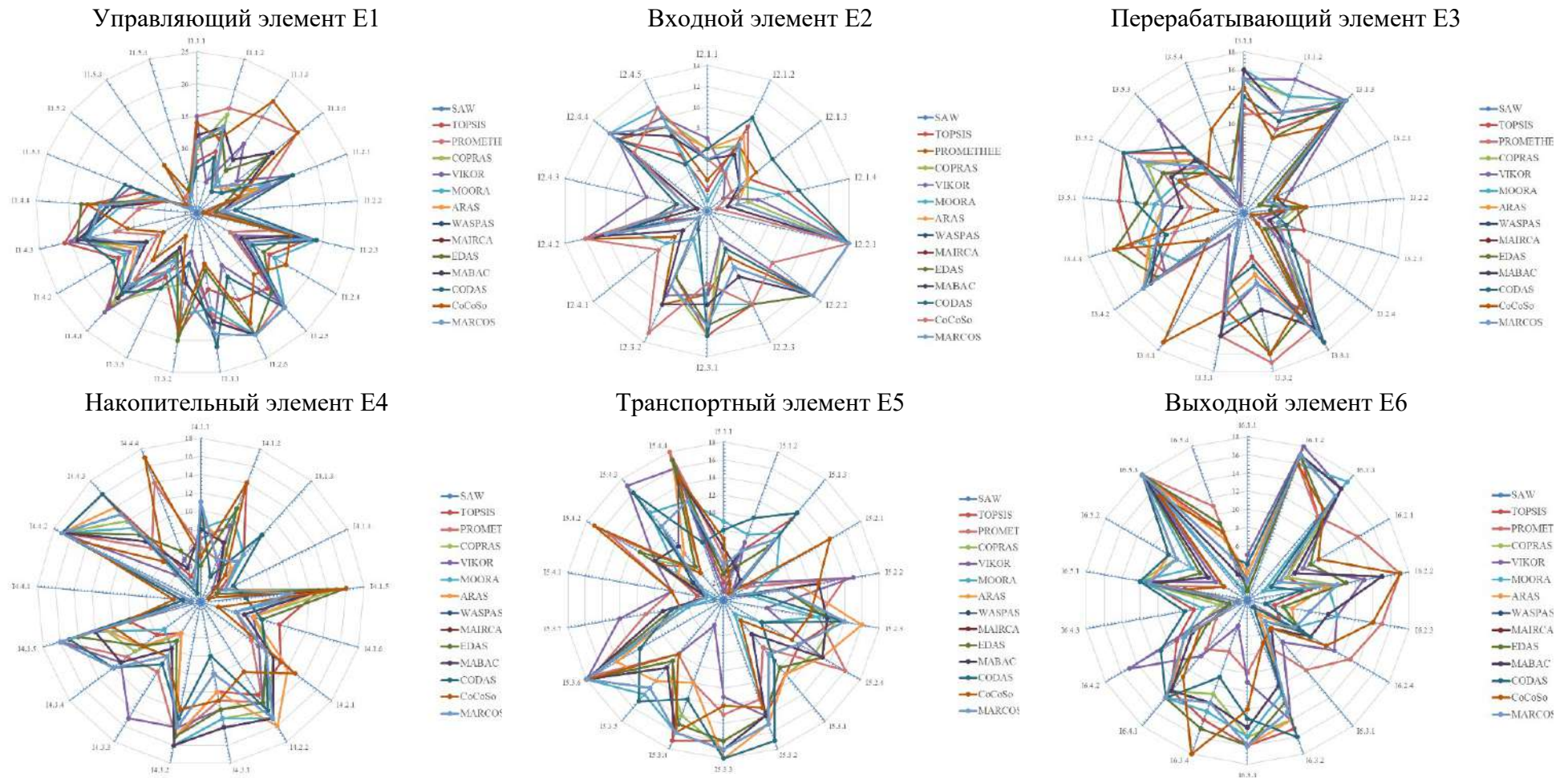


Рисунок 5.12 – Результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики для элементов ЛЦГ (вариант 2 – Fuzzy- DEMATEL+MCMD)

При ранжировании инструментов «зелёной» логистики четырнадцатью различными MCDM достигнута высокая согласованность результатов. В варианте 1 согласованность результатов выше, чем в варианте 2. Наивысшие ранги при согласовании получили методы WASPAS, MABAC, MARCOS, MAIRCA, SAW и COPRAS. Наименее согласованным являются методы CoCoSo, PROMETHEE, VIKOR и CODAS. Результаты расчёта коэффициента ранговой корреляции Спирмена представлены в табл. 5.19.

Таблица 5.19 – Результаты оценки согласованности MCDM методов (ранжирование инструментов «зелёной» логистики)

Элемент ЛЦГ	Вариант 1			Вариант 2		
	Средний коэф.	Высокий ранг	Низкий ранг	Средний коэф.	Высокий ранг	Низкий ранг
E1	0,919	MABAC, MAIRCA	VIKOR, PROMETHEE	0,796	WASPAS, MARCOS	CoCoSo, PROMETHEE
E2	0,810	SAW, MARCOS	CoCoSo, CODAS	0,814	SAW, MARCOS	CoCoSo, CODAS
E3	0,816	WASPAS, COPRAS	CoCoSo, PROMETHEE	0,797	WASPAS, MARCOS	CoCoSo, TOPSIS
E4	0,762	MABAC, MAIRCA	CoCoSo, CODAS	0,759	MABAC, MAIRCA	CoCoSo, CODAS
E5	0,729	COPRAS, WASPAS	CoCoSo, PROMETHEE	0,689	COPRAS, MABAC	VIKOR, CoCoSo
E6	0,801	SAW, WASPAS, MARCOS	PROMETHEE, CoCoSo,	0,773	SAW, WASPAS, MARCOS	VIKOR, PROMETHEE

Результаты ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики положены в основу разработанной комбинированной модели управления логистическими цепями грузопотоков, основанной на использовании многокритериальных методов принятия решений и комплекса математических моделей. Такая комбинация моделей при формировании системы управления ЛЦГ позволит выполнять оценку показателей логистических потоков, прогнозировать их изменение, и на основе прогнозов планировать оптимальную последовательность использования инструментов «зелёной» логистики.

### 5.3 Математическая модель выбора инструментов «зелёной» логистики

Значительное количество инструментов «зелёной» логистики создаёт многовариантность их применения в элементах логистической цепи грузопотоков. Для лица, принимающего решение, это характеризуется неопределённостью и формирует задачу выбора и реализации инструментов. Решение данной задачи сопряжено с необходимостью учёта для каждого инструмента его эффективности при определённых затратах на применение. Кроме того, ограничение запасов ресурсов, необходимых для применения инструментов, как правило, исключает вариант реализации всех инструментов в некоторый период времени. Таким образом, применение инструментов «зелёной» логистики в элементах логистической цепи грузопотоков является многоэтапным процессом, каждый этап которого сопряжён с обоснованием выбора ограниченного числа инструментов из имеющейся совокупности.

Рациональное обоснование выбора инструментов может быть обеспечено путём математического моделирования рассматриваемого процесса. Математическая модель в этом случае должна определять оптимальную комбинацию инструментов «зелёной» логистики, которые следует реализовать в элементах ЛЦГ на определённом этапе при имеющихся ресурсах. Согласно применённого в работах [48, 129, 249] логистического подхода, в модели используются материальные, финансовые, информационные ресурсы и ресурсы услуг (табл. 5.20), имеющие ограниченные запасы, расходуемые на реализацию инструментов «зелёной» логистики.

Таблица 5.20 – Характеристика логистических ресурсов, используемых для реализации инструментов «зелёной» логистики

Вид ресурса	Характеристика
Материальный ресурс на реализацию инструментов ЗЛ	Все возможные виды ресурсов (энергоносители, сырьё, материалы, полуфабрикаты, комплектующие, готовая продукция и др.), используемые в процессе реализации инструментов «зелёной» логистики, при продвижении материального потока.
Финансовый ресурс на реализацию инструментов ЗЛ	Объём финансовых средств, обращающихся в ЛС, а также между ЛС и внешней средой, необходимых для реализации инструментов «зелёной» логистики.

Вид ресурса	Характеристика
Ресурс услуг на реализацию инструментов ЗЛ	Комплекс (объём) специализированных работ и видов деятельности, выполняемых элементами логистической системы или сторонними элементами, которые необходимы в процессе реализации инструментов «зелёной» логистики.
Информационный ресурс на реализацию инструментов ЗЛ	Поток информационных обращений в ЛС, между элементами ЛС и внешней средой сообщений, необходимых для эффективного выполнения управляющих функций ЛС по реализации инструментов «зелёной» логистики.

Целевая функция, определяющая результативность выбора инструментов, оценивает достигаемый эффект применения инструментов «зелёной» логистики:

$$F = \omega_1 (r_{11} \cdot x_{11} + r_{21} \cdot x_{21} + \dots + r_{n1} \cdot x_{n1}) + \dots + \omega_m (r_{1m} \cdot x_{1m} + r_{2m} \cdot x_{2m} + \dots + r_{nm} \cdot x_{nm}) \rightarrow \max \quad (5.3)$$

или

$$F = \sum_{j=1}^n \omega_j \cdot \sum_{\substack{i=1, \\ j=1}}^{n,m} (r_{ij} \cdot x_{ij}) \rightarrow \max, \quad (5.4)$$

где  $F$  – целевая функция, безразмерная величина, измеряемая в долях единицы;  
 $x_{ij}$  – применение  $i$ -го инструмента ЗЛ в  $j$ -ом элементе ЛЦГ,  $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ;

$r_{ij}$  – ранг (вес)  $i$ -го инструмента ЗЛ в  $j$ -ом элементе ЛЦГ, безразмерная величина, измеряемая в долях единицы;

$\omega_j$  – значимость  $j$ -го элемента ЛЦГ, безразмерная величина, измеряемая в долях единицы,  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$n$  – количество инструментов ЗЛ, в рассматриваемой модели  $n=105$ ;

$m$  – количество элементов ЛЦГ, в рассматриваемой модели  $m=6$ .

Система ограничений модели включает в себя следующие условия:

- применение  $i$ -го инструмента ЗЛ в  $j$ -ом элементе ЛЦГ определяется бинарным числом:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й инструмент применяется;} \\ 0, & \text{если } i\text{-й инструмент не применяется} \end{cases} \quad (5.5)$$

- суммарный фактический расход  $k$ -го вида логистического ресурса, используемого для реализации инструментов ЗЛ, не превышает имеющегося запаса  $k$ -го вида логистического ресурса:

$$a_{11}^k x_{11} + a_{21}^k x_{21} + \dots + a_{nm}^k x_{nm} = b_k, \quad (5.6)$$

где  $a_{nm}^k$  – расход  $k$ -го вида логистического ресурса для реализации  $i$ -го инструмента в  $j$ -ом элементе ЛЦГ, усл. ед./инструмент;

$b_k$  – запас  $k$ -го вида логистического ресурса, усл. ед.;  $k=1, 2, \dots, p$ ;

$p$  – количество видов логистических ресурсов,  $p=4$ .

Решение приведённой математической модели требует определения значений следующих параметров моделируемого процесса:

- ранг (вес)  $i$ -го инструмента ЗЛ, реализуемого в  $j$ -ом элементе ЛЦГ ( $r_{ij}$ ). Значение веса  $i$ -го инструмента определяется в результате использования MCDM методов и разработанной комбинированной MCDM модели ранжирования методов и инструментов ЗЛ в ЛЦГ (см. гл. 5.3).

- значимость  $j$ -го элемента ЛЦГ ( $\omega_j$ ). Значение значимости  $j$ -го элемента определяется с использованием MCDM методов и разработанной комбинированной MCDM модели оценки элементов ЛЦГ (см. гл. 5.1).

- расход  $k$ -го вида логистического ресурса для реализации  $i$ -го инструмента в  $j$ -ом элементе ЛЦГ ( $a_{nm}^k$ ). Значение данного параметра устанавливается исходя из долевого распределения ( $\tau_k$ ), приходящегося на каждый вид логистических ресурсов (табл. 5. 20): материальный ( $\tau_1$ ), финансовый ( $\tau_2$ ), информационный ( $\tau_3$ ) и услуг ( $\tau_4$ ), необходимого для реализации  $i$ -го инструмента ЗЛ, при соблюдении условия  $\sum_{k=1}^4 \tau_k = 1$ . Значение расхода  $k$ -го вида логистического ресурса определяется в соответствии с установленными нормативными значениями расходования ресурсов, аналитическими расчётами или экспертными методами.

- запас  $k$ -го вида логистического ресурса ( $b_k$ ). Значение соответствует величине финансирования применения инструментов ЗЛ в рамках реализации стратегии устойчивого развития в логистической цепи грузопотоков.

Для практической реализации разработанной математической модели предложен алгоритм выбора комбинации инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ (рис. 5.13).

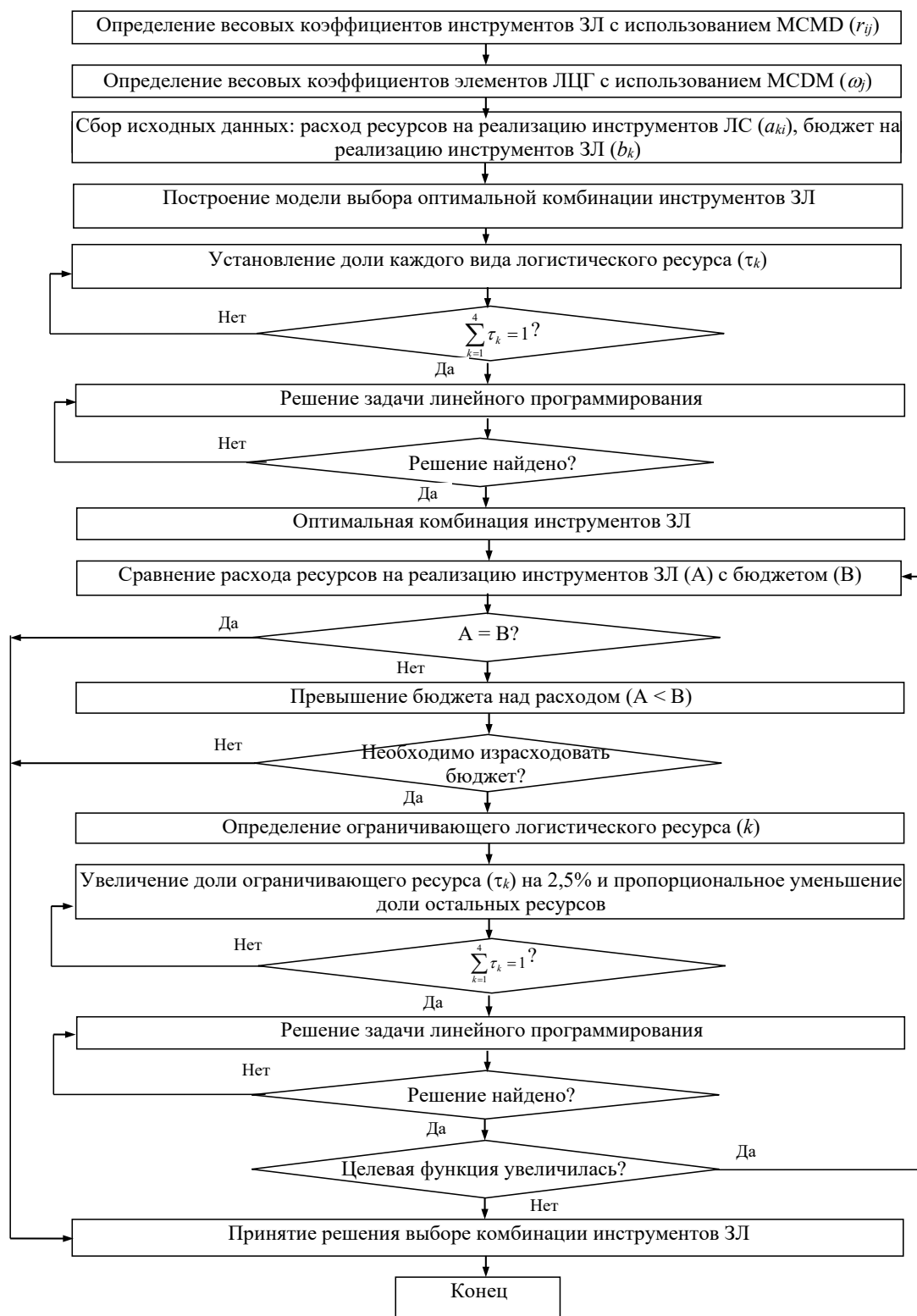


Рисунок 5.13 – Укрупненный алгоритм методики выбора комбинации инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ

Разработанная математическая модель была использована для выбора комбинации инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ. Исходными данными для моделирования являлись:

- значение весовых коэффициентов инструментов «зелёной» логистики приняты по результатам расчётов MCDM-модели, представленной в параграфе 5.2 и метода MARCOS (Приложение 4);
- значение весовых коэффициентов элементов ЛЦГ приняты по результатам счётов MCDM-модели, представленной в параграфе 5.1 и метода DEMATEL (рис. 5.6);
- расход каждого вида логистического ресурса ( $a_{nm}^k$ ) для реализации каждого инструмента в элементе ЛЦГ определён на основе экспертной оценки (рис. 5.14);
- запас каждого вида логистического ресурса ( $b_k$ ) установлен на основе долевого распределения всех запасов в соотношении 1:2:3:4 (табл. 5.21).

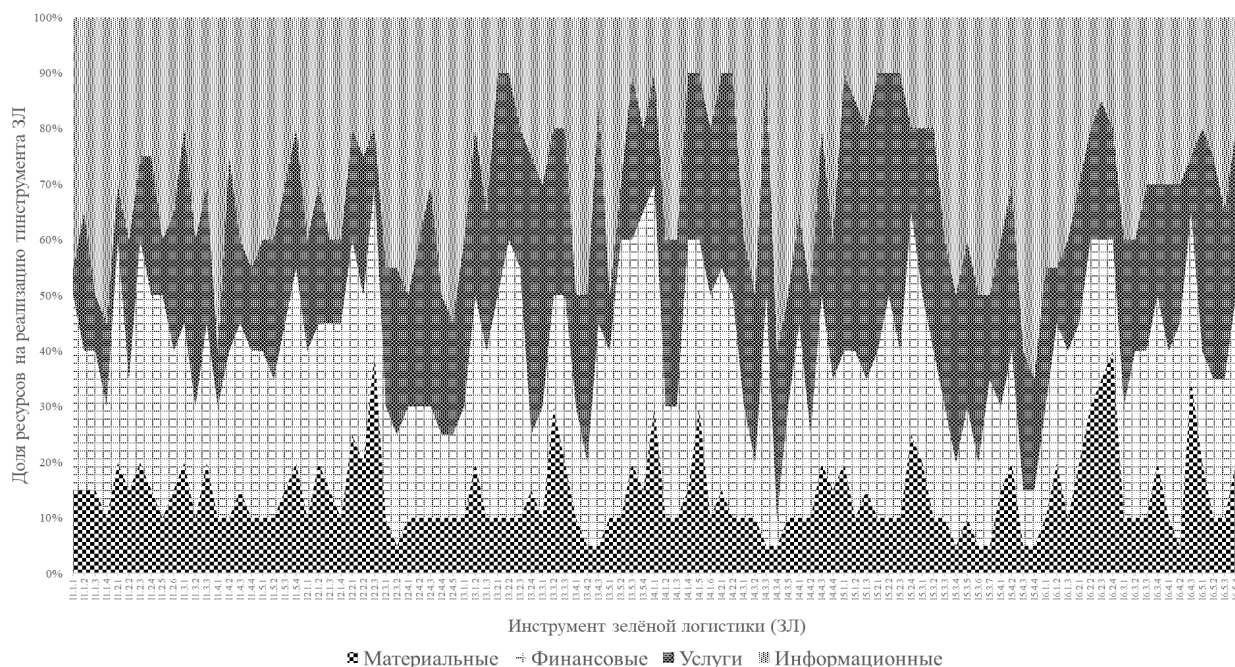


Рис. 5.14. Долевое распределение расхода логистических ресурсов для реализации инструментов «зелёной» логистики

Таблица 5.21 – Долевое распределение запаса логистических ресурсов для реализации инструментов «зелёной» логистики

№ экспери-мента	Материальный	Финансовый	Услуги	Информационный
экс.1	0,1	0,2	0,3	0,4
экс.2	0,1	0,3	0,4	0,2
экс.3	0,1	0,4	0,2	0,3
экс.4	0,1	0,4	0,3	0,2
экс.5	0,1	0,2	0,4	0,3
экс.6	0,1	0,3	0,2	0,4
экс.7	0,2	0,1	0,3	0,4
экс.8	0,2	0,1	0,4	0,3
экс.9	0,2	0,3	0,4	0,1
экс.10	0,2	0,3	0,1	0,4
экс.11	0,2	0,4	0,1	0,3
экс.12	0,2	0,4	0,3	0,1
экс.13	0,3	0,2	0,1	0,4
экс.14	0,3	0,2	0,4	0,1
экс.15	0,3	0,1	0,2	0,4
экс.16	0,3	0,1	0,4	0,2
экс.17	0,3	0,4	0,1	0,2
экс.18	0,3	0,4	0,2	0,1
экс.19	0,4	0,1	0,2	0,3
экс.20	0,4	0,1	0,3	0,2
экс.21	0,4	0,2	0,1	0,3
экс.22	0,4	0,2	0,3	0,1
экс.23	0,4	0,3	0,2	0,1
экс.24	0,4	0,3	0,1	0,2

Решение задачи линейного программирования для всех 24 вариантов распределения запасов логистических ресурсов позволили определить оптимальную комбинацию инструментов «зелёной» логистики и достигаемый эффект от их применения. Однако, по результатам выполнения всех 24 экспериментов наблюдается неполное расходование запасов ресурсов, т.е. превышение бюджета на реализацию инструментов «зелёной» логистики над расходом на их реализацию. В качестве примера в таблице 5.22 представлены результаты расчётов для эксперимента №1, остальные результаты представлены в приложении Ж.



Таблица 5.22 – Результаты решения задачи линейного программирования поиска оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики

Оптимальная комбинация ИЗЛ	Число ИЗЛ	Эффект от применения ИЗЛ	Запас / расход логистического ресурса на реализацию ИЗЛ				Суммарный резерв ресурсов
			Матер.	Финанс.	Услуг	Инфо.	
И1.1.4, И1.5.2, И2.3.2, И3.2.1, И3.2.3, И3.4.1, И3.4.2, И3.4.3, И4.3.3, И4.3.4, И4.4.1, И5.2.1, И5.3.4, И5.3.6, И5.3.7, И5.4.3, И5.4.4, И6.1.1, И6.3.1, И6.4.2	20	2,113	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2768
			0,10	0,18	0,2070	0,2362	

При необходимости расходования бюджета на реализацию инструментов «зелёной» логистики выполняется поиск ограничивающего ресурса и выполнение экспериментов с условием увеличения доли ограничивающего ресурса на 2,5% и пропорциональном уменьшении доли остальных на 2,5%. В результате выполнения 288 экспериментов и определены оптимальные комбинации инструментов при максимальном значении эффекта от их реализации (табл. 5.23).

Анализ табл. 5.23 показывает, что максимальное значение целевой функции получено при выполнении эксперимента №6 с эффектом от реализации, равным 2,966. Оптимальная комбинация инструментов «зелёной» логистики будет включать 28 инструментов: управляющий элемент – И1.1.3, И1.1.4, И1.2.2, И1.5.2, И1.5.3, И1.5.4; перерабатывающий элемент – И3.4.1, И3.4.2, И3.4.3; накопительный элемент – И4.1.2, И4.1.2, И4.3.1, И4.3.3, И4.3.4, И4.4.1, И4.4.4; транспортный элемент – И5.1.2, И5.2.1, И5.3.4, И5.3.6, И5.3.7, И5.4.1, И5.4.3, И5.4.4; выходной элемент – И6.1.1, И6.3.1, И6.4.2.

Результаты экспериментов показывают, что перераспределение доли логистических запасов на реализацию инструментов «зелёной» логистики в пределах 7,5-15% позволяет достигнуть максимального эффекта от реализации инструментов в ЛЦГ (рис. 5.15).

Таблица 5.23 – Результаты поиска максимального эффекта от реализации оптимальной комбинации инструментов ЗЛ

Экспери- мент	экс.60 (0%)	экс.61 (2,5%)	экс.62 (5%)	экс.63 (7,5%)	экс.64 (10%)	экс.65 (12,5%)	экс.66 (15%)	экс.67 (17,5%)	экс.68 (20%)	экс.69 (22,5%)	экс.610 (25%)	экс.611 (27,5%)	экс.612 (30%)	Макс
экс.1	2,1133	2,4788	2,6976	<b>2,8505</b>	2,8460	2,7463	2,6318	2,5125	2,3922	2,2714	2,1481	2,0239	1,8991	2,8505
экс.2	2,0913	2,4632	2,7483	2,8789	<b>2,9242</b>	2,8889	2,6318	2,2714	1,8991	1,5148	1,1075	0,6760	0,0000	2,9242
экс.3	2,1130	2,4856	2,7169	2,8768	<b>2,9010</b>	2,8319	2,6720	2,4342	2,1202	1,7807	1,3894	0,8752	0,0000	2,9010
экс.4	2,0913	2,4630	2,7169	2,8813	<b>2,9503</b>	2,9180	2,7370	2,4156	2,0829	1,7290	1,3332	0,7888	0,0000	2,9503
экс.5	2,1133	2,4788	2,6083	<b>2,6569</b>	2,6378	2,5734	2,4813	2,3756	2,2690	2,1612	2,0529	1,9440	1,8337	2,6569
экс.6	2,1130	2,4861	2,8377	<b>2,9656</b>	2,9242	2,7599	2,4813	2,1612	1,8337	1,4743	1,0990	0,6760	0,0000	2,9656
экс.7	1,8991	2,2715	2,6309	2,8505	2,9013	<b>2,9132</b>	2,8377	2,7262	2,6081	2,4861	2,3631	2,2386	2,1130	2,9132
экс.8	1,8991	2,2693	2,5393	2,6569	2,7171	2,7482	<b>2,7483</b>	2,6937	2,5820	2,4632	2,3420	2,2176	2,0913	2,7483
экс.9	2,3524	2,5932	2,6720	<b>2,7095</b>	2,7025	2,6147	2,4800	2,2582	1,8991	1,5148	1,1075	0,6760	0,0000	2,7095
экс.10	2,1258	2,4788	2,7370	<b>2,8422</b>	2,7973	2,6902	2,4800	2,1612	1,8337	1,4743	1,0990	0,6760	0,0000	2,8422
экс.11	2,1258	2,4712	2,6666	2,7916	<b>2,8016</b>	2,7372	2,6247	2,4343	2,1202	1,7807	1,3894	0,8752	0,0000	2,8016
экс.12	2,3524	2,6056	2,7379	2,8009	<b>2,8016</b>	2,7722	2,6633	2,4155	2,0829	1,7290	1,3332	0,7888	0,0000	2,8016
экс.13	2,0829	2,4156	2,7370	2,9180	<b>2,9503</b>	2,8813	2,7169	2,4630	2,0913	1,6997	1,2846	0,7396	0,0000	2,9503
экс.14	2,1202	2,4342	2,6720	2,8319	<b>2,9010</b>	2,8768	2,7169	2,4856	2,1130	1,7252	1,3127	0,7396	0,0000	2,9010
экс.15	1,8991	2,2310	2,4227	2,5803	2,6796	2,7263	<b>2,7370</b>	2,6967	2,5888	2,4788	2,3662	2,2468	2,1258	2,7370
экс.16	1,8337	2,1612	2,4813	2,7599	2,9242	<b>2,9656</b>	2,8377	2,4861	2,1130	1,7252	1,3127	0,7396	0,0000	2,9656
экс.17	2,0850	2,4249	2,6666	2,8464	2,9503	<b>2,9616</b>	2,8377	2,4976	2,1133	1,7252	1,3127	0,7396	0,0000	2,9616
экс.18	2,2053	2,5022	2,7379	2,8652	<b>2,9010</b>	2,8578	2,7483	2,4976	2,1133	1,7252	1,3127	0,7396	0,0000	2,9010
экс.19	1,8991	2,2260	2,3939	2,5095	2,5836	2,6313	<b>2,6633</b>	2,6418	2,5373	2,4309	2,3215	2,2047	2,0850	2,6633
экс.20	1,8337	2,1612	2,4800	2,6902	2,7973	<b>2,8422</b>	2,7370	2,4788	2,1258	1,7423	1,3332	0,7888	0,0000	2,8422
экс.21	2,0829	2,4155	2,6633	2,7722	<b>2,8016</b>	2,8009	2,7379	2,6056	2,3524	2,0008	1,5734	0,8752	0,0000	2,8016
экс.22	2,1202	2,4343	2,6247	2,7372	<b>2,8016</b>	2,7916	2,6666	2,4712	2,1258	1,7423	1,3332	0,7888	0,0000	2,8016
экс.23	2,2053	2,5012	2,6247	2,6981	<b>2,7025</b>	2,6159	2,4813	2,2593	1,8991	1,5148	1,1075	0,6760	0,0000	2,7025
экс.24	2,0850	2,4309	2,6633	2,7532	<b>2,7973</b>	2,7764	2,6318	2,2715	1,8991	1,5148	1,1075	0,6760	0,0000	2,7973

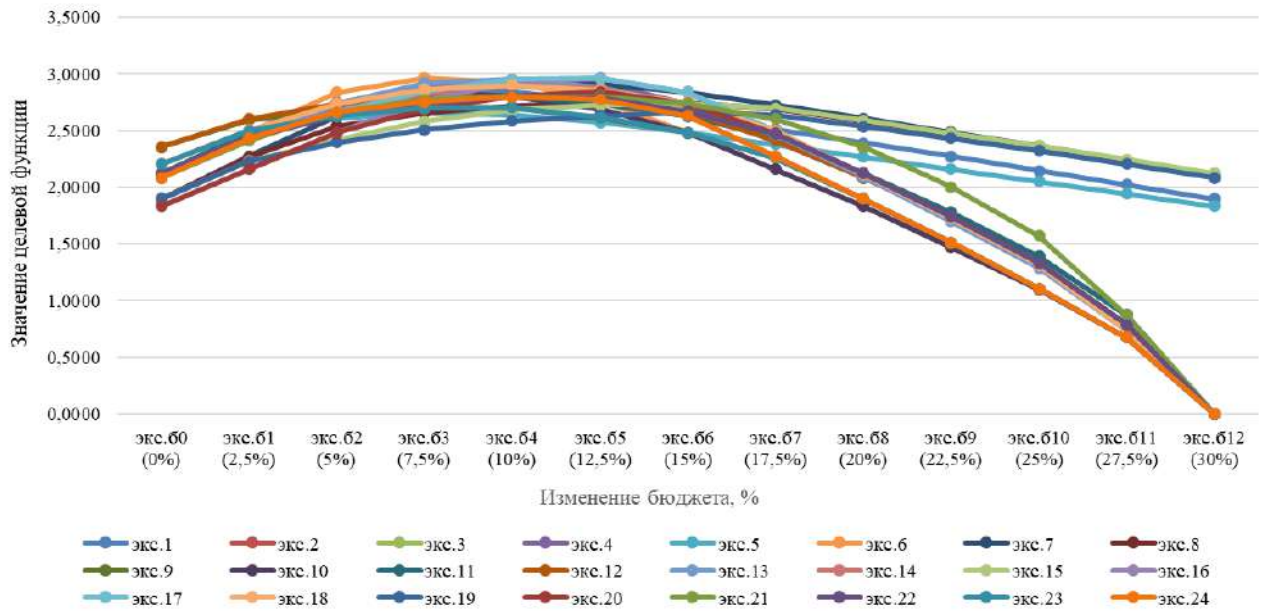


Рисунок 5.15 – Зависимость эффекта реализации инструментов «зелёной» логистики от изменения доли запаса логистических ресурсов

Таким образом, предлагаемая модель позволяет определить оптимальную комбинацию инструментов «зелёной» логистики для каждого элемента ЛЦГ. Вместе с тем принятие окончательного решения реализации конкретного инструмента осложняется двумя основными проблемами:

1. Наличие множества вариантов реализации каждого инструмента, отличающихся значениями параметров инструмента «зелёной» логистики. Например, выбор по результатам моделирования инструмента  $I_{5.2.3}$  «Увеличение грузоподъёмности транспортных средств» требует определения конкретного и целесообразного значения грузоподъёмности, при которой эффективна реализация инструмента.

2. Значения параметров инструментов, расходы и запасы ресурсов для реализации инструментов на практике представлены неточными, неопределёнными значениями или могут характеризоваться интервальными значениями. Например, грузоподъёмность до 3,5 тонн, доля бюджета 20-27% и т.д.

Из вышперечисленных условий дальнейшее решение традиционной задачи линейного программирования по выбору инструментов «зелёной» логистики затруднительно или даже невозможно. Во-первых, переменные и коэффициенты модели линейного программирования могут быть представлены

только определенными числами, однако в реальном мире их значения неопределённые и неточные. Во-вторых, решения моделей линейного программирования часто очень чувствительны даже к очень небольшим изменениям коэффициентов, что может повлиять на эффективность программирования.

Одним из эффективных методов моделирования неопределённости и неточности является использование теории серых систем, предложенной Дж. Дэнгом [240]. Такой подход обеспечивает гибкость для представления и устранения неопределённостей и неточностей, возникающих из-за недостатка знаний или неточной информации. Концепция серой системы представлена на рис. 5,26. Для описания системы используется чёрно-серо-белый цвет. Серое число – это своего рода фигура, которую можно охарактеризовать диапазоном значений и когда не известно точное значение. Это число может быть интервалом или общим числом, установленным для представления степени неопределённости информации.

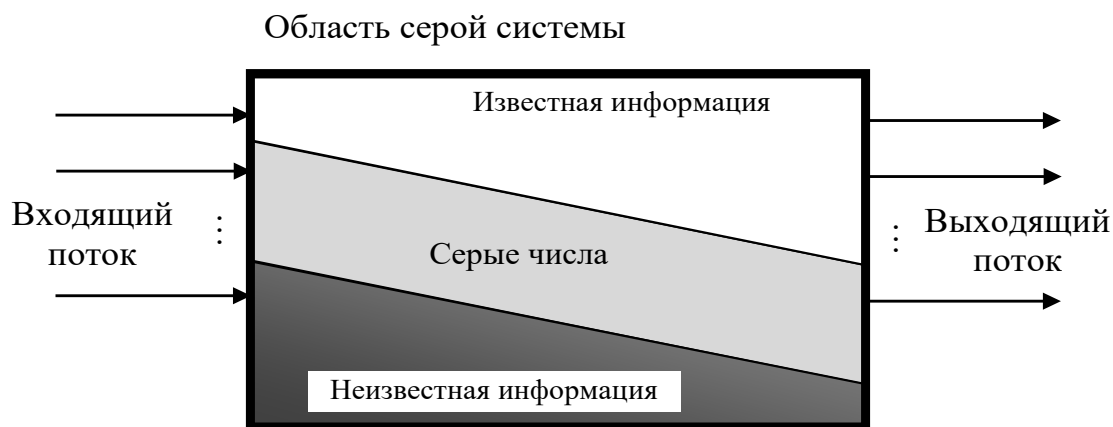


Рисунок 5.16 – Принципиальная схема серой системы

Серое число обозначается как  $\otimes G$ .

$$\otimes G = [\underline{G}, \overline{G}]. \quad (5.7)$$

где  $\underline{G}$  и  $\overline{G}$  – соответственно нижняя и верхняя граница серого числа.

Основные математические действия с двумя серыми числами  $\otimes G_1 = [\underline{G}_1, \overline{G}_1]$  и  $\otimes G_2 = [\underline{G}_2, \overline{G}_2]$  представлены в выражениях (5.8)-(5.11) [314]:

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \overline{G}_1 + \overline{G}_2], \quad (5.8)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G}_1, \overline{G}_2 - \overline{G}_1, \underline{G}_2], \quad (5.9)$$

$$\otimes G_1 \times \otimes G_2 = \left[ \min(\underline{G}_1 \underline{G}_2, \underline{G}_1 \overline{G}_2, \overline{G}_1 \underline{G}_2, \overline{G}_1 \overline{G}_2), \max(\underline{G}_1 \underline{G}_2, \underline{G}_1 \overline{G}_2, \overline{G}_1 \underline{G}_2, \overline{G}_1 \overline{G}_2) \right], \quad (5.10)$$

$$\otimes G_1 \div \otimes G_2 = [\underline{G}_1, \overline{G}_1] \times \left[ \frac{1}{\underline{G}_2}, \frac{1}{\overline{G}_2} \right]. \quad (5.11)$$

Задача линейного программирования с использованием серых чисел, называется линейным программированием серого или Грея (Grey Liner programming) [237]. Линейное программирование Грея – это подход, разработанный для принятия решений в условиях неопределённости, где и целевая функция, и ограничения имеют разные формы неопределённости, которые ведут себя в виде серой информации. Эффективность использования теории серых систем в задачах линейного программирования доказана в работах [237, 281, 314, 380].

Применение линейного программирования серого к задаче расчёта параметров инструментов «зелёной» логистики основывается на следующем допущении: целевая функция, коэффициенты при переменных, а также значения ограничений представлены серыми числами. В соответствии с формулой (5.7) каждое серое число характеризуется нижней и верхней границей.

Математическая модель расчёта параметров инструмента ЗЛ будет иметь следующий вид

$$\max, \min \otimes S = \otimes c_1 \otimes y_1 + \otimes c_2 \otimes y_2 + \dots + \otimes c_l \otimes y_l, \quad (5.12)$$

или

$$\otimes S = \sum_{l=1}^q \otimes c_l \otimes y_l \rightarrow \max, \min, \quad (5.13)$$

где  $\otimes S$  – целевая функция эффективности реализации инструмента «зелёной» логистики. Серое число целевой функции  $\otimes S \in [\underline{S}, \overline{S}]$ , где  $\underline{S}$  нижняя граница серого числа, а  $\overline{S}$  его верхняя граница;

$\otimes c_l$  – эффект от реализации  $l$ -го инструмента «зелёной» логистики, представленный серым числом,  $\otimes c_l \in [\underline{c}_l, \overline{c}_l]$ ,  $1 < l \leq q$ ;

$\otimes y_l$  – параметр  $l$ -го инструмента «зелёной» логистики, представленный серым числом,  $\otimes y_l \in [\underline{y}_l, \overline{y}_l]$ ,  $1 < l \leq q$ .

Система ограничений модели включает в себя следующие условия:

- суммарная величина использования  $k$ -го вида ресурса, необходимого на реализацию  $l$ -го инструмента ЗЛ, не должна превышать нормируемого запаса  $k$ -го вида ресурса:

$$\begin{cases} \otimes d_{11}y_1 + \otimes d_{12}y_2 + \dots + \otimes d_{1q}y_q = \otimes b_1 \\ \otimes d_{21}y_1 + \otimes d_{22}y_2 + \dots + \otimes d_{2q}y_q = \otimes b_2 \\ \otimes d_{31}y_1 + \otimes d_{32}y_2 + \dots + \otimes d_{3q}y_q = \otimes b_3 \\ \otimes d_{41}y_1 + \otimes d_{42}y_2 + \dots + \otimes d_{4q}y_q = \otimes b_4 \\ \otimes y_1, \otimes y_2, \dots, \otimes y_q \geq 0 \end{cases}, \quad (5.14)$$

где  $\otimes d_{kl}$  – расход  $k$ -го вида ресурса для реализации  $l$ -го инструмента, представленный серым числом, усл. ед.,  $\otimes d_{kl} \in [\underline{d}_{kl}, \overline{d}_{kl}]$ ;

$\otimes b_k$  – запас  $k$ -го вида ресурса, представленный серым числом, усл. ед.,  $\otimes b_k \in [\underline{b}_k, \overline{b}_k]$ ,  $k=1, 2, \dots, 4$ .

Применение метода центра и ширины [380] к решению данной задачи основано на выполнении следующих этапов:

1. Определение центра значений серых чисел параметров инструмента  $\otimes y_l$ , расхода  $\otimes d_{kl}$  и запаса  $b_k$  ресурсов.
2. Решение задачи линейного программирования для нахождения центра переменных  $\hat{c}_l$  и значения целевой функции  $\hat{s}$  серого решения.
3. Определение ширины значений параметров инструмента  $\otimes y_l$ , расхода  $\otimes d_{kl}$  и запаса  $b_k$  ресурсов.
4. Решение задачи линейного программирования для нахождения ширины переменных  $c_l^w$  и значения целевой функции  $s_w$  серого решения.
5. Определение оптимального значения параметра и эффекта от реализации инструмента в виде серых чисел, используя следующие соотношения:

$$\otimes c_l \in [\underline{c}_l, \overline{c}_l] = [\otimes \hat{c}_l - \otimes c_l^w, \otimes \hat{c}_l + \otimes c_l^w], \quad (5.15)$$

$$\otimes S \in [\underline{S}, \overline{S}] = [\otimes \hat{S} - \otimes s_w, \otimes \hat{S} + \otimes s_w]. \quad (5.16)$$

Для практической реализации разработанной математической модели предложен алгоритм расчёта параметров инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ (рис. 5.17).

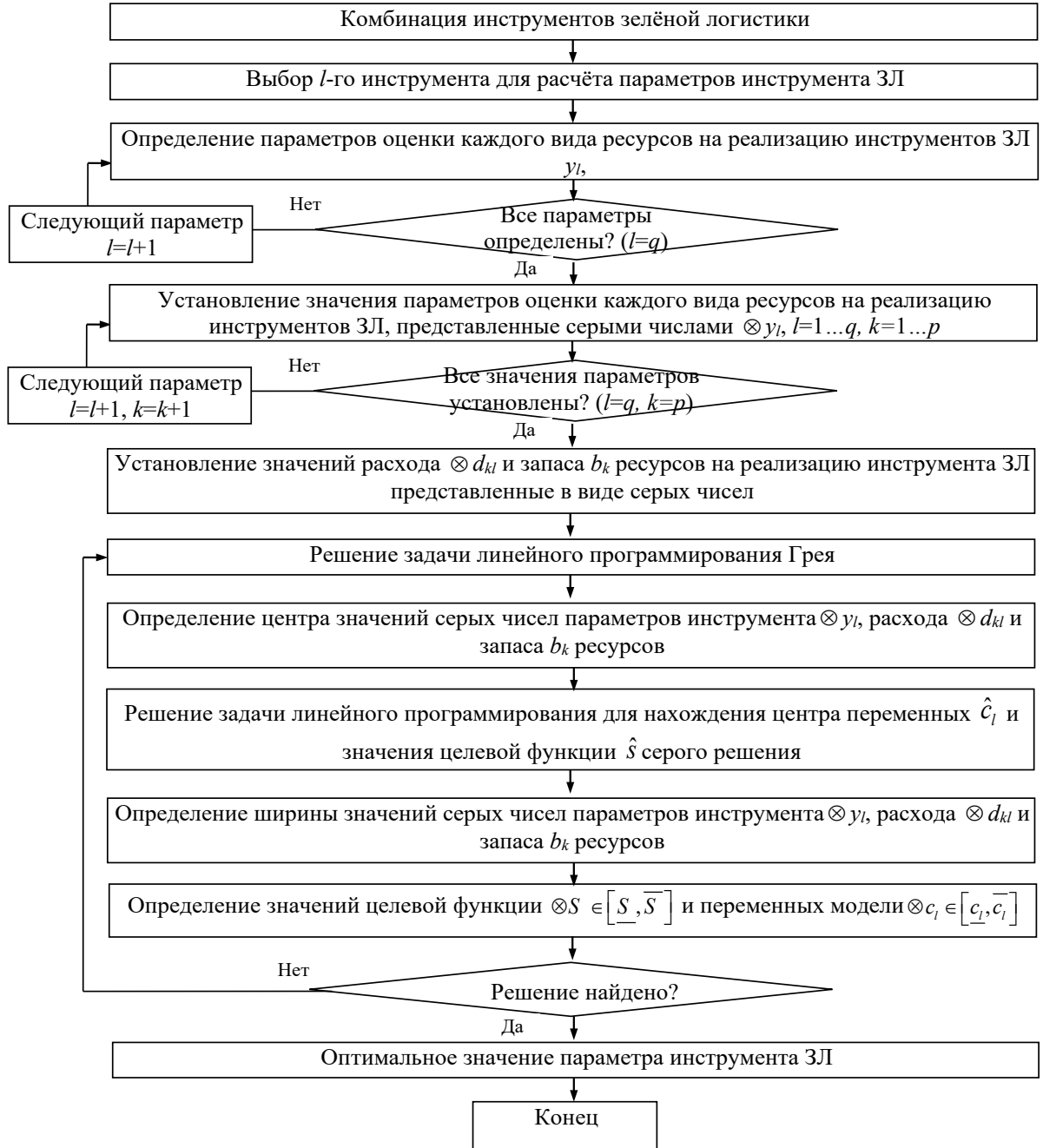


Рисунок 5.17 – Укрупненный алгоритм методики расчёта параметров инструмента «зелёной» логистики

Для автоматизированного решения модели рационально использование GAM Studio [266], LINGO 20 [312], пакеты MATLAB или Microsoft Excel.

#### **5.4 Нечёткая модель оценки устойчивости логистических цепей грузопотоков**

Система управления параметрами логистических потоков для достижения ЦУР включает комплекс разработанных многокритериальных моделей (параграфы 4.4, 5.2 и 5.3), а также нечёткую модель оценки взаимосвязи параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ. Такой выбор обусловлен тем, что нечёткая модель позволяет выявить общие взаимовлияния параметров и показателей логистических потоков, без привязки к их конкретным значениям как это показано в работах автора [176].

Описываемая нечёткая модель используется для комплексной оценки взаимосвязи показателей и параметров логистических потоков и определения устойчивости ЛЦГ. Значение комплексного показателя устойчивости ЛЦГ определяется с использованием моделей и методов теории нечётких множеств. На основе нечёткой оценки показателей, составляющих каждую группу параметров потоков (см. табл. 4.2), определяется влияние данных показателей на группу управляемых параметров ЛП ( $P_5$ ) и производится корректировка параметров для достижения целей устойчивого развития. Общая схема постановка задачи оценки взаимосвязи параметров и показателей логистических потоков ЛЦГ представлены на рис. 5.18.



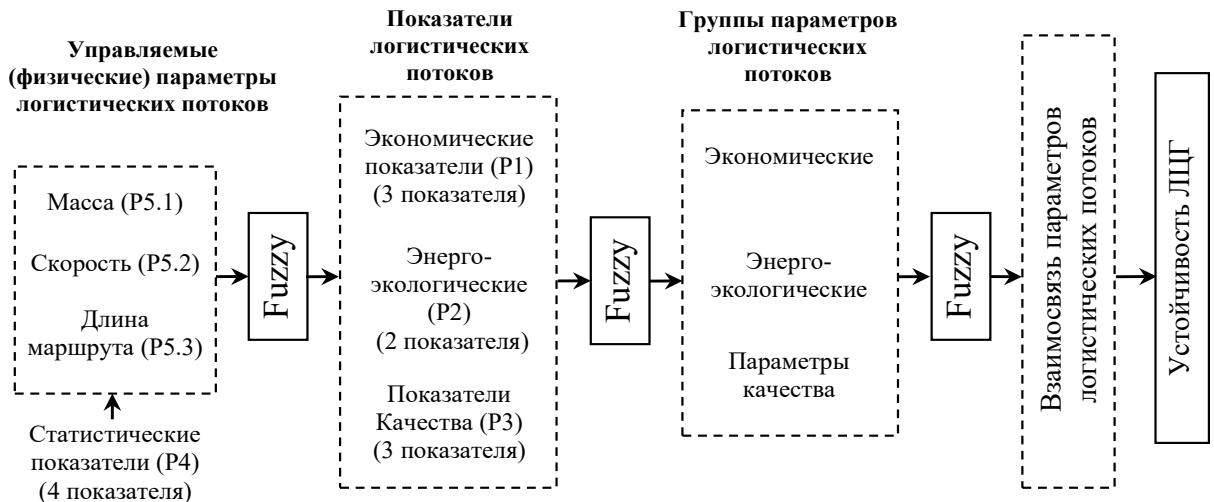


Рисунок 5.18 – Принципиальная схема нечёткой оценки взаимосвязей параметров и показателей логистических потоков ЛЦГ

На начальном этапе формируется структура предметной области нечёткой модели, для этого выполняется:

1. Определение показателей состояния ЛЦГ и установление их базовых значений, для обеспечения которых могут быть использованы нормативные требования и рекомендации. Базовые значения входящих в нечёткую модель параметров и показателей логистических потоков зависят от типа цепи поставок и транспортной системы, для которой строится конкретная нечёткая модель. В качестве примера в табл. 5.24 представлены базовые значения (диапазоны изменения значений) показателей логистических потоков для различных видов транспорта.

Таблица 5.24 – Базовые значения показателей логистических потоков для различных видов транспорта\*

Показатель	Железнодорожный	Морской	Автомобильный	Воздушный
Прибыль (P1.1)	0-100%			
Операционные расходы (P1.2)	Низкие	Низкие	Средние	Высокие
Инвестиции в основной капитал (P1.3)	Высокие	Высокие	Средние	Высокие
Энергоёмкость потока (P2.1) л/100ткм (из расчёта 1 литр бензина – 8,78 кВт-ч электроэнергии)	0,7-1,0	0,6-1,4	5,1-9,2	51-73
Объём выбросов парниковых газов (P2.2), г/ткм	31	35	104	2030

## Окончание таблицы 5.24

Показатель	Железнодорожный	Морской	Автомобильный	Воздушный
Сохранность перевозки (P3.1)	0-1,0			
Своевременность перевозки (P3.2)	0-1,0			
Кoeff. управляемости материального потока (P3.3)	0-1,0			
Кoeff. неравномерности потока (P4.1)	$\geq 1,0$			
Кoeff. сложности структуры потока (P4.2)	0-1,0			
Кoeff. дискретности потока (P4.3)	0-1,0			
Кoeff. дифференцируемости потока (P4.4)	0-1,0			
Масса потока (P5.1)				
Мелкапартионная	20 кг < m < 20 т	m < 20 т	10 кг < m < 5 т	10 – 45 кг
Крупнопартионная	до 8050 т	до 21412 TEU	До 44 т	До 130 т
Длина маршрута потока (P5.2)	Среднее – Дальнее	Короткое – Среднее	Дальнее	Дальнее
Скорость потока (P5.3)				
Техническая скорость	35-45 км/ч	25-35 км/ч	15-60 км/ч	450 км/ч
Средняя скорость доставки грузов	260-370 км/сут	235-250 км/сут	400-800 км/сут	6000 км/сут

\*Составлено на основе [315]

2. Определение количества входных и выходных лингвистических переменных, характеризующих параметры состояния ЛЦГ. Определение для каждой лингвистической переменной количества ее значений – термов.

Модель содержит три входных нечётких переменных – P5.1, P5.2 и P5.3. Значение входных переменных вносятся в модель с учётом статистических данных (P4), полученных на основе анализа работы ЛЦГ. Промежуточными нечёткими лингвистическими переменными являются группы параметров P1, P2 и P3 и соответствующие показатели P1.1, P1.2, P1.3, P2.1, P2.2, P3.1, P3.2 и P3.3. Выходной переменной модели является показатель устойчивости ЛЦГ –  $I_{SD}$  (рис. 5.19).

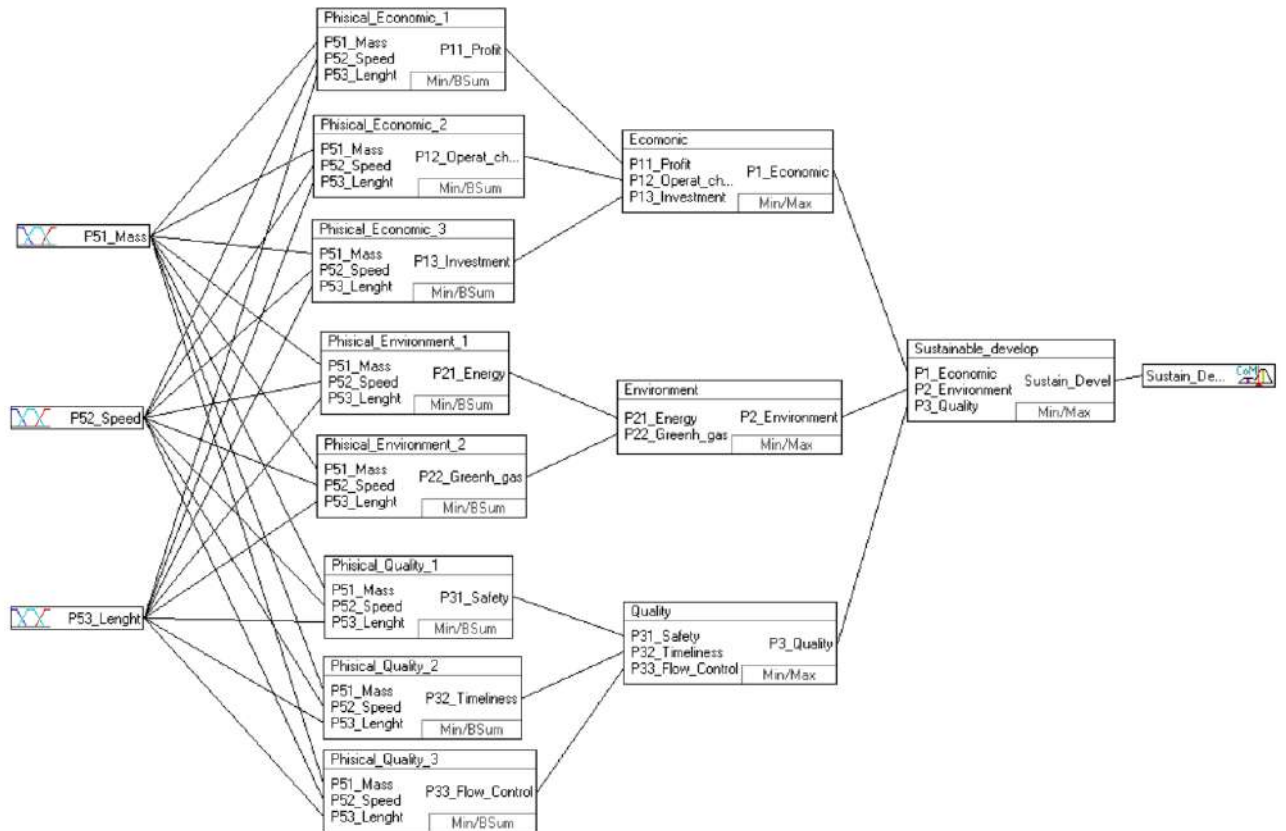


Рисунок 5.19 – Схема структуры нечёткой модели

### 3. Определение нечётких переменных и лингвистических переменных.

Нечёткая переменная представлена как кортеж

$$\langle n, Pf, F \rangle, \quad (5.17)$$

где  $O$  – имя (название) нечёткой переменной;  $Pf$  – универсум (область определения);  $F = \{p, \mu_p(Pf)\}$  – нечёткое множество на  $Pf$ , описывающее возможные значения, которые принимает переменная  $n$  [58].

Лингвистическая переменная представлена как кортеж

$$\langle l, T, Pf, G, M \rangle, \quad (5.18)$$

где  $l$  – имя лингвистической переменной;  $T$  – множество значений термов, каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной  $n$ ;  $G$  – процедура образования новых термов;  $M$  – процедура задания на области  $Pf$  нечётких переменных  $n$ , а также соответствующих нечётких множеств для термов из  $G(T)$  [16, 58].

Например, для показателя «Объём выбросов парниковых газов» (P2.2) лингвистическая переменная будет иметь следующий вид:  $l$  – «Объём выбросов парниковых газов» (*Greenh\_gas*);  $T = \{\text{«малый объём»}, \text{«средний объём»}, \text{«большой объём»}\}$ ;  $Pf = [30-2030]$ ;  $G$  – процедура образования новых термов с использованием связок «И», «ИЛИ»;  $M$  – процедура задания на области  $[30-2030]$  нечётких переменных  $n_1 = \text{«малый объём»}$ ,  $n_2 = \text{«средний объём»}$ ,  $n_3 = \text{«большой объём»}$ .

4. Выбор видов функций принадлежности для термов лингвистических переменных. Рекомендуется использовать треугольные, трапециевидальные, s-функции и z-функции, а также функции, построенные по результатам математического моделирования или на основе обобщения знаний экспертов [58].

5. Нечёткий вывод в модели реализуется на основе правил  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_s\}$  вида «если – то», формируемых с использованием лингвистических переменных. Разработанная модель содержит 306 логических правил, фрагмент описания которых в программе FuzzyTECH показан на рис. 5.20 [109].

Name	IF	And	And	Operators	Then	With	Comment	Audit	GUID
B1.G1	P51_Mass:0	P52_Speed:0	P53_Length:0	Min/BSum	P33_Flow_Control: [0,100]	DoS [1%]			05642957-709A-4AC3-AA66-4F31E25AF10F
B1.G1.R1	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			8957870F-182C-4723-9D56-54C86C3A4238
B1.G1.R2	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.High	100			D3250A07-AFE4-450F-BD08-1A780828100F
B1.G1.R3	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.High	100			0CA47E67-709A-4D3F-B392-BC3C557840FD
B1.G1.R4	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			74EFD13E-EF93-4B54-AFC2-886226802DE1
B1.G1.R5	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			60A20354-7F70-4AC9-9D1C-89967323806
B1.G1.R6	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			31D36D77-C83F-4086-8ECC-A0CB10768088
B1.G1.R7	P51_Mass.Low	P52_Speed.High	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			69E7890C-8E0E-4C2D-A10E-6F78125A4830
B1.G1.R8	P51_Mass.Low	P52_Speed.High	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.High	100			67A98894-0E92-4702-900C-0B5200027940
B1.G1.R9	P51_Mass.Low	P52_Speed.High	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			5EE0F467-104A-48FD-8864-1E36567D15EE
B1.G1.R10	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Low	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.Low	100			AF43130F-5E5F-40A8-8A1A-9F8A8279F5C2
B1.G1.R11	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Low	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			2EC3A59A-C929-419C-BCBE-0997740ACCFE
B1.G1.R12	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Low	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			7A709143-BB75-4C13-A666-F5C363A695AD
B1.G1.R13	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Medium	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			D44619C3-F4A0-4F8F-81CD-EC209B26147D
B1.G1.R14	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Medium	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			242BC95E-740D-4E64-8719-271665A81DE7
B1.G1.R15	P51_Mass.Medium	P52_Speed.Medium	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			28FA09FC-764D-4819-8719-3A8E352800C35
B1.G1.R16	P51_Mass.Medium	P52_Speed.High	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			90B8AE3E-328D-404E-8059-A3997699A141
B1.G1.R17	P51_Mass.Medium	P52_Speed.High	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.High	100			CCCE478B-0811-48D5-0892-CE067252A676
B1.G1.R18	P51_Mass.Medium	P52_Speed.High	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			C710749A-DECA-4D51-8339-8D0A6572A5E2D
B1.G1.R19	P51_Mass.High	P52_Speed.Low	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			28D7234C-69A4-4738-8316-37FD0F14701C
B1.G1.R20	P51_Mass.High	P52_Speed.Low	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Low	100			083AABDF-506A-4F78-AC68-810DF7820FF
B1.G1.R21	P51_Mass.High	P52_Speed.Low	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Low	100			406009F8-E338-4C8E-848E-54D92B43D177
B1.G1.R22	P51_Mass.High	P52_Speed.Medium	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			2A5A75F9-8E5D-4FBD-AA11-85FA906C2D32
B1.G1.R23	P51_Mass.High	P52_Speed.Medium	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Low	100			9A99075E-3110-4D0E-85D2-8D1CF58E77C2
B1.G1.R24	P51_Mass.High	P52_Speed.Medium	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Medium	100			ABAF8547-C188-4D1E-836A-877F80A8F134
B1.G1.R25	P51_Mass.High	P52_Speed.High	P53_Length.Low	=>	P33_Flow_Control.High	100			C9C40D2A-83AD-4824-A485-4AE21A833383
B1.G1.R26	P51_Mass.High	P52_Speed.High	P53_Length.Medium	=>	P33_Flow_Control.Low	100			1156DECC-8938-4656-A259-BACBCE9E9FAD
B1.G1.R27	P51_Mass.High	P52_Speed.High	P53_Length.High	=>	P33_Flow_Control.Low	100			6523C780-5462-47DA-90E2-067DAB3CD968
B2.Physical_Economic_3				Min/BSum					27A8D0E6-31D8-48FA-8285-2F40C0B3A685
B2.G1	P51_Mass:0	P52_Speed:0	P53_Length:0	Min/BSum	P13_Investment: [100,0,0]	DoS [1%]			F3D18C03-5D32-4927-8281-83FD5431CA3E
B2.G1.R1	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.Low	=>	P13_Investment.Low	100			153FC10A-4057-4C8B-8588-9848871380FF
B2.G1.R2	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.Medium	=>	P13_Investment.Low	100			88027C53-18FF-400F-9038-0AC C3571H005
B2.G1.R3	P51_Mass.Low	P52_Speed.Low	P53_Length.High	=>	P13_Investment.Medium	100			216A0882-5E1D-436F-84C1-4D15FC173477
B2.G1.R4	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.Low	=>	P13_Investment.Medium	100			8D9A0A09-4806-403E-4F00-4E3F29AC422E
B2.G1.R5	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.Medium	=>	P13_Investment.Medium	100			32BAE09F-7F41-488F-8F25-AB454F709541
B2.G1.R6	P51_Mass.Low	P52_Speed.Medium	P53_Length.High	=>	P13_Investment.Medium	100			9322A167-540C-4978-853D-1105767848F2
B2.G1.R7	P51_Mass.Low	P52_Speed.High	P53_Length.Low	=>	P13_Investment.Medium	100			8799877E-FAF9-40C8-913E-F41F4F6F2ABD
B2.G1.R8	P51_Mass.Low	P52_Speed.High	P53_Length.Medium	=>	P13_Investment.Medium	100			20B2968A-618C-4F3C-9938-21EFD42A48F2

Рисунок 5.20 – Фрагмент листа нечётких правил

6. Значение показателя устойчивости определяется:

$$I_{SD} = \{ \langle p_1, p_2, \dots, p_k \rangle, \mu_I(\langle p_1, p_2, \dots, p_k \rangle) \} , \quad (5.19)$$

$$\mu_I : P_1 \times P_2 \times \dots \times P_k \rightarrow [0, 1] , \quad p_1 \in P_1, p_2 \in P_2, \dots, p_k \in P_k , \quad (5.20)$$

где  $I_{SD}$  – показатель устойчивости ЛЦГ, представленный в виде нечёткого отношения, заданного на нечётких подмножествах  $P_1, P_2, \dots, P_k$ ;  $\mu_I(\langle p_1, p_2, \dots, p_k \rangle)$  – функция принадлежности нечёткого отношения, отражающая степень принадлежности показателя  $p_k$  подмножеству  $P_k$ , значение которой находится в интервале  $[0, 1]$ .

В качестве программного обеспечения реализации разработанной нечёткой модели взаимосвязи параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ выбрана FuzzyTECH [58]. Выбор программы FuzzyTECH обусловлен наличием в ней, помимо стандартных для такой группы программ функций нечёткого вывода, дополнительных функций генерации программного кода реализации системы нечёткого вывода на одном из языков программирования. Полученные листинги программного кода могут быть откомпилированы в рамках других вычислительных платформ. Данная функция важна для развития разработанной системы управления ЛЦГ путём интеграции системы нечёткого вывода в имитационную модель логистических потоков [87, 411]. Предполагается, что такая интеграция позволит автоматизировать процесс обучения и корректировки нечёткой модели при изменениях в управляемой ЛЦГ, а также будет способствовать повышению точности системы нечёткого вывода [109].

## 5.5 Методология устойчивого развития логистических цепей грузопотоков

В диссертационной работе разработан новый подход к формированию и управлению логистическими цепями грузопотоков, основанный на реализации принципов и инструментов «зелёной» логистики для достижения целей устойчивого развития.

Методологической основой разработанного подхода являются:

- структурно-функциональный анализ – используется для формирования структуры ЛЦГ; выделения у элементов ЛГЦ ключевых, базисных и поддерживающих функций; выделения уровней управления ЛЦГ;
- системный анализ – используется для систематизации и анализа факторов устойчивого развития ЛЦГ; систематизации принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики; обоснования и систематизации параметров и показателей логистических потоков;
- методы математической статистики – используются для оценки состояния ЛЦГ; анализа параметров и показателей логистических потоков; анализа экспериментальных данных MCDM и математического моделирования;
- многокритериальные методы принятия решений – используются для многокритериального анализа элементов ЛЦГ, параметров и показателей логистических потоков и определения их веса; ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики; сортировке и выборе управленческих решений по устойчивому развитию ЛЦГ;
- методы математического моделирования – используются для выбора оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики; расчёте оптимальных параметров инструментов «зелёной» логистики;
- методы экспертных оценок – используются как элементы MCDM для оценки элементов ЛЦГ, параметров и показателей логистических потоков, методов и инструментов «зелёной» логистики, а также принятия решений по устойчивому развитию ЛЦГ;
- методы теорий нечётких множеств и теории серых систем – используются при формировании многокритериальных моделей и математических моделей; интегральной оценки взаимосвязей параметров и показателей логистических потоков; комплексной оценки устойчивости ЛЦГ.

Принципиальная схема формирования и управления ЛЦГ для достижения ЦУР с использованием принципов и инструментов «зелёной» логистики представлена на рис. 5.21. Она включает шесть взаимосвязанных блоков:

Блок I. Цели устойчивого развития ЛЦГ – это система экономических (G1), экологических (G2) и социальных (G3) целей, положенных в основу формирования и развития логистических цепей грузопотоков. Конкретность целей и контроль за их достижением зависит от уровня управления ЛЦГ. На микроуровне – обеспечение выполнения основных и вспомогательных логистических процессов элементов ЛЦГ; на мезоуровне – обеспечение организационных связей и координация взаимодействия между микрологистическими системами в пределах ЛЦГ; на макроуровне – формирование целей, стратегий и задач устойчивого развития ЛЦГ и интеграция логистических цепей в логистические сети, формируемые на национальном и международном рынке.

Блок II. Логистическая цепь грузопотоков – фрагмент глобальной логистической системы, представляющий собой линейно упорядоченную совокупность логистических элементов вдоль материального потока. Каждый из элементов ЛЦГ (входной (E2), перерабатывающий (E3), накопительный (E4), транспортный (E5) и выходной (E6) элементы) и управляющий элемент (E1), выполняя определенные операции и функции должен ориентироваться на достижение общих целей логистической системы – экономических, технологических, социальных и экологических. Объектами управления ЛЦГ являются материальный (F1), финансовый (F2), информационные (F3) потоки и поток услуг (F4).

Блок III. Принципы «зелёной» логистики – это система «зелёных» правил формирования и управления логистическими цепями грузопотоков для достижения целей устойчивого развития, основанная на синтезе принципов устойчивого развития и логистических принципов. Данная система правил является основой устойчивости ЛЦГ и включает 19 принципов, обеспечивающих общесистемную, экономическую, социальную и экологическую устойчивость ЛЦГ.

Блок IV. Методы и инструменты «зелёной» логистики – система «зелёных» решений по достижению целей устойчивого развития ЛЦГ. Методы «зелёной» логистики – это решения, обеспечивающие выполнение базисных и поддерживающих логистических функций всех элементов логистической системы по достижению ЦУР. Инструменты «зелёной» логистики – это специфические спо-

собы воздействия на элементы и потоки логистической системы с целью изменения их параметров в соответствии с ЦУР. Система включает 27 методов ( $M_{1.1} \dots M_{6.4}$ ) и 105 инструментов «зелёной» логистики ( $I_{1.1.1} \dots I_{6.5.4}$ ).

Блок V. Параметры и показатели логистических потоков – система критериев комплексной оценки логистических потоков на соответствие ЦУР. Включает пять групп параметров: экономические (P1), энерго-экологические (P2), качества (P3), статистические (P4) и управляемые (физические) параметры потока (P5), а также пятнадцать показателей, уточняющих данные группы.

Блок VI. Модели и методы принятия решений – комплекс многокритериальных методов и математических моделей, используемый для управления ЛЦГ на основе анализа элементов ЛЦГ, оценки параметров и показателей логистических потоков, ранжированию и выбору методов (инструментов) «зелёной» логистики и принятия решений по их реализации в ЛЦГ. В состав данного комплекса входят следующие методы и модели:

- многокритериальные Crisp-DEMATEL, Fuzzy-DEMATEL и Grey-DEMATEL модели определения весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков;
- многокритериальная DEMATEL-модель оценки элементов ЛЦГ и STEEP BWM-IRN SAW модель ранжирования управленческих решений в стратегии развития ЛЦГ;
- комбинированная MCDM модель ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики, основанная на использовании методов SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, VIKOR, MOORA, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, CoCoSo и MARCOS;
- математическая модель выбора комбинации инструментов «зелёной» логистики и расчёта параметров инструментов, основанная на использовании задачи линейного программирования Грея;
- нечёткая модель комплексной оценки взаимосвязей параметров и показателей логистических потоков и определения устойчивости ЛЦГ, построенная в программе FuzzyTECH.



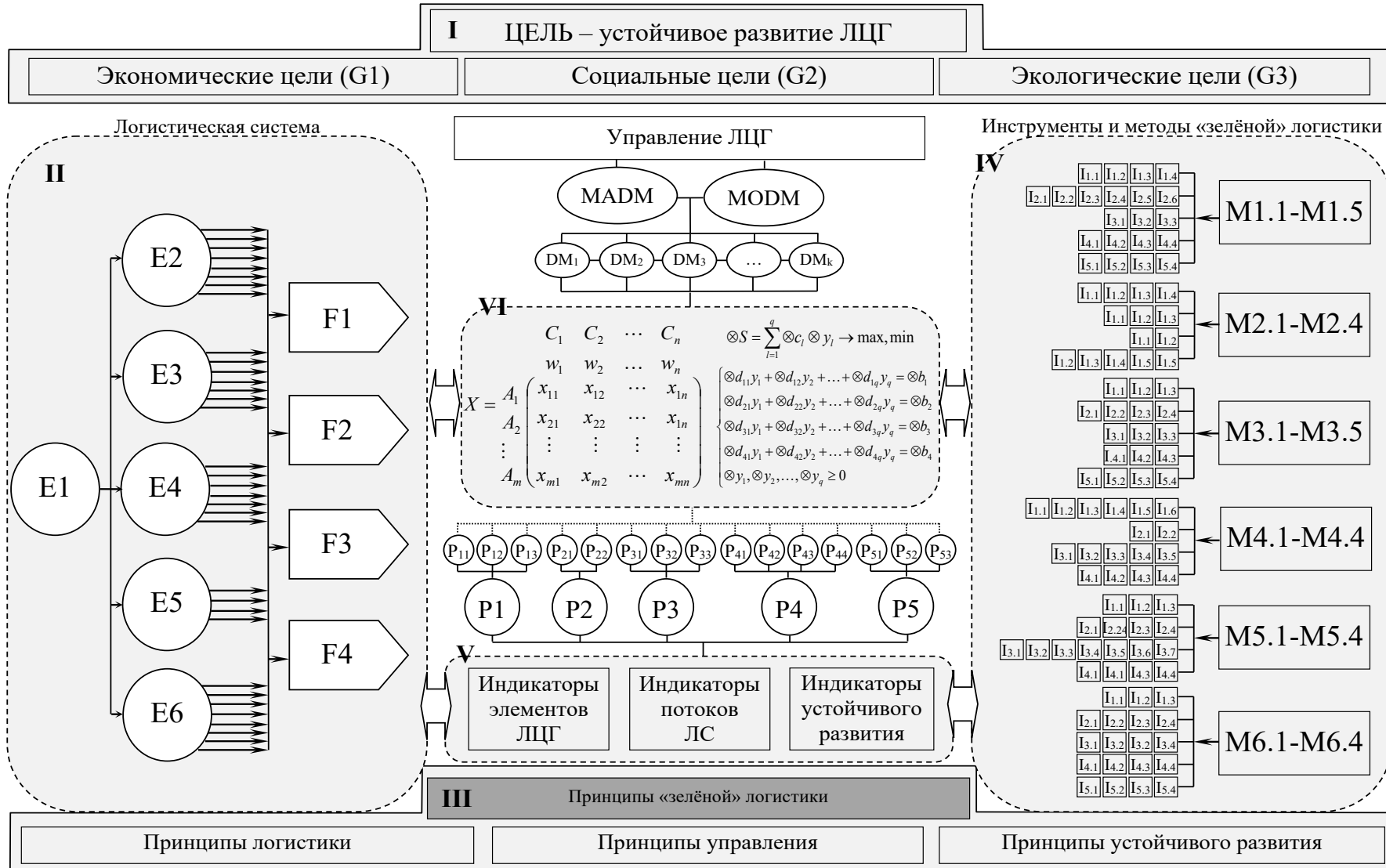


Рис. 5.21. Принципиальная схема методологических основ формирования и управления устойчивыми ЛЦГ

Оценка экономической эффективности реализации методов и инструментов «зелёной» логистики в логистических цепях грузопотоков основывается на учёте трех видов эффектов: экономическом, социальном и экологическом (природоохранном).

Экономический эффект – сопоставление затрат на осуществление природоохранных мероприятий с экономическим результатом, достигнутым благодаря этим мероприятиям. Эффект определяется как экономия финансовых ресурсов, в результате достижения установленных значений показателей, связанных с сокращением уровня запасов, уменьшением оборотных средств, сокращением потерь грузов, ускорением оборота подвижного состава и др. [48]. Способы оценки экономической эффективности представлены в [48, 60, 152].

Социальный эффект – часть экономической эффективности, показывающая результативность затрат, связанных с экологической нормализацией условий труда и жизни человека. Он учитывает снижение заболеваемости населения; повышение производительности труда; улучшение условий труда и отдыха; снижение расходов на лечение, выплаты по больничным листам из ФСС; снижение потерь от непроедённой продукции и услуг и др. Социальный эффект трудно поддается стоимостной оценке, вместе с тем, существуют методики оценки социального эффекта при реализации природоохранных инициатив, с которыми можно ознакомиться в работах [19, 34, 133].

Экологический эффект – связь между достигнутым экологическим результатом и использованными ресурсами (ГОСТ Р 14.12-2006). Для оценки экологического эффекта могут быть использованы такие показатели ущербобёмность, землеёмкость, ресурсоёмкость, ресурсоотдача, энергоёмкость, объём выбросов или сбросов в окружающую среду и др. [34]. Оценка экологического эффекта от природоохранных мероприятий представлена в [19, 31, 34].

Необходимо различать уровни подхода к установлению эффективности природоохранных мероприятий в зависимости от вида логистических систем (см. рис. 3.17). На международном, макро и мезо уровне формирования логистических систем учитывается снижение ущерба, наносимого окружающей

среде (растительному и животному миру, атмосфере, водным бассейнам, почве, ландшафту и недрам) в глобальном масштабе при учёте всей совокупности результатов воздействия на природу. Если оценка экологической эффективности рассматривается в отношении элементов логистической системы (микроуровень), то результатом является анализ уменьшения платы и штрафов за загрязнение окружающей среды и пользование природными ресурсами; снижение налогов, как следствие проведения природоохранных мероприятий и др.

### **Выводы по главе 5**

1. Разработана многокритериальная модель оценки элементов ЛЦГ при формировании стратегии устойчивого развития ЛЦГ. Модель основана на использовании комбинации многокритериальных методов DEMATEL, BWM–SAW в сочетании с приближительными интервальными числами и STEEP анализом. Результатом использования модели являются ранжирование управленческих решений (оптимизационных, конструктивных, изменение принципов или изменение системы) для всех элементов ЛЦГ под влиянием STEEP факторов (социальных, технологических, экономических, экологических и политических).

2. Разработана комбинированная MCDM модель ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ с учётом их влияния на параметры и показатели логистических потоков и достижения целей устойчивого развития ЛЦГ. Ранжирование методов и инструментов «зелёной» логистики основано на комплексном использовании многокритериальных моделей принятия управленческих решений. Результаты использования четырнадцати различных MCDM моделей показали высокую согласованность (ранговый коэффициент Спирмена в среднем составил 0,689-0,919). Наиболее согласованными являются методы WASPAS, MABAC, MARCOS, MAIRCA, SAW и COPRAS. Наименее согласованными являются методы CoCoSo, PROMETHEE, VIKOR и CODAS.

3. Разработана математическая модель определения оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики для их применения элементами логистической цепи грузопотоков с учётом имеющихся материальных, финансовых, информационных ресурсов и ресурсов услуг. Окончательное решение по реализации конкретного инструмента «зелёной» логистики и определение его оптимальных параметров выполняется с использованием разработанной математической модели линейного программирования Грея. Применение теории серых систем в процессе моделирования позволяет представлять целевую функцию, коэффициенты при переменных, а также значения ограничений серыми числами. Это обеспечивает гибкость, повышает надёжность и точность оценки в условиях недостатка знаний о моделируемых объектах или неточной информации.

4. Результаты экспериментов на разработанной модели позволили установить зависимость повышения эффекта использования инструментов «зелёной» логистики от изменения доли запаса логистических ресурсов. Перераспределение доли логистических запасов на реализацию инструментов в пределах 7,5-15% позволяет достигнуть максимального эффекта от реализации инструментов в ЛЦГ.

5. Для практической реализации математических моделей предложены алгоритм выбора комбинации инструментов «зелёной» логистики и алгоритм расчёта параметров инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ. Результаты использования алгоритмов позволяют определить оптимальное значение параметров инструментов «зелёной» логистики, используя расход ресурсов на реализацию инструментов и имеющиеся запасы ресурсов в виде серых чисел.

6. Разработана нечёткая модель комплексной оценки взаимосвязей параметров и показателей логистических потоков и определения устойчивости ЛЦГ. Значение показателя устойчивости ЛЦГ определяется как отношение нечётких переменных заданного на нечётких подмножествах параметров и показателей логистических потоков.

7. Разработана методология устойчивого развития логистических цепей грузопотоков. Теоретико-методологической основой является система принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики, комплекс математических моделей и многокритериальных методов принятия решений по управлению параметрами и показателями логистических потоков для достижения целей устойчивого развития в ЛЦГ.

## **6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРУЗОПОТОКОВ**

### **6.1 Методика управления параметрами логистических потоков**

Множество разновидностей цепей поставок делает актуальной задачу построения универсальной системы управления параметрами логистических потоков, которая учитывает специфику элементов ЛЦГ. Управление основано на мониторинге фактических значений параметров и показателей логистических потоков с последующим выбором и реализацией инструментов «зелёной» логистики с целью обеспечения устойчивости ЛЦГ, то есть соответствия показателей их формирования и эксплуатации ЦУР. Результатом реализации любого инструмента «зелёной» логистики является изменение определённого сочетания управляемых параметров логистических потоков ЛЦГ.

Методика управления параметрами логистических потоков в ЛЦГ для достижения целей устойчивого развития включает шесть основных этапов.

1. *Формализованное представление конкретной логистической цепи грузопотоков.* Основной задачей данного этапа является комплексная оценка и анализ состояния элементов ЛЦГ, целей и функций, которые они выполняют, а также логистических операций по воздействию на логистические потоки. Данную оценку целесообразно выполнять с использованием разработанной многокритериальной модели, описание которой представлено в параграфе 5.1. На основе полученных результатов определяется какие типы управленческих решений (оперативные, тактические или стратегические) наиболее эффективны к реализации в элементах ЛЦГ.

2. *Обоснование критериев оценки логистической цепи грузопотоков на соответствие целям устойчивого развития и определение их веса.* Такими критериями для ЛЦГ являются разработанная система параметров и показатели логистических потоков, описание которой представлено в параграфе 4.2. Вместе с

тем, оценка отдельных элементов цепей поставок, логистических функций или управленческих решений на тактическом или стратегических уровнях может осуществляться с использованием дополнительных индикаторов, учитывающих их специфику, как это представлено в работах [21, 223, 332, 360]. Конечным результатом второго этапа является расчёт весовых коэффициентов параметров и показателей. Для этого, в зависимости от полноты и неопределённости исходной информации могут использоваться как чёткие, так и нечёткие способы оценки, а также различные MCDM методы. Наиболее эффективным методом определения весовых коэффициентов является метод DEMATEL в комбинации с теорией нечётких множеств и теорией серых систем. Использование DEMATEL позволяет установить взаимозависимость между показателями логистических потоков и разработать карты сетевых отношений, отражающие взаимовлияние показателей и причинно-следственные связи между ними. Подробное описание авторской методики определения коэффициентов представлено в параграфе 4.3 диссертации.

3. *Ранжирование инструментов «зелёной» логистики.* Ранжирование инструментов «зелёной» логистики выполняется на основе формирования многокритериальной модели, включающей: параметры и показатели логистических потоков (параграф 4.2) и их весовые коэффициенты (параграф 4.3); систему методов и инструментов «зелёной» логистики (параграф 3.2). Для ранжирования могут использоваться различные MCDM методы, отличающиеся алгоритмами и способами нормализации исходной матрицы решений и агрегирования данных (см. табл. 5.17). Результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики позволяют ЛПП оценить важность (ранг) каждого инструмента и его влияние на параметры и показатели логистических потоков по достижению целей устойчивого развития. Алгоритм и описание методики ранжирования представлено в параграфе 5.2 диссертации.

4. *Оптимизация состава инструментов «зелёной» логистики для реализации в ЛЦГ.* Наличие значительного количества инструментов «зелёной» логистики ставит задачу выбора конкретных инструментов и расчёта их оптималь-

ных параметров. Формирование оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ осуществляется с учётом имеющихся материальных, финансовых, информационных ресурсов и ресурсов услуг. Алгоритм методики представлена на рис. 5.13. Оптимальная комбинация инструментов формируется на основе учёта результатов, полученных на предыдущих этапах настоящей методики: значимости элементов ЛЦГ (этап 1) и рангов инструментов «зелёной» логистик (этап 3), а также данных о запасах и расходов логистических ресурсов, необходимых на реализацию инструментов.

Окончательное решение о выборе инструмента «зелёной» логистики и расчёт его параметров выполняется с использованием математической модели линейного программирования Грея. Алгоритм методики представлен на рис. 5.17. Применение теории серых систем в процессе моделирования позволяет представлять целевую функцию, коэффициенты при переменных, а также значения ограничений серыми числами для повышения гибкости, надёжность и точность оценки в условиях недостатка или неточности информации о моделируемых объектах.

*5. Формирование нечёткой модели оценки взаимосвязи параметров и показателей логистических потоков и определение показателя устойчивости ЛЦГ.* Описание процесса формирования представлено в параграфе 5.1.

Численные значения фактических показателей логистических потоков ( $I_k$ ) используются в качестве исходных данных в нечёткой модели для оценки существующего показателя устойчивости ЛЦГ, а также построения поверхностей, описывающих зависимость показателя устойчивости ЛЦГ от изменения значений физических (управляемых) параметров материальных потоков – массы, скорости и длины маршрута ( $P_i$ ). Далее определяются требуемые значения показателей потоков ( $I_k^*$ ) и рассчитываются управляемые параметры ( $P_i^*$ ), которые обеспечивают достижение требуемых показателей потоков  $I_k^*$ , а также рассчитывается разница между требуемыми и фактическими значениями управляемых параметров  $\Delta P_i = P_i^* - P_i, \forall i$  [109].



Формируется матрица вариантов изменения параметров логистических потоков

$$\| t_{ij} \| (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, A_m^n), \quad (6.1)$$

где  $j$  – порядковый номер комбинации параметров,  $A_m^n$  – количество возможных комбинаций, определяемое как число размещений с повторением  $m = 3$  элементов матрицы (параметров потоков) по  $n$  позициям (вариантам изменения значения каждого параметра);  $n = 3$  – число вариантов изменения значений параметров потоков: «уменьшение», «увеличение» и «без изменений»,  $A_3^3 = 27$ .

В матрице  $\| t_{ij} \|$  выбирается вариант изменения параметров логистических потоков  $V$ . Номер варианта соответствует номеру строки матрицы  $\| t_{ij} \|$ , если выполняется условие

$$(sgO \| t_{1j} \| = sgO \Delta P_1) \wedge (sgO \| t_{2j} \| = sgO \Delta P_2) \wedge (sgO \| t_{3j} \| = sgO \Delta P_3) \rightarrow \\ \rightarrow V=j, j = 1, 2, \dots, A_m^n. \quad (6.2)$$

Осуществляется реализация выбранного инструмента «зелёной» логистики для приведения показателей логистических потоков в ЛЦГ в соответствие с потребными значениями. Полученные значения управляемых параметров вносятся в модель с целью оценки влияния на величину показателя устойчивости ЛЦГ ( $I_{SD}$ ) трёх управляемых параметров логистических потоков. По результатам оценки эффективности реализованного инструмента производится корректировка модели нечёткого выбора.

*6. Оценка эффективности реализации инструментов «зелёной» логистики.* Угруппированная оценка экономической, экологической и социальной эффективности реализации инструментов «зелёной» логистики состоит из трёх этапов:

1. Определение удельного показателя эффективности реализации инструмента «зелёной» логистики по достижению целей устойчивого развития ЛЦГ, показывающего влияние инструмента на экономические, экологические и социальные показатели устойчивого развития ЛЦГ, приходящиеся в среднем на один инструмент «зелёной» логистики

$$\lambda_i = \frac{\omega_i}{n}, \quad (6.3)$$

где  $\omega_i$  – значение веса группы экономических, экологических и социальных показателей по достижению целей устойчивого развития ЛЦГ,  $i=1 \dots 3$ .

$n$  – количество рассматриваемых к реализации в ЛЦГ инструментов «зелёной» логистики.

2. Расчёт показателя изменения устойчивости ЛЦГ, как отношения показателя устойчивости при реализации выбранного инструмента «зелёной» логистики к существующему показателю устойчивости ЛЦГ

$$\Delta = \frac{I_{SD}^P}{I_{SD}^0}, \quad (6.4)$$

где  $I_{SD}^P$  – значение показателя устойчивости ЛЦГ при использовании инструмента «зелёной» логистики;

$I_{SD}^0$  – значение показателя устойчивости ЛЦГ до реализации инструмента «зелёной» логистики.

В случае, если показатель устойчивости ЛЦГ не рассчитывался, определяется разница рангов инструментов «зелёной» логистики, полученных при ранжировании инструментов с использованием разработанной MCDM модели

$$\Delta_R = R_P - R_0, \quad (6.5)$$

где  $R_P$  и  $R_0$  – соответственно ранги инструментов «зелёной» логистики по результатам ранжирования MCDM модели, которые предлагаются к реализации ( $R_P$ ) или уже реализованные ( $R_0$ ) в ЛЦГ. Если в существующем варианте ни один инструмент «зелёной» логистики не использовался, то  $R_0 = 0$ .

3. Расчёт эффекта от реализации инструмента «зелёной» логистики

$$\sigma_i = \lambda_i \cdot \Delta \text{ или } \sigma_i = \lambda_i \cdot \Delta_R, \quad i=1,2,3 \quad (6.6)$$

где  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  – соответственно экономический, экологический и социальный эффекты от реализации инструмента «зелёной» логистики.

На рис. 6.1 представлена общая схема разработанной методики управления параметрами логистических потоков с использованием инструментов «зелёной» логистики.



Рисунок 6.1 – Схема методики управления параметрами логистических потоков

В процессе формирования системы управления логистическими потоками в ЛЦГ, пятый этап представленной методики реализации модели нечёткого вывода может быть реализован с использованием имитационной модели ЛЦГ. Использование имитационной модели при формировании системы управления потоками позволяет эффективно обучать нечёткую модель ЛЦГ, а в процессе экс-

плуатации сформированной системы управления – прогнозировать изменение параметров и показателей логистических потоков и планировать на основе прогнозов оптимальную последовательность реализации инструментов «зелёной» логистики [108].

В качестве примера использования моделей и методов принятия решений по устойчивому развитию ЛЦГ рассмотрены три варианта управленческих решений, характеристика которых представлена в параграфе 5.1 диссертационной работы: оптимизационные, конструктивные и принципиальные решения по использованию инструментов «зелёной» логистики.

## 6.2 Пример оперативного управления параметрами логистических потоков с использованием инструментов «зелёной» логистики

В качестве примера реализации оптимизационных управленческих решений используется доставка грузов автомобилями в границах национальной транспортной системы между городами Екатеринбург и Москва. Фактические значения показателей исследуемой ЛЦГ представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Фактические значения показателей ЛП

Показатели и параметры логистических потоков	Фактические значения показателей и параметров ( $I_k$ )
Коэффициент управляемости потока	0,8
Коэффициент неравномерности потока	1,1
Коэффициент сложности структуры потока	0,9
Коэффициент дискретности потока	0,9
Коэффициент дифференцируемости потока	1,0
Масса потока, т	200
Скорость потока, км/сут.	400
Длина маршрута, км	1850
Показатель устойчивости цепи грузопотоков	0,38025 (низкая)

На начальном этапе была разработана комбинированная Fuzzy АНР-TOPSIS модель ранжирования инструментов «зелёной» логистики. В качестве альтернатив выбраны 12 инструментов, оценка которых выполнялась с исполь-

зованием параметров и показателей логистических потоков (см. табл. 4.2) в два этапа с привлечением семи академических экспертов:

1. Определены значения весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков и рассчитаны итоговые весовые коэффициенты показателей ЛП (табл. 6.2). Для оценки веса использовался метод Fuzzy АНР.

Таблица 6.2 – Вес параметров и показателей логистических потоков

Группы параметров ЛП	Вес группы параметров	Показатели ЛП	Вес показателей ЛП
Экономические параметры (P1)	0,254	P11	0,757
		P12	0,015
		P13	0,228
Энерго-экологические параметры (P2)	0,222	P21	0,986
		P22	0,014
Параметры качества материальных потоков (P3)	0,247	P31	0,448
		P32	0,305
		P33	0,247
Статистические показатели (P4)	0,0005	P41	0,412
		P42	0,329
		P43	0,175
		P44	0,085
Управляемые параметры потока (P5)	0,276	P51	0,451
		P52	0,545
		P53	0,005

2. Выполнено ранжирование инструментов по степени их воздействия на показатели ЛП. Ранжирование выполнялось с использованием метода Fuzzy TOPSIS (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Результаты ранжирования инструментов ЗЛ

Наименование инструмента ЗЛ	Расстояние $d^*$	Расстояние $d^-$	Коэффициент близости $Cci$	Ранг
Использование экологичных видов транспорта ( $I_1$ )	0,333	0,246	0,424	9
Использование интермодальных технологий и смешанных перевозок ( $I_2$ )	0,212	0,356	0,627	2
Использование автомобилей с наименьшим воздействием на окружающую среду ( $I_3$ )	0,355	0,234	0,397	10

## Окончание таблицы 6.3

Наименование инструмента ЗЛ	Расстояние d*	Расстояние d-	Коэффициент близости Cci	Ранг
Выбор автомобилей с большей грузоподъёмностью (I <sub>4</sub> )	0,308	0,286	0,482	7
Использование экологичных видов топлива (I <sub>5</sub> )	0,453	0,096	0,175	12
Обеспечение технологического единства транспортно-складского процесса (I <sub>6</sub> )	0,195	0,417	0,681	1
Оптимизация маршрутов автомобилей (I <sub>7</sub> )	0,268	0,334	0,555	5
Оптимизация скорости движения (I <sub>8</sub> )	0,232	0,354	0,604	3
Эко-вождение (I <sub>9</sub> )	0,377	0,190	0,336	11
Консолидация грузопотоков по направлениям (I <sub>10</sub> )	0,311	0,269	0,463	8
Оптимизация структуры грузопотоков (I <sub>11</sub> )	0,241	0,363	0,601	4
Оперативное управление параметрами материальных потоков (I <sub>12</sub> )	0,282	0,300	0,516	6

На следующем этапе с использованием математической модели выбора комбинации и расчёта параметров инструментов «зелёной» логистики выбраны три инструмента: оптимизация скорости движения (I<sub>8</sub>); оптимизация маршрутов (I<sub>7</sub>); использование транспортных средства с большей грузоподъёмностью (I<sub>4</sub>). Применение остальных инструментов для анализируемых условий не является целесообразным. В качестве примера, для инструмента «Использование автомобилей с большей грузоподъёмностью» (I<sub>4</sub>) в табл. 6.4 представлены результаты расчёта параметров с использованием модели линейного программирования Грея. В качестве расчётного параметра инструмента рассмотрены три варианта грузоподъёмности ТС: вариант V1 [3,5; 5,0], вариант V2 [7,0; 11,0], вариант V3 [9; 15,0]. Оценка ресурсов на реализацию инструмента выполняется с использованием следующих показателей: масса груза, т/авто., стоимость перевозки груза, тыс. руб./авто., количество заявок на перевозки, заявок/авто., продолжительность выполнения ПРР, ч/авто.

Таблица 6.4 – Результаты расчёта параметров инструмента «Использование транспортных средств с большей грузоподъемностью» с использованием линейного программирования Грея

Этапы	Варианты	Материальный ресурс			Финансовый ресурс			Информационный ресурс			Ресурс услуг			Число ТС	Эффективность, тыс. руб./авто		
		$\underline{d}_1$	Средн.	$\overline{d}_1$	$\underline{d}_2$	Средн.	$\overline{d}_2$	$\underline{d}_3$	Средн.	$\overline{d}_3$	$\underline{d}_4$	Средн.	$\overline{d}_4$		$\underline{c}_i$	Средн.	$\overline{c}_i$
Расчёт центра	V1	3,5	4,05	4,6	15	16,5	18	43	50	57	0,41	0,53	0,65	0,00	120	130	140
	V2	7	8,5	10	14	17	20	16	22	28	0,96	1,08	1,2	4,38	110	140	170
	V3	9	11,5	14	16	20,5	25	14	18	22	1,38	1,53	1,68	11,28	100	125	150
	Расход ресурса		167,04			305,86			115,0			22,00			Сумм. доход, тыс. руб.		2024
	Запас ресурса	160	180	200	300	325	350	22	23,5	25	21	22	23				
Расчёт ширины	V1	3,5	0,55	4,6	15	1,5	18	10	2	14	0,41	0,12	0,65	0,00	120	10	140
	V2	7	1,5	10	14	3	20	7	2,5	12	0,96	0,12	1,2	4,44	110	30	170
	V3	9	2,5	14	16	4,5	25	5	1,5	8	1,38	0,15	1,68	2,59	100	25	150
	Расход ресурса		13,15			25,00			15,00			0,92			Сумм. доход, тыс. руб.		198
	Запас ресурса	160	20	200	300	25	350	100	15	130	21	1	23				
Итого	V1	[3,5; 4,6]			[15; 18]			[10; 14]			[0,41; 0,65]			[0; 0]	120		140
	V2	[7; 10]			[14; 20]			[7; 12]			[0,96; 1,2]			[0; 8]	110		170
	V3	[9; 14]			[16; 25]			[5; 8]			[1,38; 1,68]			[8; 14]	100		150
	Расход ресурса	[153,89; 180,18]			[280,86; 330,86]			[100; 130]			[21,08; 22,92]				$\otimes c_i \in [1826; 2222]$		
	Запас ресурса	[160; 200]			[300; 350]			[100; 130]			[21; 23]						

На заключительном этапе выполнено построение нечёткой модели оценки взаимосвязи показателей логистических потоков в программе FuzzyTECH (рис. 6.2). В результате подстановки фактических показателей потоков в разработанную модель нечёткого вывода получены зависимости взаимосвязи управляемых параметров ЛП потоков и устойчивости ЛЦГ.

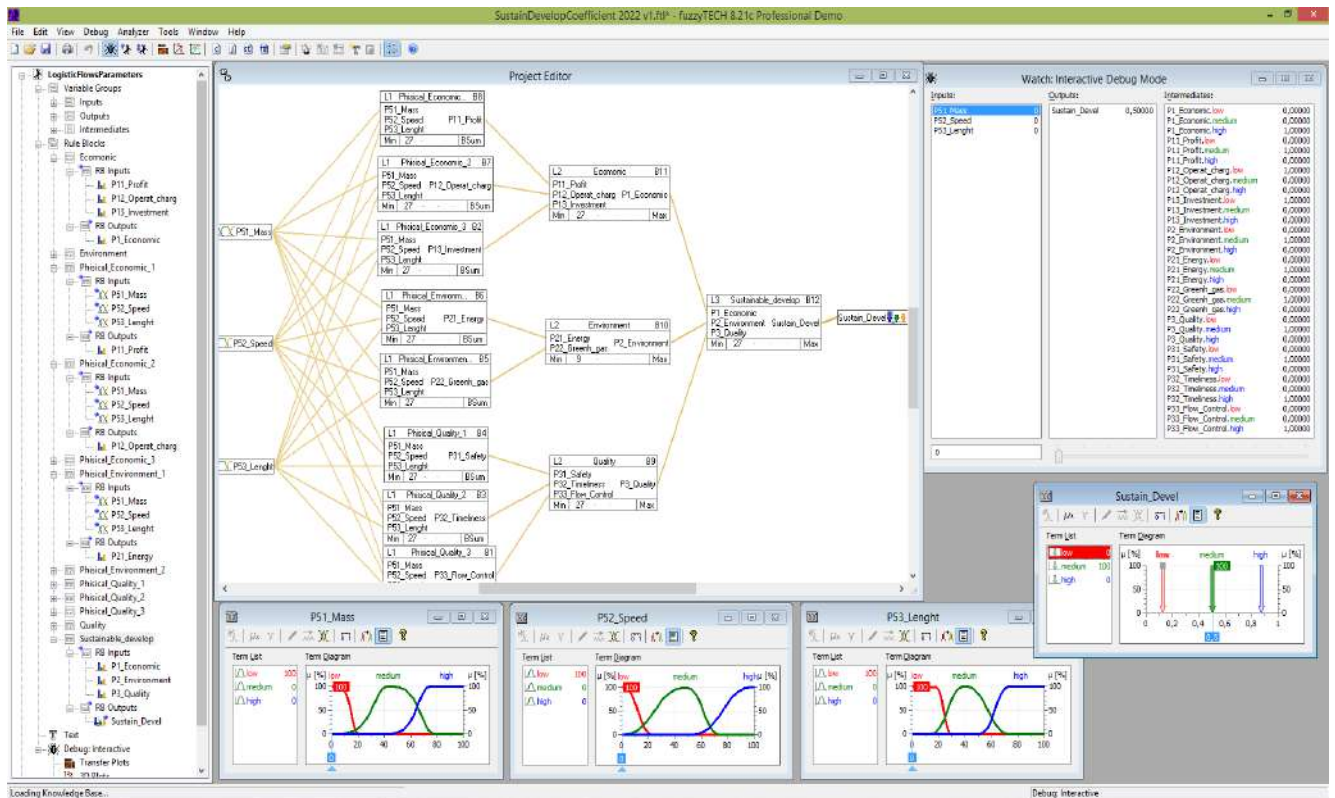


Рисунок 6.2 – Фрагмент рабочего окна нечёткой модели в программе FuzzyTECH

В качестве показателей, не удовлетворяющих требованиям экологичности, значения которых необходимо изменить, выбраны повышенная энергоёмкость; высокий объём выбросов парниковых газов. Для приведения показателей ЛП в соответствие с требуемыми значениями выполняется реализация выбранных инструментов «зелёной» логистики. В результате реализации каждого из трёх инструментов были определены новые значения управляемых параметров: для инструмента  $I_8$  «Оптимизация скорости движения» – увеличение показателя скорости до 550 км/сут.; для инструмента  $I_7$  «Оптимизация маршрутов» – снижение длины маршрута до 1793 км.; для инструмента  $I_4$  «Использование автомобилей с



большей грузоподъемностью» – увеличение коэффициента дискретности до 0,4. Значение показателей устойчивости ЛЦГ ( $I_{SD}$ ) для данных вариантов соответственно составят 0,3906; 0,4160 и 0,4799 (рис. 6.3). При использовании одновременно всех трёх вариантов реализации инструментов «зелёной» логистики значение показателя устойчивости ЛЦГ будет наибольшим и составит  $I_{SD}=0,4841$  (рис. 6.4).

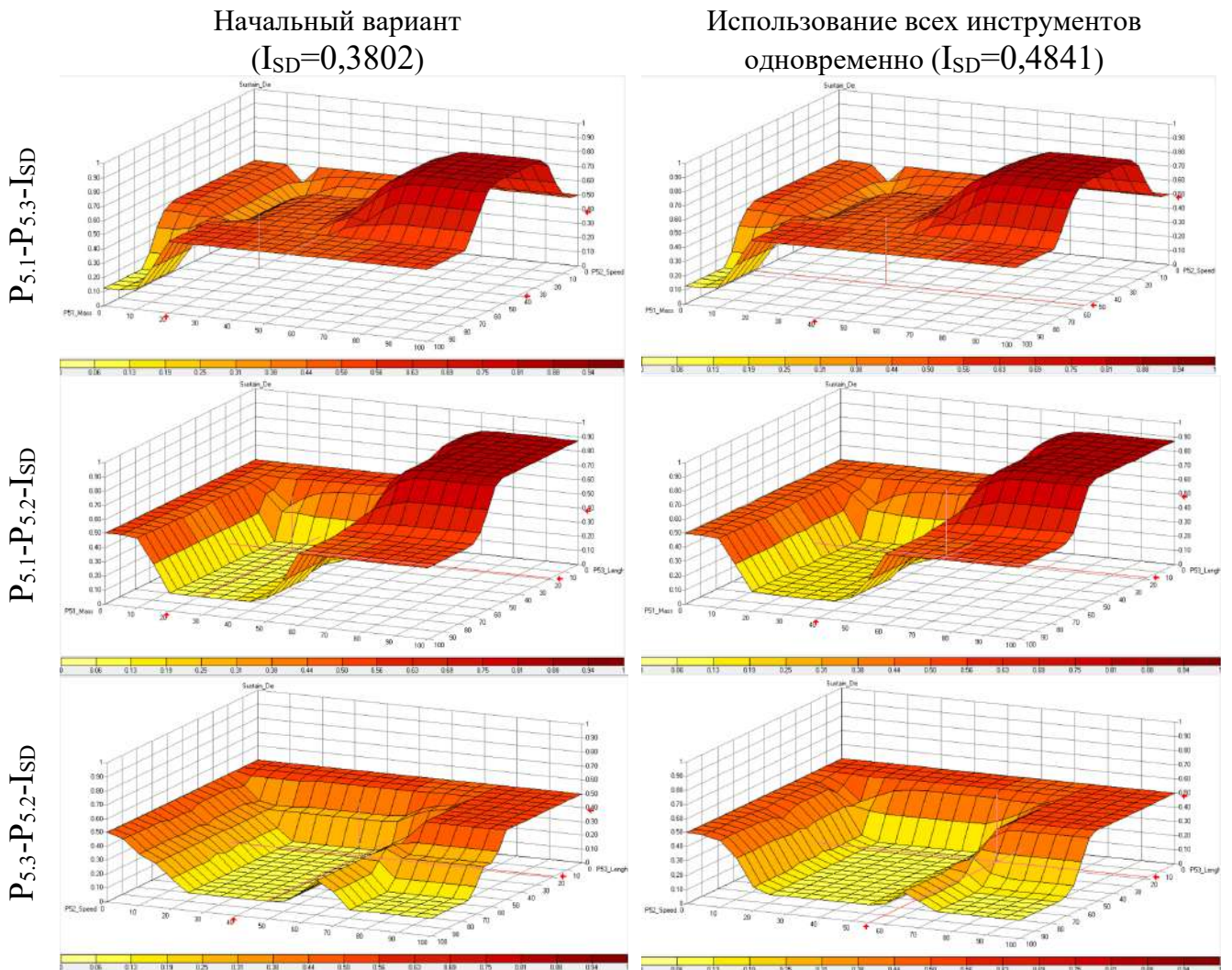


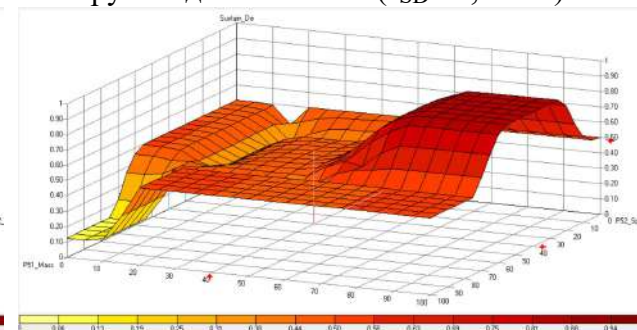
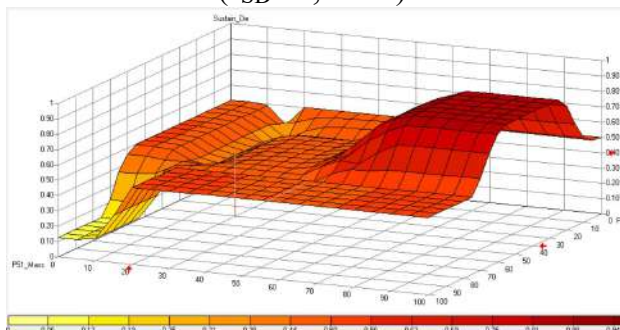
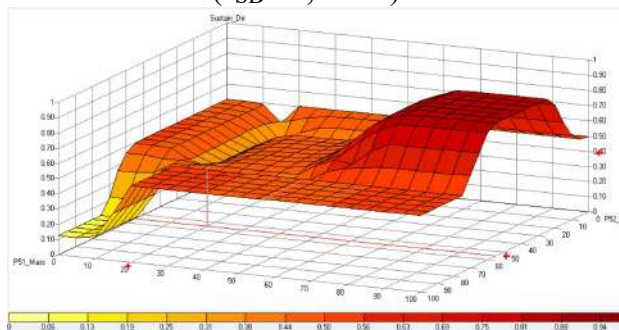
Рисунок 6.3 – Результаты оценки устойчивости ЛЦГ при использовании одновременно трёх вариантов инструментов «зелёной» логистики

I<sub>8</sub> «Оптимизация скорости движения»  
(I<sub>SD</sub>=0,3906)

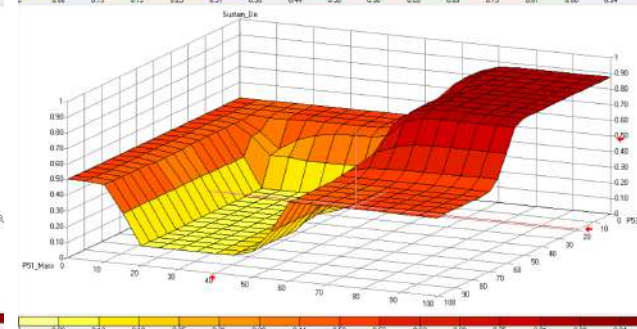
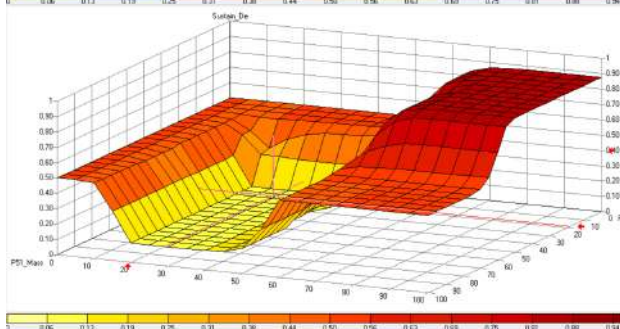
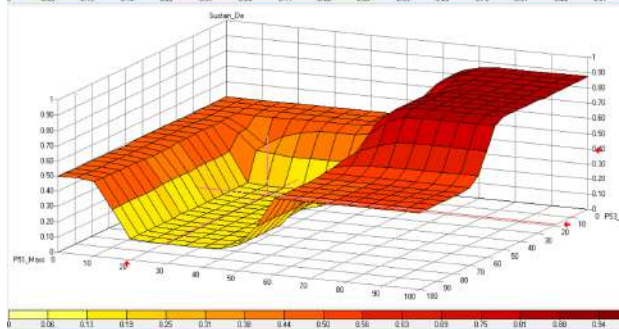
I<sub>7</sub> «Оптимизация маршрутов движения»  
(I<sub>SD</sub>=0,4160)

I<sub>4</sub> «Использование автомобилей с большей грузоподъемностью» (I<sub>SD</sub>=0,4799)

P<sub>5.1</sub>-P<sub>5.3</sub>-I<sub>SD</sub>



P<sub>5.1</sub>-P<sub>5.2</sub>-I<sub>SD</sub>



P<sub>5.3</sub>-P<sub>5.2</sub>-I<sub>SD</sub>

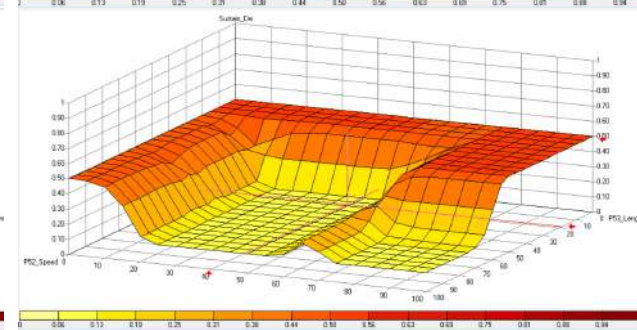
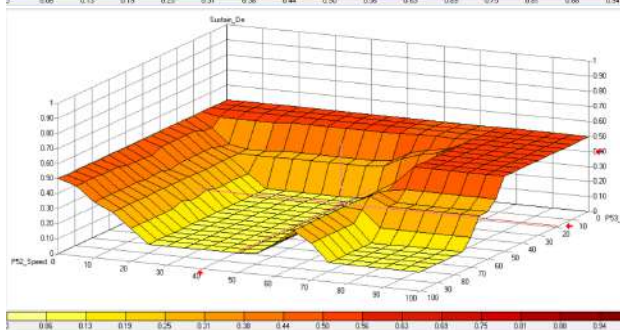
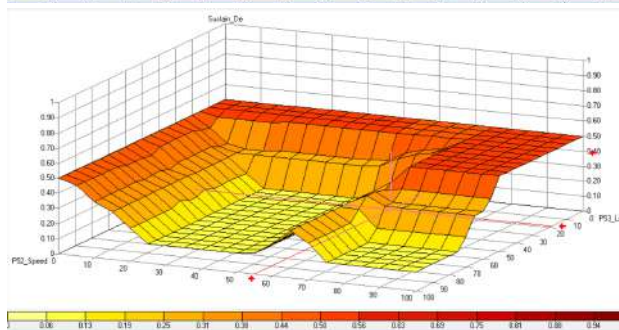


Рисунок 6.4 – Результаты оценки устойчивости ЛЦГ при использовании инструментов «зелёной» логистики

Оценка эффективности реализации оптимизационных решений основана на использовании значений рангов инструментов «зелёной» логистики и расчёте степени воздействия инструментов на группы экономических, экологических и социальных показателей. Реализация инструментов позволит повысить экономическую эффективность на 8,69-10,77%, экологическую – на 7,6-9,42% и социальную эффективность на 8,47-10,5%.

### **6.3 Пример многокритериального выбора интермодальных технологий в логистических цепях грузопотоков**

Использование в логистической цепи грузопотоков контрейлерных систем, как инструмента «зелёной» логистики транспортного элемента, повышает сложность управления перевозочным процессом и поэтому создаёт ограниченное применение данной интермодальной технологии. Это вызвано увеличением количества контрейлерных систем, а также недостаточным учётом интересов участников перевозки. Поэтому принятие решения о использовании контрейлерной системы должно выполняться с учётом технических и технологических ограничений таких систем, а также целей и интересов всех участвующих в перевозке стейкхолдеров – грузовладельцев, перевозчиков и владельцев инфраструктуры.

В расчётном примере представлены результаты ранжирования семи контрейлерных систем (Lohr, CargoBeamer, CargoSpeed, Rolling Highway, «Пространство 1520», Megaswing и Flexiwaggon [332]) и выбора наиболее эффективной системы с учётом интересов трех стейкхолдеров: грузовладельца, перевозчика и владельца инфраструктуры. Рассматриваемый инструмент «зелёной» логистики входит в состав управленческих решений, направленных на изменение структуры и связей между элементами ЛЦГ. Для реализации данного инструмента была разработана многокритериальная модель оценки и выбора контрейлерной системы в ЛЦГ с использованием комбинированного метода DEMATEL-MARCOS. На рис. 6.5 представлен общий алгоритм разработанной модели.

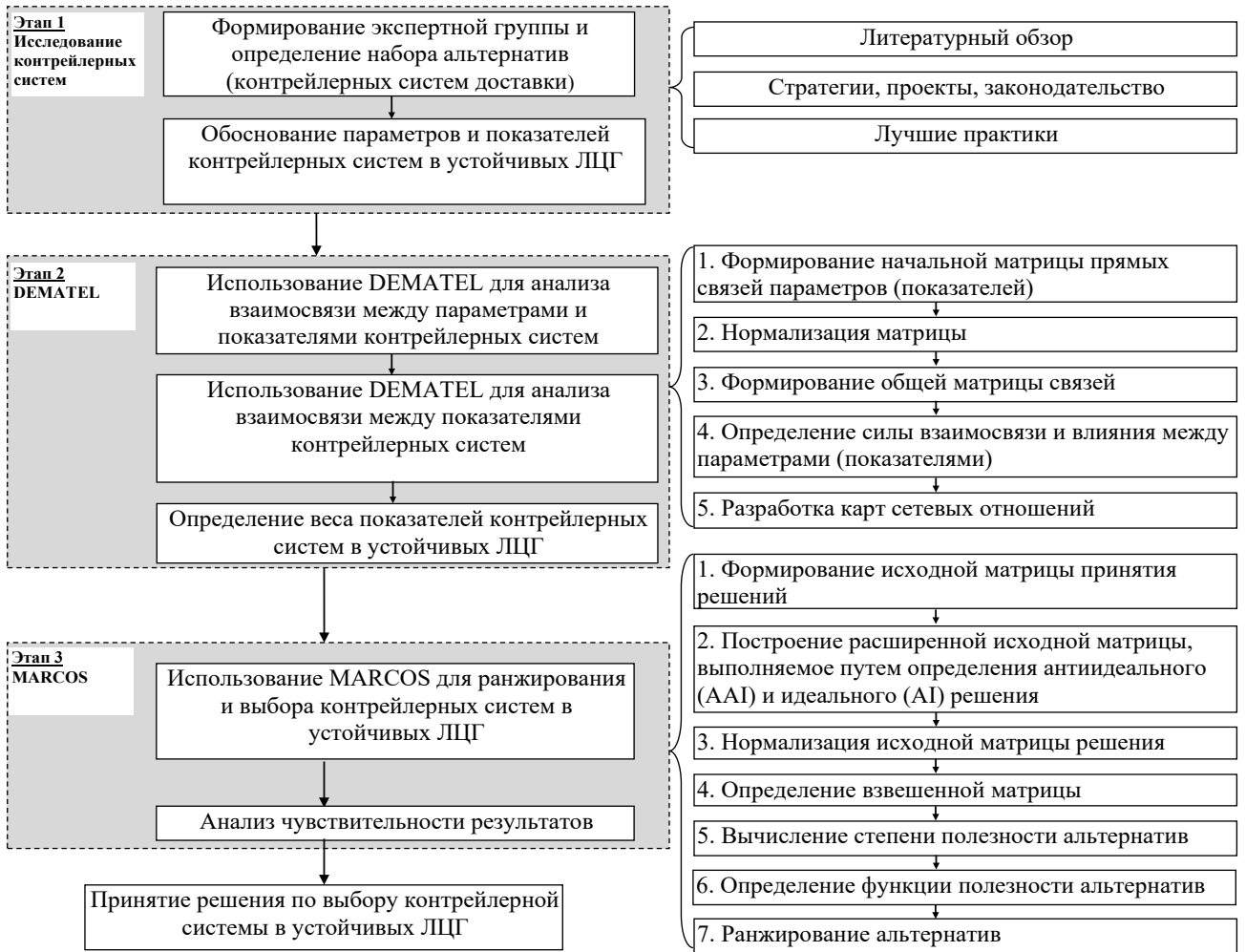
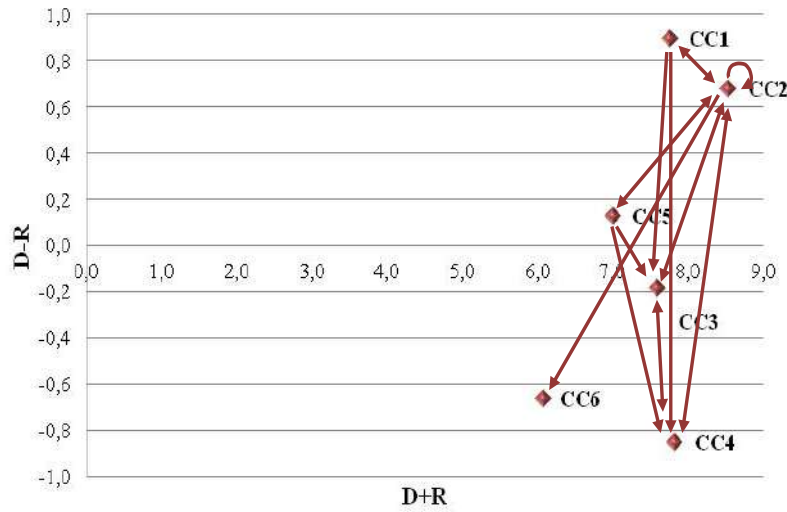


Рисунок 6.5 – Алгоритм использования комбинированного DEMATEL-MARCOS для принятия решений по выбору контроллерной системы в ЛЦГ

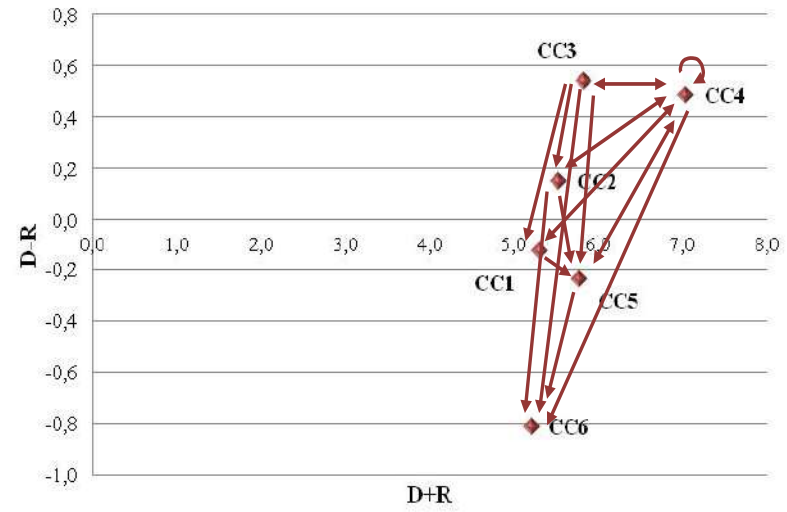
1. На основе литературного обзора и практики управления цепями поставок и использования интермодальных технологий выполнено обоснование параметров и показателей контроллерных систем в ЛЦГ. В настоящем примере используется система параметров и показателей, представленная в [169, 177, 332, 418].

2. С использованием метода DEMATEL определены взаимосвязи между параметрами ( $CC_1$ - $CC_6$ ), показателями ( $C_1$ - $C_{21}$ ) контроллерных систем, установлена сила их влияния друг на друга и, как результат, рассчитаны весовые коэффициенты показателей контроллерных систем. На рис. 6.6-6.8 представлены результаты применения метода DEMATEL.

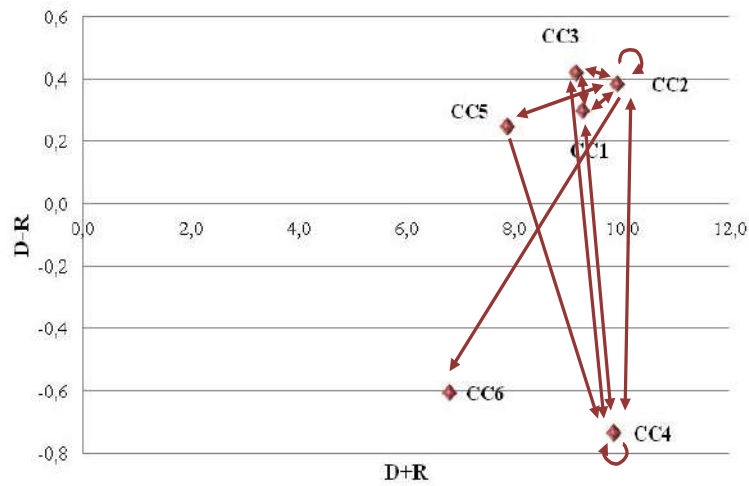
*Академические эксперты*



*Грузовладельцы*



*Перевозчики (2PL-5PL)*



*Владельцы инфраструктуры*

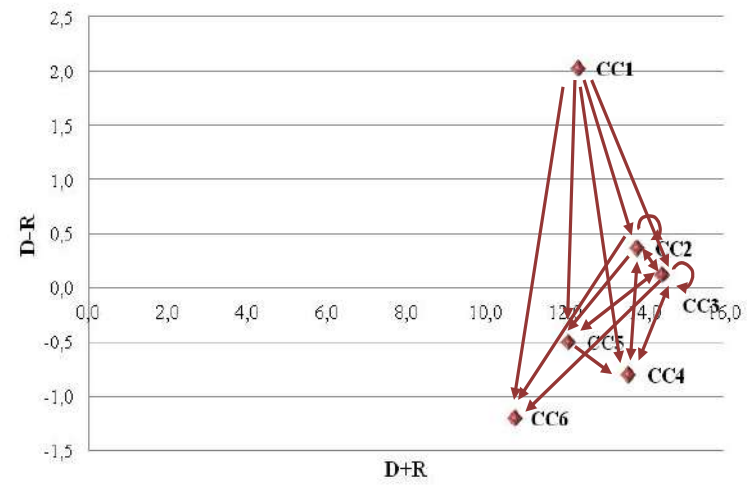


Рисунок 6.6 – Карты сетевых отношений параметров контроллерной системы в ЛЦГ (результаты DEMATEL)

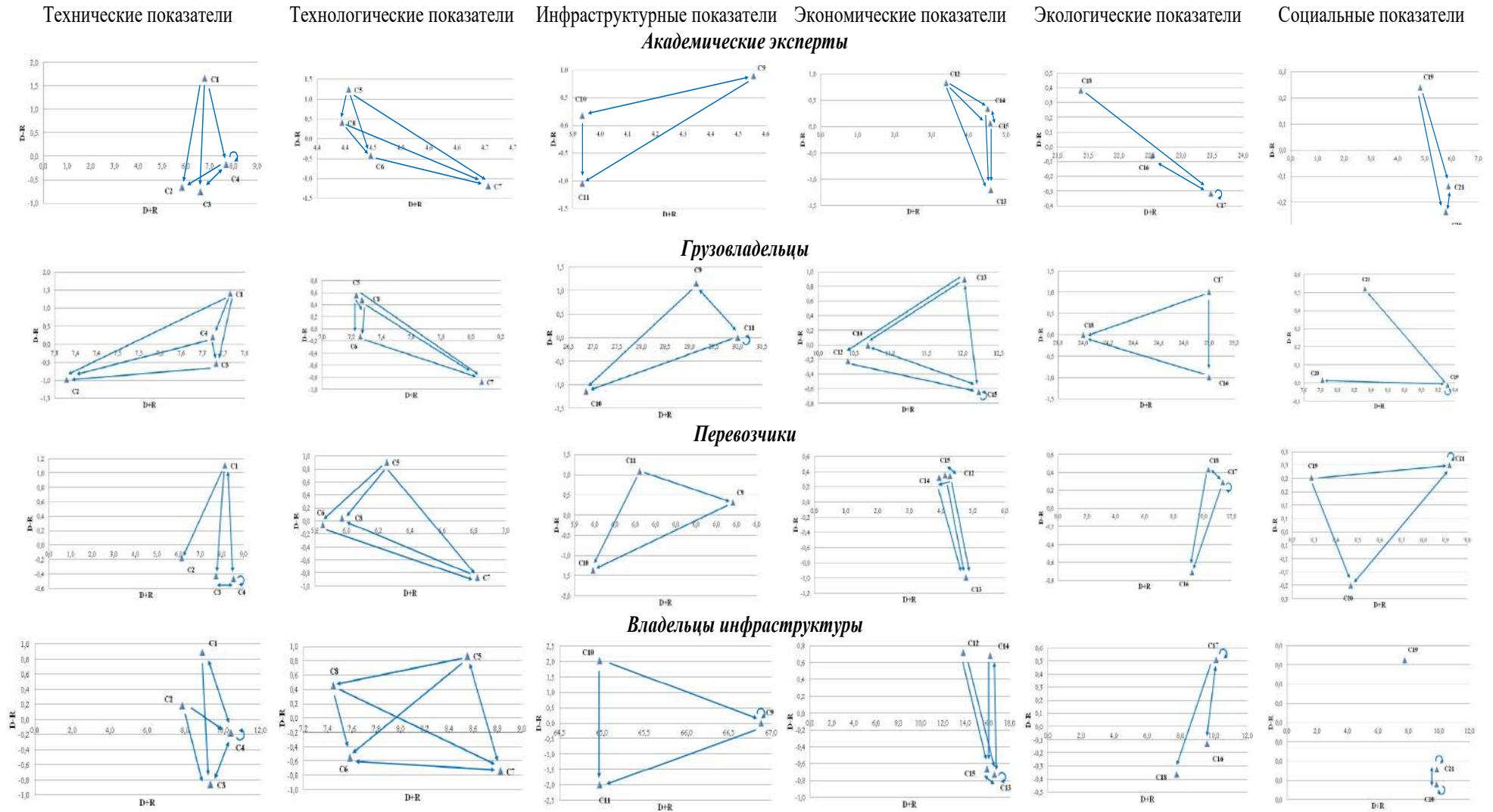


Рисунок 6.7 – Карты сетевых отношений показателей контроллерной системы в ЛЦГ (результаты DEMATEL)

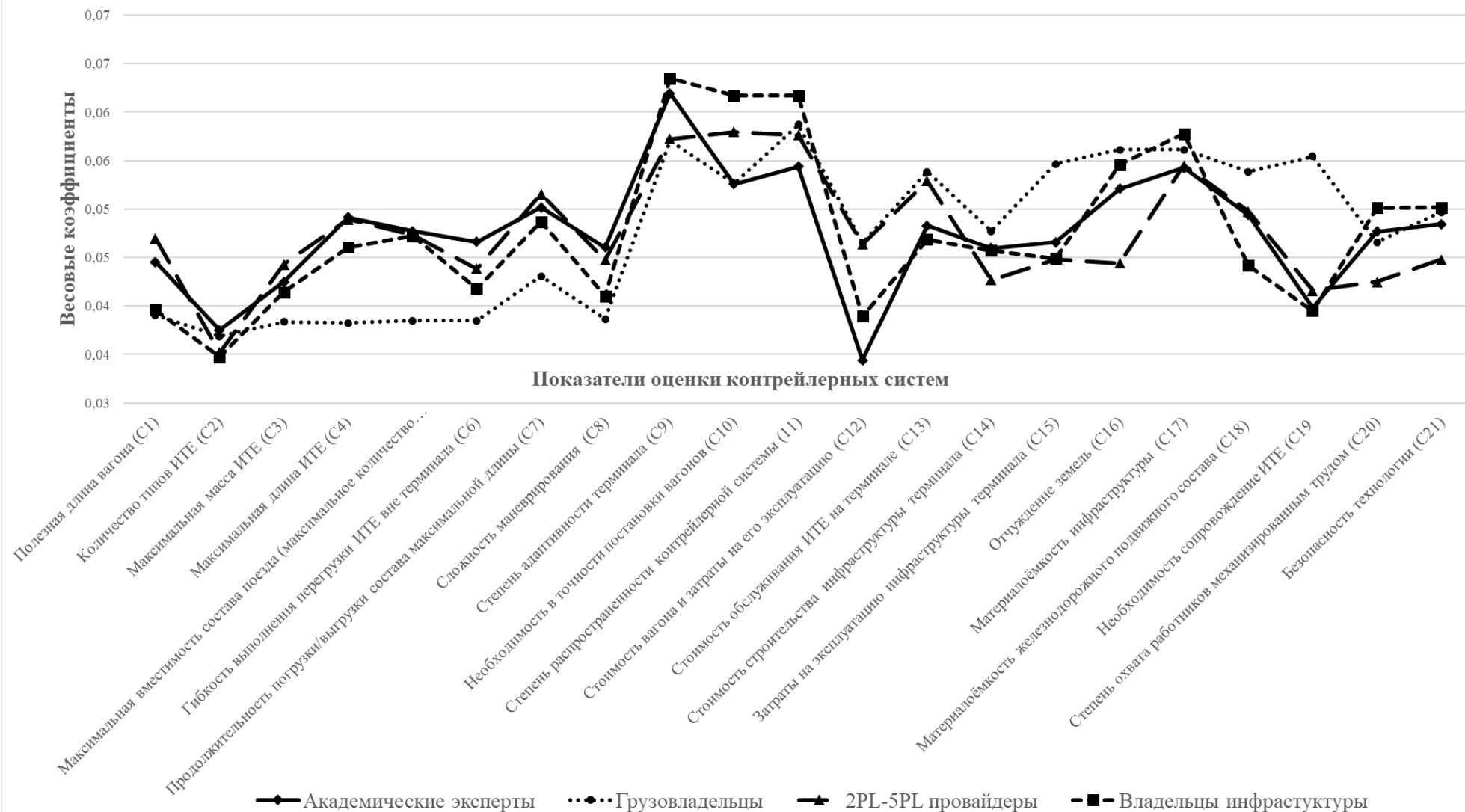


Рисунок 6.8 – Весовые коэффициенты показателей контройлерной системы в ЛЦГ (результаты DEMATEL)

3. Метод MARCOS использовался для ранжирования контрейлерных систем в ЛЦГ (табл. 6.5). Значения весовых коэффициентов показателей контрейлерных систем принимаются на основе результата расчётов методом DEMATEL.

Таблица 6.5 – Результаты ранжирования контрейлерных систем методом MARCOS

Контрейлерные системы	Академические эксперты		Грузовладелец		Перевозчик		Владелец инфраструктуры	
	Вес	Ранг	Вес	Ранг	Вес	Ранг	Вес	Ранг
Lohr (A1)	0,5007	5	0,4990	5	0,4981	5	0,5010	5
CargoBeamer (A2)	0,4799	6	0,4682	6	0,4749	6	0,4797	6
CargoSpeed (A3)	0,4217	7	0,4149	7	0,4223	7	0,4184	7
Rolling Highway (A4)	0,5780	3	0,5758	3	0,5782	3	0,5785	3
«Пространство 1520» (A5)	0,5278	4	0,5385	4	0,5405	4	0,5213	4
Megaswing (A6)	0,5851	2	0,5777	2	0,5831	2	0,5881	2
Flexiwaggon (A7)	0,7688	1	0,7574	1	0,7581	1	0,7707	1

Оценка чувствительности результатов выполнялась в три этапа: сравнение результатов MARCOS с другими MCDM методами – TOPSIS, WASPAS и MAVAC (рис. 6.9а); сравнение с использованием динамических матриц (рис. 6.9б); а также пять сценариев изменения весовых коэффициентов показателей контрейлерных систем (рис. 6.9в):

S0 – изменения не вносились;

S1 – вес всех показателей (C1-C21) одинаковый и равен 0,0476;

S2 – вес каждого показателя принят среднему значению оценки по всем четырем группам экспертов;

S3 – исключение показателя с минимальным весом и пропорционально значению весового коэффициента этого показателя изменение веса всех остальных показателей. Были исключены следующие показатели: C12=0,0344 (академические эксперты); C2=0,0368 (грузовладельцы); C2=0,0352 (перевозчики) и C2=0,0347 (владелец инфраструктуры).

S4 – исключение показателя с максимальным весом и изменение веса всех остальных показателей пропорционально этому значению. Были исключены: C9=0,0619 (академические эксперты); C11=0,0587 (грузовладельцы); C10=0,058 (перевозчики) и C9=0,0635 (владелец инфраструктуры).



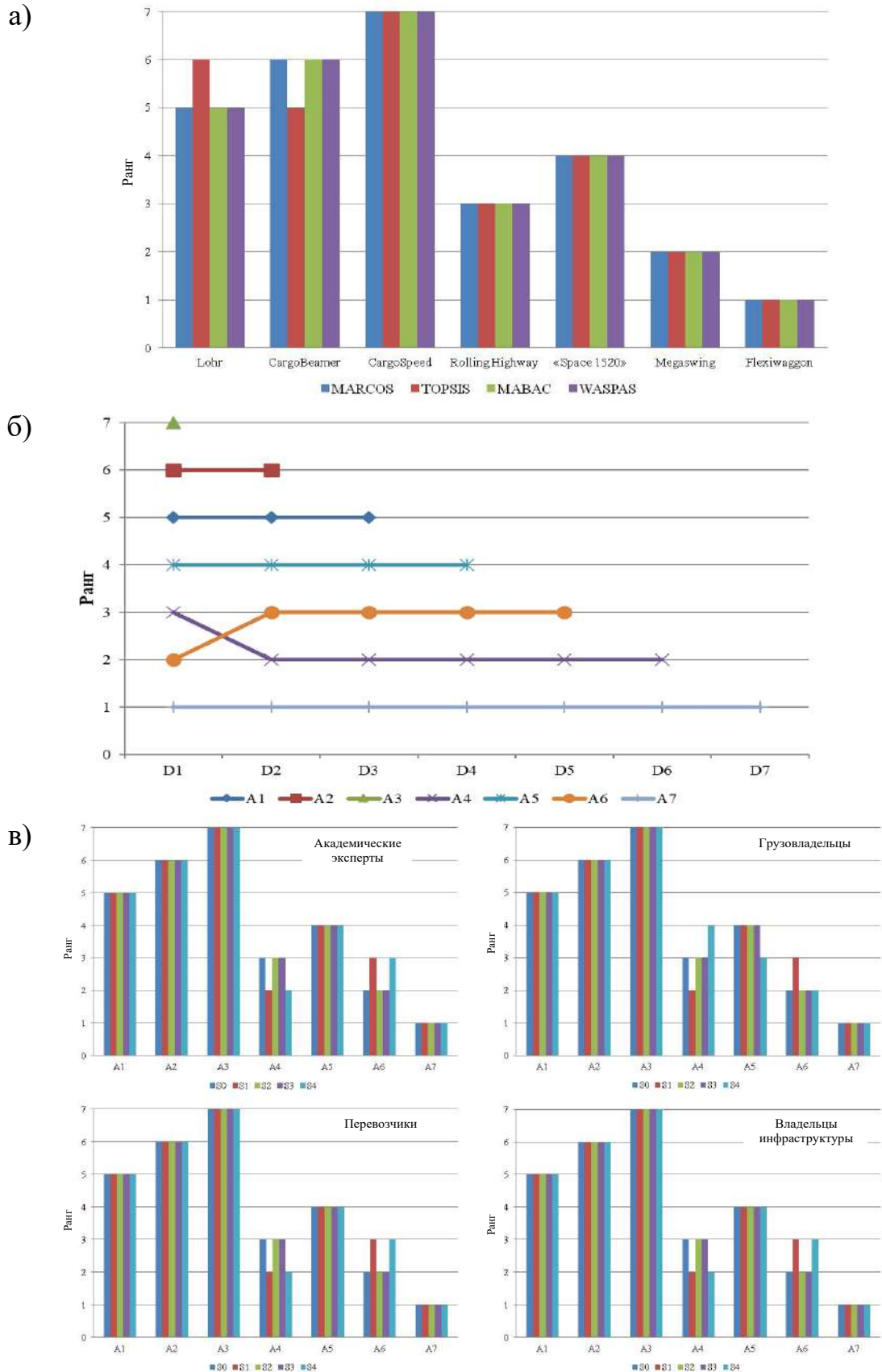


Рисунок 6.9 – Результаты оценки чувствительности: а) сравнение MARCOS с другими методами MCDM; б) сравнение с использованием динамических матриц; в) пять сценариев (S0-S4) изменения веса критериев

Как видно на рис. 6.9а, корреляция MARCOS с другими ранее разработанными методами очень высокая во всех случаях, за исключением метода TOPSIS. Альтернатива А7 (Система Flexiwaggon) осталась устойчивой по всем семи сценариям D1-D7, что подтверждает надёжность и точность ранжирования альтернатив в динамической среде (рис. 6.9б). Альтернативы А1, А2, А3 и А7 являются устойчивыми для всех четырех групп экспертов, используемых в чувствительности. По альтернативам А4 и А6 имеются незначительные изменения по 2 и 3 рангу соответственно у всех групп экспертов (рис. 6.9в).

Эффективность использования контрейлерных систем в ЛЦГ зависит от характеристик определённой контрейлерной системы. Наиболее приоритетными являются системы, обладающие высокой мобильностью обслуживания интермодальных транспортных единиц и не требующие существенных капиталовложений в создание терминальной инфраструктуры (Flexiwaggon и Megaswing), а также системы, базирующиеся на уже функционирующих инфраструктурных объектах – железнодорожных станциях и применяющие более простые по конструктивному исполнению вагоны (Rolling Road и «Пространство 1520»). Это позволяет сократить размер инвестиций в создание сети интермодальных терминалов и формирование парка специализированного железнодорожного подвижного состава. Оценка эффективности перехода от системы «Пространство 1520» к системе «Flexiwaggon» позволит повысить экономическую эффективность на 7,5%, экологическую – на 6,66% и социальную эффективность на 5,8%.

#### **6.4 Реализация стратегии устойчивого развития перерабатывающего элемента логистической цепи грузопотоков**

Использование логистического подхода при управлении горнодобывающими предприятиями (ГДП) позволяет рассматривать горнотехническую систему как логистическую систему [23, 162]. Элементы такой системы выполняют задачи, связанные с добычей полезного ископаемого, его транспортировкой, дробле-

нием, переработкой, складированием и отгрузкой потребителю в виде готовой продукции (рис. 6.10) [85, 162, 370].

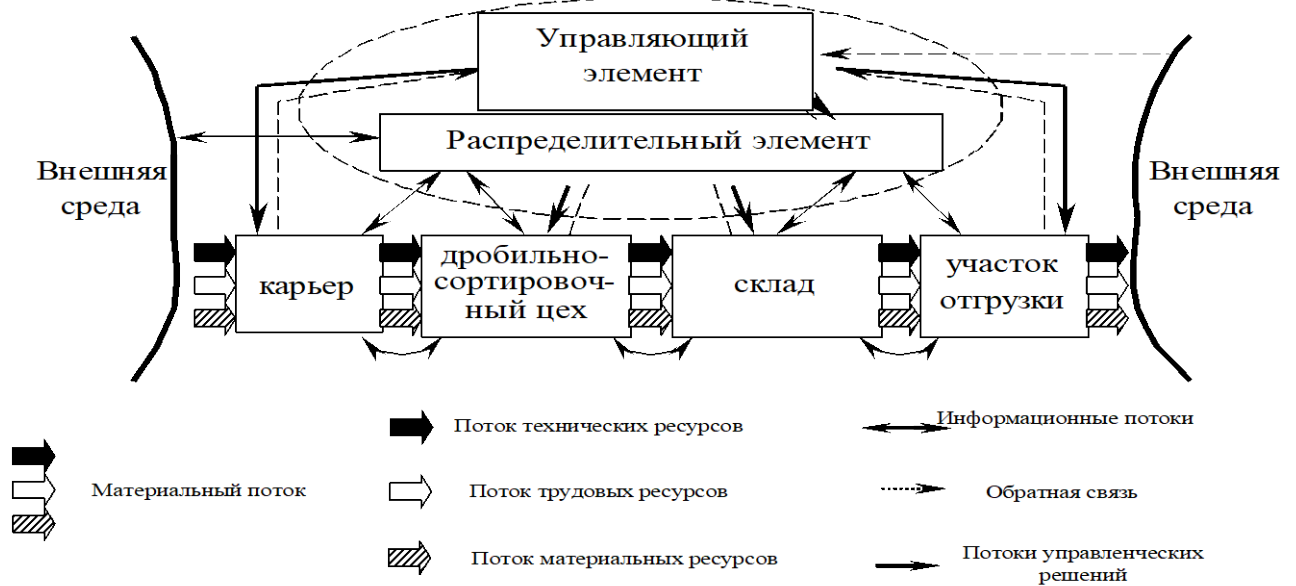


Рисунок 6.10 – Схема представления ГДП как ЛЦГ [23]

Горнодобывающие предприятия являются сложными социально-техническими системами, оказывающими значительное влияние на социальное и экономическое развитие регионов их расположения. При этом их деятельность оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В процессе функционирования ГДП находятся под влиянием изменяющихся внешних и внутренних факторов, которые могут позитивно или негативно влиять на устойчивость их функционирования и развития (рис. 6.11). Исследование данных факторов подробно рассмотрены автором диссертации в работах [9, 11, 95, 222, 223, 360, 361]. Под влиянием перечисленных факторов менеджмент ГДП сталкивается с проблемой изменения способов добычи полезных ископаемых по мере увеличения глубины карьера. Несвоевременное решение этой проблемы приводит к снижению рентабельности, возникновению негативных экологических и социальных последствий.

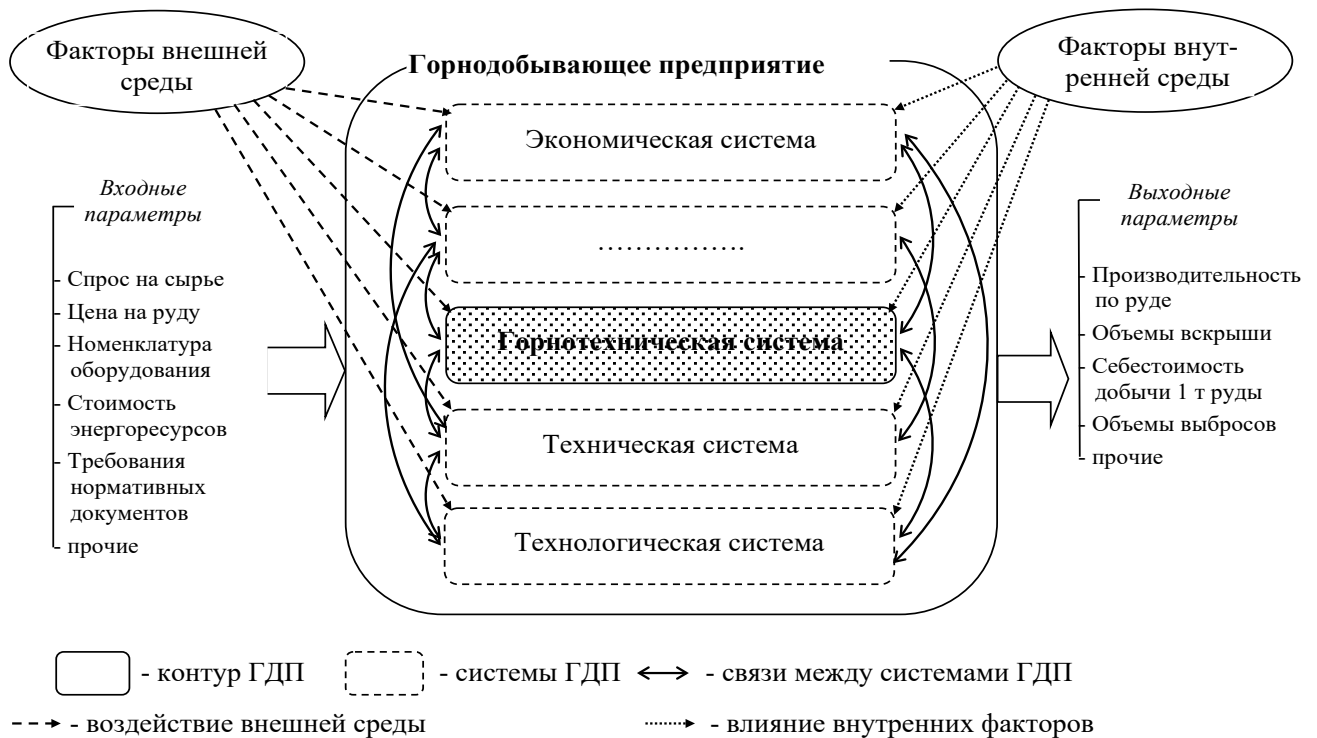


Рисунок 6.11 – Схема структуры ГДП

Исследование особенности функционирования более 100 горнодобывающих предприятий из разных стран [360] позволили обосновать четыре основные стратегии устойчивого развития ГДП (табл. 6.6). Проблема выбора или изменения стратегии развития возникает перед руководством горнодобывающими предприятиями, разрабатывающими крутопадающие месторождения, по мере увеличения глубины добычи. Почти 60% из проанализированных 107 предприятий производят добычу на глубине от 200 до 1000 м, что обостряет проблему выбора способа добычи. В настоящее время более 36% таких предприятий используют открытый способ добычи. Тем не менее в зависимости от конкретных условий руководство ГДП принимает решение о переходе на подземный или комбинированный открыто-подземный способы. Практика показывает, что не во всех случаях результатом принятого решения является устойчивое развитие горнодобывающего предприятия. Причиной этого является игнорирование множества факторов, влияющих и определяющих устойчивость горнотехнической и других подсистем ГДП.

Таблица 6.6 – Систематизация последствий выбора стратегий устойчивого развития ГДП

Стратегия	Краткая характеристика	Группы факторов	Последствия выбора стратегии	
			Положительная	Отрицательная
Корректировка параметров текущего этапа добычи (A1)	Проектные решения не изменяются. В большинстве случаев изменяется состав оборудования, в частности, экскаваторов или транспортных средств.	Технические	Внедряется более современное и высокопроизводительное оборудование	Необходимость настройки работы с оборудованием в смежных процессах
		Технологические	Возможность перехода от автомобильного транспорта к циклично-поточной технологии	Необходимость приведения параметров рабочей зоны и транспортных коммуникаций в соответствие с параметрами нового оборудования
		Экономические	Возможность повысить производительность по руде и получить дополнительную прибыль. Снижение затрат на некоторые процессы	Дополнительные капитальные затраты на приобретение оборудования. Временное снижение производительности и доходов
		Социальные	Более комфортные и безопасные условия труда персонала на новом оборудовании	Необходимость обучения персонала работе на новом оборудовании
		Экологические	Новое оборудование может оказывать меньшее воздействие на окружающую среду	Объём образования отходов остаётся большим
Переход к новому этапу добычи (A2)	Вовлечение в разработку дополнительных запасов полезного ископаемого. Изменяются проектные решения, например, изменяются контуры карьера в глубину и в плане. Производятся соответствующие изменения техники и технологии.	Технические	Внедряется более современное и высокопроизводительное оборудование	Появляются дополнительные перевалочные пункты со сложной техникой. Необходимость настройки работы с оборудованием в смежных процессах
		Технологические	Возможность перехода от автомобильного транспорта к циклично-поточной технологии	Необходимость приведения параметров рабочей зоны и транспортных коммуникаций в соответствие с параметрами нового оборудования
		Экономические	Возможность повысить производительность по руде и получить дополнительную прибыль. Снижение затрат на некоторые процессы	Дополнительные капитальные затраты на закупку оборудования и сокращение. Переход на новые технологии и новые контуры карьера может привести к временному снижению производительности и доходов
		Социальные	Более комфортные и безопасные условия труда персонала на новом оборудовании. Сохранение рабочих мест на протяжении всего этапа добычи	Ухудшение условий труда с увеличением глубины карьера
		Экологические	Новое оборудование может оказывать меньшее воздействие на окружающую среду	Увеличение объёмов вскрышных пород и дополнительное отчуждение земельных участков для размещения открытых карьеров

## Окончание таблицы 6.6

Стратегия	Краткая характеристика	Группы факторов	Последствия выбора стратегии	
			Положительная	Отрицательная
Переход к комбинированной открыто-подземной добыче (А3)	Строительство подземного рудника, который будет функционировать совместно с карьером.	Технические	Возможность использования оборудования открытых и подземных рудников для совместной работы на месторождении	Организация работы и технического обслуживания усложняется из-за увеличения количества типов и моделей оборудования
		Технологические	Возможность совместного использования системы вскрытия. Доставка на поверхность породы наиболее эффективным способом, с использованием коммуникаций и оборудования карьера и подземного рудника	Технология усложняется, появляется угроза негативного взаимного влияния открытых и подземных горных работ
		Экономические	Продление срока службы рудника и, как следствие, более длительные сроки получения дохода от добычи полезных ископаемых. Возможное повышение продуктивности и доходов руды	Высокие капитальные затраты на строительство подземного рудника
		Социальные	Более высокая заработная плата по сравнению с открытой добычей полезных ископаемых	Необходимость переподготовки персонала, увольнение сотрудников и найм персонала с новыми компетенциями. Сложные и опасные условия труда
		Экологические	Снижение объемов отходов, сокращение земель, изъятых для размещения ГДП	Возможное образование провалов земной поверхности
Прекращение добычи (А4)	Временное или полное прекращение добычи полезного ископаемого на месторождении. Размещение отходов в отработанном карьере.	Технические	Уменьшение количества оборудования. Продажа оборудования по остаточной стоимости	Консервация оставшегося оборудования
		Технологические	Простая технология засыпки отходов в открытый карьер	Сложность составления карт утилизации опасных отходов
		Экономические	Снижение эксплуатационных расходов	Прекращение выплаты дохода
		Социальные	Улучшение жилищных условий в близлежащих населенных пунктах	Увольнение работников. Сокращение экономической поддержки прилегающих населенных пунктов
		Экологические	Снижение всех видов негативного воздействия на окружающую среду. Рекультивация нарушенных территорий	Площадки для начала утилизации отходов могут быть недоступны

На рис. 6.12 представлен укрупненный алгоритм оценки и выбора стратегии устойчивого развития ГДП.

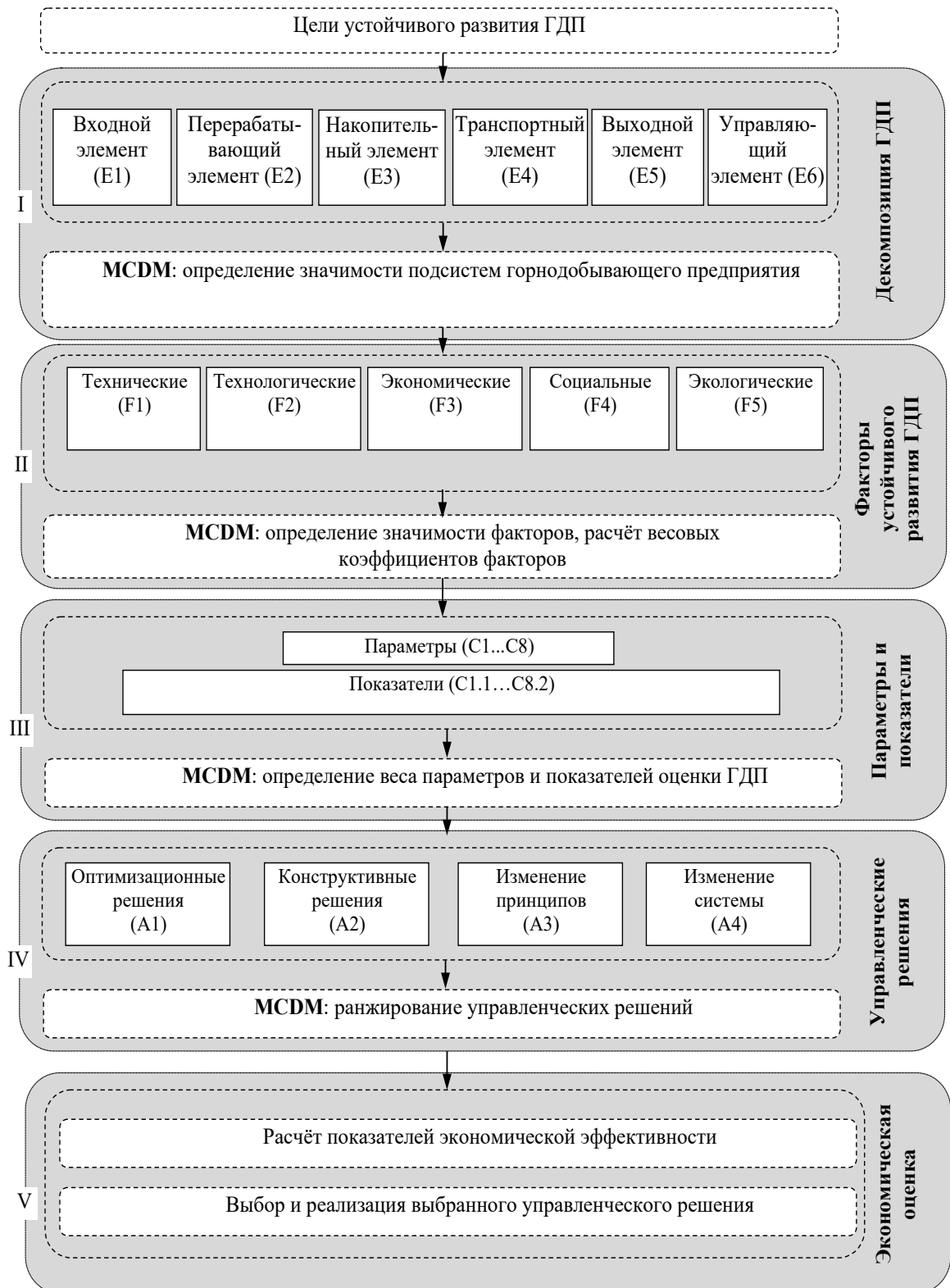


Рисунок 6.12 – Алгоритм оценки и выбора стратегии устойчивого развития ГДП

На первом этапе выполняется рассмотрение ГДП как логистической системы. Основная цель данного этапа – определить, какие подсистемы ГДП выполняют функции логистических элементов, связанные с добычей полезного ископаемого.

На втором этапе выполняется анализ факторов внешней и внутренней среды ГДП. Основная цель данного анализа – определение важности каждого фактора и степени его влияния на эффективность функционирования ГДП. Результаты анализа учитываются при разработке стратегии устойчивого развития ГДП.

На третьем этапе выполняется обоснование параметров и показателей устойчивого развития ГДП. В основу систематизации положены факторы устойчивого развития, рассмотренные на предыдущем этапе. В качестве примера, на рис. 6.13 представлена система параметров и показателей оценки устойчивого развития ГДП, включающая 8 параметров (C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>) и 23 показателя (C<sub>1.1</sub>-C<sub>8.2</sub>).



Рисунок 6.13 – Параметры и показатели оценки стратегии устойчивого развития ГДП

На четвертом этапе выполняется формирование перечня возможных стратегий устойчивого развития ГДП для конкретных условий. Для ранжирования управленческих решений используются MCDM модели и методы.



На заключительном этапе выполняется расчёт показателей экономической эффективности (рентабельность, совокупный дисконтированный доход, срок окупаемости) и осуществляется окончательный выбор стратегии устойчивого развития ГДП.

В качестве примера рассмотрим реализацию управленческого решения по выбору стратегии устойчивого развития ГДП на примере железорудного карьера Малый Куйбас. Данный выбор обусловлен следующими соображениями. Во-первых, глубина карьера приблизилась к отметке 190 м, что позволяет рассматривать возможность перехода на открыто-подземный способ. Кроме того, коэффициент вскрыши увеличился в 2,2 раза, что снизило эффективность карьера из-за высоких затрат на доставку горной массы автомобильным транспортом. Во-вторых, разведанные запасы железной руды достигают глубины 1000 м. Наконец, карьер Малый Куйбас обеспечивает до 23% потребностей в рудном сырье одного из крупнейшего в мире металлургического предприятия – Магнитогорский металлургический комбинат. Были рассмотрены четыре возможные стратегии устойчивого развития ГДП:

1. Изменение параметров текущего этапа (S1) – рассмотрена возможность изменения вида транспорта путем добавления конвейера со стационарным перегрузочным пунктом. Такое решение позволит сократить расстояние транспортирования автотранспортом в 2 раза и повысить эффективность добычи руды. Принятые контуры карьера на конец отработки не изменялись. Конечная глубина карьера составит 310 м.

2. Переход на новый этап открытых горных работ (S2) – рассмотрен вариант увеличения глубины карьера на 60-80 м. Реализация данной стратегии позволяет увеличить объём добываемой руды, продлить срок существования рудника, разместить часть объёмов вскрышных пород во внутреннем отвале, что повышает эффективность ее реализации, сокращает расстояние транспортирования и не требует значительного увеличения количества оборудования.

3. Переход на открыто-подземный способ разработки (S3) – рассмотрена возможность строительства подземного рудника на месторождении. При выборе

варианта перехода на открыто-подземный способ разработки рассматривалась возможность проходки наклонных автомобильных стволов из карьера. Это позволит быстрее построить подземный рудник, снизить затраты на строительство рудника, использовать имеющееся карьерное оборудование для доставки руды на поверхность.

4. Прекращение функционирования ГДП (S4) – рассмотрена возможность прекращения добычи руды на месторождении и размещении промышленных отходов в пространстве карьера. В 12 км от карьера находится крупное металлургическое производство, которое образует много отходов: доменные шлаки, сталеплавильные шлаки, промышленные отходы. Данные отходы складированы на поверхности земли и являются причиной негативного воздействия на окружающую среду [37, 147]. Размещение этих отходов в карьере позволит существенно снизить экологическое воздействие [147].

В табл. 6.7 представлены результаты оценки проектных решений по 23 показателям (см. рис. 6.13), полученные по результатам выполненных для данного объекта научно-исследовательских работ, а также экспертной оценки [12]. Группа экспертов включала 10 академических экспертов со средневзвешенным стажем работы 25,4 года и 9 представителей горнодобывающих предприятий со средневзвешенным стажем 9,5 лет. Показатели  $C_{22}$ ,  $C_{31}$ ,  $C_{32}$ ,  $C_{33}$ ,  $C_{41}$ ,  $C_{42}$ ,  $C_{43}$ ,  $C_{51}$ ,  $C_{52}$ ,  $C_{53}$ ,  $C_{61}$ ,  $C_{62}$ ,  $C_{71}$  являются количественными, их значения рассчитаны с использованием известных методик. Показатели  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{23}$ ,  $C_{24}$ ,  $C_{72}$ ,  $C_{73}$ ,  $C_{81}$ ,  $C_{82}$  являются качественными, оценивались группой экспертов с использованием пятибалльной шкалы.

Таблица 6.7 – Результаты оценки стратегий устойчивого развития ГДП (на примере карьера Малый Куйбас)

Количественные	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>43</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>61</sub>	C <sub>62</sub>	C <sub>63</sub>	C <sub>71</sub>
Вес показателя*	0,0253	0,0708	0,0366	0,0384	0,0466	0,0620	0,0315	0,0297	0,0357	0,0359	0,0276	0,0335	0,0374	0,1958	0,0246
Изменение параметров текущего этапа разработки (S1)	47	0,48	4,1	470	22	210	27	3400	10	10	1	265,58	217,3	103	19,23
Переход на новый этап открытых горных работ (S2)	55	0,53	7,3	550	24	180	29	2925	15	15	2	1623,9	312,4	918,69	19,1
Переход на открыто-подземный способ разработки (S3)	5	0,32	1,5	290	2,7	100	21	1625	6	25	1	10572	722,92	1110,92	5,12
Прекращение функционирования ГДП (S4)	2	0,7	2,0	470	0,5	0,1	19	500	1	30	1	37	52	130,5	5,8

Качественные**	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>72</sub>	C <sub>73</sub>	C <sub>81</sub>	C <sub>82</sub>
Вес показателя*	0,0085	0,0829	0,0259	0,0487	0,0345	0,0144	0,0337	0,0188
Изменение параметров текущего этапа разработки (S1)	3,272	1,741	2,639	2,605	3,245	3,438	3,641	2,862
Переход на новый этап открытых горных работ (S2)	3,438	2,702	3,728	3,438	3,438	2,825	2,169	1,783
Переход на открыто-подземный способ разработки (S3)	1,516	4,317	4,573	4,129	3,728	4,129	2,460	3,366
Прекращение функционирования ГДП (S4)	3,438	2,759	1,380	1,821	2,141	1,516	2,512	1,552

\* По результатам оценки методом Fuzzy АНР  
 \*\* Указаны средние значения нечётких чисел по результатам экспертной оценки

Для сравнения были выбраны 10 MCDM методов (рис. 6.14). Оценка веса показателей устойчивого развития ГДП выполнялась с использованием метода Fuzzy AHP.

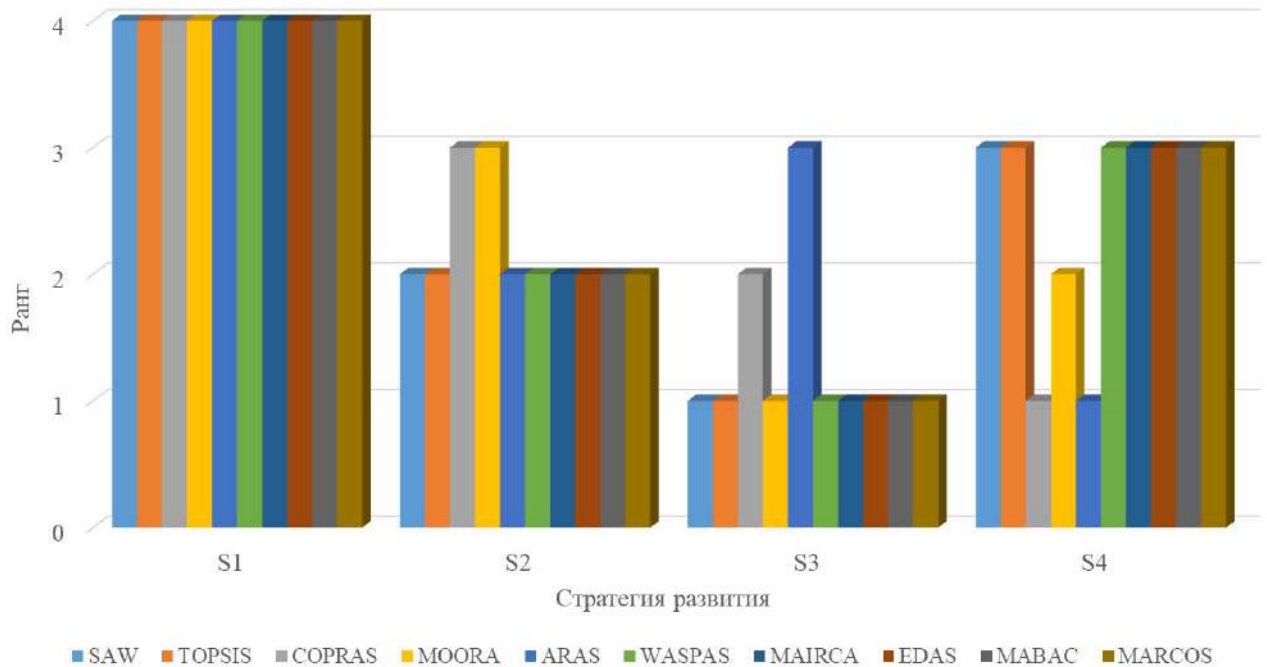


Рисунок 6.14 – Результаты ранжирования стратегий развития различными MCDM методами

Оценка устойчивости результатов ранжирования выполнена на основе расчёта коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Средний коэффициент корреляции составил – 0,991 и показал высокую корреляцию между результатами ранжирования различными MCDM методами.

Таким образом, в результате реализации предлагаемого подхода установлено, что наиболее предпочтительной стратегией в текущих условиях является S3 «Переход на открыто-подземный способ разработки». Оценка эффективности перехода к стратегии S3 позволит повысить экономическую эффективность на 12,36%, экологическую – на 5,7% и социальную эффективность на 7,6%. Величина совокупного дисконтированного дохода от реализации стратегии перехода на открыто-подземный способ разработки составит 1,7 млрд руб.

Таблица 6.8 – Оценка эффективности реализации решений по устойчивому развитию ЛЦГ

Решения	Неустойчивое состояние	Устойчивое состояние	Результаты оценки эффективности		
			Экон.	Экол.	Соц.
Определение параметров межрегиональной перевозки автомобильным транспортом	Комплексный показатель устойчивости 0,38025	Комплексный показатель устойчивости 0,3906-0,4841	8,69-10,77%	7,6-9,42%	8,47-10,5%
Выбор интермодальных технологий в ЛЦГ	Система пространство «1520»	Система Flexiwaggon	7,5%	6,66%	5,8%
Выбор стратегии устойчивого развития ГДП	Корректировка параметров текущего этапа добычи	Переход на открыто-подземный способ добычи	12,36%	5,7%	7,6%

### Выводы по главе 6

1. Предложена методика управления параметрами логистических потоков для достижения целей устойчивого развития ЛЦГ, основанная на идентификации параметров и показателей потоков, построении нечёткой модели взаимосвязи параметров и показателей потоков, оценки устойчивости ЛЦГ и принятия решений по выбору и реализации инструментов «зелёной» логистики для приведения управляемых параметров логистических потоков в соответствии с требуемыми значениями и целями устойчивого развития.

2. Оценка эффективности реализации решений по устойчивому развитию ЛЦГ основана на сравнительном анализе фактических и установленных значений параметров и показателей логистических потоков. Оценка эффективности реализации инструментов «зелёной» логистики целесообразно производить по критериям экономического, социального и экологического эффекта.

3. Рассмотрены примеры реализации решений по устойчивому развитию логистических цепей грузопотоков: оптимизационные – перевозка грузов с исполь-

зованием автомобилей в границах национальной транспортной системы; конструктивные – ранжирование и выбор контрейлерной системы в устойчивых цепях поставок; принципиальные – выбор стратегии устойчивого развития горнодобывающего предприятия, как поставщика сырья для металлургического комбината. Для данных решений реализация инструментов «зелёной» логистики позволила повысить комплексный показатель устойчивости в среднем с 0,3906 до 0,4841, экономическую эффективность в среднем на 7,5-20,7%, экологическую эффективность на 5,7-18,1%, социальную эффективность на 5,8-20,2%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Выполнен анализ мирового и отечественного опыта управления транспортными системами и цепями поставок. Выявлено, что рост объёмов производства и потребления негативно отражается на состоянии окружающей среды, что привело к увеличению выбросов углекислого газа с 23,1 до 31,5 Гт с 2000 по 2020 гг. Установлена необходимость совершенствования подходов к управлению логистическими цепями грузопотоков для условий РФ, занимающей 4 место в мире по выбросам CO<sub>2</sub> и 75 место в мире по индексу эффективности логистики LPI.

2. Установлено, что сложность управления логистическими цепями грузопотоков заключается: в отсутствии универсальной системы логистических принципов, обеспечивающих формирование баланса между экономической, социальной и экологической устойчивостью ЛЦГ; в разнообразии подходов на содержание «зелёных» решений, что является причиной недостаточной системности их реализации в практической деятельности; в отсутствии комплексного и системного подхода к оценке всех видов логистических потоков, основанного на учёте взаимосвязи между показателями и параметрами потоков с позиции концепции устойчивого развития.

3. Сформирована новая система принципов «зелёной» логистики на основе синтеза принципов логистики и принципов устойчивого развития. Сформулированные 19 принципов «зелёной» логистики являются основой реализации элементами ЛЦГ их ключевых, базисных или поддерживающих функций для достижения целей устойчивого развития.

4. Выполнена систематизация методов и инструментов «зелёной» логистики. В основу систематизации положены: факторы устойчивого развития ЛЦГ, а также базисные и поддерживающие функции всех элементов ЛЦГ по достижению целей устойчивого развития. Предлагаемая система методов и инструментов «зелёной» логистики включает 27 методов и 105 инструментов, обеспечивает достижение 13 ЦУР.

5. Разработана концепция устойчивого развития логистических цепей грузопотоков. Основу концепции составляет идея формирования баланса между экономической, экологической и социальной устойчивостью ЛЦГ, основанная на использовании принципов, методов и инструментов «зелёной» логистики, многокритериальных методов и моделей принятия решений по управлению параметрами логистических потоков и элементами ЛЦГ.

6. Предложена оригинальная система показателей и параметров логистических потоков в ЛЦГ, включающая пять групп параметров (экономические, энерго-экологические, качества, статистические и управляемые) и 15 показателей. Особенностью предлагаемой системы является оценка не отдельных элементов ЛЦГ, а комплексная оценка логистических потоков на соответствие аспектам концепции устойчивого развития и эффективности управления ЛЦГ.

7. Разработана методика определения весовых коэффициентов параметров и показателей логистических потоков в ЛЦГ. Основу методики составляет идея сравнения результатов использования различных многокритериальных методов взвешивания для определения веса показателей логистических потоков с использованием нечёткой (Fuzzy), серой (Grey) и традиционной (Crisp) шкалы оценки. Это позволит выполнять комплексную двухуровневую оценку показателей логистических потоков в ЛЦГ, определять взаимосвязи как между группами параметров, так и между показателями логистических потоков, оценивать силу влияния параметров (показателей) друг на друга, и в итоге определять вес каждого параметра (показателя) логистического потока в ЛЦГ.

8. Предложена система и разработана методика комплексной оценки и ранжирования показателей логистических цепей грузопотоков с использованием метода DEMATEL. Использование методики позволит: повысить качество оценки состояния грузопотоков на соответствие ЦУР с целью повышения эффективности управленческих решений по выбору и использованию инструментов «зелёной» логистики.

9. Разработана многокритериальная модель оценки элементов ЛЦГ при формировании стратегии устойчивого развития ЛЦГ. Модель основана на исполь-



зовании комбинации многокритериальных методов DEMATEL, BWM–SAW в сочетании с приблизительными интервальными числами и STEEP анализом. Результатом использования модели являются ранжирование управленческих решений (оптимизационных, конструктивных, изменение принципов или изменение системы) для всех элементов ЛЦГ под влиянием STEEP факторов (социальных, технологических, экономических, экологических и политический).

10. Разработана комбинированная многокритериальная (MCDM) модель ранжирования методов и инструментов «зелёной» логистики в ЛЦГ с учётом их влияния на параметры и показатели ЛЦП и достижения целей устойчивого развития. Ранжирование методов и инструментов «зелёной» логистики основано на комплексном использовании многокритериальных моделей принятия управленческих решений. Результаты использования 14 многокритериальных моделей показали высокую согласованность (ранговый коэффициент Спирмена в среднем составил 0,689-0,919). Наиболее согласованными являются методы WASPAS, MABAC, MARCOS, MAIRCA, SAW и COPRAS. Наименее согласованными являются методы CoCoSo, PROMETHEE, VIKOR и CODAS.

11. Разработана математическая модель определения оптимальной комбинации инструментов «зелёной» логистики для их применения элементами ЛЦГ с учётом имеющихся материальных, финансовых, информационных ресурсов и ресурсов услуг. Окончательное решение по реализации конкретного инструмента «зелёной» логистики и определение его оптимальных параметров выполняется с использованием разработанной математической модели линейного программирования Грея, позволяющей обеспечить гибкость, надёжность и точность оценки в условиях недостатка и неточности информации о моделируемых объектах.

12. Установлена зависимость повышения эффекта от реализации инструментов «зелёной» логистики от изменения доли запаса логистических ресурсов. Перераспределение доли запасов логистических ресурсов на реализацию инструментов в пределах 7,5-15% позволяет достигнуть максимального эффекта от реализации инструментов в ЛЦГ.

13. Предложена методика управления параметрами логистических цепей грузопотоков для достижения целей устойчивого развития основанная на идентификации параметров и показателей ЛЦГ, построении нечёткой модели взаимосвязи параметров и показателей ЛЦГ, оценки устойчивости ЛЦГ и принятия решений по выбору и реализации инструментов «зелёной» логистики для приведения управляемых параметров логистических потоков в соответствии с требуемыми значениями и целями устойчивого развития.

14. Представлены примеры реализации инструментов «зелёной» логистики трех типов управленческих решений для транспортных и горнодобывающих предприятий: оптимизационных, конструктивных и изменение принципов работы. Реализация инструментов «зелёной» логистики позволила повысить комплексный показатель устойчивости в среднем с 0,39 до 0,48, экономическую эффективность на 8,69-10,77%, экологическую – на 7,6-9,42% и социальную эффективность на 8,47-10,5%.

15. Основные положения и результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать федеральным и региональным органам власти при разработке стратегических программ формирования и развития логистических транспортных систем; руководителям транспортных предприятий для оценки эффективности решений по реализации мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду; потенциальным инвесторам при выборе вариантов проектов создания логистической инфраструктуры на основе прогнозов параметров грузопотоков.

16. Перспективой дальнейшей разработки темы диссертации является формирование системы управления логистическими потоками на основе комбинирования многокритериальных методов с имитационным моделированием. Это позволит оценивать эффективность решений по устойчивому развитию цепей грузопотоков, прогнозировать изменение параметров и показателей логистических потоков и принимать решения с учётом данных изменений.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГДП	– горнодобывающее предприятие;
ГПСЦ	– глобальные производственно-сбытовые цепи;
ЕАЭС	– Евразийский экономический союз;
ЕС	– Европейский союз;
ЗЛ	– «зелёная» логистика;
ЗЦП	– «зелёные» цепи поставок;
ЛП	– логистический поток;
ЛПР	– лицо, принимающее решение;
ЛС	– логистическая система;
ЛЦГ	– логистические цепи грузопотоков;
ООН	– Организация Объединенных Наций;
ОЭСР	– Организация экономического сотрудничества и развития;
РЛ	– реверсивная логистика;
РФ	– Российская Федерация;
УЦП	– устойчивые цепи поставок;
ЦП	– цепь поставок;
ЦУР	– цели устойчивого развития;
АНР	– аналитический иерархический процесс (Analytic Hierarchy Process);
ARAS	– метод оценки аддитивного отношения (Additive Ratio Assessment);
BWM	– метод «Лучший худший метод» (Best Worst Method);
C-DEMATEL	– чёткий DEMATEL (Crisp DEMATEL);
CCPI	– индекс эффективности борьбы с изменением климата (Climate Change Performance Index);
CoCoSo	– метод комбинированного компромиссного решения (COmbined COmpromise SOolution);
CODAS	– метод комбинированной дистанционной оценки (Combinative Distance-based Assessment);
COPRAS	– метод комплексной пропорциональной оценки (Complex Proportional Assessment);
DEMATEL	– метод «Лаборатория оценки и испытаний принятия решений» (DEcision MAking Trial and Evaluation Laboratory);
EDAS	– метод оценки отклонения от среднего решения (The Evaluation based on Distance from Average Solution);
F-DEMATEL	– нечёткий DEMATEL (Fuzzy DEMATEL);
F-АНР	– нечёткий АНР (Fuzzy АНР);
G-DEMATEL	– серый DEMATEL (Grey DEMATEL);
ЛТ	– концепция «точно в срок» (Just in time);
IEA	– Международное энергетическое агентство (The International Energy Agency);

IRN	– приближенные интервальные числа (Interval Rough Number);
LPI	– индекс эффективности логистики (Logistics Performance Index);
MABAC	– метод сравнения многокритериальных разграниченных областей (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison);
MADM	– много-атрибутные методы принятия решений (Multi-attribute Decision Making);
MAIRCA	– метод сравнительного анализа идеального и реального с множеством атрибутов (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis);
MARCOS	– метод оценки альтернатив и ранжирование в соответствии с компромиссным решением (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution);
MCDM	– многокритериальные методы принятия решений (Multi-criteria Decision Making);
MODM	– многоцелевые методы принятия решений (Multi-objective Decision Making);
MOORA	– метод многоцелевой оптимизации на основе анализа соотношений (Multi-Objective Optimization On The Basis of Ratio Analysis);
OBOR	инициатива «Один пояс – Один путь» (One Belt – One Road);
PROMETHEE	– метод формирования рангов предпочтения для обогащения оценок (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations);
SAW	– метод простого аддитивного взвешивания (Simple Additive Weighting);
STEEP	– общество, технологии, экономика, окружающая среда и политика (Society, Technology, Economy, Environment, Policy);
TOPSIS	– метод расстановки приоритетов по сходству с идеальным решением (Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution);
VIKOR	– метод компромиссного решения для оптимизации с более высокими критериями (Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje);
WASPAS	– метод совокупной взвешенной суммы (Weighted Aggregated Sum Product Assessment).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Акимова, Т. Экология / Т. Акимова, В. Хаскин. – Москва: ЮНИТИ. – 455 с.
2. Аникин, Б. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика / Б. Аникин, Родкина Т.А. – Москва: Проспект, 2015. – 344 с.
3. Апатцев, В. Управление устойчивостью транспортной компании / В. Апатцев // Наука и техника транспорта. – 2015. – №3. – С. 24-30.
4. Багинова, В. Адаптивная организация грузопотоков / В. Багинова, А. Рахмангулов // Мир транспорта. – 2011. – №3(36). – С.132–138.
5. Багинова, В. Контроль вагонопотоков на пути необщего пользования / В. Багинова, А. Рахмангулов, Н. Осинцев // Мир транспорта. – 2010. – №3(31). – С.108–113.
6. Бобылёв, С. Зелёная экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная монография / С. Бобылёв, П. Кирюшин, О. Кудрявцева. – М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. – 284 с.
7. Бринчук, М. Экологическое право (право окружающей среды) / М. Бринчук. – Москва: Юристъ, 1998. – 688 с.
8. Бубнова, Г. Цифровая логистика – инновационный механизм развития и эффективного функционирования транспортно-логистических систем и комплексов / Г. Бубнова, Б. Лёвин // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – №3. – С.72–78.
9. Бурмистров, К.В. Комбинированная FAHP-PROMETHEE модель выбора стратегии устойчивого развития горнотехнической системы / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Современные достижения университетских научных школ. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2021. – С.201–207.
10. Бурмистров, К.В. Принципы устойчивого развития горнотехнических систем в переходные периоды / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – №4. – С.179–195.

11. Бурмистров, К.В. Устойчивое развитие и функционирование горнотехнических систем / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Современные достижения университетских научных школ. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2019. – С.164-167.
12. Бурмистров, К.В. Разработка геотехнологических решений по сохранению устойчивости функционирования горнорудных предприятий путем поэтапного вскрытия запасов глубоких горизонтов при открытой и комбинированной отработке крутопадающих месторождений: дис. ... докт. техн. наук / К.В. Бурмистров. – Магнитогорск, 2022. – 340 с.
13. Вайцеккер, Э. Фактор четыре. Затрат – половина, отдача – двойная. Новый доклад Римскому клубу / Э. Вайцеккер, Э. Ловинс, Л. Ловинс. – Москва: Academia, 2000. – 400 с.
14. Вайцеккер, Э.У.ф. Фактор 5. Формула устойчивого роста. Доклад Римскому клубу / Э.У.ф. Вайцеккер, К. Харгроуз, М. Смит. – Москва: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2013. – 368 с.
15. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. – Москва: МФТИ, 2010. – 360 с.
16. Великанов, В.С. Научные основы системы снижения рисков отказов при управлении карьерным экскаватором: дис. ... докт. техн. наук / В.С. Великанов. – Екатеринбург, 2020. – 292 с.
17. Владимиров, С. Направления развития мировой транспортной системы и логистики / С. Владимиров // Мир транспорта. – 2016. – №3. – С.6–19.
18. Возрастная структура парка грузовых машин в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtostat-info.com/News/9312> (дата обращения 15.10.2022).
19. Волков, Б. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте / Б. Волков. – Москва: Транспорт, 1996. – 191 с.
20. Всемирный фонд дикой природы (WWF). Экологический след субъектов Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- [https://wwf.ru/upload/iblock/61e/footprint2017\\_pages\\_web.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/61e/footprint2017_pages_web.pdf) (дата обращения 15.10.2022).
21. Выбор стратегии устойчивого развития горнотехнической системы методом МАВАС / К. Бурмистров, С. Гавришев, Н. Осинцев, И. Пыталев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2021. – №4. – С.268–283.
  22. Гавришев, С. Концепция устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды / С. Гавришев, К. Бурмистров, Н. Осинцев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2019. – №3. – 145-160.
  23. Гавришев, С. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография / С. Гавришев. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 231 с.
  24. Гаджинский, А. Логистика / А. Гаджинский. – Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. – 484 с.
  25. Галяутдинов, Р. Механизмы взаимодействия потоков и запасов на предприятии с точки зрения логистики / Р. Галяутдинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2016. – №1. – С.157–163.
  26. Герами, В. Управление транспортными системами. / В. Герами, А. Колик. – Москва: Издательство Юрайт, 2015. – 512 с.
  27. Гнедкова, А. Выбор «зелёных» стандартов при проектировании складов / А. Гнедкова, Н. Осинцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 78 междунар. науч. техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. – С.20.
  28. Годовой отчет АО «ВРК-2». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wagon-cargo.ru/news/godovoy-otchet-ao-vrk-2/> (дата обращения 15.10.2022).
  29. Данилов-Данильян, В. Устойчивое развитие: новые вызовы / В. Данилов-Данильян, Н. Пискулова. – Москва: Аспект-Пресс, 2015. – 336 с.
  30. Доклад о мировом развитии 2020: Торговля как инструмент развития в эпоху глобальных производственно-сбытовых цепей. 2020. – 17 с.

31. Донцов, С. Экологическая безопасность железнодорожного транспорта. Учебник / С. Донцов. – Москва: МИИТ, 2010. – 430 с.
32. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – Москва: Транспорт, 1972. – 424 с.
33. Дудин, М. «Зелёная» логистика как инструмент обеспечения экологической безопасности институционально-инновационного недропользования Европейской Арктики / М. Дудин, Н. Комков, Н. Лясников // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – Т.7, №3(27). – С.8–17.
34. Дукмасова, Н.В. Экономическая эффективность внедрения системы экологического менеджмента на промышленных предприятиях: дисс. ... канд. экон. наук / Н.В. Дукмасова. – Екатеринбург, 2015. – 214 с.
35. Дыбская, В. Мировые тренды развития управления цепями поставок / В. Дыбская, В. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – №2(85). – С.3–14.
36. Журавская, М. «Зелёная» логистика – стратегия успеха в развитии современного транспорта / М. Журавская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2015. – №1(25). – С.38–48.
37. Заляднов, В. Управление «отходами» горного производства с целью снижения ресурсоёмкости процессов открытой геотехнологии / В. Заляднов, А. Цыганов, Н. Осинцев // 63-я научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг., Магнитогорск: МГТУ, 2004. – С.184–187.
38. Зуева, О. Реверсивная логистика в управлении запасами / О. Зуева // Изв. ИГЭА. – 2009. – №1(63). – С.107–111.
39. Зырянов, В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2011. – №4(18). – С.548–551.
40. Ивуть, Р. Логистика / Р. Ивуть, С. Нарушевич. – Минск: БНТУ, 2004. – 328 с.
41. Иносэ, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – Москва: Транспорт, 1983. – 248 с.



42. Интеллектуализация транспортного обслуживания металлургических предприятий / А.Н. Рахмангулов, Н.А. Осинцев, П.Н. Мишкурлов, О.А. Копылова // Сталь. – 2014. – №4. – С.115–118.
43. Катин, В. Охрана окружающей среды в транспортной отрасли / В. Катин, Л. Майорова, В. Тищенко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 195 с.
44. Кизим, А. Современные тренды «зелёной» логистики в условиях глобализации / А. Кизим, Д. Кабертай // Логистика. – 2013. – №1. – С.46–49.
45. Козлов, П. Системная интеграция в области перевозок / П. Козлов, Н. Тушин // Железнодорожный транспорт. – 2010. – №9. – С.68–70.
46. Козлов, П.А. О системах и системности на транспорте / П.А. Козлов // Транспорт Урала. – 2016. – №2. – С.3–8.
47. Козлов, П.А. Поток и бункер-канал в транспортной системе / П.А. Козлов // Мир транспорта. – 2014. – №2(51). – С.30–37.
48. Корнилов, С. Основы логистики / С. Корнилов, А. Рахмангулов, Б. Шаульский. – Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 302 с.
49. Коробов, В. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» / В. Коробов // Социология: Методология, методы, математические модели. – 2005. – №4М. – С.54–73.
50. Курганов, В. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров / В. Курганов. – Москва: Книжный мир, 2009. – 512 с.
51. Курганов, В. Эффективность логистики и конкурентоспособность России / В. Курганов // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №1(44). – С.19-23.
52. Куренков, В. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление / В. Куренков, А. Котляренко. – Самара: Самарская государственная академия путей сообщения, 2003. – 634 с.
53. Лapidус, Б. Влияние экологической парадигмы на долгосрочное развитие железнодорожного транспорта / Б. Лapidус, Д. Мачерет // Экономика железных дорог. – 2016. – №9. – С.12-24.

54. Ларин, О. Методология организации и функционирования транспортных систем регионов / О. Ларин. – Челябинск, 2007. – 205 с.
55. Ларичев, О. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах / О. Ларичев. – Москва: Логос, 2000. – 296 с.
56. Лёвин, Б. О концепции построения моделей производственно-транспортных систем / Б. Лёвин, Э. Мамаев, В. Багинова // Наука и техника транспорта. – 2003. – Т.3. – С.8–17.
57. Лёвин, Б. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом / Б. Лёвин, В. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – №2(2). – С.2-10.
58. Леоненков, А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
59. Логистика / В. Дыбская, Е. Зайцев, В. Сергеев, А. Стерлигова. – Москва: ЭКСМО, 2008. – 944 с.
60. Логистика транспорта в цепи поставок / Л. Миротин, В. Багинова, О. Ларин [и др.]. – Москва: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. – 144 с.
61. Лотов, В. Многокритериальные задачи принятия решений / В. Лотов, И. Поспелова. – Москва: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
62. Лукинский, В. Логистика автомобильного транспорта / В. Лукинский, В. Бережной, Е. Бережная. – Москва: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.
63. Лукинский, В. Модели и методы теории логистики / В. Лукинский. – СПб.: Питер, 2003. – 176 с.
64. Мамаев, Э. Управление региональными транспортными системами в условиях изменений: проблемы и модели / Э. Мамаев. – Ростов н/Д: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2005. – 195 с.
65. Мельник, Л. Основы устойчивого развития / Л. Мельник. – Суми: ВТД Университетская книга, 2005. – 654 с.
66. Методика разработки маршрутной сети движения городского пассажирского транспорта (на примере города Магнитогорска) / С.Н. Корнилов, А.Н. Рахман-

- гулов, Н.А. Осинцев [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – №2. – С.49–58.
67. Методические подходы к созданию единого информационного пространства транспортно-логистического рынка / А. Гуда, Э. Мамаев, И. Порицкий, А. Чернов // Казанская наука. – 2013. – №9. – С.90-95.
68. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. Анохин, В. Глотов, В. Павельев, А. Черкашин // Автоматика и телемеханика. – 1997. – №8. – С.3–35.
69. Мешалкин, В. Методы логистики ресурсоэнергосбережения как организационно-управленческие инструменты модернизации нефтегазохимического комплекса / В. Мешалкин // Менеджмент в России и за рубежом. – 2011. – №5. – С.37–51.
70. Минаков, В. Производственная функция в логистических потоках / В. Минаков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – №3(30). – С.55–58.
71. Миркин, Б. Устойчивое развитие: вводный курс / Б. Миркин, Л. Наумова. – Москва: Университетская книга. – 312 с.
72. Миротин, Л. Основы логистики / Л. Миротин, В. Сергеев. – Москва: ИНФРА-М, 1999. – 200 с.
73. Миротин, Л. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Л. Миротин, В. Гудков, В. Зырянов. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.
74. Миротин, Л.Б. Транспортная логистика / Л.Б. Миротин. – Москва: Издательство «Экзамен», 2002. – 511 с.
75. Моделирование устойчивого развития как условие повышения экономической безопасности территории / А. Татаркин, Д. Львов, А. Куклин [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1999. – 274 с.
76. Мокрецкий, А.Ч. «Экономический пояс Шелкового пути» как механизм экономической геополитики Китая в постсоветских странах / А.Ч. Мокрецкий //

- Китай в мировой и региональной политике. История и современность. – 2017. – №22. – С.257–273.
77. Москвичёв, О. Клиентоориентированная контейнерная транспортная система / О. Москвичёв. – Москва: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2018. – 186 с.
78. Мультиагентный подход в математическом моделировании распределения региональных грузопотоков / О. Числов, В. Богачев, А. Кравец [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – №4. – С.87–95.
79. Неруш, Ю. Логистика / Ю. Неруш. – Москва: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. – 520 с.
80. Николайчук, В. Логистика / В. Николайчук. – СПб.: Питер, 2001. – 160 с.
81. Николашин, В. Основы логистики / В. Николашин, А. Синицина. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 252 с.
82. Обзор отрасли грузоперевозок в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru\\_ru/topics/automotive-and-transportation/ey-overview-of-the-cargo-industry-in-russia.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/automotive-and-transportation/ey-overview-of-the-cargo-industry-in-russia.pdf) (дата обращения 15.10.2022).
83. Организация Объединенных Наций. Доклад конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 года Резолюции, принятые на Конференции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/CONF.151/26/Rev.1\(Vol.I\)](http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/CONF.151/26/Rev.1(Vol.I)) (дата обращения 15.10.2022).
84. Организация Объединенных Наций. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/climate\\_framework\\_conv.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml) (дата обращения 15.10.2022).

85. Осинцев, Н.А. Безопасность транспортно-технологических процессов открытых горных работ: монография / Н.А. Осинцев. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 115 с.
86. Осинцев, Н.А. Зелёная логистика в России и за рубежом: обзор лучших практик / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – №3(71). – С.120–134.
87. Осинцев, Н.А. Имитационная модель работы транспортно-складского комплекса в составе «зелёной» цепи поставок / Н.А. Осинцев, П.Н. Мишкурин, А.Р. Арсланова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 75 междунар. науч. техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С.50–52.
88. Осинцев, Н.А. Инновации в области зелёной логистики / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов, В.В. Багинова // Мир транспорта. – 2018. – №2(75). – С.196–211.
89. Осинцев, Н.А. Инновации в области зелёной логистики / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов, В.В. Багинова // Мир транспорта. – 2018. – №3(76). – С.220–234.
90. Осинцев, Н.А. Исследование факторов устойчивого развития транспортно-логистических систем / Н.А. Осинцев, Д.Б. Семчук // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76 междунар. науч. конф. Магнитогорск, 23-27 апреля 2018 г. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2018. – С.18–19.
91. Осинцев, Н.А. Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – №1. – С.45–49.
92. Осинцев, Н.А. Система методов и инструментов зелёной логистики в цепях поставок / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов // Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологически и экономических связей: сборник научных трудов. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2018. – С.274–278.

93. Осинцев, Н.А. Систематизация принципов зелёной логистик / Осинцев Н.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76 междунар. науч. конф. Магнитогорск, 23-27 апреля 2018 г. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2018. – С.13–14.
94. Осинцев, Н.А. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах / Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – №1. – С.16–20.
95. Осинцев, Н.А. Управления безопасностью производства на рабочих местах с применением аппарата теории нечетких множеств / Н.А Осинцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – №4. – 83–85.
96. Осинцев, Н.А. Устойчивое развитие «зелёных» транспортных коридоров на направлении Восток-Запад / Н.А. Осинцев, О.А. Копылова, А.Н. Рахмангулов // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы XLII междунар. науч.-практ. конф., 18 апреля 2018 г. – Алматы: Ка-зАТК им. М. Тынышпаева, 2018. – С.151–156.
97. Осинцев, Н.А. Факторы устойчивого развития транспортно-логистических систем / Н.А. Осинцев, Е.В. Казармщикова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2017. – №1. – С.13–21.
98. Осинцев, Н.А. Формирование «зелёных» логистических систем на направлении Восток-Запад / Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф. 17-18 мая 2018 г. – Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2018. – С.78–80.
99. Осинцев, Н.А. Анализ логистических элементов зелёной цепи поставок: чёткие, нечёткие и серые методы / Н.А. Осинцев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – №1. – С.92–107.
100. Осинцев, Н.А. Выбор стратегии устойчивого развития транспортной компании комбинированным STEEP-BWM-SAW с интервальными приближитель-

- ными числами / Н.А. Осинцев // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – №3(93). – С.73–81.
101. Осинцев, Н.А. Использование многокритериальных подходов к принятию управленческих решений в зелёных цепях поставок / Н.А. Осинцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 78 междунар. науч. техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. – С.17.
102. Осинцев, Н.А. Концепция системы управления логистическими потоками в «зелёных» цепях поставок / Н.А. Осинцев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – №2. – С.81–92.
103. Осинцев, Н. Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике / Н. Осинцев // Мир транспорта. – 2021. – №5(96). – С.105–114.
104. Осинцев, Н. Многокритериальный анализ как инструмент ранжирования зелёных технологий в логистических цепях грузопотоков / Н. Осинцев, А. Рахмангулов // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. – С.148–151.
105. Осинцев, Н. Мультикритериальные методы принятия решений на транспорте и в логистике / Н. Осинцев // Транспорт Урала. – 2021. – №4. – С.3–17.
106. Осинцев, Н. Новая интегрированная DEMATEL-ANP-VIKOR модель выбора инструментов зелёной логистики / Н. Осинцев // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки. – Москва, 2021. – С.554–568.
107. Осинцев, Н. Основные положения концепции устойчивого развития транспортных систем на основе принципов «зелёной» логистики / Н. Осинцев // Хачатуровские чтения – 2018: Современные тренды экологически устойчивого развития. – Москва: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. – С.126–127.

108. Осинцев, Н. Оценка логистических потоков в зеленых цепях поставок методом DEMATEL / Н. Осинцев, А. Рахмангулов // Наука и техника транспорта. – 2021. – №4. – С.81–89.
109. Осинцев, Н. Параметры и показатели потоков в зелёных цепях поставок / Н. Осинцев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2019. – №1. – С.27–40.
110. Осинцев, Н. Ранжирование инструментов зелёной логистики комбинированным методом Fuzzy AHP-TOPSIS / Н. Осинцев, А. Рахмангулов, А. Сладковский // Транспорт Урала. – 2020. – №1. – С.3–14.
111. Осинцев, Н. Реализация принципов и технологий концепции индустрия 4.0 в логистике / Н. Осинцев, Д. Семчук // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77 междунар. науч. конф. Магнитогорск, 22-26 апреля 2019 г. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2019. – С.27.
112. Осинцев, Н. Синтез принципов концепции устойчивого развития и логистики / Н. Осинцев // Устойчивое развитие и новые модели экономики. – Москва: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – С.149–150.
113. Осинцев, Н. Совершенствование транспортных систем в соответствии с целями концепции устойчивого развития / Н. Осинцев, А. Сенина // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77 междунар. науч. конф. Магнитогорск, 22-26 апреля 2019 г. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2019. – С.20.
114. Основные направления развития логистики XXI века: ресурсосбережение, энергетика и экология / И. Омельченко, А. Александров, А. Бром, О. Белова // Гуманитарный вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана: электрон. журн. – 2013. – №12. – 10 с.
115. Павлова, Е. Экология транспорта / Е. Павлова. – М.: Транспорт, 2001. – 231 с.
116. Пахомова, Н. Экологический менеджмент / Н. Пахомова, К. Рихтер, А. Эндрес. – СПб.: Питер, 2003. – 544 с.



117. Подиновский, В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В. Подиновский. – Москва: Наука, 2019. – 103 с.
118. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. – Paris, 2014. – 178 с.
119. Покровская, О. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций / О. Покровская // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – Т.1. – С.80–94.
120. Покровская, О. Терминалистика – организация и управление в транспортных узлах / О. Покровская, Е. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – №4(49). – С.509–520.
121. Постников, В. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / В. Постников, С. Спиридонов // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – №6. – С.267–287.
122. Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф. – Москва: Транспорт, 1975. – 344 с.
123. Просто и честно об инвестициях в инфраструктуру и государственно-частном партнерстве в России. – Москва: РОСИНФРА. – 36 с.
124. Райзберг, Б. Современный экономический словарь / Б. Райзберг, Л. Лозовский, Е. Стародубцева. – Москва: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
125. Рахмангулов, А.Н. Комплексный подход к созданию интеллектуальных транспортных систем на промышленных предприятиях / А.Н. Рахмангулов, Н.А. Осинцев, Т. Юань // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2015. – Москва, 2015. – С.102–107.
126. Рахмангулов, А.Н. Концепция непрерывного повышения квалификации педагогов в области экологического образования / А.Н. Рахмангулов, Н.Н. Орехова, Н.А. Осинцев // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: материалы 17-й междунар. науч. конф., 18-19 мая 2017 г. – Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2017. – С.81–82.

127. Рахмангулов, А.Н. Концепция системы формирования компетенций в области устойчивого развития / А.Н. Рахмангулов, Н.Н. Орехова, Н.А. Осинцев // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2017. – №1. – С.11–19.
128. Рахмангулов, А.Н. Концепция системы повышения квалификации преподавателей в области экологического образования на основе логистической модели устойчивого развития / А.Н. Рахмангулов, Н.Н. Орехова, Н.А. Осинцев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – №1. – С.4–18.
129. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: монография / А.Н. Рахмангулов. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. –300 с.
130. Рахмангулов, А. Логистические методы управления вагонопотоками в производственно-транспортных комплексах / А. Рахмангулов, Н. Осинцев // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов. – Издательство ОМ-Пресс, 2011. – С.54–58.
131. Резер, С. Развитие логистики экспедирования грузов / С. Резер // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – №3. – С.40-43.
132. Реймерс, Н.Ф. Экология (теории, законы, правила принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – Москва: Журнал «Россия Молодая», 1994. – 367 с.
133. Рождественская, Н. Измерение социального эффекта экологических инициатив / Н. Рождественская, С. Богуславская // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2015. – Т.1. – С.198–205.
134. Розенберг, Г. Экология / Г. Розенберг, Д. Мозговой, Д. Гелашвили. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 396 с.
135. Сай, В. Образование, функционирование и распад организационных сетей / В. Сай, С. Сизый. – Екатеринбург: УрГУПС, 2010. – 272 с.
136. Семенов, В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. / В. Семенов. – Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2004. – 38 с.

137. Семенов, В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. / В. Семенов. – Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2006. – 32 с.
138. Семчук, Д. Обоснование параметров логистических потоков цифровой цепи поставок / Д. Семчук, Н. Осинцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79 междунар. науч. техн. конф. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2021. – С.22.
139. Семчук, Д. Реализация принципов устойчивого развития на основе интеграции технологий Индустрии 4.0 / Д. Семчук, Н. Осинцев: Устойчивое развитие и новые модели экономики. – Москва: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. – С.406–407.
140. Сергеев, В. Корпоративная логистика / В. Сергеев. – Москва: ИНФРА-М, 2005. – 976 с.
141. Сергеев, В. Менеджмент в бизнес-логистике / В. Сергеев. – Москва: Филинь, 1997. – 774 с.
142. Система «Морской порт – сухой порт» / Д. Муравьев, А. Рахмангулов, Н. Осинцев [и др.]. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 175 с.
143. Систематизация параметров и показателей потоков «зелёной» логистической системы / Н.А. Осинцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77 междунар. науч. конф. Магнитогорск, 22-26 апреля 2019 г. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2019. – С.18.
144. Систематизация принципов «зелёной» логистики (Часть 1. Анализ существующих принципов логистики и устойчивого развития) / Н. Осинцев, А. Рахмангулов, А. Сладковский, В. Багинова // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – №1(283). – С.10–16.
145. Систематизация принципов «зелёной» логистики (Часть 2. Синтез принципов логистики и устойчивого развития) / Н. Осинцев, А. Рахмангулов, А. Сладковский, В. Багинова // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – №2(284). – С.7–16.

146. Системы менеджмента безопасности цепи поставок. Устойчивость цепи поставок. Требования и руководство по применению. – Москва: Стандартинформ, 2020. – №28002-2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200171467> (дата обращения 15.10.2022).
147. Снижение экологической нагрузки в промышленных регионах страны за счет размещения отходов в карьерах и отвалах / С.Е. Гавришев, И.А. Пыталев, Н.А. Осинцев, И.В. Гапонова // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России. – Новокузнецк: Сиб-ГИУ, 2012. – С.55–61.
148. Тарифный консерватизм. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transportrussia.ru/razdely/elektronnyj-arkhiv/1016-tarifnyj-konservatizm.html>.
149. Тимухина, Е. Повышение устойчивости взаимодействия производства и транспорта / Е. Тимухина, Н. Окулов // Транспорт Урала. – 2014. – №2(41). – С.7–11.
150. Трансконтейнер. Годовой отчет 2019, 2020. – 155 с.
151. Транспорт в России 2018: статистический сборник. – Москва, 2018. – 103 с.
152. Транспортная логистика / С. Гавришев, Е. Дудкин, С. Корнилов [и др.]. – С.-Петербург: ПГУПС, 2003. – 279 с.
153. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420202382> (дата обращения 15.10.2022).
154. Транспортно-логистические системы в условиях системных изменений в экономике / Э. Мамаев, А. Гуда, В. Финоченко, К. Годованый // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – №2. – С.145–154.
155. Тяпухин, А. Принципы управления устойчивостью организации / А. Тяпухин // Мир транспорта. – 2022. – №2. – С.6–17.
156. Тяпухин, А.П. Логистика / А.П. Тяпухин. – Москва: Юрайт, 2013. – 568 с.

157. Уваров, С. Логистика: общая концепция, теория и практика / С. Уваров. – СПб.: ИВЕСТ-НП, 1996. – 232 с.
158. Указ Президента от 01.04.1996 N 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».
159. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. N400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».
160. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».
161. Указа Президента РФ от 04.02.1994 N 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития».
162. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы: Монография / С. Гавришев, А. Рахмангулов, М. Грязнов, О. Лапаева. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. – 245 с.
163. Урсул, А. Устойчивое развитие и безопасность. учебное пособие / А. Урсул, Т. Урсул. – Москва, 2013. – 515 с.
164. Ускова, Т. Управление устойчивым развитием региона: монография / Т. Ускова. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2009. – 355 с.
165. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (дата обращения 15.10.2022).
166. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».
167. Федеральный закон от 10.01.2002 N7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
168. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
169. Федорина, А. Определение базовых параметров подвижного состава контейнерных систем доставки грузов / А. Федорина, А. Цыганов, Н. Осинцев. – Свид. о гос. рег. базы данных № 2016621248, от. 14.09.2016 г.
170. Фёдоров, Л.С. Транспортная логистика / Л.С. Фёдоров, В.А. Персианов, И.Б. Мухаметдинов. – Москва: КНОРУС, 216. – 310 с.

171. Филонов, Н. Анализ потоков в логистических системах / Н. Филонов, Л. Коваленко, С. Дашинская // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – Т.9, №72. – С.76–77.
172. Филонов, Н. Анализ структуры совокупных издержек при формировании потока инноваций в логистических (экономических) системах / Н. Филонов // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2012. – №12(127). – С.133–140.
173. Формирование транспортных коридоров на направлении Восток – Запад / А. Рахмангулов, Н. Осинцев, О. Копылова, Д. Муравьев // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2018. – С.245–253.
174. Халин, В. Системы поддержки принятия решений / В. Халин, Г. Чернова. – Москва: Издательство Юрайт, 2016. – 494 с.
175. Цветков, В. Интеллектуализация транспортной логистики / В. Цветков // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №4.
176. Цыганов, А. Оценка и выбор управленческих решений по повышению безопасности производства с использованием теории нечётких множеств / А. Цыганов, Н. Осинцев // Процессы и оборудование металлургического производства. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. – С.236–240.
177. Цыганов, А. Система параметров подвижного состава интермодальной контейнерной технологии / А. Цыганов, Н. Осинцев // Вестник СибАДИ. – 2020. – №2. – С.262–272.
178. Чеботаев, А.А. Геотранспортные ресурсы России / А.А. Чеботаев. – Москва: Экономика, 2007. – 454 с.
179. Чудаков, А. Логистика / А. Чудаков. – Москва: Изд-во РДЛ, 2001. – 480 с.
180. Шахназарян, С. Генезис понятия «реверсивная логистика» / С. Шахназарян // Вестник Югорского государственного университета. – 2015. – №4(39). – С.27–35.
181. Швецов, В. Математическое моделирование транспортных потоков / В. Швецов // Авто- мат. и телемех. – 2003. – №11. – С.3–46.

182. Шмулевич, М. Транспортно-логистическая структура промышленных парков / М. Шмулевич // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №2(69). – С.22–26.
183. Шумаев, В. Основы логистики / В. Шумаев. – Москва: Юридический институт МИИТ, 2016. – 314 с.
184. Щербанин, Ю. Транспорт России: три года экономических санкций / Ю. Щербанин // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2018. – №16. – С.248–266.
185. Экологическая доктрина Российской Федерации (одобрена распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. N1225-р).
186. Экономика одного пояса, одного пути: Возможности и риски транспортных коридоров. – Всемирный банк, 2019. – 167 с.
187. «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Президентом РФ 30.04.2012).
188. A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems / M. Yazdani, P. Zarate, E. Zavadskas, Z. Turskis // Management Decision. – 2019. – vol.57, №9. – P.2501–2519.
189. A literature review of sustainable consumption and production: A comparative analysis in developed and developing economies / C. Wang, P. Ghadimi, M.K. Lim, M.-L. Tseng // Journal of Cleaner Production. – 2019. – vol.206. – P.741–754.
190. A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges / M.-L. Tseng, M.S. Islam, N. Karia // Resources, Conservation and Recycling. – 2019. – vol.141. – P.145–162.
191. A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making / M.K. Ghorabae, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene // Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research. – 2016. – vol.50. – Iss.3. – P.25–44.

192. A novel integrated fuzzy PIPRECIA – interval rough SAW model green supplier selection / I. Đalić, Ž. Stević, C. Karamasa, A. Puška // *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. – 2020. – vol.3(1). – P.126–145.
193. A state-of-the-art review and meta-analysis on sustainable supply chain management: Future research directions / S.A. Rehman Khan, Z. Yu, H. Golpîra // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – P.123357.
194. A systematic literature review on green supply chain management: Research implications and future perspectives / U.R. de Oliveira, L.S. Espindola, I.R. da Silva [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – vol.187. – P.537–561.
195. Abbasi, M. Storage, Warehousing, and Inventory Management / M. Abbasi // *Logistics Operations and Management* / Ed. R. Z. Farahani, S. Rezapour. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P.181–197.
196. Agrawal, S. A literature review and perspectives in reverse logistics / S. Agrawal, R.K. Singh, Q. Murtaza // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2015. – vol.97. – P.76–92.
197. Aguezzoul, A. Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods / A. Aguezzoul // *Omega*. – 2014. – vol.49. – P.69–78.
198. Ahi, P. A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management / P. Ahi, C. Searcy // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – vol.52. – P.329–341.
199. Ahi, P. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains / P. Ahi, C. Searcy // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – vol.86. – P.360–377.
200. Alinezhad, A. *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* / A. Alinezhad, J. Khalili. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – 233 p.
201. Alvarez, P.A. Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey / P.A. Alvarez, A. Ishizaka, L. Martínez // *Expert Systems with Applications*. – 2021. – vol.183, Iss.3. – P.115368.



202. An approach to achieving the sustainable development goals based on the system of green logistics methods and instruments / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // *Transport Problems – 2017 Proceeding IX International Scientific Conference, 28-30 June 2017.* – Katowice: Silesian University of Technology, 2017. – P.541–556.
203. An optimal management model for empty freight railcars in transport nodes / A. Rakhmangulov, N. Osintsev, D. Muravev, A. Legusov // *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications.* – 2019. – vol.2, Iss.1. – P.51–71.
204. Aoyama, R. “One Belt, One Road”: China’s new global strategy / R. Aoyama // *Journal of Contemporary East Asia Studies.* – 2017. – vol.5, Iss.2. – P.3–22.
205. Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008–2018 / M. Stojčić, E. Zavadskas, D. Pamučar // *Symmetry.* – 2019. – vol.11, Iss.3. – P.350.
206. Aytekin, A. Comparative analysis of the normalization techniques in the context of MCDM problems / A. Aytekin // *Decision Making: Applications in Management and Engineering.* – 2021. – vol.4, Iss.2. – P.1–25.
207. Balon, V. Green supply chain management: Pressures, practices, and performance – An integrative literature review / V. Balon // *Business Strategy and Development.* – 2019. – vol.3, Iss.2. – P.226-244.
208. Banister, D. The sustainable mobility paradigm / D. Banister // *Transport Policy.* – 2008. – vol.15, Iss.2. – P.73–80.
209. Bartolini, M. Green warehousing: Systematic literature review and biblio-metric analysis / M. Bartolini, E. Bottani, E.H. Grosse // *Journal of Cleaner Production.* – 2019. – vol.226. – P.242–258.
210. Becerra, P. Green supply chain quantitative models for sustainable inventory management: A review / P. Becerra, J. Mula, R. Sanchis // *Journal of Cleaner Production.* – 2021. – vol.52. – P.129544.
211. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement / L. Pintér, P. Hardi, A. Martinuzzi, J. Hall // *Ecological Indicators.* – 2012. – vol.17. – P.20–28.

212. Belton, V. *Multiple Criteria Decision Analysis* / V. Belton, T.J. Stewart. – Boston, MA: Springer US, 2002. – 372 p.
213. Bevilacqua, M. *Design for Environment as a Tool for the Development of a Sustainable Supply Chain* / M. Bevilacqua, F.E. Ciarapica, G. Giacchetta. – London, New York: Springer, 2012. – 373 p.
214. Bhatia, M.S. Green supply chain management: Scientometric review and analysis of empirical research / M.S. Bhatia, K.K. Gangwani // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – vol.284, Iss.14. – P.124722.
215. Bibliometric research indicators for green supply chain modelling / M. Alkahtani, S. Ahmad, M.A. Noman // *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. – 2020. – vol.35, Iss.3. – P.314.
216. Blanchard, D. *Supply Chain Management* / D. Blanchard. – Hoboken, N.J.: Wiley; Chichester: John Wiley, 2010. – 280 p.
217. Borodin, A. Methods of substantiation of specialization of railway lines / A. Borodin, E. Prokofieva // *Transport Problems*. – 2018. – vol.12. – P.35–44.
218. Brans, J.P. Note - A preference ranking organization method / J.P. Brans, P. Vincke // *Management Science*. – 1985. – vol.31, Iss.6. – P.647–656.
219. Brauers, W.K.M. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy / W.K.M. Brauers, E.K. Zavadskas // *Control and Cybernetics*. – 2006. – vol.35, Iss.2. – P.445–469.
220. Bretzke, W.-R. *Sustainable Logistics* / W.-R. Bretzke, K. Barkawi. – Heidelberg: Springer, 2013. – 518 p.
221. Broniewicz, E. A comparative evaluation of multi-criteria analysis methods for sustainable transport / E. Broniewicz, K. Ogrodnik // *Energies*. – 2021. – vol.14, Iss.16. – P.5100.
222. Burmistrov, K.V. Selection of open-pit dump trucks during quarry reconstruction / K.V. Burmistrov, N.A. Osintsev, A.N. Shakshakpaev // *Procedia Engineering*. – 2017. – vol.206. – P.1696–1702.
223. Burmistrov, K. A fuzzy AHP approach for ranking parameters and indicators of sustainable functioning and development of opening-up of an opencast system / K.

- Burmistrov, N. Osintsev // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – vol.12, Iss.3. – P.394–409.
224. Business leaders endorse sustainable development goals as framework for shaping corporate strategies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unglobalcompact.org/news/3571-06-23-2016> (дата обращения 15.10.2022).
225. Cañas, H. A general outline of a sustainable supply chain 4.0 / H. Cañas, J. Mula, F. Campuzano-Bolarín // Sustainability. – 2020. – vol.12, Iss.19. – P.7978.
226. Cetinkaya, B. Sustainable Supply Chain Management / B. Cetinkaya. – Berlin, London: Springer, 2010. – 283 p.
227. Chakir, I. Logistics flow optimization for advanced management of the crisis situation / I. Chakir, M. El Khaili, M. Mestari // Procedia Computer Science. – 2020. – vol.175. – P.419–426.
228. Chang, D.-Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP / D.-Y. Chang // European Journal of Operational Research. – 1996. – vol.95, Iss.3. – P.649–655.
229. Chen, D. The impacts of industrialization on freight movement in China / D. Chen, Y. Bhatt: King Abdullah Petroleum Studies and Research Center, 2019. – 39 p.
230. Chornopyska, N.V. Conceptual approach to define the notion «green logistics» / N.V. Chornopyska // Journal Lviv Polytechnic National University «Logistics». – 2014. – vol.789. – P.166–171.
231. Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management / M. Christopher. – Harlow: Financial Times Prentice Hall, 2011. – 276 p.
232. Churchman, C.W. An approximate measure of value / C.W. Churchman, R.L. Ackoff // Journal of the Operations Research Society of America. – 1954. – vol.2, Iss.2. – P.172–187.
233. Cousins, P. Strategic Supply Management / P. Cousins. – Harlow, England, New York: Prentice Hall/Financial Times, 2008. – 308 p.
234. Critical Issues in Transportation 2019. – Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2018. – 48 p.

235. Dallasega, P. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review / P. Dallasega, E. Rauch, C. Linder // *Computers in Industry*. – 2018. – vol.99. – P.205–225.
236. Dangelico, R.M. “Green Marketing”: An analysis of definitions, strategy steps, and tools through a systematic review of the literature / R.M. Dangelico, D. Vocalelli // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – vol.165. – P.1263–1279.
237. Darvishi, D. Grey linear programming: a survey on solving approaches and applications / D. Darvishi, S. Liu, J. Yi-Lin Forrest // *Grey Systems: Theory and Application*. – 2021. – vol.11, Iss.1. – P.110–135.
238. Das, L. Role of humanitarian supply chain management in various disaster situations across the globe / L. Das // *Managing Humanitarian Logistics* / Ed. B. Sahay. – New York NY: Springer Berlin Heidelberg, 2015. – P.253–271.
239. Dekker, R. Operations research for green logistics – an overview of aspects, issues, contributions and challenges / R. Dekker, J. Bloemhof, I. Mallidis // *European Journal of Operational Research*. – 2012. – vol.219, Iss.3. – P.671–679.
240. Deng, J. Introduction to grey system theory / J. Deng // *The Journal of Grey System*. – 1989. – Iss.1. – P.1–24.
241. Deshmukh, A.J. Emerging supplier selection criteria in the context of traditional VS green supply chain management / A.J. Deshmukh, H. Vasudevan // *International Journal of Managing Value and Supply Chains*. – 2014. – vol.5, Iss.1. – P.19–33.
242. Development of sustainable transport in smart cities / I. Makarova, K. Shubenkova, V. Mavrin [et al.] // 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry - Innovation to Shape the Future for Society and Industry (RTSI): IEEE, 2017. – P.1–6.
243. *Developments in Logistics and Supply Chain Management* / K.S. Pawar, H. Rogers, A. Potter, M. Naim. – London: Palgrave Macmillan UK, 2016. – 295 p.
244. Dincer, I. Renewable energy and sustainable development: A crucial review / I. Dincer // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2000. – vol.4, Iss.2. – P.157–175.

245. Doing Business 2020. Comparing Business Regulation in 190 Economies. – World Bank Group, 2020. – 149 p.
246. Dolgui, A. Reconfigurable supply chain: The X-network / A. Dolgui, D. Ivanov, B. Sokolov // International Journal of Production Research. – 2020. – vol.58, Iss.13. – P.4138–4163.
247. Dollar, D. Growth is good for the poor / D. Dollar, K. Aart // Journal of Economic Growth. – 2002. – vol.7, Iss.3. – P.195–225.
248. Dopfer, K. Micro-meso-macro / K. Dopfer, J. Foster, J. Potts // Journal of Evolutionary Economics. – 2004. – vol.14, Iss.3. – P.263–279.
249. Dynamic optimization of railcar traffic volumes at railway nodes / A. Rakhman-gulov, A. Śładkowski, N. Osintsev // Rail Transport—Systems Approach / Ed. A. Śładkowski. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – P.405–456.
250. Dytczak, M. DEMATEL-based ranking approaches / M. Dytczak, G. Ginda // WSB University in Wrocław Research Journal. – 2016. – vol.16, Iss.3. – P.191–201.
251. Elkington, J. Cannibals With Forks / J. Elkington. – Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1998. – 407 p.
252. Emmett, S. Green Supply Chains / S. Emmett, V. Sood. – Hoboken, N.J.: Wiley; Chichester: John Wiley, 2010. – 294 p.
253. Enerdata. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.enerdata.ru/publications/world-energy-statistics-supply-and-demand.html> (дата обращения 15.10.2022).
254. Environmental management. The ISO 14000 family of International Standards. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/theiso14000family\\_2009.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/theiso14000family_2009.pdf) (дата обращения 15.10.2022).
255. Environmental transparency of Russian mining and metal companies: Evidence from independent ranking system / A. Knizhnikov, E. Shvarts, L. Ametistova [et al.] // The Extractive Industries and Society. – 2021. – vol.8, Iss.3. – P.100937.

256. Environmentally concerned logistics operations in fuzzy environment: A literature survey / O. Tozanli, G. Duman, E. Kongar, S. Gupta // *Logistics*. – 2017. – vol.1, Iss.4. – P.1–42.
257. Evaluation of sustainable transport research in 2000–2019 / X. Zhao, Y. Ke, J. Zuo // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – vol.256. – P.120404.
258. Evangelista, P. Environmental sustainability in third-party logistics service providers: A systematic literature review from 2000-2016 / P. Evangelista, L. Santoro, A. Thomas // *Sustainability*. – 2018. – vol.10, Iss.5. – P.1627.
259. Fahimnia, B. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis / B. Fahimnia, J. Sarkis, H. Davarzani // *International Journal of Production Economics*. – 2015. – vol.162. – P.101–114.
260. Feng, Y. Corporate social responsibility for supply chain management: A literature review and bibliometric analysis / Y. Feng, Q. Zhu, K. Lai // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – vol.158. – P.296–307.
261. Ferreira, F. H., et al. Global poverty and inequality: A review of the evidence / F.H. Ferreira, M. Ravallion: World Bank, Washington, DC, 2008. – 42 p.
262. Fifty years of Transportation Research journals: A bibliometric overview / N.M. Modak, J.M. Merigó, R. Weber [et al.] // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2019. – vol.120. – P.188–223.
263. Frazelle, E. *Supply Chain Strategy* / E. Frazelle. – New York: McGraw-Hill, 2002. – 357 p.
264. From a systematic literature review to integrated definition for sustainable supply chain innovation (SSCI) / D. Gao, Z. Xu, Y.Z. Ruan, H. Lu // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – vol.142. – P.1518–1538.
265. Gabus, A., et al. World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL / A. Gabus, E. Fontela. – Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Centre, 1972. – P.1–8.
266. GAM Studio. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gams.com/> (дата обращения 15.10.2022).

267. Generalised framework for multi-criteria method selection / J. Wątróbski, J. Janowski, P. Ziemia // *Omega*. – 2019. – vol.86, Iss.1. – P.107–124.
268. Goldsby, T.J. *Lean Six Sigma Logistics* / T.J. Goldsby, R. Martichenko. – Boca Raton Fl.: J. Ross Pub, 2005. – 282 p.
269. Golinska, P. *Environmental Issues in Supply Chain Management* / P. Golinska, C.A. Romano. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. – 266 p.
270. Govindan, K. From a literature review to a multi-perspective framework for reverse logistics barriers and drivers / K. Govindan, M. Bouzon // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – vol.187. – P.318–337.
271. Govindan, K. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future / K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan // *European Journal of Operational Research*. – 2015. – vol.240, Iss.3. – P.603–626.
272. Grant, D.B. *Sustainable Logistics and Supply Chain Management* / D.B. Grant, A. Trautrim, C.Y. Wong. – London: Kogan Page, 2017. – 290 p.
273. Green business value chain: A systematic review / M.M. Hasan, M. Nekomahmud, L. Yajuan, M.A. Patwary // *Sustainable Production and Consumption*. – 2019. – P.326–339.
274. Green logistics: a system of methods and instruments – Part 2 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // *Naše more*. – 2018. – vol.65, Iss.1. – P.49–55.
275. Green logistics: element of the sustainable development concept. Part 1 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // *Naše more*. – 2017. – vol.64, Iss.3. – P.120–126.
276. Green logistics: Global practices and their implementation in emerging markets / M. Thiell, J.P.S. Zuluaga, J.P.M. Montañez, B. van Hoof // *Green finance and sustainability: Environmentally aware business models and technologies* / Ed. Z. Luo. – Hershey, Pa.: Business Science Reference; London, 2011. – P.334-357.
277. Green supplier evaluation and selections: A state-of-the-art literature review of models, methods, and applications / L.-J. Zhang, R. Liu, H.-C. Liu, H. Shi // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2020. – vol.2020, Iss.4. – P.1–25.

278. Green supply chain management enablers: Mixed methods research / R. Dubey, A. Gunasekaran, T. Papadopoulos, S.J. Childe // *Sustainable Production and Consumption*. – 2015. – vol.4. – P.72–88.
279. Greening ports and maritime logistics: A review / H. Davarzani, B. Fahimnia, M. Bell, J. Sarkis // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2016. – vol.48. – P.473–487.
280. Greenpeace. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2021/04.pdf> (дата обращения 15.10.2022).
281. Liu, S. *Grey Information* / S. Liu, Y. Lin. – London: Springer-Verlag, 2006. – 508 p.
282. Grey linear programming / Z. Chen, Q. Chen, W. Chen, Y. Wang // *Kybernetes*. – 2004. – vol.33, Iss.2. – P.238–246.
283. Grzybowska, K. Identification and classification of global theoretical trends and supply chain development directions / K. Grzybowska // *Energies*. – 2021. – vol.14, Iss.15. – P.4414.
284. Gu, J. Research on warehouse operation: A comprehensive review / J. Gu, M. Goetschalckx, L.F. McGinnis // *European Journal of Operational Research*. – 2007. – vol.177, Iss.1. – P.1–21.
285. Gudehus, T. *Comprehensive Logistics* / T. Gudehus, H. Kotzab. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. – 912 p.
286. Guiding principles for Sustainable Transportation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gdrc.org/uem/sustran/sustran-principles.html> (дата обращения 15.10.2022).
287. Gunasekaran, A. A framework for supply chain performance measurement / A. Gunasekaran, C. Patel, R.E. McGaughey // *International Journal of Production Economics*. – 2004. – vol.87, Iss.3. – P.333–347.
288. Hardi, P. *Assessing Sustainable Development* / P. Hardi, T.J. Zdan. – Winnipeg, Man.: International Institute for Sustainable Development, 1997. – 166 p.



289. Harrison, A. *Logistics Management and Strategy* / A. Harrison, R.I. van Hoek. – Harlow: Financial Times Prentice Hall, 2008. – 316 p.
290. Hofmann, E. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics / E. Hofmann, M. Rüsç // *Computers in Industry*. – 2017. – vol.89. – P.23–34.
291. Hussen, A.M. *Principles of Environmental Economics* / A.M. Hussen. – London: Routledge, 2004. – 344 p.
292. Hwang, C.-L. *Multiple Attribute Decision Making* / C.-L. Hwang, K. Yoon. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. – 270 p.
293. Hwang, C.-L. *Multiple Objective Decision Making – Methods and Applications* / C.-L. Hwang, A.S.M. Masud. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1979. – 365 p.
294. Illahi, U. Development of indices for sustainability of transportation systems: A review of state-of-the-art / U. Illahi, M.S. Mir // *Ecological Indicators*. – 2020. – vol.118. – P.106760.
295. Inderwildi, O. *Energy, Transport, & the Environment* / O. Inderwildi, D.A. King. – London: Springer, 2012. – 726 p.
296. International LPI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lpi.worldbank.org/international> (дата обращения 15.10.2022).
297. Iyer, A. *Supply Chain Logistics and Applications* / A. Iyer. – New York, NY: Business Expert Press, 2015. – 179 p.
298. Joint Publication 4-08, *Logistics in Support of Multinational Operations*, 5 July 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp4\\_08\\_20170507.pdf](http://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp4_08_20170507.pdf) (дата обращения 15.10.2022).
299. Kalghatgi, G. Development of fuel/engine systems – the way forward to sustainable transport / G. Kalghatgi // *Engineering*. – 2019. – vol.5, Iss.3. – P.510–518.
300. Kalghatgi, G. Is it really the end of internal combustion engines and petroleum in transport? / G. Kalghatgi // *Applied Energy*. – 2018. – vol.225. – P.965–974.
301. Kamble, S.S. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives / S.S. Kamble, A. Gunasekar-

- an, S.A. Gawankar // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2018. – vol.117. – P.408–425.
302. Kandakoglu, A. Multicriteria decision making for sustainable development: A systematic review / A. Kandakoglu, A. Frini, S. Ben Amor // *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. – 2019. – vol.26, Iss.5-6. – P.202–251.
303. Kaplan, R. The balanced scorecard measures that drive performance / R. Kaplan, D. Norton // *Harvard Business Review*. – 1992. – Iss.1-2. – P. 71-79.
304. Khan, S.A. Multi-criteria decision-making methods application in supply chain management: A systematic literature review / S.A. Khan, A. Chaabane, F.T. Dweiri // *Multi-criteria methods and techniques applied to supply chain management* / Ed. V. A. P. Salomon: InTech, 2018. – P.3-31.
305. Klumpp, M. To green or not to green: a political, economic and social analysis for the past failure of green logistics / M. Klumpp // *Sustainability*. – 2016. – vol.8, Iss.5. – P.1-22.
306. Koberg, E. A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains / E. Koberg, A. Longoni // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – vol.207. – P.1084–1098.
307. Kovacs, G. *The Palgrave Handbook of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* / G. Kovacs, K.M. Spens, M. Moshtari: Palgrave Macmillan, 2018. – 747 p.
308. Kumar, A. Green logistics for sustainable development: An analytical review / A. Kumar // *IOSRD International Journal of Business*. – 2015. – vol.1, Iss.1. – P.7–13.
309. Lahane, S. Circular supply chain management: A state-of-art review and future opportunities / S. Lahane, R. Kant, R. Shankar // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – vol.258. – P.120859.
310. Lambert, D.M. *Strategic Physical Distribution Management* / D.M. Lambert, J.R. Stock. – Homewood, Ill.: R.D. Irwin, 1982. – 584 p.
311. Lazar, S. Sustainability orientation and focus in logistics and supply chains / S. Lazar, D. Klimecka-Tatar, M. Obrecht // *Sustainability*. – 2021. – vol.13, Iss.6. – P.3280.

312. Lee, C.-Y. Handbook of Ocean Container Transport Logistics / C.-Y. Lee, Q. Meng. – Cham: Springer International Publishing, 2015. – 552 p.
313. LINGO 20. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling> (дата обращения 15.10.2022).
314. Litman, T. Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning / T. Litman. – Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2015. – 100 p.
315. Logistic flow control system in green supply chains / N. Osintsev, A. Rakhman-gulov, A. Śladkowski, N. Dyorina // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. Vol.124. – P.311–380.
316. Śladkowski, A. Ecology in Transport: Problems and Solutions / Ed. A. Śladkowski. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – 564 p.
317. Logistics / Ed. H. Gleissner, J. C. Femerling. – Cham: Springer International Publishing, 2013. – 311 p.
318. Logistics Market Outlook - 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alliedmarketresearch.com/logistics-market> (дата обращения 15.10.2022).
319. Lu, K. An overview of fuzzy techniques in supply chain management: Bibliometrics, methodologies, applications and future directions / K. Lu, H. Liao, E.K. Zavadskas // Technological and Economic Development of Economy. – 2021. – vol.27, Iss.2. – P.402–458.
320. Macharis, C. The importance of stakeholder analysis in freight transport / C. Macharis // European Transport. – 2005. – vol.25-26. – P.114–126.
321. Malek, J. A systematic literature review to map literature focus of sustainable manufacturing / J. Malek, T.N. Desai // Journal of Cleaner Production. – 2020. – vol.256. – P.120345.
322. Malindžák, D. The basic principle of logistic theory / D. Malindžák // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – vol.708. – P.47–52.

323. Malladi, K.T. Sustainability aspects in inventory routing problem: A review of new trends in the literature / K.T. Malladi, T. Sowlati // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – vol.197. – P.804–814.
324. Management control systems in logistics and supply chain management: A literature review / D.P. Jeschonowski, J. Schmitz, C.M. Wallenburg, J. Weber // *Logistics Research*. – 2009. – vol.1, Iss.2. – P.113–127.
325. Mardani, A. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014 / A. Mardani, A. Jusoh, E.K. Zavadskas // *Expert Systems with Applications*. – 2015. – vol.42, Iss.8. – P.4126–4148.
326. Martínez-Jurado, P.J. Lean management, supply chain management and sustainability: A literature review / P.J. Martínez-Jurado, J. Moyano-Fuentes // *Journal of Cleaner Production*. – 2014. – vol.85. – P.134–150.
327. Mathematical model of optimal empty rail car distribution at railway transport nodes / A. Rakhmangulov, A. Kolga, N. Osintsev [et al.] // *Transport Problems*. – 2014. – vol.9, Iss.3. – P.125–132.
328. McKinnon, A.C. *Green Logistics* / A.C. McKinnon. – London, Philadelphia: Kogan Page, 2015. – 426 p.
329. Millar, M. *Global Supply Chain Ecosystems* / M. Millar. – London, Philadelphia: Kogan Page, 2015. – 274 p.
330. Mou, S. Retail store operations: Literature review and research directions / S. Mou, D.J. Robb, N. DeHoratius // *European Journal of Operational Research*. – 2018. – vol.265, Iss.2. – P.399–422.
331. Mukhametzyanov, I. A sensitivity analysis in MCDM problems: A statistical approach / I. Mukhametzyanov, D. Pamučar // *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. – 2018. – vol.1, Iss.2. P.51–80.
332. Multi-criteria assessment of piggyback systems in sustainable supply chains / N. Osintsev, A. Tsyganov, A. Rakhmangulov, A. Śładkowski // *Modern Trends and Research in Intermodal Transportation* / Ed. A. Śładkowski. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – P.451–559.

333. Multi-criteria decision making approaches for green supply chains: A review / A. Banasik, J.M. Bloemhof-Ruwaard, A. Kanellopoulos [et al.] // *Flexible Services and Manufacturing Journal*. – 2018. – vol.30, Iss.3. – P.366–396.
334. Multi-criteria decision-making techniques for improvement sustainability engineering processes / E.K. Zavadskas, D. Pamučar, Ž. Stević, A. Mardani // *Symmetry*. – 2020. – vol.12, Iss.6. – P.986.
335. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS) / M. Keshavarz Ghorabae, E.K. Zavadskas, L. Olfat, Z. Turskis // *Informatica*. – 2015. – vol.26, Iss.3. – P.435–451.
336. Multi-criteria methods and techniques applied to supply chain management / Ed. V. Salomon. Intechopen: 2018. – 180 p.
337. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – A review of the literature from 2000 to 2014 / A. Mardani, A. Jusoh, K. MD Nor // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. – 2015. – vol.28, Iss.1. – P.516–571.
338. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature / A. Mardani, E.K. Zavadskas, Z. Khalifah // *Transport*. – 2016. – vol.31, Iss.3. – P.359–385.
339. Munier, N. *Mathematical Modelling of Decision Problems* / N. Munier. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – 196 p.
340. Murphy, P.R. *Management of logistical retromovements: an empirical analysis of literature suggestions* / P.R. Murphy, R.P. Poist // *Transportation Research Forum*. – 1989. – vol.29, Iss.1. – P.177–184.
341. Murphy, P.R. *Role and relevance of logistics to corporate environmentalism* / P.R. Murphy, R.F. Poist, C.D. Braunschweig // *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. – 1995. – vol.25, Iss.2. – P.5–19.
342. Neubauer, R.M. *Business Models in the Area of Logistics* / R.M. Neubauer. – Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011. – 393 p.
343. Norman, W. *Getting to the bottom of “Triple Bottom Line”* / W. Norman, C. MacDonald // *Business Ethics Quarterly*. – 2004. – vol.14, Iss.2. – P.243–262.

344. Odu, G.O. Weighting methods for multi-criteria decision making technique / G.O. Odu // *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. – 2019. – vol.23, Iss.8. – P.1449.
345. One Belt One Road Initiative. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://politics.people.com.cn/n/2014/0811/c1001-25439028.html> (дата обращения 15.10.2022).
346. Opricovic, S. *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems* / Opricovic S. – Fac. Civ. Eng. – Belgrade, 1998. – 302 p.
347. Osintsev, N. Evaluation of logistic flows in green supply chains based on the combined DEMATEL-ANP method / N. Osintsev, A. Rakhmangulov, V. Baginova // *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. – 2021. – vol.19, Iss.3. – P.473–498.
348. Osintsev, N. Green technologies' selection for the warehouse logistics – multi-criteria approach / N. Osintsev, A. Rakhmangulov // *Modern Problems of Russian Transport Complex*. – 2021. – vol.11, Iss.1. – P.4–17.
349. Pamučar, D. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA / D. Pamučar, L. Vasin, V. Lukovac: XVI Scientific-Expert Conference on Railways, RAILCON '14. – Niš: Faculty of Mechanical Engineering, 2014. – P.89–92.
350. Pamučar, D. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC) / D. Pamučar, G. Ćirović // *Expert Systems with Applications*. – 2015. – vol.42, Iss.6. – P.3016–3028.
351. Pardalos, P. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* / P. Pardalos, R. Horst, B. Roy. – Boston, MA: Springer US, 1996. – 293 p.
352. Parvini, M. *Packaging and material handling* / M. Parvini // *Logistics Operations and Management* / Ed. R. Z. Farahani, S. Rezapour. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P.155–180.

353. Ploberger, C. One Belt, One Road – China’s new grand strategy / C. Ploberger // *Journal of Chinese Economic and Business Studies*. – 2017. – vol.15, Iss.3. – P.289–305.
354. Pouloupoulos, S.G. *Environment and Development* / S.G. Pouloupoulos, V.J. Inglezakis. – Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2016. – 580 p.
355. Psaraftis, H.N. *Green Transportation Logistics* / H.N. Psaraftis. – Cham: Springer, 2016. – 558 p.
356. *Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions* / M. Brandenburg, K. Govindan, J. Sarkis, S. Seuring // *European Journal of Operational Research*. – 2014. – vol.233, Iss.2. – P.299–312.
357. Rachih, H. *Meta-heuristics for reverse logistics: A literature review and perspectives* / H. Rachih, F.Z. Mhada, R. Chiheb // *Computers & Industrial Engineering*. – 2019. – vol.127. – P.45–62.
358. Rakhmangulov, A. *Formation of intelligent transport systems in industrial enterprises* / A. Rakhmangulov, N. Osintsev // *Transport Problems – 2014 Proceeding VI International Scientific Conference, 25-27 june 2017*. – Katowice: Selesian University of Technology, 2014. – P.230–238.
359. Rakhmangulov, A. *Design of an ITS for industrial enterprises* / A. Rakhmangulov, A. Śładkowski, N. Osintsev // *Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives* / Ed. A. Śładkowski, W. Pamuła. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – P.161–215.
360. Rakhmangulov, A. *Selection of open-pit mining and technical system’s sustainable development strategies based on MCDM* / A. Rakhmangulov, K. Burmistrov, N. Osintsev // *Sustainability*. – 2022. – vol.14, Iss.13. – P.8003.
361. Rakhmangulov, A. *Sustainable open pit mining and technical systems: Concept, principles, and indicators* / A. Rakhmangulov, K. Burmistrov, N. Osintsev // *Sustainability*. – 2021. – vol.13, Iss.3. – P.1101.
362. Rebs, T. *System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach* / T. Rebs, M. Brandenburg, S. Seuring // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – vol.208. – P.1265–1280.

363. Reis, V. *Intermodal Freight Transportation* / V. Reis, R. Macário: Elsevier, 2019. – 254 p.
364. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, 1987. – 300 p.
365. *Review of supply chain performance measurement systems: 1998-2015* / H. Balfaqih, Z.M. Nopiah, N. Saibani, M.T. Al-Nory // *Computers in Industry*. – 2016. – vol.82. – P.135–150.
366. Rezaei, J. *A systematic review of multi-criteria decision-making applications in reverse logistics* / J. Rezaei // *Transportation Research Procedia*. – 2015. – vol.10. – P.766–776.
367. Rezaei, J. *Best-worst multi-criteria decision-making method* / J. Rezaei // *Omega*. – 2015. – vol.53. – P.49–57.
368. Rezaei, J. *Best-Worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model* / J. Rezaei // *Omega*. – 2016. – vol.64. – P.126–130.
369. Rezaei, J. *Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method* / J. Rezaei, W.S. van Roekel, L. Tavasszy // *Transport Policy*. – 2018. – vol.68. – P.158–169.
370. *Robotic transport complex of automotive vehicles for handling of rock mass at the process of open cast mining* / A. Kolga, A. Rakhmangulov, N. Osintsev [et al.] // *Transport Problems*. – 2015. – vol.10, Iss.2. – P.109–116.
371. Rodrigue, J.-P. *Green logistics (The paradoxes of)* / J.-P. Rodrigue, B. Slack, C. Comtois // *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*. – Amsterdam, London: Pergamon, 2001. – P.339–350.
372. Rodrigue, J.-P. *The Geography of Transport Systems* / J.-P. Rodrigue. – Abingdon Oxon, New York NY: Routledge, 2020. – 468 p.
373. Rogers, D.S. *Going Backwards* / D.S. Rogers, R.S. Tibben-Lembke. – Reno: Reverse Logistics Executive Council, 1999. – 275 p.
374. Rouhollahi, Z. *Logistics philosophies* / Z. Rouhollahi // *Logistics Operations and Management* / Ed. R. Z. Farahani, S. Rezapour. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P.55–69.



375. Roy, V. Mapping the business focus in sustainable production and consumption literature: Review and research framework / V. Roy, S. Singh // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – vol.150. – P.224–236.
376. Rushton, A. *The Handbook of Logistics & Distribution Management* / A. Rushton, P. Croucher, P. Baker. – London: Kogan Page, 2010. – 636 p.
377. Saaty, T.L. *Decision Making with the Analytic Network Process* / T.L. Saaty, L.G. Vargas. – Boston, MA: Springer, 2013. – 363 p.
378. Saaty, T.L. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* / T.L. Saaty, L.G. Vargas. – New York: Springer, 2012. – 345 p.
379. Saaty, T.L. *The Analytical Hierarchical Process* / T.L. Saaty. – New York, USA: McGraw-Hill, 1980. – 287 p.
380. Saffar Ardabili, J. Application of center and width concepts to solving grey linear programming / J. Saffar Ardabili, D. Darvishi Salokolaei, F. Pour Ofoghi // *International Journal of Applied and Computational Mathematics*. – 2020. – vol.6, Iss.2. – P.1–12.
381. Sarkis, J. An organizational theoretic review of green supply chain management literature / J. Sarkis, Q. Zhu, K. Lai // *International Journal of Production Economics*. – 2011. – vol.130, Iss.1. – P.1–15.
382. Schönsleben, P. *Integral Logistics Management* / P. Schönsleben. – Boca Raton: Auerbach Publications, 2007. – 1033 p.
383. Sensitivity analysis in MADM methods: Application of material selection / M. Yazdani, E.K. Zavadskas, J. Ignatius, M. Doval Abad // *Engineering Economics*. – 2016. – vol.27, Iss.4. – P.382–391.
384. Seuring, S. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management / S. Seuring, M. Müller // *Journal of Cleaner Production*. – 2008. – vol.16, Iss.15. – P.1699–1710.
385. Shapiro, R.D. *Logistics Strategy* / R.D. Shapiro, J.L. Heskett. – St. Paul, Minn.: West Pub. Co, 1985. – 602 p.

386. Sheu, J.B. Forecasting time-varying logistics distribution flows in the One Belt-One Road strategic context / J.B. Sheu, T. Kundu // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. – 2018. – vol.117. – P.5–22.
387. Sładkowski, A. *Actual Problems of Logistics* / A. Sładkowski. – Gliwice: Politechnika Śląska, 2012. – 215 p.
388. Srivastava, S.K. Green supply chain management: A state-of-the-art literature review / S.K. Srivastava // *International Journal of Management Reviews*. – 2007. – T.9, №1. – P.53–80.
389. Stadtler, H. *Supply Chain Management and Advanced Planning* / H. Stadtler, C. Kilger. – Berlin, New York: Springer, 2005. – 508 p.
390. Stock, J.R. *Development and Implementation of Reverse Logistics Programs* / J.R. Stock. – Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1998. – 270 p.
391. Sulistio, J. A structural literature review on models and methods analysis of green supply chain management / J. Sulistio, T.A. Rini // *Procedia Manufacturing*. – 2015. – vol.4. – P.291–299.
392. Supply chain finance: A systematic literature review and bibliometric analysis / X. Xu, X. Chen, F. Jia [et al.] // *International Journal of Production Economics*. – 2018. – vol.204. – P.160–173.
393. *Supply Chain Management for Sustainable Food Networks* / E. Iakovou, D. Bochtis, D. Vlachos, D. Aidonis. – Chichester, West Sussex: Wiley, 2016. – 328 p.
394. Supply chain performance measurement systems: A systematic review and research agenda / V. Maestrini, D. Luzzini, P. Maccarrone, F. Caniato // *International Journal of Production Economics*. – 2017. – vol.183. – P.299–315.
395. Support of advanced technologies in supply chain processes and sustainability impact / S.G. Azevedo, C.M.O. Pimentel, A.C. Alves, J.C.O. Matias // *Applied Sciences*. – 2021. – vol.11, Iss.7. – P.3026.
396. Sustainable development and Industry 4.0: A bibliometric analysis identifying key scientific problems of the sustainable Industry 4.0 / B. Gajdzik, S. Grabowska, S. Saniuk, T. Wieczorek // *Energies*. – 2020. – vol.13, Iss.16. – P.4254.

397. Shi Y. Sustainable transportation management: Integrated modeling and support / Y. Shi, T. Arthanari, X. Liu, B. Yang // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – vol. 212. – P. 1381–1395.
398. Sustainable development of transport systems for cargo flows on the East-West direction / A. Rakhmangulov, A. Sładkowski, N. Osintsev [et al.] // *Transport Systems and Delivery of Cargo on East–West Routes* / Ed. A. Sładkowski. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – P.3–69.
399. *Sustainable Logistics* / Ed. C. Macharis, S. Melo, J. Woxenius, T. van Lier. – Bingley: Emerald Publishing, 2014. – 338 p.
400. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS) / Ž. Stević, D. Pamučar, A. Puška, P. Chatterjee // *Computers & Industrial Engineering*. – 2020. – vol.140. – P.106231.
401. *Sustainable Transport* / Ed. P. Golinska, M. Hajdul. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. – 346 p.
402. *Sustainable Transportation* / H. Gudmundsson, R.P. Hall, G. Marsden, J. Zietsman. – Heidelberg, Berlin: Springer, 2016. – 304 p.
403. Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review / S. Zhang, C. Lee, H.K. Chan [et al.] // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2015. – vol.37. – P.154–169.
404. Systematic literature review on collaborative sustainable transportation: Overview, analysis and perspectives / A. Aloui, N. Hamani, R. Derrouiche, L. Delahoche // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. – 2021. – vol.9, Iss.2. – P.100291.
405. Target: Low-carbon Goods Transportation: A Growth-dynamics Perspective on Logistics and Goods Transportation until 2050 / H. Pålsson, K.-J. Lundquist, L.-O. Olander [et al.], 2014. – 51 p.
406. The climate change performance index / J. Burck, F. Marten, C. Bals, N. Höhne. – Bonn: Germanwatch, 2017. – 24 p.

407. The Concept Industry 4.0 / Ed. C. J. Bartodziej. – Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017. – 150 p.
408. The Equator Principles. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://equator-principles.com/> (дата обращения 15.10.2022).
409. The Global Economy. Economic indicators for over 200 countries. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.theglobaleconomy.com/indicators\\_list.php](http://ru.theglobaleconomy.com/indicators_list.php) (дата обращения 15.10.2022).
410. The macroecology of sustainability / J.R. Burger, C.D. Allen, J.H. Brown [et al.] // PLoS biology. – 2012. – vol.10, Iss.6. – P.1001345.
411. The multi-agent simulation model of the parameters in the elements of supply chains / A. Rakhmangulov, N. Osintsev, O. Kopylova [et al.]: Transport Problems - 2019 Proceeding XI International Scientific Conference, 28-30 June 2019. – Katowice: Silesian University of Technology, 2019. – P.571-584.
412. The number of cars worldwide is set to double by 2040. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/agenda/2016/04/the-number-of-cars-worldwide-is-set-to-double-by-2040> (дата обращения 15.10.2022).
413. The selection of wagons for the internal transport of a logistics company: A novel approach based on rough BWM and rough SAW methods / Ž. Stević, D. Pamučar, E. Kazimieras Zavadskas [et al.] // Symmetry. – 2017. – vol.9, Iss.11. – P.1–25.
414. The system of resource balance indicators in green supply chains / N. Osintsev, A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, G.J. Jian: Transport Problems - 2019 Proceeding XI International Scientific Conference, 28-30 June 2019. – Katowice: Silesian University of Technology, 2019. – P.472–479.
415. Thomas, A.R. Global Supply Chain Security / A.R. Thomas, S. Vaduva. – New York, NY: Springer New York, 2015. – 202 p.
416. Tibben-Lembke, R.S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment / R.S. Tibben-Lembke, D.S. Rogers // Supply Chain Management: An International Journal. – 2002. – vol.7, Iss.5. – P.271–282.
417. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R) (дата обращения 15.10.2022).
418. Tsyganov, A.V. Systematization of rolling-stock parameters in piggyback systems / A.V. Tsyganov, N.A. Osintsev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – vol.709. – P.33010.
419. UN. Adoption Of the Paris Agreement. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (дата обращения 15.10.2022).
420. Visser, H. Logistics / H. Visser, A.R. van Goor. – Groningen: Wolters-Noordhoff, 2011. – 452 p.
421. Walker, K. All for one or all for three: empirical evidence of paradox theory in the triple-bottom-line / K. Walker, X. Yu, Z. Zhang // Journal of Cleaner Production. – 2020. – vol.275. – P.122881.
422. Waltho, C. Green supply chain network design: A review focused on policy adoption and emission quantification / C. Waltho, S. Elhedhli, F. Gzara // International Journal of Production Economics. – 2019. – vol.208. – P.305–318.
423. Waters, C.D.J. Global Logistics / C.D.J. Waters. – London: Kogan Page, 2007. – 436 p.
424. Waters, D. Logistics / D. Waters. – Basingstoke: Palgrave, 2002. – 354 p.
425. Wątróbski, J. Outline of multicriteria decision-making in green logistics / J. Wątróbski // Transportation Research Procedia. – 2016. – vol.16. – P.537–552.
426. Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management / N.H. Zardari, K. Ahmed, S.M. Shirazi, Z.B. Yusop. – Cham: Springer International Publishing, 2015. – 166 p.
427. World Resources Institute. The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp> (дата обращения 15.10.2022).
428. World Trade Statistical Review 2018. – Geneva, Switzerland. – 212 p.
429. WTO International Trade Statistics 2015. – Geneva, Switzerland. – 167 p.

430. WTO. Trade in goods and services has fluctuated significantly over the last 20 years. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2015\\_e/its15\\_highlights\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its15_highlights_e.pdf) (дата обращения 15.10.2022).
431. Zavadskas, E.K. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making / E.K. Zavadskas, Z. Turskis // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2010. – vol.16, Iss.2. – P.159–172.
432. Zavadskas, E.K. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview / E.K. Zavadskas, Z. Turskis // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2011. – vol.17, Iss.2. – P.397–427.
433. Zavadskas, E.K. Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) Techniques for Business Processes Information Management / E.K. Zavadskas, J. Antucheviciene, P. Chatterjee: MDPI, 2019. – 322 p.
434. Zavadskas, E.K. Optimization of weighted aggregated sum product assessment / E.K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene // *Electronics and Electrical Engineering*. – 2012. – vol.122, Iss.6. – P.3–6.
435. Zavadskas, E.K. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods / E.K. Zavadskas, Z. Turskis, S. Kildienė // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2014. – vol.20, Iss.1. – P.165–179.
436. Zavadskas, E.K. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects / E.K. Zavadskas, A. Kaklauskas, V. Sarka // *Technological and Economic Development of Economy*. – 1994. – vol.1, Iss.3. – P.131–139.
437. Zhu, Q. Green supply chain management in China: pressures, practices and performance / Q. Zhu, J. Sarkis, Y. Geng // *International Journal of Operations & Production Management*. – 2005. – vol.25, Iss.5. – P.449–468.
438. Zimmer, K. Sustainable supplier management – a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development / K. Zimmer, M. Fröhling, F. Schultmann // *International Journal of Production Research*. – 2016. – vol.54, Iss.5. – P.1412–1442.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение А

## Результаты оценки факторов устойчивого развития ЛЦГ с использованием серого реляционного анализа (GRA)

Факторы*	Исходные значения			Нормализованные значения			Последовательности отклонений			Коэффициент корреляции Грея			Серые относительные оценки (GRG)	Ранг
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3		
F1.1	4,7429	2,4915	6,7875	0,4286	0,0675	0,7593	0,5714	0,9325	0,2407	0,4666	0,3490	0,6750	0,4969	38
F1.2	5,8515	2,7019	7,7084	0,6907	0,1115	0,9749	0,3093	0,8885	0,0251	0,6177	0,3601	0,9522	0,6433	11
F1.3	6,1531	6,9487	5,0730	0,7620	1,0000	0,3578	0,2380	0,0000	0,6422	0,6774	1	0,4377	0,7050	5
F1.4	3,2453	3,6502	4,4163	0,0745	0,3099	0,2040	0,9255	0,6901	0,7960	0,3507	0,4201	0,3858	0,3855	52
F1.5	6,1531	5,5243	6,4074	0,7620	0,7020	0,6703	0,2380	0,2980	0,3297	0,6774	0,6265	0,6026	0,6355	12
F1.6	4,4777	2,4915	5,9328	0,3659	0,0675	0,5591	0,6341	0,9325	0,4409	0,4408	0,3490	0,5314	0,4404	43
F1.7	3,1698	3,1291	3,5452	0,0567	0,2009	0,0000	0,9433	0,7991	1,0000	0,3464	0,3848	0,3333	0,3548	54
F1.8	3,5195	5,6738	4,1289	0,1393	0,7333	0,1367	0,8607	0,2667	0,8633	0,3674	0,6521	0,3667	0,4621	40
F2.1	6,4339	2,8854	6,7106	0,8284	0,1499	0,7412	0,1716	0,8501	0,2588	0,7444	0,3703	0,6589	0,5912	22
F2.2	6,5175	2,6052	7,4324	0,8481	0,0913	0,9103	0,1519	0,9087	0,0897	0,7670	0,3549	0,8478	0,6566	10
F2.3	5,7203	2,7595	7,6336	0,6597	0,1235	0,9574	0,3403	0,8765	0,0426	0,5950	0,3632	0,9214	0,6265	14
F2.4	6,6022	3,3470	7,3004	0,8681	0,2465	0,8794	0,1319	0,7535	0,1206	0,7913	0,3988	0,8056	0,6652	8
F2.5	7,1599	3,8168	7,8155	1,0000	0,3448	1,0000	0,0000	0,6552	0,0000	1	0,4328	1	0,8109	1
F2.6	5,3046	2,8252	7,0168	0,5614	0,1373	0,8130	0,4386	0,8627	0,1870	0,5326	0,3669	0,7277	0,5424	26
F2.7	6,0933	2,6052	6,9425	0,7478	0,0913	0,7956	0,2522	0,9087	0,2044	0,6647	0,3549	0,7097	0,5764	24
F2.8	4,1694	4,1930	5,6327	0,2930	0,4235	0,4888	0,7070	0,5765	0,5112	0,4142	0,4644	0,4944	0,4577	41
F2.9	4,1289	3,9363	4,9673	0,2834	0,3698	0,3330	0,7166	0,6302	0,6670	0,4109	0,4423	0,4284	0,4272	44
F3.1	5,0080	2,4915	4,7894	0,4912	0,0675	0,2914	0,5088	0,9325	0,7086	0,4956	0,3490	0,4136	0,4194	47
F3.2	6,3196	4,3000	4,6179	0,8013	0,4458	0,2512	0,1987	0,5542	0,7488	0,7156	0,4743	0,4003	0,5301	30
F3.3	5,1435	2,9302	4,4413	0,5233	0,1593	0,2098	0,4767	0,8407	0,7902	0,5119	0,3729	0,3875	0,4241	45
F3.4	6,6081	3,5195	6,7595	0,8695	0,2826	0,7527	0,1305	0,7174	0,2473	0,7930	0,4107	0,6690	0,6242	16
F3.5	4,5803	3,4713	6,3196	0,3901	0,2725	0,6497	0,6099	0,7275	0,3503	0,4505	0,4073	0,5880	0,4819	39
F3.6	5,3046	3,3470	7,5289	0,5614	0,2465	0,9329	0,4386	0,7535	0,0671	0,5326	0,3988	0,8816	0,6044	18
F3.7	7,0390	6,8535	4,5731	0,9714	0,9801	0,2407	0,0286	0,0199	0,7593	0,9459	0,9616	0,3970	0,7682	2
F3.8	6,6081	6,4907	5,0730	0,8695	0,9042	0,3578	0,1305	0,0958	0,6422	0,7930	0,8391	0,4377	0,6900	6
F3.9	4,8914	5,5555	4,5993	0,4637	0,7085	0,2468	0,5363	0,2915	0,7532	0,4824	0,6317	0,3989	0,5044	37
F3.10	4,3242	2,8252	5,0080	0,3296	0,1373	0,3425	0,6704	0,8627	0,6575	0,4272	0,3669	0,4319	0,4087	50
F3.11	3,5195	4,0953	4,6440	0,1393	0,4030	0,2573	0,8607	0,5970	0,7427	0,3674	0,4558	0,4023	0,4085	51
F4.1	5,2233	3,3935	7,4324	0,5422	0,2562	0,9103	0,4578	0,7438	0,0897	0,5220	0,4019	0,8478	0,5906	23
F4.2	6,0688	6,1531	6,2588	0,7420	0,8335	0,6355	0,2580	0,1665	0,3645	0,6596	0,7502	0,5783	0,6627	9



Факторы*	Исходные значения			Нормализованные значения			Последовательности отклонений			Коэффициент корреляции Грея			Серые относительные оценки (GRG)	Ранг
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3		
F4.3	5,5016	6,1531	6,1531	0,6079	0,8335	0,6107	0,3921	0,1665	0,3893	0,5605	0,7502	0,5622	0,6243	15
F4.4	5,9328	6,0688	5,9328	0,7099	0,8159	0,5591	0,2901	0,1841	0,4409	0,6328	0,7309	0,5314	0,6317	13
F4.5	6,0933	5,6187	6,1531	0,7478	0,7217	0,6107	0,2522	0,2783	0,3893	0,6647	0,6424	0,5622	0,6231	17
F4.6	5,0080	2,9302	6,9425	0,4912	0,1593	0,7956	0,5088	0,8407	0,2044	0,4956	0,3729	0,7097	0,5261	32
F4.7	5,5016	2,1689	6,9207	0,6079	0,0000	0,7905	0,3921	1,0000	0,2095	0,5605	0,3333	0,7046	0,5328	28
F4.8	6,7216	3,8664	7,2774	0,8964	0,3551	0,8740	0,1036	0,6449	0,1260	0,8283	0,4367	0,7987	0,6879	7
F4.9	5,7059	2,9926	7,3785	0,6562	0,1723	0,8977	0,3438	0,8277	0,1023	0,5925	0,3765	0,8301	0,5997	20
F4.10	5,9328	2,9302	6,1879	0,7099	0,1593	0,6188	0,2901	0,8407	0,3812	0,6328	0,3729	0,5674	0,5244	33
F4.11	4,6179	5,7527	5,3046	0,3990	0,7498	0,4120	0,6010	0,2502	0,5880	0,4541	0,6664	0,4595	0,5267	31
F4.12	3,6502	3,7279	5,2319	0,1702	0,3262	0,3950	0,8298	0,6738	0,6050	0,3760	0,4259	0,4524	0,4181	49
F5.1	4,6821	3,8664	4,0201	0,4142	0,3551	0,1112	0,5858	0,6449	0,8888	0,4604	0,4367	0,3600	0,4190	48
F5.2	5,5016	5,6187	6,3458	0,6079	0,7217	0,6558	0,3921	0,2783	0,3442	0,5605	0,6424	0,5922	0,5984	21
F5.3	5,5016	3,7279	6,6022	0,6079	0,3262	0,7159	0,3921	0,6738	0,2841	0,5605	0,4259	0,6376	0,5413	27
F5.4	4,6179	4,9190	6,1185	0,3990	0,5754	0,6026	0,6010	0,4246	0,3974	0,4541	0,5407	0,5571	0,5173	36
F5.5	2,9302	3,8981	3,8664	0,0000	0,3618	0,0752	1,0000	0,6382	0,9248	0,3333	0,4392	0,3509	0,3745	53
F5.6	4,4777	6,1185	4,7894	0,3659	0,8263	0,2914	0,6341	0,1737	0,7086	0,4408	0,7421	0,4136	0,5322	29
F6.1	4,9190	3,4713	6,7216	0,4702	0,2725	0,7438	0,5298	0,7275	0,2562	0,4855	0,4073	0,6612	0,5180	35
F6.2	3,5540	3,5195	6,2841	0,1475	0,2826	0,6414	0,8525	0,7174	0,3586	0,3696	0,4107	0,5823	0,4542	42
F6.3	4,6179	6,0933	4,1289	0,3990	0,8210	0,1367	0,6010	0,1790	0,8633	0,4541	0,7364	0,3667	0,5191	34
F6.4	6,5175	6,6729	5,5243	0,8481	0,9423	0,4635	0,1519	0,0577	0,5365	0,7670	0,8965	0,4823	0,7153	4
F6.5	6,6289	6,7595	6,0933	0,8745	0,9604	0,5967	0,1255	0,0396	0,4033	0,7993	0,9266	0,5535	0,7598	3
F6.6	3,3227	4,6632	4,6179	0,0928	0,5218	0,2512	0,9072	0,4782	0,7488	0,3553	0,5111	0,4003	0,4222	46
F6.7	5,5780	3,7279	6,7595	0,6260	0,3262	0,7527	0,3740	0,6738	0,2473	0,5720	0,4259	0,6690	0,5557	25
F6.8	5,7203	3,9585	7,1599	0,6597	0,3744	0,8465	0,3403	0,6256	0,1535	0,5950	0,4442	0,7650	0,6014	19
Min	2,9302	2,1689	3,5452	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Max	7,1599	6,9487	7,8155	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000		

\* - обозначение факторов устойчивого развития ЛЦГ выполнено в соответствии с рисунком 2.4

## Краткая характеристика инструментов «зелёной» логистики

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
П1.1.1	1.1. Экологические аспекты в стратегии организации	Разработка экологической стратегии организации на основе целей и принципов устойчивого развития и её интеграция в бизнес-стратегию (ESG-стратегию).	П	L	M	VL	H
П1.1.2	1.2. Программы эко-аудита	Выполнение независимой оценки соблюдения организацией нормативно-правовых требований в области охраны окружающей среды и подготовка рекомендаций в области экологической деятельности.	П	L	L	L	M
П1.1.3	1.3. Развитие корпоративной социальной ответственности	Формирование и реализация стратегии развития концепции КСО, заключающейся в принятии организацией ответственности за свою деятельность перед внешними и внутренними стейкхолдерами, заботе об окружающей среде и обществе в целом.	П	L	L	VL	VH
П1.1.4	1.4. Оценка и контроль экологической эффективности	Разработка в организации стандартов процесса выбора показателей, сбора и оценки данных и информации для обеспечения текущей оценки экологической эффективности и тенденций её изменения со временем в соответствии с экологическими целями и задачами организации. (ISO 14031:2013).	К	VL	L	L	VH
П1.2.1	2.1. Система планирования ресурсов предприятия (ERP)	Enterprise Resource Planning System (ERP). Система управления и планирования ресурсов предприятия, основанная на интеграции и автоматизации данных, необходимых для выполнения бизнес-процессов – производственных, финансовых, управления персоналом, оказание услуг и др.	П	L	H	VL	M
П1.2.2	2.2. Система управления взаимоотношениями с клиентами (CRM)	Customer Relationship Management System (CRM). Система управления взаимоотношениями с клиентами, основанная на использовании передовых управленческих и информационных технологий для взаимодействия с клиентами с целью повышения эффективности их обслуживания и улучшения бизнес-процессов.	П	L	L	L	H
П1.2.3	2.3. Система управления производством (MES)	Manufacturing Execution System (MES). Система управления производственными процессами, основанная интеграции и автоматизации данных для управления производственной деятельностью.	П	L	H	L	L
П1.2.4	2.4. Система управления складом (WMS)	Warehouse Management System (WMS). Система управления складом, основанная на интеграции и автоматизации данных, необходимых для планирования и выполнения комплекса задач и функций складских бизнес-процессов.	П	L	M	L	L
П1.2.5	2.5. Управление активами предприятия (EAM)	Enterprise Asset Management (EAM). Система управления активами предприятия, основанная на автоматизации бизнес-процессов управление физическими активами и режимами их работы, рисками и расходами на протяжении всего жизненного цикла активов.	П	VL	H	VL	H
П1.2.6	2.6. Управление человеческими ресурсами (HRM)	Human Resources Management (HRM). Система управление человеческими ресурсами, основанная на интеграции данных, необходимых для эффективного управления персоналом организации.	П	L	L	L	M
П1.3.1	3.1. Системы локального позиционирования (RTLS)	Real-time Locating Systems (RTLS). Системы локального позиционирования, основанные на использовании методов и технологий, обеспечивающих идентификацию и местоположение контролируемых объектов в пределах территории с целью мониторинга транспортных, логистических и бизнес-процессов (UWB, RFID, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, NFER и др.).	П	L	L	M	L
П1.3.2	3.2. Спутниковые навигационные системы	Использование спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo, QZSS и IRNSS), предназначенных для определения местоположения объектов и параметров движения (транспортных средств, грузов и др.) с целью мониторинга выполнения логистических функций и операций в цепях поставок.	П	VL	L	M	H

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
И1.3.3	3.3 Технологии радиочастотной идентификации	Использование технологии радиочастотной идентификации (RFID) объектов в транспортных и логистических процессах с целью автоматической идентификации, передачи и хранения информации об объектах на протяжении всего жизненного цикла от производства до розничной торговли.	К	L	L	L	M
И1.4.1	4.1. Методы Data Mining	Использование методов Data Mining для интеллектуального анализа массива данных для выявления закономерностей с целью принятия управленческих решений ( <u>Board</u> , <u>SAS Revenue Optimization</u> , <u>SAS Enterprise Miner</u> и др.)	П	VL	L	VL	VH
И1.4.2	4.2. Методы и модели искусственного интеллекта	Интеграция систем, технологий или интеллектуальных машин, способных имитировать человеческое поведение при выполнении логистических функций в цепочке поставок.	С	VL	M	M	L
И1.4.3	4.3 Методы ситуационного управления	Реализация совокупности приемов и способов принятия управленческих решений при оперативном управлении цепями поставок под влиянием внешних и внутренних изменений (ситуаций). Включают системный, ситуационный и факторный анализ, экспертные методы, имитационное моделирование, многокритериальные методы принятия решений, эвристические методы и др.	П	L	M	L	H
И1.4.4	4.4. Цифровизация и Индустрия 4.0 в цепях поставок	Управления и оптимизация логистическими потоками на основе реализации принципов и технологий концепции Индустрии 4.0 и цифровизации цепей поставок (большие данные, облачные технологии, интернет вещей, «умные» системы, блокчейн, роботизация, искусственный интеллект и машинное обучение, виртуальная реальность, 3D печать, моделирование и др.).	П	VL	M	L	H
И1.5.1	5.1. Информационные системы управления (MIS)	Management Information Systems (MIS). Информационная система, используемая для принятия решений, а также координации, контроля, анализа и визуализации информации в цепях поставок за счет интеграции связей между участниками цепей, процессами и технологиями, необходимых для выполнения бизнес-процессов.	П	VL	M	L	H
И1.5.2	5.2. Электронный обмен данными (EDI)	Electronic Data Interchange (EDI). Технология автоматизированного обмена данными, включающая передачу, поток сообщений, формат документа и программное обеспечение, используемое для интерпретации документов.	К	VL	L	L	H
И1.5.3	5.3. Система управления перевозками (TMS)	Transportation Management System (TMS). Система управления перевозками, основанная на использовании программного обеспечения с целью комплексного решения задач по автоматизации транспортных и логистических операций.	К	L	M	L	M
И1.5.4	5.4. Логистика холодной цепи (CCL)	Cold Chain Logistics (CCL). Использование технологий и методов холодной цепи, которые обеспечивают постоянную температуру товаров и продуктов в цепи поставок с момента их производства до момента потребления.	К	L	M	L	L
И2.1.1	1.1. Анализ поставщиков	Использование методов оценки деятельности поставщиков и подрядчиков с целью дальнейшего сотрудничества путем анализа предыдущей деятельности, а также соответствия требованиям и принципам работы заказчика (в т.ч. в области достижения целей устойчивого развития).	К	VL	M	L	H
И2.1.2	1.2. Анализ сырья, товаров и услуг	Использование методов оценки продукции и услуг на соответствие требованиям потребителей и участников цепи поставок.	К	L	L	L	M
И2.1.3	1.3. Анализ системы закупок	Использование методов оценки управления логистическими процессами в закупках с целью эффективного использования логистических ресурсов для достижения целей устойчивого развития.	К	L	M	L	H

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
I2.1.4	1.4. Жизненный цикл продукции (LCA)	Life-cycle Assessment (LCA). Использование комплексной методики оценки воздействия продукции (услуги) на окружающую среду на всех этапах её жизненного цикла: добычи сырья, производстве и обработке, хранении и транспортировке, дистрибуции и использования, утилизации отходов.	П	VL	M	L	H
I2.2.1	2.1. Экологически чистое сырьё и материалы (закупка)	Выбор экологически чистых и безопасных сырья и материалов, используемых в логистических процессах, и обеспечивающих наименьшее воздействие на окружающую среду и здоровье человека.	П	L	M	L	L
I2.2.2	2.2. Вторичное сырьё	Выбор сырья и материалов с учётом возможности их повторного использования и переработки.	П	L	M	L	L
I2.2.3	2.3. Эко-маркировка	Использование системы эко-маркировки с целью идентификации продукции и услуг на соответствие экологическим стандартам и требованиям и информировании потребителей об экологических свойствах продукции (услуг).	К	H	M	VL	L
I2.3.1	3.1. Эко-дружественные поставщики	Оценка и выбор поставщиков, реализующих экологическую политику и внедряющих экологически безопасные механизмы в своей деятельности.	К	VL	L	L	H
I2.3.2	3.2. Близкорасположенные поставщики	Оценка и выбор близкорасположенных поставщиков с целью сокращения логистических затрат и снижения негативного воздействия на окружающую среду.	О	VL	L	M	H
I2.4.1	4.1. Минимизация объёмов закупок	Анализ параметров грузопотоков и принятие решений о снижении объёмов закупок с целью минимизации запасов и снижения логистических издержек.	О	VL	L	L	VH
I2.4.2	4.2. Совместные закупки	Использование консолидированных (совместных) закупок или коллективных торгов с целью сокращения логистических издержек и экологического следа.	О	VL	L	M	H
I2.4.3	4.3. Электронный документооборот с поставщиками (контрагентами)	Использование специальной системы и оператора ЭДО для организации работы с документами путем формирования их в электронном виде, без использования бумажных носителей («Контур.Диадок», «ДЕЛО», «СБИС», «1С: Документооборот 8» и др.).	К	VL	L	H	M
I2.4.4	4.4. Оценка доставки с наименьшим экологическим следом	Оценка и выбор способов доставки сырья и материалов с учётом минимального воздействия на окружающую среду.	О	VL	L	L	VH
I2.4.5	4.5. Оптимизация параметров логистических потоков	Анализ статистических параметров логистических потоков с целью оценки потребности в потоках и оптимизации их параметров и показателей.	О	VL	L	L	VH
I3.1.1	1.1. Экологически чистое сырьё и материалы (дизайн продукции)	Учёт в процессе создания продукции (услуг) параметров окружающей среды при выборе сырья и материалов, используемых в производственных процессах с целью улучшения природной, социальной, культурной и физической среды определенных районов.	П	VL	L	M	H
I3.1.2	1.2. Замена вредного сырья и материалов безвредными	Замена в процессе создания продукции (услуг) вредного и опасного сырья, материалов на экологически чистые, обеспечивающих наименьшее воздействие на окружающую среду и здоровье человека.	П	L	M	M	L
I3.1.3	1.3. Сырьё и материалы с возможностью их повторного использования (переработки)	В процессе создания продукции (услуг) учёт возможности повторного использования/переработки сырья и материалов, используемых в производственных процессах.	П	VL	M	L	M
I3.2.1	2.1. Энергосберегающее оборудование и ресурсосберегающие технологии	Применение энергосберегающего оборудования и ресурсосберегающих технологий с целью рационального использования логистических ресурсов и повышения эффективности работы производства.	К	VL	H	H	VL

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
И3.2.2	2.2. Экологически чистое оборудование	Применение в производственных процессах оборудования и технологий с минимальным воздействием на окружающую среду.	К	VL	VH	M	VL
И3.2.3	2.3. Системы защиты окружающей среды	Использование методов и технических систем экологической безопасности с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду (систем защиты атмосферного воздуха, систем защиты водной среды, систем обращения с отходами и др.).	П	VL	H	L	L
И3.2.4	2.4. Минимизация отходов производства	Анализ параметров производственных процессов и реализация способов, обеспечивающих максимальное использование сырьевых компонентов с целью минимизации отходов производства и услуг (превентивные меры и меры по управлению отходами).	О	L	VL	VH	L
И3.3.1	3.1. Предотвращение образования отходов	Выбор и использование способов предотвращения образования отходов в процессе производства продукции (услуг).	К	VL	L	H	M
И3.3.2	3.2. Переработка и повторное использование отходов	Выбор и применение способов переработки отходов с целью обеспечения их повторного использования в логистических процессах и получения сырья, энергии, изделий и материалов.	К	M	L	M	L
И3.3.3	3.3. Технологии утилизации и мониторинга отходов	Оценка и выбор способов контроля и совершенствования технологий утилизации отходов, образующихся при производстве, эксплуатации и после вывода из обращения.	К	L	M	M	L
И3.4.1	4.1. Оптимизация параметров производственных процессов	Анализ параметров производственных процессов и операций и принятие решений по регулированию параметров логистических потоков с целью снижения логистических издержек и достижения целей устойчивого развития.	О	VL	L	L	VH
И3.4.2	4.2. Оперативное управление производственными процессами	Использование методов оперативного управления производственными процессами с целью контроля качества производства, оперативного регулирования производственного процесса при снижении негативного воздействия на окружающую среду.	О	VL	L	M	VH
И3.4.3	4.3. Производство продукции с требованиями эко-дизайна	Использование подхода к проектированию и производству продуктов и услуг, при котором особое внимание уделяется воздействию продукта на окружающую среду на протяжении всего его жизненного цикла.	П	VL	H	H	L
И3.5.1	5.1. Эко-обучение персонала	Обучение в области охраны окружающей среды и экологической безопасности руководителей и специалистов, ответственных за принятие решений при осуществлении деятельности, оказывающей негативное воздействие на окружающую среду. (№ 7-ФЗ от 10.01.2002 г.)	П	VL	M	VL	VH
И3.5.2	5.2. Стимулирование «зелёных» практик	Использование методов стимулирования деятельности участников цепей поставок и поведения персонала при реализации «зелёных» принципов и технологий с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду.	П	VL	VH	VL	M
И3.5.3	5.3. Комфортные и экологически безопасные условия труда	Использование методов обеспечения в организации благоприятных условий производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на здоровье персонала, работоспособность и производительность труда, удовлетворенность трудом, эффективность и безопасность работы.	П	L	H	M	VL
И3.5.4	5.4. Стимулирование корпоративной социальной ответственности	Использование методов стимулирования персонала при реализации стратегии КСО.	П	L	VH	L	L
И4.1.1	1.1. Строительство «зелёных» складов	Использование при строительстве складов современных экологически чистых и безопасных строительных материалов и технологий (в соответствии со стандартами ISO 14024:1999, LEED, BREEAM, DGNB, Green Globes, CASBEE, BEAM и др.).	П	M	H	L	VL

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
I4.1.2	1.2. Объёмно-планировочная организация элементов склада	Проектирование склада, планирование складского пространства и размещение основных элементов с учётом требований экологических стандартов и применения современных средств безопасности, а также эффективности выполнения погрузочно-разгрузочных и складских операций.	О	VL	L	M	H
I4.1.3	1.3. Оптимизация ёмкости склада	Анализ статистических параметров грузопотоков и расчёт оптимальной ёмкости склада с учётом данных параметров и обеспечения качества хранения и доставки груза.	О	VL	L	M	H
I4.1.4	1.4. Возобновляемые источники энергии	Использование на складе возобновляемых источников энергии с целью снижения выбросов парниковых газов (биоэнергия, фотоэлектричество, концентрированная солнечная энергия, геотермальная энергия, гидроэнергия, энергия океана, энергия ветра).	П	L	H	M	VL
I4.1.5	1.5. Теплоизоляция склада	Использование специальных материалов и технологий для утепления складов с целью обеспечения комфортных условий для работы персонала и снижения издержек на отопление склада.	П	M	M	M	VL
I4.1.6	1.6. Инженерные системы охраны окружающей среды	Использование автономных и централизованных инженерных систем, обеспечивающих контроль и поддержание заданных параметров окружающей среды (системы кондиционирования, системы вентиляции, системы отопления, систем защиты водной среды, системы энергосбережения, системы обеспечения физической безопасности и др.)	П	VL	H	M	L
I4.2.1	2.1. Энергосберегающее оборудование и ресурсосберегающие технологии	Применение энергосберегающего оборудования и ресурсосберегающих технологий с целью рационального использования логистических ресурсов и повышения эффективности работы склада.	П	L	H	M	VL
I4.2.2	2.2. Экологически чистые погрузочно-разгрузочные средства и устройства	Применение на складе погрузочно-разгрузочных средств и устройств с минимальным воздействием на окружающую среду.	П	VL	H	H	VL
I4.3.1	3.1. Оптимизация погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ	Анализ параметров погрузочно-разгрузочных и складских процессов и операций и принятие решений по регулированию параметров логистических потоков с целью снижения логистических издержек и достижения целей устойчивого развития.	О	VL	L	M	H
I4.3.2	3.2. Оптимизация внутрискладской транспортировки	Использование на складе прогрессивной организации доставки грузов между различными зонами хранения предусматривающей сокращение до минимума числа перевалок, перемещение грузов по рациональным маршрутам.	О	VL	VL	M	VH
I4.3.3	3.3. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ	Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ, обеспечивающих уменьшение доли ручных процессов и операций с целью повышения производительности труда и эффективности транспортно-складских работ.	К	VL	H	H	VL
I4.3.4	3.4. Погрузка (выгрузка) с отключенным двигателем транспортного средства	Отключение двигателя транспортного средства в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных работ с целью снижения расхода топлива и объёма выбросов CO <sub>2</sub> .	О	VL	VL	M	VH
I4.3.5	3.5. Эко-дружественная упаковочная стратегия	Разработка и использование упаковочной стратегии, обеспечивающей предотвращение повреждения и товарных потерь, эффективного использования ресурсов, уменьшения воздействия на окружающую среду (стандарты ISO 18601-06: 2013).	П	VL	L	L	VH

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
I4.4.1	4.1. Оптимизация запасов с использованием систем управления запасами	Оптимизация уровня запасов на основе использования систем управления запасами и современных логистических концепций (Just-in-Time, Kanban, Lean Production и др.).	О	VL	M	L	M
I4.4.2	4.2. Оперативный контроль параметров системы управления запасами	Оперативный контроль отклонения фактических параметров системы управления запасами от нормативных и принятие решений по регулированию данных параметров.	О	VL	L	L	VH
I4.4.3	4.3. Рациональное размещение готовой продукции и отходов	Организация размещения готовой продукции и отходов на складе с использованием методов, обеспечивающих оптимальное заполнение складского пространства, безопасность и эффективность выполнения погрузочно-разгрузочных работ и складских услуг.	О	L	M	M	L
I4.4.4	4.4. Унификация партий отгрузки	Объединение небольших партий грузов в более крупные, предназначенные для нескольких клиентов, с целью эффективного использования транспортных средств, снижения транспортных издержек и вредных выбросов в окружающую среду.	О	L	L	L	H
I5.1.1	1.1. Экологически чистые виды транспорта	Оценка и выбор вида транспорта и систем транспортного планирования, обеспечивающих эффективности перевозки грузов и оказывающих наименьшее негативное воздействие на окружающую среду.	П	L	L	VH	VL
I5.1.2	1.2. Интермодальные технологии и комбинированные перевозки	Использование в цепях поставок мультимодальных систем доставки с интермодальными технологиями, основанных на последовательном или параллельном продвижении грузопотоков несколькими видами транспорта и исключения операций перевалки груза в другую ёмкость при его передаче с одного вида транспорта на другой.	К	VL	M	H	L
I5.1.3	1.3. Рациональные базисные условия поставки	Анализ и выбор базисных условий поставки товаров, определяющих обязанности, место передачи товара, стоимость и риски, возникающие при доставке товара от продавцов к покупателям с учётом наименьшего негативного воздействия на окружающую среду.	К	L	L	H	L
I5.2.1	2.1. Экологически чистые транспортные средства	Использование транспортных средств с наименьшим негативным воздействием на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла (в т.ч. транспортных средств с нулевым уровнем выбросов – ZEV).	П	VL	M	VH	VL
I5.2.2	2.2. Транспортные средства, соответствующие экологическим стандартам	Оценка и выбор транспортных средств, соответствующих установленным нормам и требованиям в области экологии (Евро 1-6).	К	VL	H	H	VL
I5.2.3	2.3. Увеличение грузоподъёмности (грузовместимости) транспортных средств	Выбор транспортного средства с большей грузоподъёмностью (грузовместимостью) с целью повышения производительности и сокращения выбросов CO <sub>2</sub> .	О	VL	M	VH	VL
I5.2.4	2.4. Экологичные смазочные материалы и топливо	Использование топлива, смазочных материалов и специальных жидкостей с улучшенными экологическими свойствами, обеспечивающих надёжность и эффективность эксплуатации транспортных средств.	П	L	H	L	L
I5.3.1	3.1. Технологическое единство транспортно-складского процесса	Обеспечение технологического единства транспортно-складского процесса путем унификации параметров транспортных средств, тары, погрузочно-разгрузочных средств и устройств, мест хранения груза на складе.	К	L	M	M	L
I5.3.2	3.2. Сокращение итераций и звеньев в цепи поставок	Сокращение итераций и звеньев в цепи поставок (сокращение пунктов перевалки и хранения грузов) с целью снижения логистических издержек.	О	VL	M	H	L

№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
I5.3.3	3.3. Повышение степени использования грузоподъёмности (грузо-местимости)	Выбор наилучших способов загрузки транспортных средств с целью оптимального использования грузоподъёмности и вместимости транспортного средства.	О	VL	L	M	H
I5.3.4	3.4. Оптимизация маршрутов	Оптимизация маршрутов транспортных средств с целью сокращения пробега, расхода топлива, сбережения моторесурса двигателя, уменьшения выбросов вредных веществ.	О	VL	L	M	VH
I5.3.5	3.5. Оптимизация скорости движения транспортных средств	Воздействие на скоростной режим транспортного средства с целью снижения расхода топлива, уровня выброса вредных веществ и обеспечения безопасности.	О	VL	L	M	H
I5.3.6	3.6. Уменьшение порожнего пробега	Уменьшение порожнего пробега транспортных средства с целью повышения эффективности их эксплуатации, уменьшения расхода топлива и выбросов углекислого газа.	О	VL	L	M	VH
I5.3.7	3.7. Эко-вождение	Обучение водителей способам вождения транспортного средства, обеспечивающим сокращения потребления топлива, снижения количества выбросов в атмосферу и повышение безопасности.	П	VL	M	L	VH
I5.4.1	4.1. Консолидация грузопотоков по направлениям	Объединение по направлениям мелких струй материального потока (грузопотока) в мощную струю для эффективной её транспортировки с использованием системы магистральных видов транспорта.	О	L	L	M	H
I5.4.2	4.2. Сокращение частоты поставок	Анализ параметров логистических потоков и снижение частоты и размера поставок исходя из стратегии управления запасами, принятой в границах конкретной логистической системы.	О	L	L	M	M
I5.4.3	4.3. Оптимизация структуры грузопотоков	Изменение структуры струй материального потока (грузопотока) в процессе транспортировки с учётом потребностей элементов цепи поставок в материальном потоке.	О	VL	VL	L	0,6
I5.4.4	4.4. Оперативное управление параметрами материального потока	Использование различных способов непрерывной оценки параметров материального потока и их корректировка в случае отклонения от нормативных значений.	О	VL	VL	L	VH
I6.1.1	1.1. Анализ потребностей в экологически чистой продукции (услугах)	Использование принципов и методов «зелёного» маркетинга для изучения рынка, спроса на товары (услуги), поведения потребителей и конкурентов с целью удовлетворения спроса потребителей на экологически чистые продукты и услуги.	К	VL	L	L	H
I6.1.2	1.2. Продвижение экологически чистой продукции и услуг	Использование комплекса различных видов деятельности по доведению информации о достоинствах «зелёной» продукции (услуг) до потенциальных потребителей и стимулирование потребления «зелёной» продукции (услуг).	П	L	L	VL	H
I6.1.3	1.3. Анализ системы сбыта на соответствие ЦУР	Использование методов оценки системы сбыта на соответствие принципам формирования устойчивых цепей поставок и достижения целей устойчивого развития.	К	VL	M	L	H
I6.2.1	2.1. Рациональное использование упаковочных материалов	Анализ параметров грузопотоков и выбор методов рационального использования упаковки с целью снижения логистических издержек и сокращения объёмов упаковочных материалов.	О	L	L	L	M
I6.2.2	2.2. Эко-дружественная упаковка	Использование эко-дружественных упаковочных материалов, состоящих из натуральных компонентов, а также материалов с добавлением ингредиентов, ускоряющих разложение.	П	M	M	L	L
I6.2.3	2.3. Многооборотная тара (упаковка)	Использование многооборотной тары и упаковки, рассчитанной на многократное применение с целью сокращения отходов и издержек на закупку тары, повышения сохранности доставки грузов.	К	M	L	L	L
I6.2.4	2.4. Сбор использованной тары (упаковки) и их переработка	Сбор использованной тары (упаковки) и её переработка собственными силами или по договору со специализированными организациями.	К	H	L	L	L
I6.3.1	3.1. Эко-дружественные каналы сбыта	Оценка и выбор каналов сбыта, реализующих экологическую политику и внедряющих экологически безопасные механизмы в своей деятельности.	К	VL	L	M	H
I6.3.2	3.2. Оперативный контроль параметров системы сбыта	Оперативный контроль отклонения фактических параметров системы сбыта от установленных в соответствии с ЦУР (или ESG-стратегией), и принятие решений по регулированию данных параметров.	О	VL	M	L	H



№	Наименование инструмента «зелёной» логистики (ИЗЛ)	Краткая характеристика	Тип ИЗЛ	Расход ресурсов, необходимых для реализации ИЗЛ			
				Мат.	Фин.	Усл.	Инф.
I6.3.3	3.3. Формирование эко-дружественных каналов сбыта и распределительной сети	Использование стратегии и методов формирования каналов сбыта и распределительной сети с учётом минимального воздействия на окружающую среду.	К	VL	М	М	М
I6.3.4	3.4. Размещение распределительных центров с учётом экологических требований	Оценка и выбор месторасположения распределительных центров с целью сокращения логистических затрат и снижения негативного воздействия на окружающую среду.	К	L	М	L	М
I6.4.1	4.1. Электронный документооборот с потребителями	Использование специальной системы и оператора ЭДО для организации работы с документами путем формирования их в электронном виде, без использования бумажных носителей.	К	VL	М	М	М
I6.4.2	4.2. Стимулирование «зелёных» потребителей	Использование методов стимулирования потребителей продукции (услуг), поведение которых основано на концепциях устойчивого развития, ответственного, этичного, «зелёного» потребления.	П	VL	Н	L	М
I6.4.3	4.3. Эко-маркировка	Использование системы эко-маркировки с целью информирования потребителей об экологических свойствах продукции (услуг).	П	М	М	VL	L
I6.5.1	5.1. Оптимизация обратных (возвратных) потоков	Использование методов обращения с возвратными материальными потоками, включающих повторное использование, переработку, утилизацию существующей продукции, материалов и отходов.	О	L	L	Н	L
I6.5.2	5.2. Продление жизненного цикла продукции	Продление жизненного цикла продукции на основе использования принципов и методов экономики замкнутого цикла и замкнутых цепей поставок (Closed-loop Supply Chain), включающих устранение недостатков, ремонт, реставрацию, восстановление, модернизацию существующих продуктов (материалов).	К	VL	L	Н	L
I6.5.3	5.3. Сотрудничество с благотворительными организациями	Сотрудничество с различными организациями (благотворительные организации, экологические общественные организации, волонтерские организации, приюты для животных и др.) с целью безвозмездной передачи продукции (материалов).	П	VL	L	М	М
I6.5.4	5.4. Реализация продукции через специальные магазины	Продажа товаров и услуг через специализированные магазины (Zero waste магазины, интернет-магазины, секонд-хенды, эко-маркеты, фудшеринг и др.).	К	L	М	М	L

\*Примечание: VL – очень низкий; L – низкий; М – средний ; Н – высокий; VH – очень высокий.

## Приложение В

## Анализ критериев и субкритериев «зелёных»/устойчивых цепей поставок (ЗЦП)

№	Элемент ЗЦП	Ко-л-во	Критерии	Ко-л-во	Субкритерии	Методы	Источник
1.	Устойчивая поставка	3	Экономический капитал (6), Природный капитал (6), Социальный капитал (6).	18	1. Рентабельность, Коэффициент финансовой устойчивости, Количество производственных площадок, Оборудование, Ноу-хау и инновации, Операции и процессы. 2. Потребление сырья, Потребление энергии, Производство отходов, Выбросы газов, Регулирование климата, Загрязнение почвы. 3. Увольнения, Программы обучения, Философия качества, Послепродажное обслуживание, Культурное развитие, Экономическое развитие.	ANP, Goal programming	Neumüller, Claudia; Lasch, Rainer; Kellner, Florian (2016): Integrating sustainability into strategic supplier portfolio selection. In Management Decision 54 (1), pp. 194–221. DOI: 10.1108/MD-05-2015-0191.
2.	Устойчивая поставка	7	Зелёный имидж (2), Контроль загрязнения (2), Зелёные компетенции (2), Качество (4), Сервис/Доставка (4), Затраты (3), Технические возможности (2).	19	1. Репутация на рынке, репутация клиента. 2. Твердые отходы, Использование опасных материалов. 3. Зелёная упаковка, зелёный процесс. 4. Процедура контроля документов, Требования Директивы по медицинскому оборудованию, Надзор за медицинскими изделиями, Внутренний аудит качества. 5. Обработка и сохранение продукта, Идентификация и отслеживание продукта, Рассмотрение жалоб клиентов, Послепродажное обслуживание. 6. Производство, Транспортировка, Заказ. 7. Эффекты режима отказа и критический анализ, технологический уровень.	Multi-agent systems	Ghadimi, Pezhman; Wang, Chao; Lim, Ming K.; Heavey, Cathal (2018): Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. In Computers & Industrial Engineering. DOI: 10.1016/j.cie.2018.10.050.
3.	Устойчивая поставка	7	Качество, Затраты, Энергопотребление, Скорость доставки, Эко дизайн, Коэффициенты повторного использования и повторного цикла, Планирование производства.			ARAS, COPRAS, MOORA, VIKOR, TOPSIS, WASPAS	Petrović, Goran S.; Madić, Miloš; Antucheviciene, Jurgita (2018): An approach for robust decision making rule generation. Solving transport and logistics decision making problems. In Expert Systems with Applications 106, pp. 263–276. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.03.065.
4.	Устойчивая поставка	7	Качество (3), Коммерческий профиль (3), Инновации (2), Уровень обслуживания (5), Финансы (5), Производственная мощность, Локализация.	18	1. Сертификат ISO 9001, Гигиенические стандарты, Органолептические свойства. 2. Опыт работы на рынке, Электронный бизнес, Репутация на рынке. 3. ИТ-инфраструктура, Возможности НИОКР. 4. Послепродажное обслуживание, Гибкость, Сроки выполнения, Количество заказа, Гарантийный срок. 5. Скидка постоянным покупателям, Скидка на оптовую покупку, Срок оплаты, Цена, Финансовое положение.	AHP, DEMATEL, TOPSIS	Ortiz-Barríos, Miguel; La Miranda-De Hoz, Carlos; López-Meza, Pedro; Petrillo, Antonella; Felice, Fabio de (2019): A case of food supply chain management with AHP, DEMATEL, and TOPSIS. In Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 27 (1-2), pp. 104–128. DOI: 10.1002/mcda.1693.
5.	Устойчивая поставка	3	Экономическая практика (4), Экологический менеджмент (5), Социальная практика (4).	13	1. Снижение затрат с помощью интеллектуальных технологий, Повышение качества продукции на основе аналитики больших данных, Умная доставка покупателю, Гибкость поставок. 2. Зелёный цифровой дизайн, Зелёные цифровые закупки, Зелёное и интеллектуальное производство, Осведомленность внутреннего руководства об использовании интеллектуальных технологий для эко развития, Зелёная и умная логистика. 3. Умная рабочая среда, Развитие сотрудничества в умной атмосфере, Обеспечение прав стейкхолдеров с помощью технологии умного восприятия, Социальные мероприятия по продвижению умных технологий.	Rough-fuzzy DEMATEL, Rough-fuzzy TOPSIS	Chen, Zhihua; Ming, Xinguo; Zhou, Tongtong; Chang, Yuan (2020): Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty. An integrated rough-fuzzy approach. In Applied Soft Computing 87 (1), p. 106004. DOI: 10.1016/j.asoc.2019.106004.
6.	Устойчивая поставка	3	Социальные стратегии, Здоровье и безопасность, Участие стейкхолдеров.	12	Приверженность социальному управлению, Социальный кодекс поведения, Пожертвование для устойчивых проектов, Система управления ОТиПБ, Практика безопасности, Число несчастных случаев, Права стейкхолдеров, Отношения со стейкхолдерами, Обучение сотрудников, Детский труд, Капитал, Гендерное разнообразие.	AHP-TOPSIS	Marzouk, Mohamed; Sabbah, Marwa (2021): AHP-TOPSIS social sustainability approach for selecting supplier in construction supply chain. In Cleaner Environmental Systems 2 (1), p. 100034. DOI: 10.1016/j.cesys.2021.100034.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
7.	Устойчивая поставка	2	Экономика (6), Окружающая среда (6).	12	1. Затраты, Культурная близость, Качество, Технологический процесс, Гибкость, Время доставки. 2. Эко дизайн, Контроль загрязнения, Управленческие обязательства, Система экологического менеджмента, Выбросы углерода, Кооперативная среда.	Grey DEMATEL, ANP	Mubarik, Muhammad Shujaat; Kazmi, Syed Hasnain Alam; Zaman, Syed Imran (2021): Application of gray DEMATEL-ANP in green-strategic sourcing. In <i>Technology in Society</i> 64 (3), p. 101524. DOI: 10.1016/j.techsoc.2020.101524.
8.	Устойчивая поставка	3	Экологические критерии (6), Социальные критерий (6), Экономические критерии (6).	18	1. Переработка и сокращение, Эко продукт, Эко дизайн, Система экологического менеджмента, Контроль загрязнения, Управление отходами. 2. Репутация, Обмен информацией, Обучение и развитие сотрудников, Влияние на местное сообщество, Безопасность и здоровье на работе, Права сотрудников. 3. Затраты, Качество, Доставка в срок, Затраты на логистику, Технологические мощности, Инновации.	PIPRECIA, MABAC	Puška, Adis; Nedeljković, Miroslav; Hashemkhani Zolfani, Sarfaraz; Pamučar, Dragan (2021): Application of interval fuzzy logic in selecting a sustainable supplier on the example of agricultural production. In <i>Symmetry</i> 13 (5), p. 774. DOI: 10.3390/sym13050774.
9.	Зелёная поставка	12	Эко технологии, Эко материалы (товары, упаковка), Экологическая эффективность/контроль загрязнения/управление отходами, Зелёный имидж, Чистая стоимость жизненного цикла/затраты на охрану окружающей среды, Зелёный продукт, Экологический и законодательный менеджмент, Зелёное управление процессами, Эко партнерство с поставщиками, Экологическая миссия, Экологические нормы, Упаковка, Реверсивная логистика, Экологические программы, Управленческие компетенции, Публичная информация о экологической деятельности.	12		Fuzzy TOPSIS	Awasthi, Anjali; Chauhan, Satyaveer S.; Goyal, S. K. (2010): A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. In <i>International Journal of Production Economics</i> 126 (2), pp. 370–378. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.04.029.
10.	Зелёная поставка	3	Практика ЗЦП (7), Эффективность ЗЦП (3), Воздействие на ЗЦП (3).	13	1. Внутренний экологический менеджмент, Эко закупки, Эко дизайн, Сотрудничество с клиентами, Обучение по управлению отходами, Управление повторным использованием и перепроизводством, Охрана окружающей среды. 2. Участие в инициативах по позитивной экономике, Участие в инициативах по негативной экономике, Сотрудничество с поставщиками. 3. Рынок, Регулирование, Конкуренция.	DEMATEL	Verma, Ajay; Gangele, Anshul (2): Investigation thought decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) in green supply chain management include reducing and recycling pharmaceutical waste for a pharmaceutical manufacturer in India. In <i>International Journal Of Industrial Engineering Research And Development</i> 3 (2012), pp. 58–73.
11.	Зелёная поставка	4	Организационная эффективность (4), Зелёная логистика (5), Зелёная организационная деятельность (5), Зелёные поставщики (5).	19	1. Затраты, Качество, Доставка, Гибкость. 2. Закупка, Производство, Распределение, Реверсивная логистика, Упаковка. 3. Сокращение, Повторное использование, Переработка, Переработка и утилизация. 4. Финансовые показатели, Качество услуг, Технологии, Зелёные компетенции.	Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP, Fuzzy TOPSIS	Büyükoğuzkan, Gülçin; Çiğci, Gizem (2012): A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. In <i>Expert Systems with Applications</i> 39 (3), pp. 3000–3011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.08.162.
12.	Зелёная поставка	3	Планирование (6), Реализация мероприятий (4), Менеджмент (3).	13	1. Углеродное управление, Углеродная политика, Цели по сокращению выбросов углерода, Оценка углеродного риска, Обучение управлению выбросами углерода, Управление стоимостью жизненного цикла. 2. Меры по управлению выбросами углерода, Участие в инициативах по управлению выбросами углерода, Системы управления углеродной информацией, Сотрудничество с поставщиками. 3. Учёт и инвентаризация углерода, Углеродная проверка, Отчеты и информация об углероде.	DEMATEL	A TOE approach, Chia-Wei; Kuo, Tsai-Chi; Chen, Sheng-Hung; Hu, Allen H. (2013): Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 56, pp. 164–172. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.09.012.
13.	Зелёная поставка	9	Цена нетто, Расстояние, Срок годности, Сроки выполнения, Углеродный след, Рейтинг в отрасли, Уровень завершенности, Прошлый бизнес и коммуникации, Эффективность.	9		DEA	Kumar, Amit; Jain, Vipul; Kumar, Sameer (2014): A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. In <i>Omega</i> 42 (1), pp. 109–123. DOI: 10.1016/j.omega.2013.04.003.
14.	Зелёная поставка	2	Защита окружающей среды (5), Зелёная логистика (5).	10	1. Эко дизайн, ISO 14001, Контроль загрязнения, Эко маркировка, Жизненный цикл. 2. Производство, Закупки, Дистрибуция, Реверсивная логистика, Упаковка.	DEMATEL	Falatoonitoosi, Elham; Ahmed, Shamsuddin; Sorooshian, Shahryar (2014): A multicriteria framework to evaluate supplier's greenness. In <i>Abstract and Applied Analysis</i> 2014. DOI: 10.1155/2014/396923.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
15.	Зелёная поставка	8	Затраты (4), Доставка (3), Качество (4), Сервис (3), Стратегический альянс (5), Контроль загрязнения (3), Экологичный продукт (3), Экологический менеджмент (5).	31	1. Покупка эко материалов, Соблюдение отраслевой ценовой стратегии, Соотношение цены/производительности, Затраты на транспортировку. 2. Частота заказа, Скорость выполнения заказа, Время выполнения заказа. 3. Гарантия качества, Совершенствование процессов, Сертификаты качества, Управление качеством. 4. Обратная связь, Управление запасами, Проектные возможности. 5. Готовность к обмену информацией, Возможность совместного использования преимуществ и рисков, Способность понимать конечные цели и бизнес-процессы, Способность строить долгосрочные отношения, Культура и деловая политика. 6. Твердые отходы, Потребление энергии, Использование вредных материалов. 7. Зелёная упаковка, Рециклинг, Восстановление, Повторное использование. 8. Продукт, использующий энергию (EUP), ISO14001, Озон разрушающие химические вещества (OPC), Ограничение опасных веществ (RoHS), Отработанное электронное оборудование (WEEE).		Gurel, Ozlem; Acar, A. Zafer; Onden, Ismail; Gumus, Islam (2015): Determinants of the Green Supplier Selection. In <i>Procedia - Social and Behavioral Sciences</i> 181, pp. 131–139. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.04.874.
16.	Зелёная поставка	6	Затраты, Качество, Технологии, Потребление ресурсов, Объём загрязнения, Обязательства руководства			ANP, GRA	Hashemi, Seyed Hamid; Karimi, Amir; Tavana, Madjid (2015): An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. In <i>International Journal of Production Economics</i> 159, pp. 178–191. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.09.027.
17.	Зелёная поставка	4	Управление поставщиками (7), Переработка продукции (3), Участие организации (8), Управление жизненным циклом (2).	20	1. Эко аудит поставщиков, Эко анкетирование поставщиков, Заявление о соответствии, Отчет о тестировании продукции, Спецификация, Установление экологических требований к закупке, Эко закупка. 2. Сотрудничество с местными организациями по переработке, Сотрудничество с отраслью по переработке продукции, Подготовка инструкций. 3. Эко дизайн, Поддержка (приверженность) руководства, Экологическая политика для ЗЦП, Межфункциональная интеграция, Участие рабочей силы, Коммуникационная платформа внутри компаний и с поставщиками, Создание системы управления экологическими рисками для ЗЦП, Оценка и выбор поставщиков. 4. Анализ жизненного цикла для составления эко-отчета, Создание экологической базы данных продукции.	DEMATEL	Wu, Hsin-Hung; Chang, Shih-Yu (2015): A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management. In <i>Applied Mathematics and Computation</i> 256, pp. 394–403. DOI: 10.1016/j.amc.2015.01.041.
18.	Зелёная поставка	10	Качество, Финансы, Управление и организация, Услуги, Технология производства, Система экологического менеджмента, Зелёный имидж, Эко дизайн, Затраты на улучшение окружающей среды, Зелёные компетенции.			AHP-TOPSIS	Banaeian, Narges; Mobli, Hossein; Nielsen, Izabela Ewa; Omid, Mahmood (2015): A methodology for green supplier selection in food industries. In Paulina Golińska, Arkadiusz Kawa (Eds.): <i>Technology Management for Sustainable Production and Logistics</i> . Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 3-23.
19.	Зелёная поставка	3	Организационное управление (3), Оперативное управление (4), Дизайн продукта (3), Соблюдение правил (2).	12	1. Система экологического менеджмента, Экологическое обучение, Поддержка (приверженность) руководства. 2. Снижение потребления опасных/вредных/токсичных материалов в производственных процессах, Инициативы по контролю загрязнения и снижение частоты экологических аварий, Сотрудничество в области охраны окружающей среды и обмен информацией с фирмой, Использование чистых технологических процессов. 3. Анализ жизненного цикла для составления эко отчета, Снижение потребления материалов/энергии, Повторное использования и переработки материалов и упаковки. 4. Зелёная сертификация, Правительственные постановления и соответствие экологическому законодательству.	IRN DEMATEL, ANP, Grey COPRAS	Liou, James J.H.; Tamošaitienė, Jolanta; Zavadskas, Edmundas K.; Tzeng, Gwo-Hshiung (2016): New hybrid COPRAS-G MADM Model for improving and selecting suppliers in green supply chain management. In <i>International Journal of Production Research</i> 54 (1), pp. 114–134. DOI: 10.1080/00207543.2015.1010747.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
20.	Зелёная поставка	4	Устойчивый план (5), Сообщества за устойчивость (6), Устойчивый операционный контроль процессов (7), Сертификаты устойчивого развития и рост (4).	22	1. Стимулирование клиентов за экологичность, Сравнение размера прибыли после и до внедрения ЗЦП, Доходы от экологически чистых продуктов, Переработка/повторное использование/сокращение материалов, Сокращение выбросов углерода. 2. Подписание кодекса поведения или добровольных инициатив, Развитие корпоративной устойчивости, Оценка социального воздействия бизнеса, Инвестиции сообщества в устойчивое развитие, Экологические стандарты поставщика, Бронирование поставщиком операционных процедур. 3. Оценка жизненного цикла, Эко закупки, Сокращение потребления воды, Мониторинг потребления энергии, Снижение объёма отходов, Эко дизайн, Уменьшение образования токсичных и опасных веществ. 4. Исследования и разработка зелёных технологий, Осведомленность сотрудников, Общее время цикла цепочки поставок, Экологические сертификаты.	Grey DEMATEL	Su, Chun-Mei; Horng, Der-Juinn; Tseng, Ming-Lang; Chiu, Anthony S.F.; Wu, Kuo-Jui; Chen, Hui-Ping (2016): Improving sustainable supply chain management using a novel hierarchical grey-DEMATEL approach. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 134 (1), pp. 469–481. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.05.080.
21.	Зелёная поставка	7	Загрязнение окружающей среды производством, Потребление ресурсов, Эко дизайн, Система экологического менеджмента, Поддержка (приверженность) руководства, Использование зелёных технологий, Использование зелёных материалов.			Fuzzy WASPAS	Keshavarz Ghorabae, Mehdi; Zavadskas, Edmundas Kazimieras; Amiri, Maghsoud; Esmaeili, Ahmad (2016): Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 137, pp. 213–229.
22.	Зелёная поставка	3	Экономика (4), Окружающая среда (1), Социальные аспекты (1).	6	1. Затраты, Время, Доставка, Качество. 2. Зелёные принципы. 3. Социальная ответственность.	Fuzzy Set Theory	SHAHRYARI NIA, Arash; OLFAT, Laya; Esmaeili, Ahmad; Rostamzadeh, Reza; ANTUCHEVIČIENĖ, Jurgita (2016): Using fuzzy choquet integral operator for supplier selection with environmental considerations. In <i>Journal of Business Economics and Management</i> 17 (4), pp. 503–526. DOI: 10.3846/16111699.2016.1194315.
23.	Зелёная поставка	5	Государственное управление (4), Глобальная конкуренция (6), Финансы (5), Организация (6), Внешняя среда (3).	24	1. Правительственные постановления и стандарты, Сертификация экологического менеджмента, Экологические нормы стран-экспортеров, Нормы утилизации отходов. 2. Создание имиджа бренда, Конкурентоспособность, Требования заказчика, Глобализация, Эко дизайн продукта, Устойчивое развитие. 3. Внедрение новых технологий и процессов, Финансовые стимулы/ последствия, Реверсивная логистика, Техническая экспертиза, Обучение сотрудников и поставщиков. 4. Сравнительный анализ, Корпоративная цель, Участие сотрудников, Ценности организации, Стейкхолдеры, Поддержка (приверженность) руководства. 5. Информационные технологии, Роль НПО и СМИ, Интеграция поставщиков.	AHP, DEMATEL	Gandhi, Sumeet; Mangla, Sachin Kumar; Kumar, Pradeep; Kumar, Dinesh (2016): A combined approach using AHP and DEMATEL for evaluating success factors in implementation of green supply chain management in Indian manufacturing industries. In <i>International Journal of Logistics Research and Applications</i> 19 (6), pp. 537–561. DOI: 10.1080/13675567.2016.1164126.
24.	Зелёная поставка	3	Экономические критерии (3), Экологические критерии (4), Социальные критерии (3).	10	1. Качество, Доставка, Цена/затраты. 2. Система экологического менеджмента, Потребление ресурсов, Эко дизайн, 3R (сокращение, повторное использование и переработка). 3. Охрана труда и техника безопасности, Права и благосостояние работников, Обучение и развитие сообщества.	Rough DEMATEL	Song, Wenyan; Xu, Zhitao; Liu, Hu-Chen (2017): Developing sustainable supplier selection criteria for solar air-conditioner manufacturer. An integrated approach. In <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> 79 (1), pp. 1461–1471. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.081.
25.	Зелёная поставка	5	Окружающая среда (3), Технология (3), Сервис (4), Качество (4), Затраты (3).	17	1. Загрязнение, Потребление ресурсов, Система экологического менеджмента. 2. Технологический уровень, Возможности НИОКР, Возможности дизайнера. 3. Своевременная доставка, Гарантия, Отзывчивость, Превентивные действия. 4. Удобство, Коэффициент возврата, Обеспечение качества, Низкий уровень брака. 5. Стоимость продукции, Косвенные затраты, Скидка за количество.	ANP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy MOLP	Bakeshlou, Ehsan Afshar; Khamseh, Alireza Arshadi; Asl, Mohammad Ali Goudarzian; Sadeghi, Javad; Abbaszadeh, Mostafa (2017): Evaluating a green supplier selection problem using a hybrid MODM algorithm. In <i>J Intell Manuf</i> 28 (4), pp. 913–927. DOI: 10.1007/s10845-014-1028-y.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
26.	Зелёная поставка	7	Затраты, Качество, Доставка, Технология, Экологическая компетентность, Организация, Зелёный имидж.			Fuzzy TOPSIS	Mousakhani, Saeed; Nazari-Shirkouhi, Salman; Bozorgi-Amiri, Ali (2017): A novel interval type-2 fuzzy evaluation model based group decision analysis for green supplier selection problems: A case study of battery industry. In Journal of Cleaner Production 168, pp. 205–218. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.154.
27.	Зелёная поставка	6	Затраты на охрану окружающей среды, Деятельность по переработке, Энергопотребление, Программа реверсивной логистики, Управление опасными отходами, Экологическая сертификация.			TODIM	Wang, Rui; Li, Yanlai (2018): A Novel Approach for Green Supplier Selection under a q-Rung Orthopair Fuzzy Environment. In Symmetry 10 (12), p. 687. DOI: 10.3390/sym10120687.
28.	Зелёная поставка	3	Экономика (3), Окружающая среда (3), Социальные аспекты (4).	10	1. Затраты, Качество, Доставка. 2. Система экологического менеджмента, ЗЦП, Поставщики поставщика. 3. Интересы и права работника, Безопасность и охрана труда, Безопасность работников, Увольнение работника.	Fuzzy MOORA, FMEA	Arabshaybani, Amir; Paydar, Mohammad Mahdi; Safaei, Abdul Sattar (2018): An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. In Journal of Cleaner Production 190 (2), pp. 577–591. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.167.
29.	Зелёная поставка	17	Себестоимость и условия оплаты, Условия доставки, Заводская мощность поставщика, Способ доставки, Сроки выполнения, Местонахождение поставщика, Технические характеристики, Сертификаты, Услуги и общение с поставщиком, Компенсация за отходы, Эко дизайн, Простота изменений, Методы испытаний упаковочных материалов, Изменение объёмов, Требования к таре, Постоянные клиенты, Сертификация материалов у поставщика.			Fuzzy DEMATEL	Lin, Kuo-Ping; Tseng, Ming-Lang; Pai, Ping-Feng (2018): Sustainable supply chain management using approximate fuzzy DEMATEL method. In Resources, Conservation and Recycling 128, pp. 134–142. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.11.017.
30.	Зелёная поставка	3	Экономические критерии (7), Социальные критерии (7), Экологические критерии (7).	21	1. Затраты/цена, Качество, Гибкость, Производительность, Финансовые возможности, Партнёрство, Экологические инновации. 2. Репутация, Безопасность труда, Права работников, Влияние местного сообщества, Обучение сотрудников, Уважение прав и политики, Информационное обеспечение. 3. Экологический имидж, Ресиклинг, Контроль загрязнения, Система экологического менеджмента, Эко продукция, Потребление ресурсов, Зелёные компетенции.	FUCOM, IRN SAW	Stević, Željko; Durmić, Elmina; Gajić, Mladen; Pamućar, Dragan; Puška, Adis (2019): A novel multi-criteria decision-making model. interval rough SAW method for sustainable supplier selection. In Information (10), p. 292. DOI: 10.3390/info10100292.
31.	Зелёная поставка	11	Перерабатываемая упаковка, Обмен информацией при управлении ЗЦП, Система экологического менеджмента, Управление отходами, Контроль выбросов парниковых газов в производстве, Зелёный имидж, Сотрудничество с клиентами для создания ЗЦП, Зелёный транспорт, Эффективное использование ресурсов, Поддержка (приверженность) руководства, Опасные и токсичные вещества, используемые в производстве.			SWARA, TOPSIS	Akcan, Serap; Taş, Mehmet Ali (2019): Green supplier evaluation with SWARA-TOPSIS integrated method to reduce ecological risk factors. In Environmental Monitoring and Assessment 191 (12), p. 226. DOI: 10.1007/s10661-019-7884-3.
32.	Зелёная поставка	9	Потребление ресурсов, Эко-обучение, Уровень обслуживания, Эко-дизайн, Зелёный имидж, Система экологического менеджмента, Цена/затраты, Контроль загрязнения, Качество.			Fuzzy AHP, WASPAS, MABAC, TOPSIS	Gupta, Shubham; Soni, Umang; Kumar, Girish (2019): Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment. A case study in automotive industry. In Computers & Industrial Engineering 136, pp. 663–680. DOI: 10.1016/j.cie.2019.07.038
33.	Зелёная поставка	10	Качество, Затраты, Доставка, Инновационность, Технологические возможности, Потребление ресурсов, Зелёный имидж, Объём загрязнения, Контроль загрязнения, Обязательства руководства.			BWM, GRA	Haeri, Seyed Amin Seyed; Rezaei, Jafar (2019): A grey-based green supplier selection model for uncertain environments. In Journal of Cleaner Production 221 (2), pp. 768–784. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.193.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
34.	Зелёная поставка	7	Зелёный дизайн (5), Зелёный имидж (3), Зелёное производство (3), Зелёная переработка (4), Практика экологического менеджмента (3), Экологические компетенции (3), Зелёный транспорт и дистрибуция (4).	25	1. Расширение инновационных возможностей, Воздержание от токсичных свойств, Энергосбережение, Экологические характеристики, Разработка продуктов для вторичной переработки. 2. Удержание клиентов при покупке, Доля зелёного рынка, Отношения со стейкхолдерами. 3. Экологически чистое производство, Эко упаковка, Использование чистых технологий. 4. Действия по восстановлению, Восстановление, Повторное использование, Утилизация. 5. Экологическая политика, Экологическое планирование, Сертификация ISO14001. 6. Использование эко материалов, Способность уменьшать загрязнение окружающей среды, Возможности обработки возвратов. 7. Проектирование зелёной сети, Использование экономичных транспортных средств, Сокращение порожних пробегов, Применение программного обеспечения для маршрутизации и планирования перевозок.	DE-MATEL, AHP, TOPSIS	Jayant, Arvind; Neeru; Agarwal, Anshul (2019): A novel hybrid MCDM approach based on DEMATEL, AHP and TOPSIS to evaluate green suppliers. In Journal of Physics: Conference Series 1240, p. 12010. DOI: 10.1088/1742-6596/1240/1/012010.
35.	Зелёная поставка	10	Качество, Технологичность, Гибкость, Финансовые возможности, Инновационность культуры, Эко дизайн, Система экологического менеджмента, Экологичный продукт, Обязательства руководства, Зелёные технологии.			Fuzzy WASPAS	Mishra, Arunodaya Raj; Rani, Pratibha; Pardasani, Kamal Raj; Mardani, Abbas (2019): A novel hesitant fuzzy WASPAS method for assessment of green supplier problem based on exponential information measures. In Journal of Cleaner Production 238, p. 117901. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117901.
36.	Зелёная поставка	3	Экономические критерии (7), Социальные критерии (7), Экологические критерии (7).	21	1. Затраты/цена, Качество, Доставка, Гибкость, Технологические возможности, Финансовые возможности, Партнерские отношения. 2. Репутация, Безопасность и здоровье на рабочем месте, Права сотрудников, Влияние местного сообщества, Обучение сотрудников, Уважение прав и политик, Информационное обеспечение. 3. Зелёный имидж, Система экологического менеджмента, Борьба с загрязнением, Зелёные продукты, Эко дизайн, Потребление ресурсов, Зелёные компетенции.	FUCOM, Rough COPRAS	Matić, Bojan; Jovanović, Stanislav; Das, Dillip Kumar; Zavadskas, Edmundas Kazimieras; Stević, Željko; Sremac, Siniša; Marinković, Milan (2019): A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in a Construction Company. In <i>Symmetry</i> 11 (3), p. 353. DOI: 10.3390/sym11030353.
37.	Зелёная поставка	7	Экологический имидж, Рециклинг, Контроль загрязнений, Система экологического менеджмента, Экологическая продукция, Потребление ресурсов, Зелёные компетенции.			Fuzzy PIPRECIA, IRN SAW	Dalić, Irena; Stević, Željko; Karamasa, Caglar; Puška, Adis (2020): A novel integrated fuzzy PIPRECIA – interval rough SAW model green supplier selection. In Decision Making: Applications in Management and Engineering 3 (1), pp. 126–145. DOI: 10.31181/dmame2003114d.
38.	Зелёная поставка	7	Стоимость продукции, Качество продукции, Предоставляемые услуги, Качество доставки, Контроль загрязнения, Система экологического менеджмента, Зелёная упаковка.			Fuzzy PROMETHEE	Akram, Muhammad; Shumaiza; Al-Kenani, Ahmad N. (2020): Multi-Criteria Group Decision-Making for Selection of Green Suppliers under Bipolar Fuzzy PROMETHEE Process. In <i>Symmetry</i> 12 (1), p. 77. DOI: 10.3390/sym12010077.
39.	Зелёная поставка	2	Операционная эффективность (6), Экологические критерии (13).	19	1. Затраты, Качество, Время, Гибкость, Инновационность, Труд. 2. Управление процессами, Зелёная упаковка, Зелёный дизайн продукта, Зелёный транспорт, Зелёное складирование, Зелёные закупки, Реверсивная логистика, Твёрдые отходы, Химические отходы, Рекуперация воды, Использование энергии, Шум, Выбросы.	Fuzzy DE-MATEL, TOPSIS	Pourjavad, Ehsan; Shahin, Arash (2020): Green supplier development programmes selection: a hybrid fuzzy multi-criteria decision-making approach. In International Journal of Sustainable Engineering 13 (6), pp. 463–472. DOI: 10.1080/19397038.2020.1773569.
40.	Зелёная поставка	5	Цена/затраты, Качество, Доставка, Близость взаимоотношений, Система экологического менеджмента.			EDAS	Xu, Dongsheng; Cui, Xiangxiang; Xian, Huaxiang (2020): An extended EDAS method with a single-valued complex neutrosophic set and its application in green supplier selection. In Mathematics 8 (2), p. 282. DOI: 10.3390/math8020282.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
41.	Устойчивое производство	3	Экономические критерии (6), Экологические критерии (4), Социальные критерии (5)	15	1. Общая эффективность оборудования, Процесс восстановления, Планирование процесса повторного производства, Наличие машин и инструментов, Уровень выполненных заказов, Наличие материалов. 2. Уровень энергопотребления, Уровень образования отходов, Скорость восстановления материала, Уровень генерируемых выбросов. 3. Обучение сотрудников, Вредность процесса восстановления, Средний уровень комфорта в работе, Уровень инноваций.	Grey Decision Making	Golinska, Paulina; Kosacka, Monika; Mierzwik, Rafal; Werner-Lewandowska, Karolina (2015): Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. In Journal of Cleaner Production 105, pp. 28–40. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.040.
42.	Зелёное производство	7	Качество продукта, Незавершенное производство, Пропускная способность, Время выполнения, Использование оборудования, Затраты на производство, Гибкость.				Wan Hasrulnizzam Wan Mahmood (2013): Manufacturing performance in green supply chain management. In World Applied Sciences Journal 21. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.21.1010.
43.	Зелёное производство	12	Финансовая выгода, Имидж компании, Охрана окружающей среды, Соблюдение правил, Стейкхолдеры, Зелёные инновации, Требование к цепи поставок, Клиенты, Требования к сотрудникам, Внутренние мотивы, Тенденция рынка, Конкуренты.			Fuzzy AHP	Govindan, Kannan; Diabat, Ali; Madan Shankar, K. (2015): Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. In Journal of Cleaner Production 96, pp. 182–193. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.02.054.
44.	Зелёное производство	5	Окружающая среда (4), Ресурс (2), Сырье (2), Экономика (3), Техника (2).	13	1. Оценка загрязнения воздуха, Оценка загрязнения твердыми отходами, Оценка шумового загрязнения, Оценка загрязнения сточных вод. 2. Утилизация переработанных материалов, Использование помещений и оборудования. 3. Использование зелёной энергии, Затраты на логистику. 4. Производительность логистических услуг, Экологические затраты, Свойства логистического оборудования. 4. Автоматизация управления логистикой, Возможности логистики.	DEMATEL	Shih-Hsiung Cheng; Shih Ming Ou; Su-Mei Lin (2018): Using decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) to explore the key success factors for green logistics manufacturers. In African Journal of Business Management 12 (3), pp. 58–65. DOI: 10.5897/AJBM2017.8461.
45.	Устойчивое складирование	5	Цена за единицу, Вместимость складских запасов, Среднее расстояние до магазинов, Среднее расстояние до основных поставщиков, Гибкость передвижения.			ARAS, COPRAS, MOORA, VIKOR, TOPSIS, WASPAS, ELECTRE	Petrović, Goran S.; Madić, Miloš; Antucheviciene, Jurgita (2018): An approach for robust decision making rule generation. Solving transport and logistics decision making problems. In Expert Systems with Applications 106, pp. 263–276. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.03.065.
46.	Устойчивый логистический центр	11	Мультимодальный транспорт, Оценка развития инфраструктуры, Воздействие на окружающую среду, Политика территориального планирования/экономического роста, Интермодальные транспортные единицы, Мощность ЛЦ, Доступная площадь для развития ЛЦ, Расстояние между пользователем и ЛЦ, Транспортная безопасность, Протяженность железнодорожного фронта перегрузки, Доступ к внутреннему порту.			DEMATEL, MAIRCA	Pamucar, Dragan S.; Tarle, Snezana Pejcić; Parezanovic, Tanja (2019): New hybrid multi-criteria decision-making DEMATEL-MAIRCA model. Sustainable selection of a location for the development of multimodal logistics centre. In Economic Research-Ekonomska Istraživanja 31 (1), pp. 1641–1665. DOI: 10.1080/1331677X.2018.1506706.
47.	Устойчивый транспорт	10	Цена покупки, Гарантия производителя, Сервисная сеть, Доступность запасных частей, Средняя стоимость обслуживания, Расход топлива, Максимальная несущая способность, Максимальная грузоподъемность, Скорость движения погрузчика (с грузом/без груза), Скорость подъема/опускания груза.			ARAS, COPRAS, MOORA, VIKOR, TOPSIS, WASPAS, MABAC	Petrović, Goran S.; Madić, Miloš; Antucheviciene, Jurgita (2018): An approach for robust decision making rule generation. Solving transport and logistics decision making problems. In Expert Systems with Applications 106, pp. 263–276. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.03.065.
48.	Устойчивый транспорт	3	Репрезентативные критерии (6), Практические критерии (6), Контекстные критерии (6).	18	1. Специфика, Валидность, Полнота, Качество и надёжность, Чувствительность, Независимость. 2. Измеримость, Доступность данных, Достижимость, Экономическая эффективность, Своевременность, Этические аспекты. 3. Доступность, Действенность, Сопоставимость, Прозрачность, Интерпретируемость, Целевая релевантность.		Illahi, Ubaid; Mir, Mohammad Shafi (2020): Development of indices for sustainability of transportation systems: a review of state-of-the-art. In Ecological Indicators 118, p. 106760. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106760.



№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
49.	Устойчивый транспорт	4	Экономические критерии (7), Экологические критерии (5), Социальные критерии (4), Технические критерии (6).	22	1. Затраты на приобретение транспортных средств, Затраты на ТО, Время достижения точки равновесия инвестиций, Финансовые показатели, Затраты на человеческий капитал, Затраты на рабочее место, Пробег. 2. Загрязнение воздуха, Шумовое загрязнение, Влияние на здоровье населения, Потребление энергии, Степень использования транспортных средств. 3. Социальная репутация, создание бренда, Построение корпоративной культуры, Возможности трудоустройства, Влияние местного сообщества. 4. Качество обслуживания, Гибкость, Доступность рабочей силы, Доступность земли, Индекс надёжности транспортных средств, Индекс использования парковочных мест.	Fuzzy ARAS	Jovčić, Stefan; Simić, Vladimir; Průša, Petr; Dobrodolac, Momčilo (2020): Picture fuzzy ARAS method for freight distribution concept selection. In <i>Symmetry</i> 12 (7), p. 1062. DOI: 10.3390/sym12071062.
50.	Устойчивый транспорт	5	Затраты жизненного цикла (4), Социальные аспекты (4), Экологические аспекты (3), Технология (6), Политика (3).	20	1. Затраты на покупку, Затраты энергии, Затраты на перепродажи, Затраты на обслуживание. 2. Чувство комфорта, Создание рабочих мест, Социальная приемлемость, Социальные льготы. 3. Выбросы, Шумовое загрязнение, Эко технологии. 4. Запас хода, Время дозаправки/подзарядки, Энергоэффективность, Безопасность, Инфраструктура для заправки/зарядки, Технологическая зрелость. 5. Финансовые стимулы, Политическая поддержка, Энергетическая безопасность.	Fuzzy FUCOM, Fuzzy MARCOS	Pamucar, Dragan; ECER, Fatih; Deveci, Muhammet (2021): Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. In <i>The Science of the total environment</i> 788, p. 147763. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147763.
51.	Зелёный сервис	3	Технология (4), Организация (3), Окружающая среда (4).	11	1. Затраты на внедрение, Сложность, Совместимость, Относительное преимущество. 2. Качество человеческих ресурсов, Организационная поддержка, Размер компании. 3. Экологическая неопределённость, Государственная поддержка, Регуляторное воздействие, Давление со стороны клиентов, Использование зелёной практики.		Ho, Yi-Hui; Lin, Chieh-Yu; Tsai, Jung-Shun (2014): An Empirical Study on Organizational Infusion of Green Practices in Chinese Logistics Companies. In <i>Journal of Economic and Social Studies</i> 4 (2), pp. 65–78. DOI: 10.14706/JECOSS11427.
52.	Устойчивый сбыт	10	Осведомленность клиентов, Поощрение/поддержка клиентов, Сеть продаж, Поддержка (приверженность), Эко-реклама и маркетинг, ИТ-поддержка и эффективная коммуникация, Экологически чистая дистрибуция, Программы обучения для работы с клиентами, Зелёная маркировка и эко-упаковка, Переработка и повторное использование.			ISM, MICMAC analysis	Kumar, S.; Luthra, S.; Haleem, A. (2013): Customer involvement in greening the supply chain: an interpretive structural modeling methodology. In <i>Journal of Industrial Engineering International</i> 9 (6).
53.	Устойчивый сбыт	4	Финансы (6), Клиенты (6), Внутренняя среда (4), Обучение и рост (6).	22	1. Повышение акционерной стоимости, Прибыль, Инвестиционные затраты, Затраты на доставку, Сокращение запасов, Инвестиции в ЗЦП. 2. Удовлетворенность клиентов, Увеличение доли рынка, Близость к клиенту, Лояльность клиентов, Привлечение новых клиентов, Объём продаж. 3. Улучшение качества, Разработка новых продуктов, Оборудование, Своевременная доставка. 4. Инновации, Документация, Благоприятный труд, Квалифицированный персонал, Культурный взгляд, Информационная система логистики.	DEMATEL	Maghsood, Amiria; Jamshid Salehi, Sadaghiyana; Nafiseh Payanib; Mahdi Shafieezadeh c (2011): Developing a DEMATEL method to prioritize distribution centers in supply chain. In <i>Management Science Letters</i> 1, pp. 279–288. DOI: 10.5267/j.msl.2011.04.001.
54.	Устойчивая логистика	3	Экономические критерии (9), Экологические критерии (13), Социальные критерии (10).	32	1. Затраты на логистику, Отклонение от общих затрат на логистику, Своевременная доставка, Несвоевременная доставка, Пропущенные продажи, Время выполнения заказа, Используемые транспортные средства, Рост объёма производства, Производительность труда. 2. Отходы продукции, Отходы упаковки, Выбросы парниковых газов, Используемая энергия, Энергия из возобновляемых источников, Используемая вода, Потребленное топливо, Используемые земли, Степень деградации почвы, Воздействие на биоразнообразие, Экологическая эффективность, Количество возвращенного переработанного продукта, Этичная транспортировка. 3. Расстояние между производителем и дистрибьютором, Распределение прибыли между участниками цепи поставок, Качество продукции, Качество жизни и удовлетворенность работой, Количество созданных рабочих мест, Число несчастных случаев, Вклад в заторы на дорогах, Транспортный шум, Соблюдение нормативных требований, Публичная отчетность об экологических показателях.		Soysal, Mehmet; Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M. (2018): Toward sustainable logistics. In Didem Cinar, Konstantinos Gakis, Panos M. Pardalos (Eds.): <i>Sustainable Logistics and Transportation. Optimization Models and Algorithms</i> . Cham: Springer (Springer Optimization and Its Applications, 129), pp. 1–17.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
55.	Устойчивая логистика	3	Экономика (11), Окружающая среда (6), Общество (6).	23	1. Логистические затраты, Срок доставки, Транспортные задержки, Сокращение запасов, Потеря/повреждение, Частота обслуживания, Точность прогноза, Надёжность, Гибкость, Объёмы перевозок, Заявки. 2. Ресурсоэффективность, Энергоемкость, Технологические выбросы, Отходы, Загрязнения, Землепользование. 3. Преимущества развития, Воздействия, Здоровье, Безопасность, Модели труда, Принятие.		Kayikci, Yasanur (2018): Sustainability impact of digitization in logistics. In <i>Procedia Manufacturing</i> 21, pp. 782–789. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.184.
56.	Устойчивая логистика	5	Экономика (3), Окружающая среда (2), Социальные аспекты (4), Политика (2), Территориальный аспект (3).	14	1. Мультимодальное транспортное сообщение, Затраты на приобретение земли и строительство, Фискальная политика, Транспортные затраты. 2. Соответствие нормам по выбросам, Влияние на природный ландшафт. 3. Безопасность и охрана, Шум, Воздействие на близлежащих жителей, Влияние на заторы на дорогах. 4. Текущая политика, вспомогательная роль для промышленности. 5. Доступность мультимодальных перевозок, Близость к промышленной зоне, Возможность расширения грузовой инфраструктуры.	Fuzzy FUCOM, Fuzzy PROMETHEE, Fuzzy MAIRCA	Ayadi, Hana; Hamani, Nadia; Kermad, Lyes; Benaissa, Mounir (2021): Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives. In <i>Sustainability</i> 13 (7), p. 3891. DOI: 10.3390/su13073891.
57.	Зелёная логистика	6	Транспортные затраты (5), Складские затраты (4), Стоимость стивидорных услуг (3), Затраты на упаковку (3), Стоимость риска для окружающей среды (4), Стоимость фондового риска (4).	23	1. Транспортное оборудование, Время перевозки, Маршрут перевозки, Объём перевозки, Качество перевозки. 2. План складирования, Качество складирования, Объёмы складирования, Вероятность потери. 3. Качество погрузочно-разгрузочных работ, Погрузочно-разгрузочное оборудование, Ритм работы. 4. Упаковочный материал, Комплектация упаковки, Рекламация. 5. Выбросы газов, Шум, Сточные воды, Аварийный выброс. 6. Налоги, Девальвация, Ущерб, Износ.	Entropy Fuzzy AHP	Dong, Hai; Wang, Sheng Nv (2013): The entropy weight fuzzy comprehensive evaluation of green logistics cost management. In <i>Applied Mechanics and Materials</i> 397-400, pp. 2667–2671. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.397-400.2667.
58.	Зелёная логистика	6	Защита окружающей среды (5), Экологический менеджмент (3), Государственное управление (4), Логистика (6), Управление предприятием (6), Общество (3).	27	1. Твердые отходы, Транспортный шум, Объём выбросов углерода, Объём сбросов сточных вод, Объём выбросов выхлопных газов. 2. Коэффициент комплексной утилизации твердых отходов, Инвестиции на борьбу с загрязнением, Коэффициент очистки сточных вод. 3. Реклама зелёной логистики, Законы и правила зелёной логистики, Поддержка политики зелёной логистики, Планирование зелёной логистики. 4. Статистические данные зелёной логистики, Популяризация зелёной логистики, Обучение персонала зелёной логистики, Оценка эффективности зелёной логистики, Вознаграждения и штрафы системы зелёной логистики, Создание платформы публичной информации по логистике. 5. Зелёное управление поставщиками, Зелёное управление производством, Зелёная упаковка, Зелёное управление хранением, Зелёное управление транспортировкой, Зелёное распределение и переработка. 6. Знания граждан о зелёной логистике, Осведомленность граждан о зелёной логистике, Участие граждан в зелёной логистике.	Fuzzy AHP	ZHOU, Li; Zhu, Jie; Guo, Jian (2014): Research on construction of the green logistics evaluation index system and determination of index weight. In <i>American Journal of Theoretical and Applied Statistics</i> 3 (4), 96-99. DOI: 10.11648/j.ajtas.20140304.13.
59.	Зелёная логистика	2	Внутренняя среда (7), Внешняя среда (5).	12	1. Финансовые ресурсы, Внедрение ИТ, Знания/навыки внутри компании, Поддержка (приверженность) руководства, Поощрение организации, Обучение, Инвестиционные затраты. 2. Интерес/узнаваемость клиентов, Заинтересованность поставщиков транспорта/логистики, Экономические стимулы, Государственная поддержка, Свод правил.		Pannirselvan, M. D.; Bin Rahamaddulla, S. R.; Muhamad, P. F.; Maarof, M. G.; Sorooshian, S. (2016): Innovative solution for barriers of green logistics in food manufacturing industries. In <i>International Journal of Applied Engineering Research</i> 11 (18), pp. 9478–9487.
60.	Реверсивная логистика	4	Рыночный фактор, Прибыль, Создание рабочих мест, Воздействие на окружающую среду.			MAC-BETH	Dhouib, Diala (2014): An extension of MAC-BETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes. In <i>Omega</i> 42 (1), pp. 25–32. DOI: 10.1016/j.omega.2013.02.003.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
61.	Реверсивная логистика	4	Экономика (8), Окружающая среда (6), Социальные аспекты (6), Риск (3).	23	1. Качество, Затраты, Время выполнения, Доставка, Опыт, Транспорт, Услуги, Технические инновации. 2. Рециклинг, Утилизация, Переработка, Повторное использование, Эко производство, Эко дизайн. 3. Здоровье и безопасность, Потребности клиента, Соблюдение местных правил и политик, Равенство труда и управление запасами поставщиков, Гибкий рабочий график, Стабильность занятости. 4. Операционный риск, Организационный риск, Финансовый риск.	Fuzzy SWARA, Fuzzy MOORA	Mavi, Reza Kiani; Goh, Mark; Zarbakhshnia, Navid (2017): Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. In <i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i> 91 (5-8), pp. 2401–2418. DOI: 10.1007/s00170-016-9880-x.
62.	Реверсивная логистика	4	Экономика (5), Окружающая среда (5), Социальные аспекты (3), Риск (2).	15	1. Качество, Затраты, Сроки, Доставка и услуги, Транспорт. 2. Переработка, Утилизация, Восстановление и повторное использование, Экологически чистые технологии, Эко сертификация, Эко дизайн. 3. Здоровье и безопасность, Потребности клиентов, Стабильность занятости. 4. Операционный риск, Финансовый риск.	Fuzzy SWARA, Fuzzy COPRAS	Zarbakhshnia, Navid; Soleimani, Hamed; Ghaderi, Hadi (2018): Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. In <i>Applied Soft Computing</i> 65, pp. 307–319. DOI: 10.1016/j.asoc.2018.01.023.
63.	Реверсивная логистика	6	Финансы (4), Процесс (4), Стейкхолдеры (4), Инновации/рост (4), Окружающая среда (4), Социальные аспекты (4).	20	1. Общие затраты на реверсивную логистику (РЛ), Объем капиталовложений, Годовой объем продаж возвращенной продукции, Возмещаемая стоимость актива. 2. Время цикла РЛ, Пропускная способность сети, Пропускная способность транспорта, Коэффициент эффективности восстановления. 3. Удовлетворенность клиентов, Удовлетворенность правительства, Удовлетворенность сотрудников, Удовлетворенность инвесторов. 4. Управленческие инициативы и компетентность сотрудников, Возможности информационных технологий, Возможности инноваций в технологических процессах, Анализ жизненного цикла продукта. 5. Соблюдение экологических норм, Использование материалов, Использование энергии, Утилизация. 6. Корпоративный имидж, Коммуникации, Безопасность, Охрана.	DE-MATEL, Fuzzy ANP-AHP	Shaik, Mohammed Najeeb; Abdul-Kader, Walid (2018): A hybrid multiple criteria decision making approach for measuring comprehensive performance of reverse logistics enterprises. In <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> 123, pp. 9–25. DOI: 10.1016/j.cie.2018.06.007.
64.	Реверсивная логистика	4	Качество (2), Устойчивость (2), Экономика (2), Риск (2).	8	Состояние повреждения, Оставшийся срок службы, Потребление энергии, Негативное влияние пункта сбора, Затраты, Прибыль, Производительность, Риск спроса.	AHP, MABAC	Wang, Han; Jiang, Zhigang; Wang, Yan; Liu, Ying; Li, Fei; Yan, Wei; Zhang, Hua (2018): A Demands-Matching Multi-Criteria Decision-Making Method for Reverse Logistics. In <i>Procedia CIRP</i> 72 (5), pp. 1398–1403. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.135.
65.	Реверсивная логистика	3	Экономика (7), Окружающая среда (2), Социальные аспекты (3).	12	1. Затраты на РЛ, Доход от РЛ, Качество обслуживания, Опыт, Географическое положение, Уровень ИТ, Конкурентоспособность предприятия. 2. Экологичность, Зелёные технологии. 3. Возможность сотрудничества, Здоровье и безопасность, Стабильность занятости.	TOPSIS, VIKOR, COPRAS, MULTIMOORA	Chen, Zhen-Song; Zhang, Xuan; Govindan, Kannan; Wang, Xian-Jia; Chin, Kwai-Sang (2021): Third-party reverse logistics provider selection. A computational semantic analysis-based multi-perspective multi-attribute decision-making approach. In <i>Expert Systems with Applications</i> 166 (2), p. 114051. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114051.
66.	Цепь поставок замкнутого цикла	12	Экономические выгоды ЦПЗЦ, Сведение к минимуму образования отходов, Создание новых рабочих мест, Экологические и социальные преимущества внедрения ЦПЗЦ, Государственное регулирование и поддержка, Повышение осведомленности клиентов о защите окружающей среды, Интеграция операций производства и восстановления, Лидерство и управленческая поддержка внедрения ЦПЗЦ, Внедрение информационных технологий, Квалифицированная рабочая сила, Наличие достаточного количества бывших в употреблении продуктов, Рынок восстановленных продуктов, Взаимодействие с поставщиками и клиентами.	12	1. Эксплуатационные затраты, Коэффициент оборачиваемости запасов, Качество заказа (без задержек и без повреждений). 2. Увеличение продаж и доли рынка, Сокращение отходов и затрат на их утилизацию, Повышение эффективности управления ресурсами. 3. Улучшение имиджа с клиентами, Отношения со стейкхолдерами, Улучшение имиджа продукта. 4. Соответствие экологическим стандартам, Потребление опасных/вредных/токсичных материалов, Потребление энергии.	Grey DEMATEL	Bhatia, Manjot Singh; Jakhar, Suresh Kumar; Mangla, Sachin Kumar; Gangwani, Kishore Kumar (2020): Critical factors to environment management in a closed loop supply chain. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 255 (2–3), p. 120239. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120239.
67.	Устойчивая цепь поставок	4	Операции (3), Экономика (3), Общество (3), Окружающая среда (3).	12	1. Эксплуатационные затраты, Коэффициент оборачиваемости запасов, Качество заказа (без задержек и без повреждений). 2. Увеличение продаж и доли рынка, Сокращение отходов и затрат на их утилизацию, Повышение эффективности управления ресурсами. 3. Улучшение имиджа с клиентами, Отношения со стейкхолдерами, Улучшение имиджа продукта. 4. Соответствие экологическим стандартам, Потребление опасных/вредных/токсичных материалов, Потребление энергии.		Zailani, Suhaiza; Jeyaraman, K.; Vengadasan, G.; Premkumar, R. (2012): Sustainable supply chain management (SSCM) in Malaysia. A survey. In <i>International Journal of Production Economics</i> 140 (1), pp. 330–340. DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.02.008.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
68.	Устойчивая цепь поставок	4	Организация (6), Право и этика (4), Стратегия (4), Технология (4).	18	1. Финансовые ограничения, Поддержка (приверженность) руководства, Отношение к Индустрии 4.0, Миссия компании в области цифровых операций, Компетентность в принятии/применении новых бизнес-моделей, Понимание последствий Индустрии 4.0. 2. Правовые вопросы, Координация и сотрудничество, Безопасность, Вопросы профилирования и сложности. 3. Государственная поддержка, Исследования и разработки по внедрению Индустрии 4.0, Экономическая выгода от цифровых инвестиций, Цифровая культура. 4. Глобальные стандарты и протоколы обмена данными, Качество информационных данных, Интеграция технологических платформ, Инфраструктура и интернет-сети.	АНР	Luthra, Sunil; Mangla, Sachin Kumar (2018): Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. In <i>Process Safety and Environmental Protection</i> 117, pp.168–179. DOI: 10.1016/j.psep.2018.04.018.
69.	Устойчивая цепь поставок	7	Экологические риски (6), Организационные риски (5), Риски устойчивого снабжения (8), Устойчивое производство/риски производителя (10), Риски устойчивого распределения (7), Риски устойчивой переработки (4), Риски, связанные с информационными технологиями (4).	44	1. Войны, Терроризм, Нестабильность политики, Экономические проблемы, Стихийные бедствия, Рабочие конфликты. 2. Сбой политики управления, Риски государственной политики, Человеческие ошибки, Взаимоотношения между партнерами по цепи поставок, Приверженность к ЗЦП. 3. Ограничения мощностей, Неудачи поставщиков, Качество поставщиков, Неопределенность поставщиков, Риски заказа материалов, Риски запасов, Число экологически чистых поставщиков, Финансовая нестабильность поставщика. 4. Риск проектирования продукта, Риск производственных мощностей, Риск спроса, Риск качества, Планирование и составление графиков, Ошибки прогнозирования, Забастовка рабочих, Риски машин и оборудования, Сроки изготовления экологически чистых продуктов/материалов, Изменение технологий из-за экологичности. 5. Близость к аэропортам, Качество дорог, Колебания спроса, Риски прогнозирования спроса, Рыночные риски, Невозможность использования эко топлива, Риск скоропортящихся продуктов. 6. Инфильтрация сточных вод, Невозможность использования чужих отходов, Риски сброса отходов, Риски загрязнения подземных вод. 7. ИТ-безопасность, Эффект кнута, Невозможность доступа к информации, Сбой ИТ-системы.	Fuzzy TOPSIS, CRITIC	Rostamzadeh, Reza; Ghorabae, Mehdi Keshavarz; Govindan, Kannan; Esmaili, Ahmad; Nobar, Hossein Bodaghi Khajeh (2018): Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 175, pp.651–669. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.071.
70.	Устойчивая цепь поставок		Окружающая среда (4), Технология (4), Знания и информация (4), Общество (4), Финансы (4).	20	1. Экологическая компетентность партнеров ЗЦП, Экологические требования, Реверсивная логистика, Осведомленность местных клиентов о эко продуктах. 2. Технический опыт, Внедрение инноваций, Чистые технологии, Устаревшее оборудование. 3. Информационное обеспечение, Поддержка (приверженность) руководства, Обучение в области устойчивого развития, Доступ к рыночной информации. 4. Государственная поддержка и руководство по внедрению устойчивых ЦП, Общественное давление, Ценовая политика, Дружественная к бизнесу политика. 5. Затраты на устойчивость и экономическое состояние, Ограничения мощности, Фонды для устойчивых практик цепи поставок, Зеленая энергия.	Grey DEMATEL	Moktadir, Md Abdul; Ali, Syed Mithun; Rajesh, R.; Paul, Sanjoy Kumar (2018): Modeling the interrelationships among barriers to sustainable supply chain management in leather industry. In <i>Journal of Cleaner Production</i> 181 (3), pp. 631–651. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.245.
71.	Устойчивая цепь поставок	5	Социальная и экологическая ответственность (5), Гибкость (2), Отзывчивость (3), Качество (4), Устойчивое управление знаниями (4).	18	1. Социальная ответственность, Условия труда, Общение и сотрудничество, Жизненный цикл продукта, Бережливое производство. 2. Динамичность и мобильность доставки, Партнеры по цепи поставок. 3. Брак продукции, Проблемы клиентов, Конкурентные преимущества. 4. Дизайн и сырье, Качество логистики, Обслуживание клиентов, Качество дистрибуции. 5. Обмен информацией/знаниями, Совместное создание знаний, Информационные технологии, База знаний.	ISM	Nassar, Shereen; Kandil, Tarek; Er Kara, Merve; Ghadge, Abhijeet (2019): Automotive recall risk: impact of buyer-supplier relationship on supply chain social sustainability. In <i>International Journal of Productivity and Performance Management</i> 69 (3), pp. 467–487. DOI: 10.1108/IJPPM-01-2019-0026.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
72.	Устойчивая цепь поставок	13	Оценка эффективности/вознаграждения, Эффективная структура коммуникаций, Командная работа с сотрудниками, Доверие среди персонала, Устойчивая стратегия, Устойчивые инновации, Программа обучения, Организационная культура, Социальная легитимность, подотчетность и доверие, Свобода выбора должностных обязанностей, Мотивация к зелёным практикам, Обязательства руководства, Распределение прибыли между сотрудниками.			DEMATEL	Kumar, Anil; Maktadir, Md. Abdul; Khan, Syed Abdul Rehman; Garza-Reyes, Jose Arturo; Tyagi, Mrinal; Kazançoğlu, Yiğit (2020): Behavioral factors on the adoption of sustainable supply chain practices. In Resources, Conservation and Recycling 158 (2), p. 104818. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104818.
73.	Устойчивая цепь поставок	3	Экономическая устойчивость (5), Социальная устойчивость (5), Экологическая устойчивость (8).	18	1. Общая годовая сумма з/п и пособий, выплаченных работникам, Общие годовые операционные затраты, Процент бюджета местных закупок, Общие годовые затраты на устойчивое развитие, Суммарные годовые продажи/доходы организации. 2. Общая годовая численность работников, Общая годовая численность женщин-сотрудников, Текучесть кадров, Общая численность работников, прошедших обучение в организации, Общее количество жалоб потребителей. 3. Общее годовое потребление возобновляемой энергии организацией, Общий годовой объём оборотной/повторно используемой воды организацией, Общий годовой объём прямых выбросов парниковых газов, Общее годовое количество озон разрушающих веществ, Сокращение отходов, Общее годовое количество образующихся опасных отходов, Доля поставщиков, подлежащих оценке устойчивости, Доля местных /национальных поставщиков.		Azevedo, Susana Garrido; Pimentel, Carina M. O.; Alves, Anabela C.; Matias, João C. O. (2021): Support of advanced technologies in supply chain processes and sustainability impact. In Applied Sciences 11 (7), p. 3026. DOI: 10.3390/app11073026.
74.	Зелёная цепь поставок	4	Жизненный цикл продукта (4), Оперативный жизненный цикл/логистика (5), Критерии эффективности (4), Экологические практики (5).	18	1. Этап введения, Рост, Зрелость, Упадок 2. Закупки, Производство, Дистрибуция, Реверсивная логистика, Упаковка. 3. Время, Качество, Затраты, Гибкость. 4. Сокращение, Повторное использование, Восстановление, Переработка, Утилизация.	АНР, ANP	Sarkis, Joseph (2003): A strategic decision framework for green supply chain management. In Journal of Cleaner Production 11 (4), pp. 397-409. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00062-8.
75.	Зелёная цепь поставок	4	Управление поставщиками (7), Переработка продукции (3), Участие организации (8), Управление жизненным циклом (2).	20	1. Эко аудит поставщиков, Эко анкетирование поставщиков, Заявление о соответствии, Отчет о тестировании продукции, Спецификация, Установление экологических требований к закупке, Эко закупка. 2. Сотрудничество с местными организациями по переработке, Сотрудничество с отраслью по переработке продукции, Подготовка инструкций. 3. Эко дизайн, Поддержка (приверженность) руководства, Экологическая политика для ЗЦП, Межфункциональная интеграция, Участие рабочей силы, Коммуникационная платформа внутри компаний и с поставщиками, Создание системы управления экологическими рисками для ЗЦП, Оценка и выбор поставщиков. 4. Анализ жизненного цикла для составления эко-отчета, Создание экологической базы данных продукции.		Hu, Allen H.; Hsu, Chia-Wei (2010): Critical factors for implementing green supply chain management practice. In Management Research Review 33 (6), pp. 586-608. DOI: 10.1108/01409171011050208.
76.	Зелёная цепь поставок	15	Эко сотрудничество с поставщиками, Сокращения отходов и устранения воздействия продукта на окружающую среду, Взаимоотношения с поставщиками, Удовлетворение потребностей клиентов, Качество продукции, Гибкость поставщика, Внутреннее качество обслуживания, Зелёный дизайн, Экологичные покупки, ISO 14000, Внутренний план зелёного производства, Экологические производство, Потребности поставщиков, Количество патентов, Степень инновационности эко продукции НИОКР.			Fuzzy DEMATEL	Wu, Kuo-Jui; Tseng, Ming-Lang; Vy, Truong (2011): Evaluation the drivers of green supply chain management practices in uncertainty. In Procedia - Social and Behavioral Sciences 25, pp. 384-397. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.02.049.
77.	Зелёная цепь поставок	4	Финансы (3), Внутренняя эффективность (3), Клиенты (3), Обучение и рост (3).	12	1. Затраты на зелёные практики, Сокращение объёма материалов и отходов, Затраты (обязательства) на доставку. 2. Сотрудничество для улучшения качества продукции в цепи поставок, Оценка факторов риска для окружающей среды, Отходы упаковки (клиент-поставщик). 3. Оценка экологических показателей поставщиков, Обмен данными с поставщиками, Оптимизация работы с поставщиками. 4. Гибкость к изменяющимся условиям бизнеса, Эко-стандарты для поставщиков, Расширение услуг и улучшение функций продукта для повышения экологической эффективности.	Game theory	Jalali Naini, Seyed Gholamreza; Aliahmadi, Ali Reza; Jafari-Eskandari, Meisam (2011): Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: A case study of an auto industry supply chain. In Resources, Conservation and Recycling 55 (6), pp. 593-603. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.10.008.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
78.	Зелёная цепь поставок	18	Надёжность доставки, Рентабельность поставщика, Взаимоотношения с поставщиками, Удовлетворение потребностей клиентов, Качество продукции, Гибкость поставщика, Внутреннее качество обслуживания, Зелёный дизайн, Зелёные закупки, Эко торги и оценка жизненного цикла, ISO 14000, Внутренний план зелёного производства, Поддержка (приверженность) руководства, Эко производство, Обратная связь с поставщиками, Система экологического менеджмента, Количество патентов (в среднем за последние 3 года), Степень инновационности эко продукции НИОКР.			Fuzzy GRA	Tseng, Ming-Lang; Chiu, Anthony S.F. (2013): Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. In Journal of Cleaner Production 40, pp. 22–31. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.08.007.
79.	Зелёная цепь поставок	5	Организационная эффективность, Зелёная логистика, Зелёная организационная деятельность, Охрана окружающей среды, Эко оценка поставщиков.			DEMATEL	Falatoonitoosi, Elham; Leman, Zulkifli; Sorooshian, Shahryar (2013): Modeling for green supply chain evaluation. In Mathematical Problems in Engineering 2013 (4), pp. 1–9. DOI: 10.1155/2013/201208.
80.	Зелёная цепь поставок	7	Зелёное производство, Зелёный дизайн, Зелёные закупки, Межфункциональные группы для минимизации воздействия на окружающую среду, Обучение, Участие сотрудников, Зелёная логистика.			DEMATEL	Anand, K. R.; Ramalingaiah; Parthiban, P. (2014): Evaluation of green supply chain factors using DEMATEL. In Applied Mechanics and Materials 592-594, pp. 2619–2627. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.592-594.2619.
81.	Зелёная цепь поставок	5	Организационная приверженность (4), Эко-дизайн (3), Зелёные процессы цепи поставок (3), Социальная деятельность (3), Устойчивая эффективность (3).	16	1. Поддержка (приверженность) руководства, Приверженность среднего менеджмента, Межфункциональное сотрудничество, Участие сотрудников. 2. Дизайн продуктов для снижения потребления материалов/энергии, Дизайн продуктов для повторного использования, переработки, восстановления материалов и комплекующих, Дизайн продуктов для уменьшения использования вредных продуктов. 3. Зелёные покупки, Зелёный маркетинг, Окупаемость инвестиций, Экологические практики. 4. Деловая этика, Корпоративная социальная ответственность, Создание рабочих мест, Положительный имидж. 5. Экологические показатели, Экономические показатели, Эксплуатационные показатели.	Fuzzy ANP	Bhattacharya, Arijit; Mohapatra, Priyabrata; Kumar, Vikas; Dey, Prasanta Kumar; Brady, Malcolm; Tiwari, Manoj Kumar; Nudurupati, Sai S. (2014): Green supply chain performance measurement using fuzzy ANP-based balanced scorecard: a collaborative decision-making approach. In Production Planning & Control 25 (8), pp. 698–714. DOI: 10.1080/09537287.2013.798088.
82.	Зелёная цепь поставок	20	Финансовые последствия, ИТ-приложения, Организационная культура при внедрении ЗЦП, Поддержка (приверженность) руководства, Внедрение передовых технологий, Государственная поддержка внедрения ЗЦП, Знание о зелёной практике, Техническая экспертиза, Рыночная конкуренция, Осведомленность клиента о ЗЦП, Экологическая осведомленность поставщика, Боязнь провала, Загрязнение/Потери в промышленности, Недоступность банковских кредитов для поощрения экологически чистых продуктов, Учебные курсы по внедрению ЗЦП, Переработка и повторное использование усилий организации, Сертификация устойчивого развития (ISO 14001), Затраты на утилизацию опасных продуктов, Осведомленность о внедрении реверсивной логистики, Корпоративная социальная ответственность.			ISM	Jayant, Arvind; Azhar, Mohd (2014): Analysis of the barriers for implementing green supply chain management (GSCM) practices: an interpretive structural modeling (ISM) approach. In Procedia Engineering 97, pp. 2157–2166. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.459.
83.	Зелёная цепь поставок	10	Сотрудничество между поставщиком и заказчиком, Эко дизайн, Закупки, Восстановление и переработка б/у продукции, Регулирование, Экологические критерии, Экономические критерии, Эксплуатационные показатели, Удовлетворенность клиентов, Влияние стейкхолдеров.			DEMATEL	Wu, Kuo-Jui; Liao, Ching-Jong; Tseng, Ming-Lang; Chiu, Anthony S.F. (2015): Exploring decisive factors in green supply chain practices under uncertainty. In International Journal of Production Economics 159, pp. 147–157. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.09.030.
84.	Зелёная цепь поставок	6	Стратегия (5), Организация (5), Социально-культурные факторы (7), Покупатели-поставщики (4), Законодательство (5), Техника (3).	29	1. Поддержка (приверженность) руководства, Стратегическое планирование, Готовность к инвестициям, Система сравнительного анализа, Система измерения эффективности. 2. Организационная структура, Методология ЗЦП, Межведомственное сотрудничество, Организационные возможности, Зелёный дизайн. 3. Расширение возможностей и мотивация сотрудников, Эко-обучение, Зелёная организационная культура, Надёжная командная работа, Участие сотрудников, Квалифицированные специалисты, Этические стандарты и корпоративная социальная ответственность. 4. Приверженность поставщиков, Эффективная коммуникационная платформа внутри компаний и с поставщиками, Сотрудничество между поставщиками, Эко-закупки. 5. Экологическая политика, Государственная поддержка, Правоприменение, Надзор, Заявление о соответствии. 6. Инфраструктура информационных технологий, Техническая экспертиза, Интеграция систем.	Fuzzy DEMATEL	Malviya, Rakesh Kumar; Kant, Ravi (2016): Hybrid decision making approach to predict and measure the success possibility of green supply chain management implementation. In Journal of Cleaner Production 135, pp. 387–409. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.046.

№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
85.	Зелёная цепь поставок	3	Экономические критерии (4), Организационные критерии (3), Экологические критерии (3).	10	1. Производительность, Затраты на закупку материалов/энергии, Конкурентоспособность, Прибыль. 2. Человеческие ресурсы, Технологическая инфраструктура и технических знаний, Организационная структура для создания и обмена знаниями. 3. Экологическое качество продукции/процессов, Выбросы в атмосферу, Жидкие и твердые отходы, Сокращение использования вредных/опасных материалов/компонентов.	Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS	Boukhom, Omar; Hanine, Mohamed; Boukhriss, Hicham; Agouti, Tarik; Tikniouine, Abdessadek (2016): Multi-criteria decision support framework for sustainable implementation of effective green supply chain management practices. In SpringerPlus 5 (1), p. 664. DOI: 10.1186/s40064-016-2233-2.
86.	Зелёная цепь поставок	5	Зелёный дизайн (3), Зелёные закупки (3), Зелёная трансформация (3), Зелёная логистика (3), Реверсивная логистика (5).	17	1. Правила, Экологические показатели, Экономические показатели. 2. Сотрудничество между поставщиком и заказчиком, Обеспечение взаимодействия стейкхолдеров, Правила качества. 3. Зелёное производство, Зелёная упаковка, Зелёных запасы. 4. Организация логистических сетей, Качество обслуживания, Качество технологий. 5. Сокращение активности, Рециклинг, Переработка, Повторное использование, Утилизация.	Fuzzy ANP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS	Uygun, Özer; Dede, Ayşe (2016): Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. In Computers & Industrial Engineering 102, pp. 502–511. DOI: 10.1016/j.cie.2016.02.020.
87.	Зелёная цепь поставок	6	Внутренний процесс (5), Внешний процесс (3), Внутренняя организация (5), Внешняя организация (3), Внутренняя среда (4), Внешняя среда (4).	24	1. Утилизация избыточных запасов, Управление просроченными продуктами и отходами, Управление зелёными процессами, Неопределённость технологий, Внедрение новых технологий. 2. Подбор эко партнеров, Управление экологически чистыми поставками, Сотрудничество с клиентами. 3. Сотрудничество участников зелёного проекта, Численность команды зелёного проекта, Организационная структура и политика, Поддержка (приверженность) руководства, Корпоративное исполнение. 4. Управление стейкхолдерами, Численность поставщиков, Зелёная конкурентоспособность поставщиков. 5. Инвестиции в охрану окружающей среды, Расположение фирм, Численность сообщества, Система экологического менеджмента. 6. Интенсивность конкуренции на рынке, Государственное воздействие, Изменение климата, Риск неопределённости.	DEMATEL, ANP	Chou, Ying-Chyi; Yang, Chia-Han; Lu, Ching-Hua; van Dang; Yang, Pei-An (2017): Building criteria for evaluating green project management: An integrated approach of DEMATEL and ANP. In Sustainability 9, p. 740. DOI: 10.3390/su9050740.
88.	Зелёная цепь поставок	13	Эко дизайн, Внутренний экологический менеджмент, Зелёные покупки, Зелёное производство, Совместная эко транспортировка и холодильные склады, Реверсивная логистика, Сотрудничество с поставщиками (заказчиками), Экологические критерии, Экономические критерии, Эксплуатационные показатели, Доля рынка, Нормативно-правовые ограничения, Конкуренция.			AHP	Sharma, Vijay Kumar; Chandna, Pankaj; Bhardwaj, Arvind (2017): Green supply chain management related performance indicators in agro industry: a review. In Journal of Cleaner Production 141, pp. 1194–1208. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.103.
89.	Зелёная цепь поставок	22	Выбросы в атмосферу, Сточные воды, Твердые отходы, Потребление опасных/вредных/токсичных материалов, Частота экологических аварий, Экологическая ситуация на предприятии, Затраты на материалы, Затраты на энергию, Плата за обращение с отходами, Плата за сброс отходов, Штраф за экологические аварии, Количество товара, доставленного в срок, Уровень запасов, Уровень брака, Качество продукции, Номенклатура продукции, Загрузка производственных мощностей, Средняя рентабельность инвестиций за последние три года, Рост прибыли за последние три года, Средняя рентабельность продаж за последние три года, Средний рост доли рынка за последние три года, Средний рост объёма продаж за последние три года.				Vijayvargy, Lokesh; Thakkar, Jitesh; Agarwal, Gopal (2017): Green supply chain management practices and performance. In Journal of Manufacturing Technology Management 28 (3), pp. 299–323. DOI: 10.1108/JMTM-09-2016-0123.

№	Элемент ЗЦП	Ко-л-во	Критерии	Ко-л-во	Субкритерии	Методы	Источник
90.	Зелёная цепь поставок	5	Экономические критерии (6), Экологические критерии (9), Эксплуатационные показатели (6), Знания и информация (9), Поддержка и участие (12).	42	1. Наличие денежного потока, Инвестиции и финансовая отдача, Кредит для финансирования экологических инициатив, Затраты на упаковку, Затраты на утилизацию отходов, Конкурентоспособность органических продуктов. 2. Экологически стратегическое планирование, Метрики для внутренней оценки эффективности, Метрики для оценки эффективности, общие для участников цепочки, Корпоративная информация о продукте, Конкуренция и неопределённость на рынке, Снижение эффективности ЗЦП, Саморегулирование бизнеса, Конкурентное преимущество, Боязнь провала. 3. Устойчивость к инновациям в технологиях, материалах и процессах, Внедрение зелёных практик, Неверие в эффективность и качество экологически чистых продуктов, Человеческие ресурсы, Реверсивная логистика, Экологичность продукта. 4. Внутреннее общение, Внедрение информационных технологий (ИТ), Качество человеческих ресурсов, Знания, Обучение сотрудников, Интерпретация экологических и устойчивых концепций, Экологическая маркировка, Распространение информации среди участников сети, Языковое и культурное разнообразие. 5. Государственная политика и регулирование, Корпоративная социально-экологическая ответственность, Интеграция между участниками цепи, Поддержка (приверженность) руководства. Приверженность сотрудников, Участие в экологических сетях, Обязательства поставщика, Приверженность клиента, Устойчивость к изменению, Несовместимость правовых требований между странами, Зависимость между членами цепи, Интеграция со стейкхолдерами.		Silva, Flavia Cristiba Da; SHIBAO, FABIO YTOSHI; Barbiel, Jose Carlos; Librantz, Andre Felipe Henriques; Santos, Mario Roberto Dos (2018): Barriers to green supply chain management in the automotive industry. In Journal of Business Management 58 (2), pp. 149–162. DOI: 10.1590/S0034-759020180204.
91.	Зелёная цепь поставок	4	Зелёные практики (4), Бережливое управление (4), Инновации (3), Эффективность зелёной цепи поставок (8).	19	1. Эко дизайн и оценка жизненного цикла, Зелёное производство, Реверсивная логистика, Управление отходами. 2. ИТ, Сокращение времени наладки, Клеточное производство, Устранение отходов. 3. Реакция на конкурентов, Предрасположенность к внедрению новаций, Количество изменений в процессе, внесенных за один год. 4. Экономическая эффективность, Производительность, Интеграция, Сотрудничество, Отзывчивость, Затраты, Создание ценности, Устойчивое развитие.		Cherrafi, Anass; Garza-Reyes, Jose Arturo; Kumar, Vikas; Mishra, Nishikant; Ghobadian, Abby; Elfezazi, Said (2018): Lean, green practices and process innovation: a model for green supply chain performance. In International Journal of Production Economics 206, pp. 79–92. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.09.031.
92.	Зелёная цепь поставок	6	Экологические критерии (5), Экономические критерии (2), Эксплуатационные показатели (5), Логистическая производительность (3), Организационная эффективность (3), Маркетинговая эффективность (3).	21	1. Выбросы, Потребление энергии, Потери бизнеса, Экологические затраты, Экологические доходы. 2. Ориентация на затраты, Ориентация на доход. 3. Качество, Эффективность, Эко производство, Зелёная упаковка, Эко дизайн. 4. Зелёная логистика, Реверсивная логистика, Эко закупка. 5. Зелёный имидж, Экологический менеджмент, Зелёные информационные системы. 6. Удовлетворенность клиентов, Сотрудничество с клиентами, Маркетинговые меры.	Fuzzy DEMATEL	Kazancoglu, Yigit; Kazancoglu, Ipek; Sagnak, Muhittin (2018): Fuzzy DEMATEL-based green supply chain management performance. In <i>Industr Mngmnt &amp; Data Systems</i> 118 (2), pp. 412–431. DOI: 10.1108/IMDS-03-2017-0121.
93.	Зелёная цепь поставок	6	Рабочая сила (3), Рынок и покупатель (4), Технология (3), Менеджмент (3), Производство (4).	17	1. Стремление сотрудников к обучению и профессиональной подготовке, Работа в команде, Многопрофильный и гибкий персонал. 2. Сопоставление отзывов клиентов о продуктах, Гибкий бизнес, Уровень удовлетворенности клиентов новым продуктом, Реакция на конкурентов. 3. Разнообразие оборудования, технологий и операционных рабочих мест, Уровень совершенства информационной системы, Интеграция технологий и информации. 4. Заинтересованность руководства в полной автоматизации, Заинтересованность руководства в выпуске новых моделей, Продвижение культуры трансформации и модернизации. 5. Гибкая производственная мощность, Отношения, основанные на доверии с поставщиками, Инновации в продуктах, Стандарты качества при производстве новой продукции.	Fuzzy ANP, VIKOR	Bathaci, Ahmad; Mardani, Abbas; Balezentis, Tomas; Awang, Siti; Streimikiene, Dalia; Fei, Goh; Zakuan, Norhayati (2019): Application of Fuzzy Analytical Network Process (ANP) and VIKOR for the Assessment of Green Agility Critical Success Factors in Dairy Companies. In <i>Symmetry</i> 11 (2), p. 250. DOI: 10.3390/sym11020250.



№	Элемент ЗЦП	Ко л-во	Критерии	Ко л-во	Субкритерии	Методы	Источник
94.	Зелёная цепь поставок	4	Технология (3), Знания (3), Государственное управление (3), Финансы (3).	12	1. Стоимость передовых технологий, Опасение неудачи, Сложность технологий для переработки продукта. 2. Знания и опыт, Реверсивная логистика, Эксперты в зелёных технологиях. 3. Государственное регулирование и законодательство, Программы вознаграждения и поощрения, Запрещающая бизнес-политика в отношении обслуживания продукта/процесса. 4. Затраты на утилизацию опасных отходов, Затраты на использование экологически чистой упаковки, Финансовые ограничения.	AHP, ELECTRE	Uddin, S.; Ali, S. M.; Kabir, G.; Suhi, S. A.; Enayet, R.; Haque, T. (2019): An AHP-ELECTRE framework to evaluate barriers to green supply chain management in the leather industry. In International Journal of Sustainable Development & World Ecology 26 (8), pp. 732–751. DOI: 10.1080/13504509.2019.1661044.
95.	Зелёная цепь поставок	8	Затраты, Уровень удовлетворенности, Прибыль, Продолжительность выполнения заказа, Доход, Генерация информации, Социальные последствия, Выбросы.				Becerra, Pablo; Mula, Josefa; Sanchis, Raquel (2021): Green supply chain quantitative models for sustainable inventory management. A review. In Journal of Cleaner Production 52, p. 129544. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129544.
96.	Зелёная цепь поставок	7	Система управления качеством (4), Клиентоориентированность (3), Система экологического менеджмента (3), Межфункциональное сотрудничество (3), Возможности цепи поставок (3), Социальные аспекты (3), Управление персоналом (4).	23	1. Качество продукции, Осведомленность работников о политике качества, Долгосрочные цели по улучшению качества, Потребление наименьшего количества ресурсов. 2. Понимание текущих и будущих потребностей клиентов. Связывание целей организации с клиентами. Устойчивое потребление (отношение экологичного потребителя). 3. Энергоэффективность, Предотвращение загрязнения, Охрана окружающей среды и восстановление естественной среды обитания. 4. Обмен информацией и командная работа, Межфункциональное сотрудничество между различными областями, Управление поставщиками. 5. Обмен информацией, Координация, Интеграция. 6. Честная конкуренция, Продвижение социальной ответственности в цепочке создания стоимости, Уважение прав собственности, этики и социальной справедливости. 7. Трудовые отношения, Охрана труда, безопасность и социальная защита на рабочем месте, Развитие и обучение на рабочем месте, Предоставление финансовой поддержки работникам.	Grey DEMATEL	Soltanmohammadi, Asieh; Andalib Ardakani, Davood; Dion, Paul A.; Hettiarachchi, Biman Darshana (2021): Employing total quality practices in sustainable supply chain management. In Sustainable Production and Consumption 28 (9), pp. 953–968. DOI: 10.1016/j.spc.2021.07.013.

## Результаты оценки параметров и показателей ЛЦГ с использованием Crisp, Fuzzy и Grey DEMATEL

Исходные данные (лингвистические переменные оценки экспертами параметров логистических потоков в ЛЦГ)\*

Параметры		P1					P2					P3					P4					P5				
Эксперты		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Параметры	P1	О	О	О	О	О	В	В	ОВ	В	В	В	В	ОВ	ОВ	ОВ	СЛ	ОВ	С	С	С	ОВ	В	В	С	В
	P2	ОВ	В	СЛ	ОВ	С	О	О	О	О	О	С	С	СЛ	В	О	СЛ	С	О	В	О	С	В	С	С	О
	P3	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	В	В	ОВ	С	С	С	О	О	О	О	О	В	В	СЛ	С	С	В	ОВ	В	СЛ	С
	P4	СЛ	О	СЛ	С	С	О	О	О	С	СЛ	СЛ	О	О	С	ОВ	О	О	О	О	О	СЛ	О	О	С	СЛ
	P5	ОВ	ОВ	В	В	В	В	ОВ	С	В	ОВ	В	ОВ	В	С	СЛ	В	ОВ	СЛ	С	СЛ	О	О	О	О	О

\* - в соответствии с табл. 4.4

## Исходная матрица прямых связей параметров логистических потоков

Параметры	Crisp DEMATEL			Fuzzy DEMATEL			Grey DEMATEL		
	P1	...	P5	P1	...	P5	P1	...	P5
P1	0	...	3	[0; 0; 0]	...	[2; 3; 3,8]	[0; 0]	...	[2,0; 3,0]
P2	2,8	...	1,8	[1,8; 2,8; 3,4]	...	[1; 1,8; 2,6]	[1,8; 2,8]	...	[1,0; 1,8]
P3	3,8	...	2,6	[2,8; 3,8; 4]	...	[1,6; 2,6; 3,4]	[2,8; 3,8]	...	[1,6; 2,6]
P4	1,2	...	0,8	[0,4; 1,2; 2]	...	[0,2; 0,8; 1,4]	[0,4; 1,2]	...	[0,2; 0,8]
P5	3,4	...	0	[2,4; 3,4; 4]	...	[0; 0; 0]	[2,4; 3,4]	...	[0; 0]

Нормализованная матрица прямых связей  $X_c$  параметров логистических потоков (Crisp)

Параметры	P1	P2	P3	P4	P5
P1	0	0,2712	0,3051	0,1695	0,2542
P2	0,2373	0	0,1356	0,1017	0,1525
P3	0,3220	0,2203	0	0,1864	0,2203
P4	0,1017	0,0508	0,1186	0	0,0678
P5	0,2881	0,2712	0,2203	0,1864	0

Нормализованная нечеткая матрица прямых связей  $X_f$  параметров логистических потоков (Fuzzy)

Параметры	P1	P2	P3	P4	P5
P1	(0; 0; 0)	(0,1433; 0,2083; 0,2600)	(0,1700; 0,2350; 0,2600)	(0,0650; 0,1300; 0,1950)	(0,1292; 0,1942; 0,2467)
P2	(0,1158; 0,1808; 0,2200)	(0; 0; 0)	(0,0517; 0,1033; 0,1683)	(0,0392; 0,0775; 0,1425)	(0,0642; 0,1158; 0,1808)
P3	(0,1817; 0,2467; 0,2600)	(0,1025; 0,1675; 0,2200)	(0; 0; 0)	(0,0767; 0,1417; 0,2067)	(0,1025; 0,1675; 0,2200)
P4	(0,0267; 0,0792; 0,1442)	(0,0133; 0,0400; 0,0925)	(0,0533; 0,0925; 0,1442)	(0; 0; 0)	(0,0133; 0,0525; 0,1175)
P5	(0,1550; 0,2200; 0,2600)	(0,1425; 0,2075; 0,2467)	(0,1025; 0,1675; 0,2200)	(0,0758; 0,1408; 0,1933)	(0; 0; 0)

Нормализованная серая матрица прямых связей  $X_g$  параметров логистических потоков (Grey)

Параметры	P1	P2	P3	P4	P5
P1	(0; 0)	(0,186; 0,271)	(0,220; 0,305)	(0,085; 0,169)	(0,169; 0,254)
P2	(0,153; 0,237)	(0; 0)	(0,068; 0,136)	(0,051; 0,102)	(0,085; 0,153)
P3	(0,237; 0,322)	(0,136; 0,220)	(0; 0)	(0,102; 0,186)	(0,136; 0,220)
P4	(0,034; 0,102)	(0,017; 0,051)	(0,068; 0,119)	(0; 0)	(0,017; 0,068)
P5	(0,203; 0,288)	(0,186; 0,271)	(0,136; 0,220)	(0,102; 0,186)	(0; 0)

Общая матрица связей  $T$  параметров логистических потоков (Crisp)

Параметры	Crisp					
	P1	P2	P3	P4	P5	D
P1	0,927836	1,042319	1,029071	0,797996	0,929971	4,727193
P2	0,826053	0,570926	0,669074	0,542684	0,633861	3,242598
P3	1,131379	0,973227	0,763449	0,783158	0,877749	4,528962
P4	0,447692	0,3698	0,411847	0,254789	0,346047	1,830174
P5	1,112247	1,009729	0,943297	0,783603	0,697772	4,546649
R	4,445207	3,966	3,816738	3,16223	3,4854	$\alpha=0,755$

Общая матрица связей  $T$  параметров логистических потоков (Fuzzy и Grey)

Параметры	Fuzzy						Grey					
	P1	P2	P3	P4	P5	D	P1	P2	P3	P4	P5	D
P1	0,383827	0,422554	0,510911	0,403865	0,469094	2,276254	0,439188	0,524262	0,524228	0,380675	0,467934	2,336288
P2	0,422554	0,258177	0,344707	0,292938	0,339183	1,65756	0,411737	0,235544	0,308114	0,218977	0,287834	1,462206
P3	0,540158	0,467082	0,325336	0,399772	0,438465	2,170813	0,569875	0,482728	0,354903	0,375703	0,435724	2,218933
P4	0,256616	0,210314	0,247221	0,136486	0,207327	1,057964	0,143972	0,07604	0,117016	0	0,053887	0,390915
P5	0,528073	0,494742	0,458296	0,399088	0,306306	2,186506	0,554752	0,50966	0,467854	0,375764	0,315855	2,223886
R	2,131229	1,938871	1,886471	1,632149	1,760376	$\alpha=0,374$	2,119524	1,828234	1,772115	1,35112	1,561235	$\alpha=0,345$

## Результаты оценки параметров логистических потоков методом Crisp DEMATEL

Параметры	D	R	D+R	D-R
P1	4,7272	4,4452	9,1724	0,2819
P2	3,2426	3,9660	7,2086	-0,7234
P3	4,5289	3,8167	8,3457	0,7122
P4	1,8302	3,1622	4,9924	-1,3321
P5	4,5466	3,4854	8,0321	1,0612

## Результаты оценки параметров логистических потоков методом Fuzzy DEMATEL

D	R	D+R	D-R	Crisp Di+Ri	Crisp Di-Ri
(0,8106; 1,9120; 4,8102)	(0,7579; 1,7981; 4,4548)	(1,5686; 3,7101; 9,2650)	(-3,6442; 0,1140; 4,0523)	4,3786	0,1509
(0,4593; 1,2799; 3,7697)	(0,6527; 1,5931; 4,2086)	(1,1120; 2,8729; 7,9783)	(-3,7493; -0,3132; 3,1169)	3,6088	-0,2435
(0,7495; 1,8194; 4,5742)	(0,6154; 1,5343; 4,0834)	(1,3649; 3,3537; 8,6576)	(-3,3339; 0,2851; 3,9587)	4,0467	0,2778
(0,1845; 0,7311; 2,7448)	(0,4179; 1,2599; 3,8177)	(0,6024; 1,9910; 6,5626)	(-3,6332; -0,5288; 2,3269)	2,7274	-0,4836
(0,7577; 1,8298; 4,6375)	(0,5176; 1,3868; 3,9718)	(1,2753; 3,2166; 8,6093)	(-3,2141; 0,4430; 4,1199)	3,9432	0,4063

Результаты оценки параметров логистических потоков методом Grey DEMATEL

D	R	D+R	D-R	Crisp Di+Ri	Crisp Di-Ri
(1,3040; 4,7272)	(1,2202; 4,4452)	(2,5242; 9,1724)	(-3,1417; 3,5070)	5,8483	0,1829
(0,7567; 3,2426)	(1,0576; 3,9660)	(1,8143; 7,2086)	(-3,2093; 2,1849)	4,5114	-0,5122
(1,2189; 4,5289)	(0,9936; 3,8167)	(2,2125; 8,3457)	(-2,5978; 3,5353)	5,2791	0,4688
(0,2961; 1,8302)	(0,6836; 3,1622)	(0,9797; 4,9924)	(-2,8661; 1,1466)	2,9861	-0,8598
(1,2288; 4,5466)	(0,8495; 3,4854)	(2,0783; 8,0320)	(-2,2566; 3,6971)	5,0552	0,7203

Исходные данные (лингвистические переменные оценки экспертами показателей логистических потоков в ЛЦГ)

Показатели		P1.1					P1.2					P1.3					P2.1					P2.2				
Эксперты		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Показатели	P1.1	О	О	О	О	О	С	С	ОВ	В	О	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	СЛ	С	С	ОВ	СЛ	О	СЛ	В	ОВ	СЛ	О
	P1.2	ОВ	ОВ	ОВ	В	ОВ	О	О	О	О	О	СЛ	В	ОВ	В	О	С	В	ОВ	В	СЛ	СЛ	С	С	СЛ	СЛ
	P1.3	В	В	ОВ	ОВ	ОВ	В	С	ОВ	В	В	О	О	О	О	О	СЛ	ОВ	ОВ	В	В	СЛ	В	ОВ	В	В
	P2.1	В	ОВ	ОВ	В	СЛ	ОВ	ОВ	ОВ	В	С	С	СЛ	В	С	СЛ	О	О	О	О	О	ОВ	ОВ	В	В	С
	P2.2	С	В	СЛ	СЛ	О	В	В	СЛ	СЛ	В	С	СЛ	В	С	В	В	ОВ	О	СЛ	СЛ	О	О	О	О	О
	P3.1	ОВ	ОВ	В	В	ОВ	С	ОВ	С	В	В	СЛ	СЛ	О	СЛ	С	СЛ	В	ОВ	СЛ	О	СЛ	С	О	О	О
	P3.2	В	В	В	В	ОВ	В	В	С	В	В	СЛ	СЛ	О	С	СЛ	В	ОВ	СЛ	С	О	С	С	О	СЛ	О
	P3.3	С	ОВ	СЛ	СЛ	С	В	ОВ	СЛ	С	В	СЛ	СЛ	О	СЛ	В	СЛ	ОВ	С	СЛ	СЛ	С	С	О	СЛ	С
	P4.1	С	ОВ	СЛ	СЛ	С	В	ОВ	СЛ	С	В	СЛ	СЛ	О	СЛ	СЛ	СЛ	ОВ	С	С	С	СЛ	ОВ	О	СЛ	О
	P4.2	СЛ	ОВ	О	С	СЛ	С	ОВ	С	В	С	СЛ	СЛ	О	СЛ	С	С	В	С	В	СЛ	С	В	О	С	О
	P4.3	СЛ	ОВ	СЛ	СЛ	С	С	ОВ	СЛ	С	В	СЛ	СЛ	О	СЛ	С	С	ОВ	СЛ	С	О	В	В	О	СЛ	О
	P4.4	СЛ	С	О	СЛ	С	С	С	С	С	В	СЛ	СЛ	О	СЛ	С	С	В	СЛ	С	О	С	В	О	СЛ	О
	P5.1	В	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	В	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	В	В	О	С	С	ОВ	ОВ	ОВ	В	С	ОВ	ОВ	СЛ	ОВ	В
	P5.2	С	ОВ	ОВ	В	С	В	ОВ	СЛ	ОВ	ОВ	С	С	О	С	ОВ	В	ОВ	С	ОВ	ОВ	С	ОВ	О	С	С
P5.3	С	СЛ	С	В	СЛ	С	ОВ	С	ОВ	СЛ	СЛ	В	О	СЛ	СЛ	В	ОВ	В	ОВ	СЛ	С	ОВ	О	В	С	
Показатели		P3.1					P3.2					P3.3					P4.1					P4.2				
Эксперты		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
каза-	P1.1	С	В	ОВ	С	О	С	В	С	С	О	С	В	С	С	О	СЛ	В	СЛ	С	О	СЛ	В	О	СЛ	О
	P1.2	В	В	С	С	С	В	В	СЛ	В	С	СЛ	С	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	О	С	СЛ	СЛ	СЛ	О	С	О
	P1.3	С	С	В	С	ОВ	С	С	СЛ	С	В	С	В	СЛ	С	С	СЛ	СЛ	С	СЛ	С	СЛ	СЛ	С	С	С

Показатели		P1.1					P1.2					P1.3					P2.1					P2.2				
Эксперты		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Показатели	P2.1	СЛ	СЛ	С	СЛ	О	СЛ	СЛ	СЛ	В	О	СЛ	В	СЛ	С	О	СЛ	ОВ	О	С	О	СЛ	В	О	В	О
	P2.2	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О
	P3.1	О	О	О	О	О	С	В	О	ОВ	СЛ	С	В	О	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	С	О	О	В	О
	P3.2	СЛ	В	О	С	О	О	О	О	О	О	С	В	СЛ	С	СЛ	С	ОВ	СЛ	В	С	СЛ	ОВ	О	В	О
	P3.3	С	В	В	СЛ	С	ОВ	ОВ	В	С	В	О	О	О	О	О	СЛ	ОВ	ОВ	С	С	СЛ	ОВ	В	В	С
	P4.1	СЛ	В	СЛ	С	СЛ	В	ОВ	В	В	В	В	ОВ	СЛ	В	СЛ	О	О	О	О	О	С	ОВ	О	В	О
	P4.2	В	В	В	С	С	С	ОВ	В	В	В	С	ОВ	С	В	ОВ	С	ОВ	С	С	В	О	О	О	О	О
	P4.3	С	В	О	С	О	С	ОВ	СЛ	В	О	С	ОВ	СЛ	В	С	С	ОВ	ОВ	В	С	С	ОВ	СЛ	В	В
	P4.4	С	С	В	СЛ	О	С	ОВ	В	С	О	С	ОВ	С	С	С	С	ОВ	С	С	СЛ	В	ОВ	В	С	ОВ
	P5.1	В	В	СЛ	В	СЛ	С	ОВ	В	В	СЛ	В	В	СЛ	В	СЛ	С	ОВ	СЛ	С	С	СЛ	ОВ	О	ОВ	С
	P5.2	С	ОВ	О	С	О	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	О	В	В	С	В	С	С	В	СЛ	С	ОВ	СЛ	С	О	В	СЛ
	P5.3	С	В	О	В	С	В	ОВ	ОВ	В	В	С	ОВ	СЛ	В	О	С	ОВ	СЛ	С	СЛ	СЛ	В	О	С	СЛ
Показатели		P4.3					P4.4					P5.1					P5.2					P5.3				
Эксперты		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Показатели	P1.1	СЛ	В	О	СЛ	О	СЛ	В	О	СЛ	О	С	ОВ	В	С	С	СЛ	В	СЛ	С	С	СЛ	СЛ	О	СЛ	О
	P1.2	СЛ	СЛ	О	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	О	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	В	В	О	СЛ	СЛ	СЛ	В	СЛ	СЛ	СЛ	О	СЛ	О
	P1.3	С	С	СЛ	СЛ	С	СЛ	СЛ	О	СЛ	С	СЛ	СЛ	В	С	В	С	С	С	В	В	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ
	P2.1	С	ОВ	О	В	О	С	В	СЛ	В	О	В	СЛ	ОВ	С	О	С	СЛ	В	С	О	С	СЛ	СЛ	СЛ	О
	P2.2	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О	СЛ	О	О	СЛ	О
	P3.1	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	С	С	СЛ	СЛ	О	СЛ	В	СЛ	С	О	СЛ	В	О	С	О
	P3.2	СЛ	ОВ	О	В	О	СЛ	ОВ	О	В	О	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	О	В	С	ОВ	СЛ	О	С	С	ОВ	СЛ	О
	P3.3	СЛ	ОВ	ОВ	С	СЛ	СЛ	ОВ	В	С	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	О	С	В	ОВ	СЛ	В	С	СЛ	С	СЛ	О
	P4.1	С	ОВ	О	С	О	СЛ	В	СЛ	В	СЛ	СЛ	СЛ	В	СЛ	О	С	СЛ	С	В	СЛ	СЛ	О	О	СЛ	О
	P4.2	СЛ	В	СЛ	В	С	С	ОВ	СЛ	В	С	СЛ	В	О	С	СЛ	СЛ	С	СЛ	В	С	СЛ	СЛ	СЛ	С	О
	P4.3	О	О	О	О	О	СЛ	С	СЛ	В	СЛ	СЛ	СЛ	В	В	О	В	С	СЛ	В	С	С	С	О	СЛ	О
	P4.4	СЛ	С	С	С	С	О	О	О	О	О	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	СЛ	В	С	С	СЛ	С	С	СЛ	СЛ	О
	P5.1	В	ОВ	СЛ	С	С	С	В	СЛ	В	С	О	О	О	О	О	ОВ	В	С	В	ОВ	СЛ	О	О	СЛ	В
	P5.2	В	С	С	С	СЛ	СЛ	В	С	В	СЛ	СЛ	О	О	В	О	О	О	О	О	О	СЛ	О	О	СЛ	О
P5.3	С	С	О	С	О	С	С	О	С	О	СЛ	О	О	С	С	ОВ	С	С	В	СЛ	О	О	О	О	О	

Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Crisp – 1 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D	D+R	D-R
P1.1	1,560	1,443	1,684													4,688	10,367	-0,990
P1.2	2,043	1,318	1,753													5,115	9,521	0,711
P1.3	2,074	1,642	1,530													5,246	10,214	0,279
P2.1				1,560	1,444											3,004	10,367	-0,990
P2.2				2,043	1,318											3,362	9,521	0,711
P3.1						0,513	0,988	0,722								2,224	4,430	0,018
P3.2						0,675	0,687	0,737								2,100	5,178	-0,978
P3.3						1,017	1,402	0,731								3,150	5,341	0,960
P4.1									1,122	1,274	1,013	1,090				4,501	10,677	-1,675
P4.2									1,662	1,368	1,265	1,372				5,667	11,648	-0,312
P4.3									1,714	1,629	1,075	1,322				5,742	10,379	1,105
P4.4									1,676	1,707	1,283	1,175				5,843	10,803	0,883
P5.1													0,1573	0,7735	0,262	1,193	1,822	0,563
P5.2													0,1858	0,1558	0,115	0,457	2,020	-1,106
P5.3													0,2863	0,6335	0,096	1,016	1,490	0,542
R	5,678	4,404	4,967	3,604	2,762	2,206	3,078	2,190	6,176	5,980	4,637	4,960	0,6293	1,562	0,474			

Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Fuzzy – 1 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D	D+R	D-R
P1.1	0,671	0,741	0,818													2,230	4,831	-0,401
P1.2	0,962	0,572	0,784													2,319	4,466	0,141
P1.3	1,008	0,852	0,644													2,505	4,717	0,241
P2.1				0,347	0,474											0,822	1,289	0,206
P2.2				0,340	0,347											0,688	1,289	-0,206
P3.1						0,330	0,651	0,502								1,484	2,927	0,027
P3.2						0,477	0,415	0,522								1,413	3,286	-0,442
P3.3						0,653	0,843	0,432								1,928	3,338	0,436
P4.1									0,415	0,545	0,462	0,489				1,911	4,418	-0,543
P4.2									0,692	0,496	0,559	0,602				2,349	4,769	-0,105
P4.3									0,718	0,677	0,408	0,556				2,359	4,345	0,318
P4.4									0,682	0,732	0,563	0,442				2,418	4,492	0,287
P5.1													0,234	0,832	0,334	1,399	2,257	0,446
P5.2													0,255	0,255	0,189	0,699	2,524	-1,019
P5.3													0,359	0,728	0,172	1,259	1,984	0,449
R	2,641	2,166	2,247	0,688	0,822	1,460	1,910	1,456	2,507	2,449	1,991	2,089	0,847	1,815	0,694			

Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Grey – 1 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D	D+R	D-R
P1.1	0,454	0,406	0,446													1,305	13,213	-1,264
P1.2	0,516	0,379	0,443													1,338	11,767	0,639
P1.3	0,537	0,448	0,432													1,417	12,725	0,625
P2.1				0,256	0,591											0,847	3,982	0,739
P2.2				0,271	0,256											0,526	3,982	-0,739
P3.1						0,141	0,453	0,290								0,884	2,754	0,009
P3.2						0,264	0,260	0,303								0,826	3,286	-0,728
P3.3						0,463	0,653	0,284								1,400	3,368	0,719
P4.1									0,439	0,524	0,524	0,381				1,868	11,644	-1,844
P4.2									0,412	0,236	0,308	0,219				1,174	12,716	-0,408
P4.3									0,570	0,483	0,355	0,376				1,783	11,249	1,229
P4.4									0,555	0,510	0,468	0,376				1,908	11,689	1,023
P5.1													0,000	0,758	0,103	0,861	2,143	0,691
P5.2													0,000	0,000	0,000	0,000	2,390	-1,371
P5.3													0,159	0,601	0,000	0,759	1,668	0,679
R	1,507	1,233	1,321	0,526	0,847	0,868	1,365	0,877	1,976	1,752	1,655	1,351	0,159	1,359	0,103			

Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Crisp – 2 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D
P1.1	0,128	0,185	0,163	0,155	0,131	0,141	0,152	0,134	0,121	0,101	0,100	0,097	0,132	0,135	0,061	1,938
P1.2	0,211	0,121	0,131	0,165	0,115	0,139	0,157	0,113	0,105	0,090	0,089	0,087	0,105	0,119	0,058	1,804
P1.3	0,238	0,228	0,098	0,203	0,171	0,166	0,177	0,156	0,138	0,129	0,127	0,111	0,131	0,165	0,084	2,321
P2.1	0,201	0,214	0,129	0,112	0,166	0,114	0,140	0,127	0,123	0,113	0,119	0,117	0,120	0,131	0,071	1,997
P2.2	0,097	0,116	0,095	0,097	0,043	0,052	0,060	0,052	0,050	0,045	0,045	0,043	0,045	0,053	0,032	0,924
P3.1	0,198	0,182	0,098	0,140	0,090	0,077	0,145	0,115	0,107	0,092	0,095	0,093	0,092	0,115	0,070	1,708
P3.2	0,202	0,197	0,106	0,158	0,110	0,117	0,110	0,136	0,147	0,117	0,114	0,113	0,089	0,140	0,090	1,944
P3.3	0,193	0,213	0,120	0,170	0,131	0,154	0,206	0,107	0,168	0,154	0,146	0,140	0,103	0,168	0,083	2,255
P4.1	0,174	0,192	0,099	0,161	0,113	0,125	0,186	0,149	0,088	0,122	0,114	0,118	0,097	0,134	0,057	1,928
P4.2	0,182	0,211	0,114	0,177	0,129	0,162	0,199	0,178	0,166	0,090	0,136	0,143	0,112	0,148	0,078	2,225
P4.3	0,176	0,196	0,108	0,160	0,124	0,127	0,167	0,157	0,168	0,147	0,080	0,119	0,111	0,150	0,073	2,064
P4.4	0,155	0,184	0,103	0,149	0,114	0,127	0,166	0,152	0,145	0,157	0,121	0,075	0,098	0,136	0,076	1,959
P5.1	0,270	0,276	0,165	0,238	0,199	0,176	0,217	0,183	0,178	0,163	0,164	0,157	0,097	0,205	0,089	2,778
P5.2	0,221	0,230	0,144	0,210	0,149	0,141	0,205	0,170	0,163	0,126	0,137	0,135	0,102	0,106	0,065	2,306
P5.3	0,181	0,204	0,116	0,191	0,146	0,141	0,200	0,147	0,144	0,117	0,110	0,109	0,098	0,156	0,050	2,110
R	2,827	2,948	1,790	2,489	1,930	1,962	2,488	2,074	2,013	1,763	1,698	1,657	1,534	2,060	1,037	$\alpha=0,135$



Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Fuzzy – 2 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D
P1.1	0,0826	0,1345	0,1384	0,1171	0,1010	0,0940	0,0940	0,0860	0,0779	0,0654	0,0644	0,0638	0,0927	0,0887	0,0427	1,343
P1.2	0,1622	0,0789	0,1067	0,1259	0,0907	0,0924	0,0984	0,0730	0,0676	0,0588	0,0579	0,0576	0,0761	0,0785	0,0411	1,265
P1.3	0,1699	0,1622	0,0695	0,1412	0,1260	0,1082	0,1060	0,0966	0,0867	0,0838	0,0806	0,0711	0,0918	0,1061	0,0589	1,558
P2.1	0,1524	0,1632	0,1100	0,0748	0,1388	0,0756	0,0865	0,0815	0,0786	0,0741	0,0775	0,0782	0,0837	0,0866	0,0497	1,411
P2.2	0,0924	0,1107	0,0947	0,0957	0,0380	0,0421	0,0459	0,0409	0,0391	0,0360	0,0355	0,0350	0,0380	0,0424	0,0270	0,813
P3.1	0,1239	0,1139	0,0662	0,0908	0,0578	0,0406	0,0845	0,0675	0,0648	0,0551	0,0590	0,0590	0,0579	0,0705	0,0473	1,058
P3.2	0,1239	0,1187	0,0695	0,0946	0,0673	0,0692	0,0544	0,0798	0,0888	0,0705	0,0690	0,0692	0,0552	0,0840	0,0610	1,175
P3.3	0,1121	0,1233	0,0783	0,1022	0,0803	0,0936	0,1177	0,0543	0,1026	0,0969	0,0913	0,0881	0,0646	0,1029	0,0540	1,362
P4.1	0,1031	0,1137	0,0644	0,1003	0,0707	0,0757	0,1108	0,0879	0,0451	0,0731	0,0680	0,0741	0,0631	0,0810	0,0353	1,166
P4.2	0,1060	0,1244	0,0739	0,1073	0,0798	0,0986	0,1165	0,1070	0,1000	0,0465	0,0836	0,0886	0,0699	0,0886	0,0510	1,341
P4.3	0,1034	0,1148	0,0700	0,0948	0,0745	0,0734	0,0936	0,0926	0,1035	0,0902	0,0408	0,0731	0,0725	0,0887	0,0457	1,231
P4.4	0,0916	0,1107	0,0679	0,0901	0,0705	0,0777	0,0971	0,0922	0,0878	0,0995	0,0764	0,0401	0,0623	0,0836	0,0497	1,197
P5.1	0,1548	0,1567	0,1017	0,1372	0,1186	0,0984	0,1178	0,0998	0,0992	0,0935	0,0934	0,0921	0,0508	0,1166	0,0555	1,586
P5.2	0,1320	0,1337	0,0931	0,1264	0,0922	0,0803	0,1153	0,0994	0,0953	0,0737	0,0808	0,0836	0,0611	0,0536	0,0391	1,359
P5.3	0,1066	0,1203	0,0755	0,1161	0,0917	0,0841	0,1175	0,0850	0,0839	0,0695	0,0636	0,0637	0,0606	0,0911	0,0269	1,256
R	1,817	1,880	1,280	1,615	1,298	1,204	1,456	1,244	1,221	1,087	1,042	1,037	1,000	1,263	0,685	$\alpha=0,085$

Общая матрица связей  $T$  показателей логистических потоков (Grey – 2 вариант)

Показатели	P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P5.1	P5.2	P5.3	D
P1.1	0,340	0,512	0,475	0,422	0,346	0,386	0,412	0,352	0,302	0,229	0,221	0,210	0,353	0,350	0,035	4,945
P1.2	0,611	0,309	0,350	0,455	0,275	0,373	0,427	0,263	0,236	0,178	0,169	0,159	0,241	0,285	0,017	4,348
P1.3	0,659	0,617	0,224	0,565	0,479	0,460	0,473	0,413	0,349	0,325	0,318	0,258	0,340	0,449	0,140	6,068
P2.1	0,564	0,605	0,331	0,280	0,479	0,273	0,364	0,321	0,315	0,277	0,306	0,291	0,305	0,339	0,080	5,128
P2.2	0,204	0,283	0,192	0,207	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,922
P3.1	0,575	0,506	0,208	0,373	0,184	0,130	0,392	0,276	0,240	0,192	0,191	0,185	0,182	0,276	0,076	3,986
P3.2	0,570	0,547	0,241	0,434	0,262	0,293	0,274	0,353	0,400	0,295	0,283	0,277	0,172	0,373	0,171	4,945
P3.3	0,516	0,574	0,296	0,453	0,335	0,416	0,579	0,258	0,464	0,426	0,393	0,369	0,230	0,462	0,141	5,911
P4.1	0,467	0,527	0,211	0,437	0,274	0,313	0,531	0,404	0,184	0,318	0,285	0,287	0,206	0,344	0,013	4,800
P4.2	0,489	0,571	0,271	0,480	0,337	0,448	0,557	0,500	0,459	0,191	0,353	0,385	0,265	0,388	0,118	5,811
P4.3	0,470	0,533	0,250	0,435	0,318	0,330	0,461	0,428	0,476	0,404	0,146	0,288	0,266	0,403	0,096	5,304
P4.4	0,405	0,496	0,228	0,396	0,278	0,326	0,460	0,413	0,388	0,450	0,299	0,121	0,203	0,349	0,108	4,920
P5.1	0,729	0,736	0,455	0,655	0,567	0,482	0,588	0,493	0,483	0,452	0,449	0,423	0,223	0,573	0,173	7,481
P5.2	0,614	0,636	0,392	0,597	0,409	0,383	0,590	0,471	0,446	0,323	0,361	0,352	0,235	0,255	0,060	6,123
P5.3	0,486	0,560	0,282	0,539	0,401	0,381	0,573	0,396	0,382	0,289	0,266	0,259	0,214	0,424	0,000	5,451
R	7,697	8,013	4,405	6,730	4,944	4,994	6,719	5,341	5,124	4,348	4,039	3,863	3,433	5,270	1,228	$\alpha=0,338$

## Результаты экспертной оценки методов и инструментов зелёной логистики (начальная матрица принятия решений)

Элемент ЛЦГ	Методы (инструменты) / Показатели ЛЦГ	C11	C12	C13	C21	C22	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C51	C52	C53
	Вес w (вариант 1)	0,0847	0,0776	0,0831	0,0674	0,0618	0,0656	0,0780	0,0804	0,0455	0,0491	0,0439	0,0456	0,0713	0,0861	0,0593
	Вес w (вариант 2)	0,0957	0,0959	0,0858	0,0751	0,0550	0,0642	0,0743	0,0731	0,0461	0,0469	0,0440	0,0433	0,0726	0,0720	0,0560
Управляющий (Е1)	M1.1	2,35	2,93	2,17	3,03	3,90	1,64	1,52	1,78	1,32	1,15	1,15	1,32	1,64	1,43	1,64
	П.1.1	3,064	3,245	2,297	3,776	4,129	2,825	3,178	3,519	2,352	2,221	2,297	2,297	1,516	2,551	3,366
	П.1.2	2,169	2,000	1,741	2,930	3,519	2,702	2,702	2,993	2,491	2,551	2,702	2,702	1,516	2,352	2,048
	П.1.3	2,993	3,519	3,594	3,245	4,317	2,825	2,825	3,519	2,702	2,930	2,862	2,862	2,169	3,104	3,438
	П.1.4	2,702	2,862	3,981	3,594	4,317	2,605	2,825	3,641	2,862	3,031	2,639	2,639	1,644	2,862	4,076
	M1.2	3,52	3,25	3,73	3,10	2,49	2,83	3,52	3,98	3,44	2,70	2,55	2,70	2,70	3,37	1,89
	П.2.1	2,825	3,288	2,169	2,551	2,930	2,048	2,702	2,605	2,352	2,048	2,048	2,048	1,644	2,460	1,783
	П.2.2	2,551	2,639	2,352	2,702	2,491	2,352	3,565	3,807	2,352	2,551	2,048	1,888	1,516	3,129	1,888
	П.2.3	2,169	2,702	1,741	2,352	3,245	1,149	1,320	1,783	1,320	1,320	1,320	1,320	1,888	1,783	1,644
	П.2.4	1,888	2,169	1,888	2,048	3,680	1,644	1,516	1,516	1,320	1,320	1,320	1,320	1,644	1,888	1,516
	П.2.5	2,862	3,565	2,352	3,641	3,438	2,169	1,516	2,702	2,352	2,605	1,888	2,000	2,639	2,048	2,605
	П.2.6	3,519	3,728	2,639	3,807	4,129	1,516	1,320	2,221	2,268	2,402	1,974	2,091	2,993	1,783	2,268
	M1.3	2,70	3,10	3,90	2,40	2,17	3,13	3,59	3,59	3,29	2,22	2,30	2,17	1,52	3,10	1,74
	П.3.1	2,825	3,104	2,551	3,438	3,594	2,000	1,320	2,766	1,974	2,091	1,974	2,091	2,402	1,783	1,974
	П.3.2	1,888	2,048	1,149	1,741	1,888	1,149	1,149	1,741	1,320	1,516	1,431	1,516	2,000	1,644	2,169
	П.3.3	2,766	2,702	1,888	1,516	2,048	1,888	1,516	2,221	1,644	2,491	2,048	2,169	2,048	1,888	2,491
	M1.4	3,73	3,68	4,13	3,73	3,29	3,73	4,13	4,32	3,59	3,13	3,17	3,17	2,35	4,32	3,73
	П.4.1	2,352	2,930	2,169	3,031	3,898	1,644	1,516	1,783	1,320	1,149	1,149	1,320	1,644	1,431	1,644
	П.4.2	2,352	2,297	2,141	3,031	3,807	1,644	1,516	1,933	1,320	1,246	1,149	1,320	1,783	1,552	1,888
	П.4.3	2,048	2,766	1,644	2,639	3,594	1,644	1,516	1,888	1,320	1,149	1,149	1,320	1,644	1,431	1,644
	П.4.4	2,352	2,352	1,320	2,169	2,930	1,888	1,741	1,644	1,516	1,431	1,431	1,431	1,149	1,149	1,149
	M1.5	3,44	3,73	4,08	3,29	3,29	3,52	3,73	3,76	3,59	3,44	3,03	3,03	2,55	3,90	2,86
	П.5.1	2,460	2,402	2,268	2,491	2,993	2,091	1,821	1,974	1,741	1,431	1,431	1,431	1,320	1,320	1,149
	П.5.2	3,519	3,245	3,728	3,104	2,491	2,825	3,519	3,981	3,438	2,702	2,551	2,702	2,702	3,366	1,888
	П.5.3	3,519	2,993	3,438	2,825	2,551	2,825	3,323	4,317	3,438	3,064	2,551	2,551	2,402	2,491	1,888
	П.5.4	2,930	2,702	3,438	2,402	2,352	2,352	2,702	4,317	3,438	2,551	2,352	2,352	2,000	2,702	2,169

Элемент ЛЦГ	Методы (инструменты) / Показатели ЛЦГ	C11	C12	C13	C21	C22	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C51	C52	C53	
Входной элемент (E2)	M2.1	3,59	3,39	3,32	2,05	2,49	1,78	2,64	2,55	2,77	2,86	2,77	2,22	2,99	2,49	2,83	
	I2.1.1	3,807	3,438	2,491	2,993	2,000	2,605	3,807	2,551	3,366	2,862	3,178	2,551	2,352	2,639	3,245	
	I2.1.2	4,129	3,898	2,702	2,605	2,169	2,000	2,048	2,352	2,702	2,551	2,862	2,169	2,759	2,268	2,491	
	I2.1.3	3,680	3,898	3,170	2,862	1,888	2,048	2,221	3,104	2,825	2,993	3,245	2,221	2,702	2,702	2,491	
	I2.1.4	3,064	2,930	2,862	2,702	2,169	1,431	1,888	2,352	2,169	2,000	2,352	1,783	2,491	2,993	2,091	
	M2.2	3,10	4,00	2,35	2,70	4,13	1,64	1,32	1,64	1,52	2,70	2,49	2,49	2,55	2,35	2,14	
	I2.2.1	3,104	4,000	1,783	2,702	3,758	1,000	1,000	1,149	1,149	2,702	2,048	2,639	2,169	1,888	2,759	
	I2.2.2	3,807	4,317	2,048	3,594	4,317	1,516	1,516	1,431	1,320	2,702	2,169	2,491	3,288	2,551	2,724	
	I2.2.3	2,048	2,551	1,888	2,000	1,821	1,888	1,431	1,516	1,431	1,933	1,320	1,320	1,320	1,431	1,552	
	M2.3	3,29	3,37	2,17	2,77	3,29	3,48	4,57	3,95	3,44	2,49	2,93	2,77	2,17	2,61	4,13	
	I2.3.1	2,551	2,702	1,741	2,221	3,641	2,352	2,402	2,091	1,888	2,221	2,048	2,169	1,644	2,169	4,183	
	I2.3.2	3,898	4,317	1,741	3,519	3,129	3,565	4,317	4,183	3,807	2,862	3,366	3,000	2,169	2,759	4,782	
	M2.4	4,13	4,37	2,41	3,29	3,10	3,90	4,32	4,32	4,13	3,37	3,57	3,57	2,86	3,10	2,86	
	I2.4.1	4,317	4,573	2,862	3,680	3,482	3,104	2,702	3,288	2,825	2,862	2,408	2,551	4,782	3,064	2,221	
	I2.4.2	3,129	4,129	2,352	3,245	3,245	2,930	3,288	3,776	3,728	4,076	3,565	3,594	3,565	2,862	2,993	
	I2.4.3	2,491	3,104	2,352	2,352	2,702	2,551	2,862	4,076	2,993	2,169	1,888	2,048	1,516	2,667	1,431	
	I2.4.4	3,245	3,438	2,825	3,366	5,000	2,551	2,862	2,048	2,825	2,993	2,605	2,605	2,297	2,491	3,728	
	I2.4.5	3,438	3,728	2,000	3,104	3,482	2,352	2,639	4,129	4,129	4,129	3,366	3,064	3,104	3,565	2,169	
	Перерабатывающий (E3)	M3.1	3,39	4,13	2,55	3,31	4,08	1,43	1,32	1,32	1,74	2,83	2,22	2,22	3,03	1,78	2,17
		I3.1.1	3,393	4,573	2,605	3,466	3,314	1,380	1,149	1,149	1,516	2,352	1,933	2,048	2,048	2,169	1,888
I3.1.2		2,993	3,949	2,766	3,170	3,898	1,516	1,320	1,149	1,516	2,825	2,352	2,221	2,862	1,888	1,888	
I3.1.3		3,129	4,317	2,352	3,393	4,317	1,149	1,320	1,320	1,644	2,221	2,048	2,048	2,759	2,048	2,268	
M3.2		3,10	3,57	3,98	3,59	4,78	1,74	1,74	1,78	1,89	1,78	1,78	1,64	2,35	2,22	2,05	
I3.2.1		3,288	3,949	3,981	3,981	4,317	1,516	1,516	1,431	1,644	1,516	1,431	1,644	2,491	2,169	2,048	
I3.2.2		2,862	3,178	3,981	3,594	5,000	1,149	1,320	1,320	1,320	1,431	1,320	1,320	1,516	1,888	1,888	
I3.2.3		2,551	3,178	3,641	3,393	4,514	1,516	1,149	1,644	1,516	1,320	1,149	1,516	1,644	1,741	1,741	
I3.2.4		4,076	4,076	2,491	3,594	4,129	1,431	1,644	2,169	2,169	2,460	2,460	1,888	3,178	2,169	2,169	
M3.3		3,68	3,90	3,18	3,44	4,08	1,15	1,32	2,55	2,22	2,70	2,22	2,70	3,29	2,49	2,76	
I3.3.1		2,993	3,641	2,091	3,314	3,758	1,149	1,320	2,048	2,352	2,352	2,221	2,221	2,605	1,644	1,974	
I3.3.2		3,898	3,898	2,352	3,641	4,317	1,149	1,516	2,702	2,702	3,064	2,221	2,491	3,594	2,169	2,993	
I3.3.3		2,702	3,949	3,438	3,807	4,317	1,149	1,320	1,888	2,048	2,169	2,221	2,169	2,491	2,352	1,888	
M3.4		3,52	4,13	2,27	3,39	3,13	1,89	2,70	3,64	3,03	2,99	2,64	3,03	3,37	3,44	2,86	
I3.4.1		3,314	3,519	2,169	3,104	3,245	1,888	2,825	3,641	3,170	2,605	2,639	2,639	3,728	3,170	3,170	
I3.4.2		2,702	3,519	1,585	3,594	3,594	1,644	1,552	2,862	2,862	2,221	2,048	2,408	2,297	2,000	2,297	
I3.4.3		2,825	3,519	2,460	3,129	3,807	1,149	1,149	1,149	1,149	1,516	1,320	1,644	1,644	1,320	1,516	
M3.5		3,25	4,00	1,89	3,06	3,17	1,43	1,55	2,05	1,52	1,64	1,52	1,64	1,52	1,78	1,32	
I3.5.1		2,702	3,565	1,320	2,825	3,129	1,320	1,320	2,000	1,741	1,516	1,516	1,644	1,516	1,644	1,320	
I3.5.2		2,702	3,366	1,149	3,245	3,728	1,644	1,741	2,169	2,048	2,000	1,888	1,888	1,644	1,644	1,431	
I3.5.3	2,352	3,949	2,825	3,104	2,862	1,516	1,516	1,783	1,783	1,741	1,644	1,644	1,516	1,516	1,516		
I3.5.4	2,352	3,366	1,320	2,297	2,169	2,297	2,297	2,000	1,741	1,431	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320		

Элемент ЛЦГ	Методы (инстру- менты) / Показатели ЛЦГ	C11	C12	C13	C21	C22	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C51	C52	C53	
Накопительный (Е4)	M4.1	2,49	3,95	4,57	3,81	3,39	2,27	2,05	2,09	2,00	1,89	1,78	1,64	2,35	2,35	1,78	
	I4.1.1	2,491	3,949	4,573	3,807	3,393	2,268	2,048	2,091	2,000	1,888	1,783	1,644	2,352	2,352	1,783	
	I4.1.2	1,741	3,104	4,373	2,724	2,091	1,149	1,149	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,149	1,000	1,000	
	I4.1.3	1,741	2,702	4,076	2,460	2,825	1,431	1,741	1,741	1,516	1,516	1,516	1,516	2,169	2,491	1,821	
	I4.1.4	2,930	2,930	3,758	2,702	2,352	2,169	2,605	2,825	2,862	2,825	2,268	2,091	3,129	2,491	1,888	
	I4.1.5	3,728	3,728	3,949	3,641	4,782	1,149	1,149	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	I4.1.6	2,491	2,825	3,680	3,949	3,393	3,680	1,320	1,149	1,320	1,149	1,000	1,000	1,000	1,149	1,320	1,149
	M4.2	2,64	3,39	4,13	4,18	4,16	1,52	1,43	1,52	1,32	1,43	1,32	1,32	1,43	1,43	1,15	
	I4.2.1	2,000	2,825	3,949	3,366	3,949	1,741	1,431	1,741	1,320	1,149	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	I4.2.2	2,639	3,393	4,129	4,183	4,163	1,516	1,431	1,516	1,320	1,431	1,320	1,320	1,431	1,431	1,149	
	M4.3	2,83	3,95	3,44	3,57	3,57	2,99	3,10	3,02	3,59	3,17	2,64	2,17	1,89	3,25	1,32	
	I4.3.1	3,519	3,680	4,129	4,373	4,782	1,516	1,320	1,246	1,149	1,000	1,000	1,000	1,246	1,149	1,000	
	I4.3.2	2,702	3,245	3,949	3,949	5,000	1,585	1,516	1,320	1,246	1,320	1,149	1,149	1,246	1,246	1,149	
	I4.3.3	2,825	3,949	3,438	3,565	3,565	2,993	3,104	3,017	3,594	3,170	2,639	2,169	1,888	3,245	1,320	
	I4.3.4	3,519	4,129	2,605	3,519	3,170	3,129	2,759	2,885	2,885	3,170	2,605	2,091	1,821	2,402	1,585	
	I4.3.5	2,862	4,129	1,644	2,993	3,104	2,512	2,402	3,129	3,245	2,862	3,031	2,169	2,000	3,245	1,821	
	M4.4	3,90	4,13	2,49	3,73	2,99	3,44	4,13	3,98	3,98	4,32	3,81	3,59	3,06	3,98	2,51	
	I4.4.1	4,129	4,317	4,373	3,178	3,104	3,129	3,245	3,129	2,993	2,221	2,551	2,221	1,741	3,594	1,821	
	I4.4.2	2,702	3,641	1,320	3,776	4,782	1,149	1,246	1,431	1,149	1,246	1,246	1,149	1,149	1,320	1,149	
	I4.4.3	2,402	2,667	1,783	2,702	3,641	1,644	1,783	1,888	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	
I4.4.4	3,898	4,129	2,491	3,728	2,993	3,438	4,129	3,981	3,981	4,317	3,807	3,594	3,064	3,981	2,512		
Транспортный (Е5)	M5.1	3,73	4,13	3,31	4,08	4,13	3,78	3,57	3,73	3,10	3,10	2,93	2,86	1,89	2,99	2,89	
	I5.1.1	4,317	3,898	2,402	4,129	3,129	3,438	3,017	3,017	3,017	2,885	2,885	2,605	2,825	2,885	1,821	
	I5.1.2	3,758	3,758	1,644	3,366	2,702	3,064	3,129	3,758	2,885	2,885	2,512	2,091	2,268	2,885	1,821	
	I5.1.3	2,639	2,862	2,352	2,352	2,297	3,031	2,352	2,048	2,551	2,702	2,408	2,702	2,702	2,297	2,352	
	M5.2	2,86	3,25	3,47	4,08	4,57	2,17	2,35	1,89	2,00	1,74	2,00	1,89	1,74	2,35	1,52	
	I5.2.1	3,245	3,393	1,431	2,825	2,402	3,519	3,898	3,807	3,641	3,898	3,594	3,393	3,898	3,594	2,268	
	I5.2.2	3,728	4,129	3,314	4,076	4,129	3,776	3,565	3,728	3,104	3,104	2,930	2,862	1,888	2,993	2,885	
	I5.2.3	3,064	3,064	3,758	4,129	4,514	2,352	2,491	2,169	1,888	2,169	2,000	1,888	1,644	2,048	1,974	
	I5.2.4	3,594	4,076	3,104	3,898	3,807	3,245	3,728	3,949	3,438	3,170	2,862	2,639	1,644	3,178	3,728	
	M5.3	3,31	3,90	3,13	3,25	3,37	3,17	3,76	3,31	3,31	3,17	3,17	2,89	2,49	3,47	3,47	
	I5.3.1	3,129	3,170	2,352	3,031	3,288	3,482	3,366	3,728	2,930	3,288	3,104	2,702	1,741	3,178	3,323	
	I5.3.2	2,862	3,245	3,466	4,076	4,573	2,169	2,352	1,888	2,000	1,741	2,000	1,888	1,741	2,352	1,516	
	I5.3.3	2,352	2,930	3,314	3,758	4,514	1,644	1,783	1,741	1,741	1,888	1,741	1,516	1,516	2,551	1,644	
	I5.3.4	2,352	2,702	2,885	3,314	4,317	1,431	1,644	1,320	1,320	1,431	1,320	1,320	1,149	1,888	1,320	

Элемент ЛЦГ	Методы (инстру- менты) / Показатели ЛЦГ	C11	C12	C13	C21	C22	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C51	C52	C53	
Транспортный (Е5)	15.3.5	3,288	2,993	3,466	4,129	3,898	2,268	1,974	1,644	2,297	2,268	2,169	1,783	2,402	2,460	1,644	
	15.3.6	3,170	3,898	1,644	3,393	3,758	1,149	1,149	1,320	1,149	1,149	1,149	1,149	1,149	1,320	1,149	
	15.3.7	3,314	3,898	3,129	3,245	3,366	3,170	3,758	3,314	3,314	3,170	3,170	2,885	2,491	3,466	3,466	
	M5.4	3,13	3,64	2,41	3,29	2,86	2,35	3,44	3,90	3,17	3,47	3,31	3,47	3,31	3,47	3,10	
	15.4.1	3,314	3,565	2,605	3,245	2,862	3,898	3,898	3,641	3,641	3,641	3,438	3,245	2,352	3,641	2,702	
	15.4.2	3,314	3,594	2,702	3,519	3,104	2,993	3,898	3,949	3,641	3,641	3,641	3,594	2,352	4,129	4,129	
	15.4.3	3,104	3,594	1,974	3,366	3,104	2,491	2,993	2,268	2,402	2,297	2,297	2,169	3,245	2,759	1,644	
	15.4.4	3,393	3,728	1,888	3,519	3,728	2,825	4,076	3,641	3,641	2,993	3,438	2,954	2,048	4,129	4,782	
Выходной (Е6)	M6.1	2,46	2,70	1,55	2,22	1,89	1,32	1,32	2,05	1,78	1,64	1,55	1,43	1,52	1,89	1,74	
	16.1.1	2,352	2,993	1,644	3,178	3,104	2,169	3,565	3,438	2,551	2,000	1,516	1,888	1,320	4,573	1,320	
	16.1.2	2,993	3,898	1,888	3,104	4,183	1,516	2,000	2,605	1,888	1,741	1,431	1,783	2,297	1,974	3,594	
	16.1.3	2,000	2,702	1,644	3,245	3,519	1,516	1,888	2,639	1,888	1,552	1,320	1,320	1,149	2,491	1,246	
	M6.2	2,86	3,52	2,17	3,29	3,90	2,99	2,05	2,35	1,89	2,00	1,64	1,74	2,86	1,89	1,43	
	16.2.1	3,129	3,641	2,408	3,288	2,862	2,352	3,438	3,898	3,170	3,466	3,314	3,466	3,314	3,466	3,104	
	16.2.2	2,702	3,594	2,352	3,565	3,245	2,221	3,288	3,898	3,393	3,594	3,393	3,129	3,393	3,807	3,438	
	16.2.3	2,297	3,438	2,221	3,565	2,862	1,888	3,898	3,245	3,758	3,393	3,314	2,352	3,949	3,981	2,169	
	16.2.4	2,702	3,594	2,268	3,031	2,862	2,352	3,288	3,728	2,993	3,949	3,031	3,438	3,064	3,314	1,644	
	M6.3	3,59	3,10	2,83	2,99	2,89	2,30	2,99	3,59	3,31	2,86	2,99	2,70	1,97	2,99	3,81	
	16.3.1	3,129	3,680	1,888	3,031	2,993	2,759	3,680	3,898	3,438	3,438	2,993	2,993	3,438	4,317	3,031	
	16.3.2	2,460	2,702	1,552	2,221	1,888	1,320	1,320	2,048	1,783	1,644	1,552	1,431	1,516	1,888	1,741	
	16.3.3	2,048	2,491	1,516	2,048	2,141	1,149	1,149	1,552	1,431	1,552	1,431	1,431	1,431	1,644	1,888	1,644
	16.3.4	1,888	2,169	1,552	2,221	1,933	1,149	1,320	1,552	1,320	1,431	1,431	1,431	1,320	1,516	1,320	
	M6.4	2,83	3,29	2,17	2,55	2,93	2,05	2,70	2,61	2,35	2,05	2,05	2,05	2,05	1,64	2,46	1,78
	16.4.1	2,169	2,491	1,320	2,352	2,460	1,516	1,644	1,783	1,431	1,644	1,431	1,431	1,516	1,644	1,320	
	16.4.2	2,862	3,519	2,169	3,288	3,898	2,993	2,048	2,352	1,888	2,000	1,644	1,741	2,862	1,888	1,431	
	16.4.3	3,323	3,323	1,888	3,104	3,898	2,724	2,000	2,551	1,783	1,644	1,516	1,320	3,104	1,888	1,149	
	M6.5	2,86	3,57	2,35	3,64	3,44	2,17	1,52	2,70	2,35	2,61	1,89	2,00	2,64	2,05	2,61	
	16.5.1	2,402	2,605	1,741	3,104	3,898	2,605	1,644	1,741	1,644	1,644	1,516	1,516	2,297	1,644	1,149	
	16.5.2	3,438	3,245	1,741	3,438	3,594	3,129	1,741	2,491	2,048	2,169	2,000	1,516	2,930	2,048	1,741	
	16.5.3	3,104	3,949	2,297	3,482	3,898	1,644	1,320	1,783	2,048	2,402	2,169	2,000	2,605	2,048	2,352	
	16.5.4	3,594	3,104	2,825	2,993	2,885	2,297	2,993	3,594	3,314	2,862	2,993	2,702	1,974	2,993	3,807	

## Результаты ранжирования методов «зелёной» логистики различными MCDM методами

Методы	Вариант 1 (Crisp DEMATEL + 14 MCDM)														Вариант 2 (Fuzzy DEMATEL + 14 MCDM)													
	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS
M1.1	15	20	22	13	9	17	15	15	15	15	15	18	9	15	15	20	22	13	4	17	14	15	13	16	13	18	8	15
M1.2	1	4	2	3	2	1	3	1	1	2	1	3	1	1	1	2	2	2	3	1	2	1	2	1	3	1	1	1
M1.3	4	5	5	5	8	2	4	4	2	3	2	6	2	4	3	5	5	4	6	2	4	3	2	3	2	8	2	3
M1.4	5	2	3	4	4	3	5	5	3	4	3	5	3	5	5	3	3	5	9	3	5	5	3	4	3	5	3	5
M1.5	9	8	10	9	10	6	9	9	6	8	6	9	6	9	9	8	10	10	14	6	11	9	7	8	7	9	6	9
M2.1	14	15	1	17	13	9	14	14	11	14	11	14	12	14	14	14	1	16	13	7	15	14	12	14	12	11	11	14
M2.2	27	27	13	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26	27	27	27	13	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26	27
M2.3	20	25	18	25	20	15	22	21	21	25	21	20	23	20	20	24	18	25	15	14	20	20	20	25	20	20	23	20
M2.4	2	1	7	1	1	8	1	2	4	1	4	2	8	2	2	1	7	1	1	9	1	2	4	1	4	2	9	2
M3.1	25	22	12	24	22	24	25	25	25	23	25	23	24	25	25	22	12	24	22	24	25	25	25	23	25	22	24	25
M3.2	22	19	16	21	19	23	21	22	23	20	23	21	16	22	22	18	16	21	21	23	21	22	23	21	23	21	15	22
M3.3	26	26	8	26	26	26	26	26	26	26	26	27	18	26	26	26	8	26	25	26	26	26	26	26	26	27	18	26
M3.4	12	7	9	10	14	11	12	10	10	10	10	13	7	12	12	6	9	11	17	11	12	12	8	9	8	13	7	12
M3.5	23	24	25	23	25	25	23	23	24	24	24	24	21	23	24	25	25	23	26	25	24	24	24	24	24	25	21	24
M4.1	10	18	23	11	5	16	11	12	13	17	13	7	25	10	10	17	23	9	8	16	9	10	11	15	11	6	25	10
M4.2	11	16	27	18	11	19	10	11	18	16	18	8	20	11	11	16	27	18	11	18	10	11	18	17	18	7	19	11
M4.3	13	9	20	12	17	14	13	13	12	11	12	11	11	13	13	10	20	12	16	15	13	13	15	11	15	12	12	13
M4.4	3	3	6	2	3	7	2	3	9	6	9	1	27	3	4	4	6	3	2	8	3	4	10	7	10	1	27	4
M5.1	17	13	4	14	21	13	18	17	16	12	16	17	19	17	17	12	4	14	20	13	17	17	16	12	16	17	20	17
M5.2	21	17	11	20	23	20	20	20	20	19	20	22	22	21	21	19	11	20	19	20	22	21	19	19	19	23	22	21
M5.3	6	6	15	8	6	4	7	6	8	9	8	4	15	6	7	7	15	8	10	4	7	7	9	10	9	4	16	7
M5.4	18	12	24	16	15	18	17	18	19	18	19	12	17	18	18	13	24	19	24	19	18	18	21	18	21	15	17	18
M6.1	19	23	14	19	12	21	19	19	17	22	17	19	10	19	19	23	14	17	5	21	19	19	17	22	17	19	10	19
M6.2	7	11	19	6	18	12	6	7	7	7	7	16	5	7	6	9	19	6	12	12	6	6	6	5	6	14	4	6
M6.3	16	14	21	15	16	10	16	16	14	13	14	15	13	16	16	15	21	15	18	10	16	16	14	13	14	16	13	16
M6.4	8	10	17	7	7	5	8	8	5	5	5	10	4	8	8	11	17	7	7	5	8	8	5	6	5	10	5	8
M6.5	24	21	26	22	24	22	24	24	22	21	22	25	14	24	23	21	26	22	23	22	23	23	22	20	22	24	14	23

### Результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики различными MCDM методами

Инструменты	Вариант 1 (Crisp DEMATEL + 14 MCDM)														Вариант 2 (Fuzzy DEMATEL + 14 MCDM)														
	SAW	TOPSIS	PROMETH EE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	
II.1.1	8	9	1	8	9	8	8	8	9	9	9	7	8	8	11	8	15	10	15	7	12	11	12	11	12	7	14	11	
II.1.2	12	10	8	10	17	10	10	12	11	10	11	13	11	12	14	10	17	16	5	9	14	14	14	13	14	9	12	14	
II.1.3	3	4	6	4	6	4	4	3	4	4	4	4	7	3	5	5	18	5	13	6	5	5	10	8	10	4	21	5	
II.1.4	6	8	7	7	11	7	7	6	7	6	7	8	12	6	7	6	20	7	8	5	6	7	15	14	15	5	20	7	
II.2.1	9	7	9	9	10	9	9	9	8	7	8	11	6	9	12	7	11	9	16	11	10	12	7	5	7	16	7	12	
II.2.2	5	5	4	5	7	5	5	5	5	5	5	6	4	5	4	4	2	4	4	4	4	4	4	3	4	6	1	4	
II.2.3	17	16	17	17	15	21	17	17	17	16	17	18	16	17	18	18	12	15	17	19	17	17	16	15	16	19	15	18	
II.2.4	14	14	15	15	12	15	15	14	15	15	15	15	18	14	9	13	6	8	7	14	9	9	8	12	8	10	16	9	
II.2.5	11	13	10	11	14	14	11	10	12	11	12	12	9	11	20	16	19	20	19	20	20	20	20	17	20	20	13	20	
II.2.6	10	11	18	12	5	16	12	11	10	13	10	9	13	10	21	15	21	21	9	21	21	21	21	21	21	11	19	21	
II.3.1	13	15	12	13	18	13	13	13	13	12	13	14	10	13	19	12	16	17	18	15	19	19	17	9	17	21	8	19	
II.3.2	16	12	21	14	8	17	14	16	16	18	16	10	21	16	13	19	8	11	6	16	13	13	11	20	11	8	18	13	
II.3.3	7	6	11	6	3	6	6	7	6	8	6	3	5	7	8	11	10	13	10	10	8	8	6	7	6	13	4	8	
II.4.1	20	21	16	20	21	19	20	20	20	19	20	21	17	20	16	20	14	19	21	17	16	16	18	16	18	17	10	16	
II.4.2	18	20	14	19	20	18	19	18	19	17	19	19	15	18	10	14	7	12	12	13	11	10	9	10	9	15	6	10	
II.4.3	21	19	19	21	19	20	21	21	21	21	21	20	19	21	17	21	13	18	20	18	18	18	19	19	19	18	11	17	
II.4.4	19	17	20	18	13	12	18	19	18	20	18	16	20	19	15	17	9	14	14	12	15	15	13	18	13	14	17	15	
II.5.1	15	18	13	16	16	11	16	15	14	14	14	17	14	15	6	9	5	6	11	8	7	6	5	6	5	12	5	6	
II.5.2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
II.5.3	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	9	2
II.5.4	4	3	5	3	4	3	3	4	3	3	3	5	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3
I2.1.1	5	3	4	6	9	3	6	5	5	5	5	6	5	5	5	2	3	6	7	1	6	5	5	5	5	6	5	5	
I2.1.2	9	9	7	8	5	6	10	9	6	6	6	10	4	9	7	9	7	7	4	6	8	7	6	6	6	10	4	7	
I2.1.3	4	7	6	5	2	4	4	4	4	4	4	8	3	4	4	5	6	5	2	4	5	4	4	4	4	8	3	4	
I2.1.4	3	8	2	3	6	7	3	3	3	3	3	9	1	3	3	8	2	4	5	7	3	3	2	3	2	9	1	3	
I2.2.1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
I2.2.2	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	7	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	8	13
I2.2.3	6	10	5	4	7	10	5	6	7	10	7	7	11	6	6	10	5	3	3	10	4	6	7	10	7	4	10	6	
I2.3.1	11	12	8	12	10	9	11	11	11	11	11	12	8	11	11	12	8	12	8	9	11	11	9	11	9	12	7	11	
I2.3.2	7	6	10	7	8	1	7	7	9	7	9	1	13	7	8	7	10	8	9	3	7	8	10	7	10	2	13	8	
I2.4.1	1	1	3	1	1	5	1	1	2	1	2	2	6	1	1	1	4	1	1	5	1	1	3	1	3	1	6	1	
I2.4.2	10	4	12	9	11	8	9	10	10	9	10	5	12	10	10	4	12	9	12	8	10	10	11	9	11	7	12	10	
I2.4.3	2	2	1	2	3	2	2	2	1	2	1	3	2	2	2	3	1	2	6	2	2	2	1	2	1	3	2	2	
I2.4.4	12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	11	9	12	12	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	11	9	12	
I2.4.5	8	5	9	10	4	11	8	8	8	8	8	4	10	8	9	6	9	10	10	11	9	9	8	8	8	5	11	9	
I3.1.1	15	14	12	15	14	16	15	15	15	13	15	14	14	15	15	12	11	15	15	16	15	15	16	14	16	13	14	15	
I3.1.2	13	11	11	14	16	14	14	13	13	11	13	12	8	13	12	10	12	14	16	14	12	12	12	9	12	11	9	12	

Инструменты	Вариант 1 (Crisp DEMATEL + 14 MCDM)														Вариант 2 (Fuzzy DEMATEL + 14 MCDM)														
	SAW	TOPSIS	PROMETH EE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	
I3.1.3	16	16	16	17	17	17	17	17	17	16	17	16	13	16	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	16	13	17		
I3.2.1	3	2	4	3	2	3	3	3	3	2	3	4	4	3	3	2	4	3	6	3	3	3	4	2	4	4	3		
I3.2.2	5	6	5	6	5	7	5	5	5	7	5	3	10	5	5	6	5	6	4	5	5	5	5	7	5	3	7	5	
I3.2.3	4	7	2	5	6	4	4	4	4	5	4	5	1	4	4	7	2	4	2	4	4	4	3	5	3	5	1	4	
I3.2.4	6	3	9	4	4	6	6	6	6	3	6	7	2	6	6	3	9	5	5	6	6	6	6	3	6	7	2	6	
I3.3.1	17	17	15	16	15	15	16	16	16	14	16	17	12	17	16	17	15	16	13	15	16	16	15	13	15	17	12	16	
I3.3.2	9	5	17	8	7	11	7	9	11	15	11	6	16	9	8	5	17	7	8	11	7	8	11	16	11	6	16	8	
I3.3.3	11	8	14	10	10	13	10	11	14	8	14	8	11	11	11	8	14	10	12	13	10	11	14	8	14	8	11	11	
I3.4.1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	17	1	
I3.4.2	14	10	13	11	13	8	11	14	12	12	12	13	5	14	14	11	13	13	11	9	14	14	13	12	13	14	5	14	
I3.4.3	10	15	8	13	11	12	12	10	10	17	10	9	17	10	10	13	8	11	10	12	11	10	10	15	10	9	15	10	
I3.5.1	8	12	6	9	9	10	9	8	7	10	7	11	3	8	9	14	6	9	9	10	9	9	7	11	7	12	3	9	
I3.5.2	12	13	10	12	8	9	13	12	9	9	9	15	7	12	13	15	10	12	7	8	13	13	9	10	9	15	8	13	
I3.5.3	7	9	7	7	12	5	8	7	8	6	8	10	6	7	7	9	7	8	14	7	8	7	8	6	8	10	6	7	
I3.5.4	2	4	1	2	3	2	2	2	2	4	2	2	9	2	2	4	1	2	1	2	2	2	2	4	2	2	10	2	
I4.1.1	10	6	6	6	4	8	8	10	7	3	7	11	5	10	11	5	6	8	7	8	9	11	8	4	8	11	5	11	
I4.1.2	4	13	5	9	6	10	9	5	8	13	8	3	14	4	5	14	5	7	9	10	7	5	7	11	7	3	14	5	
I4.1.3	7	8	3	5	5	7	5	7	3	5	3	10	4	7	6	7	3	5	2	7	5	6	3	3	10	4	6	6	
I4.1.4	3	3	1	3	3	3	3	3	1	2	1	4	1	3	3	2	1	3	3	3	3	1	2	1	4	1	3	3	
I4.1.5	11	14	12	15	13	15	13	12	15	16	15	5	16	11	10	13	12	15	10	14	13	10	13	16	13	5	16	10	
I4.1.6	5	9	4	7	8	6	6	4	6	7	6	8	2	5	4	9	4	6	6	4	6	4	5	7	5	7	2	4	
I4.2.1	9	11	7	11	9	9	12	9	11	10	11	9	13	9	9	11	7	10	8	9	12	9	10	9	10	9	13	9	
I4.2.2	16	12	13	14	11	14	16	16	13	12	13	15	9	16	15	12	13	14	13	15	16	15	15	13	15	14	9	15	
I4.3.1	8	10	11	13	12	13	11	8	14	14	14	6	11	8	8	10	11	13	12	13	10	8	14	12	14	6	11	8	
I4.3.2	14	15	15	16	16	16	15	14	16	15	16	14	12	14	14	15	15	16	14	16	15	14	16	15	16	13	12	14	
I4.3.3	6	4	9	4	10	5	4	6	5	4	5	7	6	6	7	4	9	4	15	6	4	7	6	5	6	8	7	7	
I4.3.4	12	5	10	8	14	4	7	11	9	8	9	12	7	12	12	6	10	9	11	5	8	12	11	8	11	12	8	12	
I4.3.5	13	7	16	10	15	12	10	13	12	9	12	13	10	13	16	8	16	11	16	12	11	16	12	14	12	15	10	16	
I4.4.1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	3	1
I4.4.2	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	15	17
I4.4.3	15	16	8	12	7	11	14	15	10	11	10	16	8	15	13	16	8	12	4	11	14	13	9	10	9	16	6	13	
I4.4.4	2	2	14	1	2	2	1	2	4	6	4	1	17	2	2	3	14	2	5	2	1	2	4	6	4	1	17	2	
I5.1.1	5	2	5	4	1	9	4	4	6	4	6	8	7	5	4	2	5	3	1	9	3	3	6	3	6	8	7	4	
I5.1.2	6	5	1	3	4	8	3	6	3	3	3	10	2	6	6	6	1	4	7	8	4	6	4	4	4	10	2	6	
I5.1.3	10	13	2	9	10	10	9	11	4	10	4	13	1	10	9	12	2	8	2	10	8	9	3	8	3	13	1	9	
I5.2.1	1	1	3	1	3	7	1	1	1	1	1	1	14	1	1	1	3	1	4	7	1	1	1	1	1	1	14	1	
I5.2.2	7	7	14	7	12	2	8	7	10	7	10	5	10	7	7	7	14	7	15	3	9	7	11	7	11	4	11	7	
I5.2.3	14	15	11	13	7	12	17	14	13	13	13	15	11	14	14	13	11	13	5	11	16	14	12	12	12	14	10	14	



Инструменты	Вариант 1 (Crisp DEMATEL + 14 MCDM)														Вариант 2 (Fuzzy DEMATEL + 14 MCDM)													
	SAW	TOPSIS	PROMETH EE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	VIKOR	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	CoCoSo	MARCOS
I5.2.4	9	9	16	11	9	5	12	9	12	12	12	6	8	9	10	10	16	12	13	5	13	10	13	13	13	5	9	10
I5.3.1	8	10	7	10	8	3	10	8	5	9	5	9	3	8	8	11	7	11	10	2	11	8	5	10	5	9	3	8
I5.3.2	15	14	12	14	15	14	16	15	15	14	15	17	13	15	15	14	12	15	14	15	15	15	14	14	14	17	13	15
I5.3.3	17	16	13	17	16	16	18	17	17	15	17	18	12	17	17	16	13	17	11	17	18	17	17	16	17	18	12	17
I5.3.4	16	17	10	16	14	17	11	16	16	17	16	14	17	16	16	17	10	14	3	16	10	16	16	15	16	12	16	16
I5.3.5	13	11	8	12	13	15	13	13	11	11	11	16	9	13	13	9	8	10	8	14	12	13	10	9	10	15	8	13
I5.3.6	18	18	17	18	18	18	14	18	18	18	18	11	18	18	18	18	17	18	18	18	14	18	18	18	18	11	18	18
I5.3.7	4	4	9	6	11	4	6	5	7	6	7	7	5	4	5	4	9	6	12	4	5	5	7	6	7	6	5	5
I5.4.1	2	3	6	2	5	1	2	2	2	2	2	3	6	2	2	3	6	2	6	1	2	2	2	2	2	2	6	2
I5.4.2	3	8	15	8	2	6	5	3	9	8	9	2	16	3	3	8	15	9	9	6	6	4	9	11	9	3	17	3
I5.4.3	11	6	4	5	17	13	7	10	8	5	8	12	4	11	11	5	4	5	17	13	7	11	8	5	8	16	4	11
I5.4.4	12	12	18	15	6	11	15	12	14	16	14	4	15	12	12	15	18	16	16	12	17	12	15	17	15	7	15	12
I6.1.1	2	2	1	1	1	4	1	2	1	1	1	3	2	2	2	2	1	1	5	4	3	2	2	1	2	4	2	2
I6.1.2	17	17	16	17	18	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	18	16	17	17	17	17	17	17	16	17
I6.1.3	13	12	12	16	16	16	13	13	16	12	16	13	12	13	15	12	12	16	16	17	15	15	16	13	16	15	13	15
I6.2.1	4	5	14	5	4	2	5	4	5	7	5	4	9	4	4	5	14	5	7	2	4	4	6	8	6	3	9	4
I6.2.2	9	6	17	7	9	7	8	9	11	10	11	5	15	9	10	7	17	10	13	9	9	10	15	11	15	6	17	10
I6.2.3	5	3	15	4	7	10	4	5	8	4	8	2	14	5	7	3	15	4	10	10	5	7	9	4	9	2	14	7
I6.2.4	6	4	13	6	8	5	6	6	6	5	6	6	10	6	6	4	13	6	11	6	6	6	8	7	8	8	10	6
I6.3.1	3	1	10	2	3	3	2	3	3	2	3	1	3	3	3	1	10	2	6	3	2	3	4	3	4	1	4	3
I6.3.2	14	14	5	14	13	11	14	14	10	13	10	16	6	14	13	15	5	14	14	11	14	13	10	12	10	16	5	13
I6.3.3	16	16	8	15	12	17	16	16	15	16	15	14	13	16	16	16	8	15	9	15	16	16	14	16	14	13	12	16
I6.3.4	12	15	6	11	10	13	12	12	13	15	13	9	18	12	12	14	6	11	3	13	12	12	12	15	12	9	18	12
I6.4.1	15	13	7	13	14	14	15	15	14	14	14	15	11	15	14	13	7	13	8	14	13	14	13	14	13	14	11	14
I6.4.2	8	9	4	9	11	9	9	8	9	6	9	11	5	8	8	9	4	8	15	8	8	8	7	5	7	11	6	8
I6.4.3	1	7	2	3	5	6	3	1	2	3	2	8	1	1	1	6	2	3	2	5	1	1	1	2	1	7	1	1
I6.5.1	11	11	9	12	15	12	11	11	12	11	12	12	8	11	11	11	9	12	12	12	11	11	11	10	11	12	7	11
I6.5.2	10	10	3	10	6	8	10	10	7	8	7	10	4	10	9	10	3	9	4	7	10	9	5	6	5	10	3	9
I6.5.3	18	18	18	18	17	18	18	18	18	18	18	18	16	18	18	18	18	18	17	18	18	18	18	18	18	18	15	18
I6.5.4	7	8	11	8	2	1	7	7	4	9	4	7	7	7	5	8	11	7	1	1	7	5	3	9	3	5	8	5

## Результаты решения задачи линейного программирования поиска оптимальной комбинации инструментов ЗЛ

№ эксперимента	Комбинация инструментов ЗЛ	Число ИЗЛ	Значение целевой функции	Запас / расход логистического ресурса на реализацию инструментов ЗЛ				Резерв ресурсов
				Матер.	Финанс.	Услуг	Инфо.	
экс.1	П1.1.4, П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.3, I3.4.1, I3.4.2, I3.4.3, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.2.1, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1, I6.3.1, I6.4.2	20	2,113	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2768
				<b>0,1000</b>	0,1800	0,2070	0,2362	
экс.2	П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.2, I3.2.3, I3.4.2, I3.4.3, I4.1.6, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.1.2, I5.2.1, I5.2.2, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.4.2	20	2,091	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2701
				<b>0,1000</b>	0,2042	0,2257	<b>0,2000</b>	
экс.3	П1.1.4, П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.3, I3.4.1, I3.4.2, I3.4.3, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.2.1, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1, I6.4.2	20	2,113	0,1	0,4	0,2	0,3	0,2776
				<b>0,1000</b>	0,1831	<b>0,2000</b>	0,2393	
экс.4	П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.2, I3.2.3, I3.4.2, I3.4.3, I4.1.6, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.1.2, I5.2.1, I5.2.2, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.4.2	20	2,091	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2701
				<b>0,1000</b>	0,2042	0,2257	<b>0,2000</b>	
экс.5	П1.1.4, П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.3, I3.4.1, I3.4.2, I3.4.3, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.2.1, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1, I6.3.1, I6.4.2	20	2,113	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2768
				<b>0,1000</b>	0,1800	0,2070	0,2362	
экс.6	П1.1.4, П1.2.5, П1.5.2, I2.3.2, I3.2.1, I3.2.3, I3.4.1, I3.4.2, I3.4.3, I4.3.3, I4.3.4, I4.4.1, I5.2.1, I5.3.4, I5.3.6, I5.3.7, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1, I6.4.2	20	2,113	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2776
				<b>0,1000</b>	0,1831	<b>0,2000</b>	0,2393	
экс.7	П1.1.4, П1.2.2, П1.5.2, I2.4.4, I2.4.5, I3.2.4, I3.4.1, I3.4.2, I4.3.2, I4.3.4, I4.4.2, I4.4.4, I5.3.4, I5.3.6, I5.4.1, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1	19	1,899	0,2	0,1	0,3	0,4	0,3317
				0,1229	<b>0,1000</b>	0,1794	0,2660	
экс.8	П1.1.4, П1.2.2, П1.5.2, I2.4.4, I2.4.5, I3.2.4, I3.4.1, I3.4.2, I4.3.2, I4.3.4, I4.4.2, I4.4.4, I5.3.4, I5.3.6, I5.4.1, I5.4.3, I5.4.4, I6.1.1	19	1,899	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3317
				0,1229	<b>0,1000</b>	0,1794	0,2660	
экс.9	П1.5.3, П1.5.4, I3.2.1, I3.2.2, I3.2.3, I3.4.3, I3.5.3, I3.5.4, I4.1.1, I4.1.4, I4.1.6, I4.2.1, I4.2.2, I4.3.3, I5.1.1, I5.1.2, I5.1.3, I5.2.1, I5.2.2, I5.2.3, I5.3.2, I6.5.2	23	2,352	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1271
				0,2000	0,2852	0,2877	<b>0,1000</b>	
экс.10	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.5, П1.4.1, П1.4.4, П1.5.2, I2.1.3, I2.1.4, I2.2.3, I3.4.1, I3.5.1, I3.5.2, I3.5.4, I4.4.1, I5.2.4, I5.3.7, I5.4.4, I6.1.2, I6.4.3	21	2,126	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2289
				<b>0,2000</b>	0,2223	<b>0,1000</b>	0,2488	
экс.11	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.5, П1.4.1, П1.4.4, П1.5.2, I2.1.3, I2.1.4, I2.2.3, I3.4.1, I3.5.1, I3.5.2, I3.5.4, I4.4.1, I5.2.4, I5.3.7, I5.4.4, I6.1.2, I6.4.3	21	2,126	0,2	0,4	0,1	0,3	0,2289
				<b>0,2000</b>	0,2223	<b>0,1000</b>	0,2488	

№ экспери- мента	Комбинация инструментов ЗЛ	Число ИЗЛ	Значение целевой функции	Запас / расход логистического ресурса на реализацию инструментов ЗЛ				Резерв ресурсов
				Матер.	Финанс.	Услуг	Инфо.	
экс.12	П1.5.3, П1.5.4, И3.2.1, И3.2.2, И3.2.3, И3.4.3, И3.5.3, И3.5.4, И4.1.1, И4.1.4, И4.1.6, И4.2.1, И4.2.2, И4.3.3, И5.1.1, И5.1.2, И5.1.3, И5.2.1, И5.2.2, И5.2.3, И5.3.2, И6.5.2	23	2,352	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1271
				<b>0,2000</b>	0,2852	0,2877	<b>0,1000</b>	
экс.13	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.2, П1.2.5, П1.4.1, П1.5.2, П1.5.3, И2.2.3, И3.4.1, И3.5.1, И3.5.2, И3.5.4, И5.2.4, И5.3.7, И5.4.4, И6.1.2, И6.2.4, И6.4.3	19	2,083	0,3	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	0,4	0,2517
				0,2202	<b>0,2000</b>	<b>0,1000</b>	0,2281	
экс.14	П1.3.1, П1.5.2, П1.5.3, П1.5.4, И3.2.1, И3.2.4, И3.3.2, И3.5.3, И4.1.4, И4.1.5, И4.2.1, И5.1.1, И5.1.2, И5.1.3, И5.2.1, И5.2.2, И5.2.3, И6.2.3, И6.2.4, И6.5.1	20	2,120	0,3	<b>0,2</b>	0,4	<b>0,1</b>	0,1914
				0,2495	<b>0,2000</b>	0,2591	<b>0,1000</b>	
экс.15	П1.1.4, П1.2.2, П1.5.2, И2.4.4, И2.4.5, И3.2.4, И3.4.1, И3.4.2, И4.3.2, И4.3.4, И4.4.2, И4.4.4, И5.3.4, И5.3.6, И5.4.1, И5.4.3, И5.4.4, И6.1.1	19	1,899	0,3	<b>0,1</b>	0,2	0,4	0,3317
				0,1229	<b>0,1000</b>	0,1794	0,2660	
экс.16	П1.2.2, П1.5.2, И3.2.4, И3.3.2, И3.4.1, И3.4.2, И4.3.2, И4.3.4, И4.4.4, И5.1.1, И5.1.3, И5.3.4, И5.4.1, И5.4.2, И5.4.3, И5.4.4, И6.2.4, И6.5.1	18	1,834	0,3	<b>0,1</b>	0,4	<b>0,2</b>	0,3308
				0,1724	<b>0,1000</b>	0,1968	<b>0,2000</b>	
экс.17	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.3, П1.2.5, П1.4.1, П1.5.2, П1.5.3, П1.5.4, И2.2.3, И3.5.1, И3.5.2, И3.5.4, И4.1.1, И4.4.1, И5.2.4, И5.3.7, И6.1.2, И6.4.3	19	2,085	0,3	0,4	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	0,2428
				0,2287	0,2285	<b>0,1000</b>	<b>0,2000</b>	
экс.18	П1.2.1, П1.5.3, П1.5.4, И2.2.3, И3.2.1, И3.2.2, И3.2.3, И3.5.3, И3.5.4, И4.1.1, И4.1.4, И4.1.5, И4.2.1, И4.3.3, И5.2.1, И5.2.2, И5.2.4, И6.2.2, И6.2.3, И6.2.4, И6.4.3	21	2,205	0,3	0,4	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	0,1306
				0,2965	0,2729	<b>0,2000</b>	<b>0,1000</b>	
экс.19	П1.1.4, П1.2.2, П1.5.2, И2.4.4, И2.4.5, И3.2.4, И3.4.1, И3.4.2, И4.3.2, И4.3.4, И4.4.2, И4.4.4, И5.3.4, И5.3.6, И5.4.1, И5.4.3, И5.4.4, И6.1.1	19	1,899	0,4	<b>0,1</b>	0,2	0,3	0,3317
				0,1229	<b>0,1000</b>	0,1794	0,2660	
экс.20	П1.2.2, П1.5.2, И3.2.4, И3.3.2, И3.4.1, И3.4.2, И4.3.2, И4.3.4, И4.4.4, И5.1.1, И5.1.3, И5.3.4, И5.4.1, И5.4.2, И5.4.3, И5.4.4, И6.2.4, И6.5.1	18	1,834	0,4	<b>0,1</b>	0,3	<b>0,2</b>	0,3308
				0,1724	<b>0,1000</b>	0,1968	<b>0,2000</b>	
экс.21	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.2, П1.2.5, П1.4.1, П1.5.2, П1.5.3, И2.2.3, И3.4.1, И3.5.1, И3.5.2, И3.5.4, И5.2.4, И5.3.7, И5.4.4, И6.1.2, И6.2.4, И6.4.3	19	2,083	0,4	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	0,3	0,2517
				0,2202	<b>0,2000</b>	<b>0,1000</b>	0,2281	
экс.22	П1.3.1, П1.5.2, П1.5.3, П1.5.4, И3.2.1, И3.2.4, И3.3.2, И3.5.3, И4.1.5, И4.2.1, И5.1.1, И5.1.2, И5.1.3, И5.2.1, И5.2.2, И5.2.3, И6.2.3, И6.2.4, И6.5.1	20	2,120	0,4	<b>0,2</b>	0,3	<b>0,1</b>	0,1914
				0,2495	<b>0,2000</b>	0,2591	<b>0,1000</b>	
экс.23	П1.2.1, П1.5.3, П1.5.4, И2.2.3, И3.2.1, И3.2.2, И3.2.3, И3.5.3, И3.5.4, И4.1.1, И4.1.4, И4.1.5, И4.2.1, И4.3.3, И5.2.1, И5.2.2, И5.2.4, И6.2.2, И6.2.3, И6.2.4, И6.4.3	21	2,205	0,4	0,3	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	0,1306
				0,2965	0,2729	<b>0,2000</b>	<b>0,1000</b>	
экс.24	П1.1.1, П1.1.3, П1.1.4, П1.2.1, П1.2.3, П1.2.5, П1.4.1, П1.5.2, П1.5.3, П1.5.4, И2.2.3, И3.5.1, И3.5.2, И3.5.4, И4.1.1, И4.4.1, И5.2.4, И5.3.7, И6.1.2, И6.4.3	19	2,085	0,4	0,3	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	0,2428
				0,2287	0,2285	<b>0,1000</b>	<b>0,2000</b>	

\* – жирным шрифтом выделены ограничивающие ресурсы

## Акты внедрения результатов диссертационной работы



004643

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г. И. Носова»**  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)  
пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000  
Тел.: 8 (3519) 29-84-02; Факс: 8 (3519) 23-57-59, 29-84-26  
E-mail: [mgtu@mgtu.ru](mailto:mgtu@mgtu.ru); <http://www.mgtu.ru>  
ОПКО 02069384, ОГРН 1027402065437,  
ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education  
of the Russian Federation  
Federal State Budgetary  
Educational Institution of Higher Education  
**«Nosov Magnitogorsk State  
Technical University»**  
(FSBEIE «NMSTU»)  
38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000  
Tel.: +7 3519 298 402; Fax: +7 3519 235 759, +7 3519 298 426  
E-mail: [mgtu@mgtu.ru](mailto:mgtu@mgtu.ru); <http://www.mgtu.ru>  
ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437  
INN/KPP 7414002238/745601001

01.12.2022 № 66.02-4602

На/To № \_\_\_\_\_ от/dated \_\_\_\_\_

В диссертационный совет Д 40.2.002.06  
на базе в федерального государственного  
автономного образовательного учрежде-  
ния высшего образования «Российский  
университет транспорта» по адресу:  
127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 9,  
стр. 9.

Акт о внедрении результатов диссертации Осинцева Никиты Анатольевича на тему «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков»

Результаты диссертационной работы Осинцева Никиты Анатольевича на тему «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук, применяются в образовательном процессе кафедры логистики и управления транспортными системами ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Теоретические и практические результаты диссертации внедрены в образовательный процесс кафедры логистики и управления транспортными системами при подготовке бакалавров по направлению 38.03.02 «Менеджмент (Логистика)»: дисциплины «Зелёная логистика», «Международные перевозки», «Логистика складирования», «Организация грузовых автомобильных перевозок»; инженеров путей сообщения по специальности 23.05.42 «Эксплуатация железных дорог (Промышленный транспорт)»: дисциплины «Зелёная логистика», «Международные перевозки», «Транспортно-грузовые системы» и магистров по направлению подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов (Организация перевозок и управление в единой транспортной системе)»: дисциплины «Зелёная логистика» и «Проблемы современного менеджмента на транспорте».

Отдельные элементы диссертационной работы апробированы при выполнении выпускных квалификационных работ обучающихся кафедры логистики и управления транспортными системами.

Проректор по образовательной деятельности  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»



ИР Абдулваеев



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г. И. Носова»**  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)  
пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000  
Тел.: 8 (3519) 29-84-02; Факс: 8 (3519) 23-57-59, 29-84-26  
E-mail: [mgtu@mgtu.ru](mailto:mgtu@mgtu.ru); <http://www.mgtu.ru>  
ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437,  
ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education  
of the Russian Federation  
Federal State Budgetary  
Educational Institution of Higher Education  
**«Nosov Magnitogorsk State  
Technical University»**  
(FSBEIHE «NMSTU»)  
38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000  
Tel.: +7 3519 298 402; Fax: +7 3519 235 759, +7 3519 298 426  
E-mail: [mgtu@mgtu.ru](mailto:mgtu@mgtu.ru); <http://www.mgtu.ru>  
OKPO 02069384, OGRN 1027402065437  
INN/KPP 7414002238/745601001

0 2. 1 2. 2022 № 44-4291

На/To № \_\_\_\_\_ от/dated \_\_\_\_\_

В диссертационный совет Д 40.2.002.06  
на базе в федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
**«Российский университет транспорта»**  
127055, г. Москва, ул. Образцова,  
д. 9, стр. 9

Акт использования результатов диссертационной работы Осинцева Никиты Анатольевича  
«Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков»

Результаты диссертационной работы Осинцева Никиты Анатольевича «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков» были использованы:

1. При формировании мероприятий в рамках реализации Программы развития ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова на 2017-2021 гг. – «Разработка новых требований и механизмов реализации экологического просвещения населения» и «Научно-образовательный центр «Логистические технологии устойчивого развития»;
2. При разработке тематических блоков Стратегии социально-экономического развития Челябинской области на период до 2035 года – «Комплексная оценка социально-экономического потенциала регионов для размещения объектов логистической инфраструктуры» (Мероприятие 1.8);
3. При разработке Программы трансформации ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в Университетский центр создания инноваций (проект Минобрнауки РФ «Вузы как центры пространства создания инноваций») – «Устойчивое развитие и «зеленая» логистика» (Мероприятие 1. Формирование систем обеспечения экологической безопасности предприятий и организаций горнодобывающей, металлургической и транспортной отраслей. Мероприятие 2. Повышение уровня экологического сознания и образования населения для устойчивого развития. Мероприятие 3. Создание лаборатории имитационного моделирования).

Проректор по научной и  
инновационной работе



О.Н. Тулупов

Э.Ю. Мещеряков  
8(3519)22-21-13

**Российская Федерация**  
**Общество с ограниченной ответственностью**  
**«Дельта»**

Юридический адрес: 455000, г. Магнитогорск, проезд Черемуховый, дом 4  
 ИНН 7456014179 КПП 745601001  
 ОГРН 1137456000428  
 тел. 8 (3519) 46-24-00, +7-908-086-24-00

р/сч 40702810607460010342  
 БИК 047501711  
 к/сч 30101810400000000711  
 ПАО «ЧЕЛИНДБАНК» в г. Челябинск

**Акт**

о практическом использовании результатов диссертационной работы Осинцева Никиты Анатольевича «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков»

Настоящим актом ООО «Дельта» подтверждает, что результаты диссертационной работы Осинцева Никиты Анатольевича «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей грузопотоков» были внедрены в хозяйственной деятельности предприятия при организации перевозок грузов на направлениях: Челябинская область – Санкт-Петербург – Калининград, Челябинская область – Новосибирск – Иркутск, Москва – Уфа – Челябинская область и в настоящее время используются в аналитической работе.

В частности используются:

1. Рекомендации при разработке стратегии развития ООО «Дельта» по обновлению парка автомобилей до 2030 года.
2. Модель расчета оптимальных параметров маршрутов с учетом особенностей регионов следования.
3. Методика экспертной оценки и ранжирования решений по выбору поставщиков.

Директор ООО «Дельта»



А.В. Шаронов





Публичное акционерное общество  
«Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)

ул. Кирова, 93, г. Магнитогорск, Челябинской области, России, 455000  
т. 24-30-64, ф. 24-10-14

### ЦЕХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

13.01.2023 № 49-09/001

об использовании результатов  
докторской диссертации Осинцева  
Никиты Анатольевича  
«Методологические основы  
устойчивого развития логистических  
цепей грузопотоков»

Разработанные при подготовке диссертации Осинцева Н.А. предложения по формированию методов анализа параметров вагонопотоков, оперативного контроля маршрутов движения вагонов, алгоритмов и моделей оптимизации функционирования промышленных железнодорожных станций использованы в практической деятельности УЖДТ и управления логистики ПАО «ММК».

Полученные в диссертации результаты использованы при выполнении хоздоговорных научно-исследовательских работ: «Разработка мероприятий по устранению ограничений в переработке вагонопотоков и выявление мест возникновения затрат» (2007 г.), «Разработка программных методов сокращения простоев вагонов парка ОАО «РЖД» на основе оптимизации маршрутов движения вагонопотоков на подъездном пути ОАО «ММК»» (2008-2009 гг.), «Математическое обеспечение интеллектуального модуля управления вагонопотоками в составе автоматизированной системы диспетчерского контроля УЖДТ ОАО «ММК»» (2012 г.), «Разработка технологической схемы прослеживаемости подвижного состава на железнодорожных путях ОАО «ММК»» (2013 г.).

Начальник цеха



— Д.Ю. Можейко —

Ишмуратов Василь Батырович  
24-75-04

№ 34/01 от 09.01.2023 г.  
 На №

В диссертационный совет Д 40.2.002.06  
 на базе федерального государственного  
 автономного образовательного учреждения  
 высшего образования  
 «Российский университет транспорта»  
 127055, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9



Традиционное производство с 1899 года  
 Публичное акционерное общество  
 «Уральский асбестовый  
 горно-обогатительный комбинат»  
 (ПАО «Ураласбест»)  
 ОГРН 1026600626777  
 Россия, 624261  
 Свердловская область г. Асбест, ул.  
 Уральская, д. 66  
 Телефон: +7 (34365) 41-009  
 E-mail: office@uralasbest.ru  
 Сайт: www.uralasbest.ru

### Акт

внедрения результатов диссертации Осинцева Никиты Анатольевича  
 «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей  
 грузопотоков»

Разработанные в диссертационной работе Осинцева Н.А. на тему  
 «Методологические основы устойчивого развития логистических цепей  
 грузопотоков» методы и модели принятия решений на различных уровнях  
 управления рекомендованы к внедрению в Управлении железнодорожного  
 транспорта ПАО «Ураласбест».

Полученные в диссертации результаты использованы при принятии решений  
 по согласованию режимов работы подразделений ПАО «Ураласбест», а именно:

- при разработке и использовании комбинированной аналитико-имитационной модели «АсТра» с целью анализа параметров транспортных (ресурсных) потоков;
- при обосновании проектных решений по совершенствованию схемы путевого развития путей необщего пользования комбината.

Директор по управлению производством  
 ПАО «Ураласбест»



Д.В. Александрин

