

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
(СибАДИ)»

Институт «Магистратуры и аспирантуры»
Кафедра «Организация перевозок и безопасность движения»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

**Тема: «Разработка методики оперативного планирования
интеллектуальной транспортно-логистической системы»**

по направлению подготовки 27.06.01 «Управление в технических системах»
научная направленность: «Управление процессами перевозок»

Аспирантки гр. УТС-21MAZ1:


Допустить к защите научного доклада:

Заведующий кафедрой «ОПиБД»


Научный руководитель

Нормоконтроль

 И. В. Мирошина

 д.т.н, доцент Л. С. Трофимова

 д.т.н, профессор С.М. Мочалин

 к.т.н., доцент Н. В. Кузин

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	3
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	8
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	32
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	33

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стратегические приоритеты развития транспортного комплекса РФ закреплены в Транспортной стратегии до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. (утв. Правительством РФ). Основные задачи включают: повышение пространственной связанности регионов; увеличение транспортной доступности удаленных территорий; рост мобильности населения и внутреннего туризма; наращивание объемов и скорости транзитных грузовых перевозок; развитие мультимодальных логистических технологий; реализацию цифровой трансформации отрасли с ускоренным внедрением инновационных решений.

Концепция научно-технологического развития транспортного комплекса до 2035 г. определяет приоритеты создания автономных беспилотных транспортных средств, высокоскоростных магистралей, интеллектуальных систем управления транспортными потоками, современных телекоммуникационных технологий. Особое внимание уделяется интеллектуальным транспортно-логистическим системам (далее ИТЛС) как ключевому элементу цифровизации отрасли.

Промышленные предприятия России активно переходят на принципы логистики и управления цепями поставок для оптимизации транспортно-логистических процессов. Однако сложная структура взаимодействия поставщиков, производителей и потребителей требует разработки специализированных методик анализа транспортных потоков в различных конфигурациях логистических цепей.

Критическая проблема отрасли - отсутствие унифицированных методик централизованного управления автомобильными логистическими цепями поставок. Традиционное планирование транспортных операций характеризуется сверхнормативными простоями под погрузкой/разгрузкой, систематическим несоблюдением договорных сроков поставок, неоптимальным использованием транспортного парка, повышенными логистическими издержками (до 15–20% от себестоимости продукции).

Разработка методики оперативного планирования ИТЛС приобретает государственное значение, обеспечивая:

- согласованное управление логистикой снабжения, производства, распределения;
- минимизацию простоев и оптимизацию транспортных ресурсов;

- точное соблюдение сроков поставок в условиях высокой изменчивости спроса;
- реализацию приоритетов цифровой трансформации транспортного комплекса;
- конкурентные преимущества российских производителей на внутреннем и внешнем рынках.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические основы логистических цепей сформированы в фундаментальных трудах зарубежных и отечественных ученых. Классические концепции разработаны Д. Бауэрсоксом и Д. Клоссом, Д. Уоттерсом, отечественными исследователями Л.Б. Миротиным, П.В. Куренковым, А.С. Балалаевым, заложившими методологические основы транспортной логистики в условиях рыночной экономики. [15, 33, 39]

Классификация логистических цепей детально проработана в исследованиях Д.А. Иванова, В.И. Сергеева, А.М. Гаджинского, разработавших типологии по функциональным, структурным и территориальным признакам. [4, 10, 25]

Управление логистическими потоками получило развитие в работах М. Кристофера, Б.А. Аникина, В.И. Сергеева, В.А. Корчагина, М.А. Парфенова, акцентировавших внимание на интеграции процессов снабжения, производства и распределения. [9, 18]

Управление ИТЛС освещено в трудах Дж. Клосса, российских ученых В.И. Николина, В.В. Зырянова, О.Н. Ларина, С.М. Мочалина, разработавших теоретические основы автоматизированного управления транспортными потоками. [20, 34]

Методы повышения эффективности транспортных систем на основе логистических принципов исследованы Дж. Стоком, Л.Б. Миротиным, В.И. Сергеевым, А.Н. Новиковым, А.М. Гаджинским, В.М. Кургановым, С.М. Мочалиным, С.М. Резером, В. В. Щербаковым, В.С. Лукинским, предложившими комплексные подходы к оптимизации транспортно-технологических процессов. [32, 36, 38]

Вопросы оптимизации и динамического планирования логистических цепей в ИТЛС рассмотрены иностранными учеными Г. Ци, Ю. Ли, Б. Муником, А. Шармой, российскими авторами И.В. Сергеевым, С.В. Жанказиевым, разработавшими алгоритмы интеллектуальных маршрутизаций и прогнозирования транспортных потоков. [7, 26]

Объектом исследования являются комплексные цепи поставок грузов автомобилями (далее КЦПГА) в ИТЛС.

Предметом исследования являются функциональные зависимости процессов перевозок грузов в цепях поставок автомобилями в ИТЛС.

Цель работы — разработка методики оперативного планирования ИТЛС.

Для достижения цели были поставлены и решены задачи:

1 Выполнить анализ научного методологического и практического опыта развития процессов в комплексных цепях поставок грузов автомобилями (КЦПГА) в ИТЛС;

2 Разработать усовершенствованную классификации цепей поставок грузов автомобилями в ИТЛС;

3 Разработать оптимизационную модель функционирования КЦПГА в ИТЛС;

4 Разработать методику оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС;

5 Выполнить оценку эффективности разработанной методики КЦПГА в ИТЛС.

Методы и модели исследования. Системный анализ, теория транспортной логистики, теория транспортных процессов

Научная новизна исследования заключается в разработке следующих положений:

1) Разработана усовершенствованная классификация цепей поставок грузов автомобильным транспортом, учитывающая факторы транспортной логистики;

2) Разработана оптимизационная модель функционирования КЦПГА в ИТЛС, включающая логистику снабжения, сбыта и транспортные процессы;

3) Разработана методика планирования КЦПГА в ИТЛС.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в систематическом исследовании и уточнении положений теории логистики отечественных и зарубежных авторов, дополнении методологических основ оценки функционирования комплексных цепей поставок грузов автомобилями (КЦПГА) в интеллектуальных транспортно-логистических системах (ИТЛС). Разработана усовершенствованная классификация логистических цепей с учетом факторов транспортной логистики, предложена оптимизационная модель взаимодействия процессов снабжения, производства и распределения, определены роль и место каждого

звена цепи поставок при оперативном планировании в условиях интеллектуальных транспортных систем.

Практическая значимость разработанных положений заключается в создании методики оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС, которая имеет прикладной характер и позволяет:

- оптимизировать графики работы автомобилей в интеллектуальных транспортных системах;
- координировать транспортные потоки между этапами логистической цепи;
- рассчитывать оптимальное количество транспортных средств с учетом синхронизации циклов поставок;
- минимизировать сверхнормативные простои и логистические издержки.

Методика может быть использована:

- транспортно-логистическими компаниями при планировании междугородних грузовых перевозок;
- производственными предприятиями для оптимизации цепей поставок сырья и готовой продукции;
- операторами ИТС при разработке алгоритмов управления транспортными потоками;
- органами государственного управления транспортом для реализации Транспортной стратегии РФ.

Положения, выносимые на защиту:

- 1 Усовершенствованная классификация цепей поставок грузов автомобилями в ИТЛС, учитывающая факторы транспортной логистики;
- 2 Оптимизационная модель функционирования КЦПГА в ИТЛС;
- 3 Методика оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС.

Область исследований соответствует п.2 «Технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов» и п. 8 «Информационное, математическое и алгоритмическое обеспечение систем управления, включая методологию исследования и проектирования» паспорта научной специальности 2.9.4 «Управление процессами перевозок».

Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций обеспечивается использованием апробированных научных методов исследования, соответствием порядка проведения исследований вышеперечисленными методами, описанными в научных трудах,

достоверностью исходных данных, апробацией при обсуждении результатов на научных конференциях, при выполнении научно-исследовательской работы.

Апробация и реализация результатов работы. Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных международных конференциях и выставках, 2023, 2024, 2026 гг.

Публикации. По материалам научной работы опубликовано 1 печатная работа в журнале International Journal of Advanced Studies. № 2 (2024г.), рекомендованном ВАК РФ. 1 статья направлена на размещение в журнал «Вестник СибАДИ».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертационной работы, представлены цель и задачи научного исследования, излагается теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, осуществляется выбор объекта исследования и предмета исследования, обосновывается научная новизна работы, формулируются положения, выносимые на защиту диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ научного, методологического и практического опыта развития процессов в КЦПГА в ИТЛС, раскрыта актуальность темы научного исследования, определены объект, предмет, задачи и общая методика проведения исследования.

Проведенный обзор известных источников с описанием теоретических и экспериментальных исследований, включающие труды российских и зарубежных ученых Б.А. Аникина, А.С. Балалаева, А.М. Гаджинского, Д.А. Иванова, В.А. Корчагина, В.М. Курганова, П.В. Куренкова, В.С. Лукинского, Л.Б. Миротина, С.М. Мочалина, В.И. Николина, А.Н. Новикова, М.А. Парфенова, С.М. Резера, В.И. Сергеева, И.В. Сергеева, Ю.А. Щербанина, С.В. Жанказиева, В.В. Зырянова, О.Н. Ларина и зарубежных ученых: Д. Бауэрсокса, Дж. Клосса, М. Кристофера, Ю. Ли, Б. Муники, Дж. Стока, Д. Уоттерса, Г. Ци, А. Шармы и др. показал, что при высокой теоретической разработанности вопросов управления логистическими потоками и интеллектуальными транспортными системами отсутствуют комплексные методологии оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС.

Анализ практического опыта транспортно-логистических предприятий выявил ключевые проблемы: сверхнормативные простои под погрузкой/разгрузкой (15–20% времени), несоблюдение договорных сроков поставок (до 25% опозданий), неоптимальное использование транспортного парка (коэффициент загрузки 65–70%), повышенные логистические издержки (12–18% от себестоимости).

Несомненная теоретическая ценность существующих разработок требует адаптации к современным условиям цифровизации транспорта на основе положений системного анализа, теории транспортных процессов, методов оптимизации логистических систем и алгоритмов интеллектуального планирования, что определяет методологическую основу настоящего исследования.

Во второй главе изложены основные подходы и методы к классификации цепей поставок грузов автомобильным транспортом, проведен анализ ранее разработанных классификаций, а также предложены новые классификационные признаки, которые сами по себе выступают ключевыми факторами транспортной логистики.

Рабочая гипотеза диссертационного исследования заключается в предположении, что применение предложенной усовершенствованной классификации цепей поставок грузов автомобильным транспортом, включающей разработанные классификационные признаки, позволит повысить эффективность управления КЦПГА в ИТЛС.

Представлена усовершенствованная классификация цепей поставок грузов автомобильным транспортом.

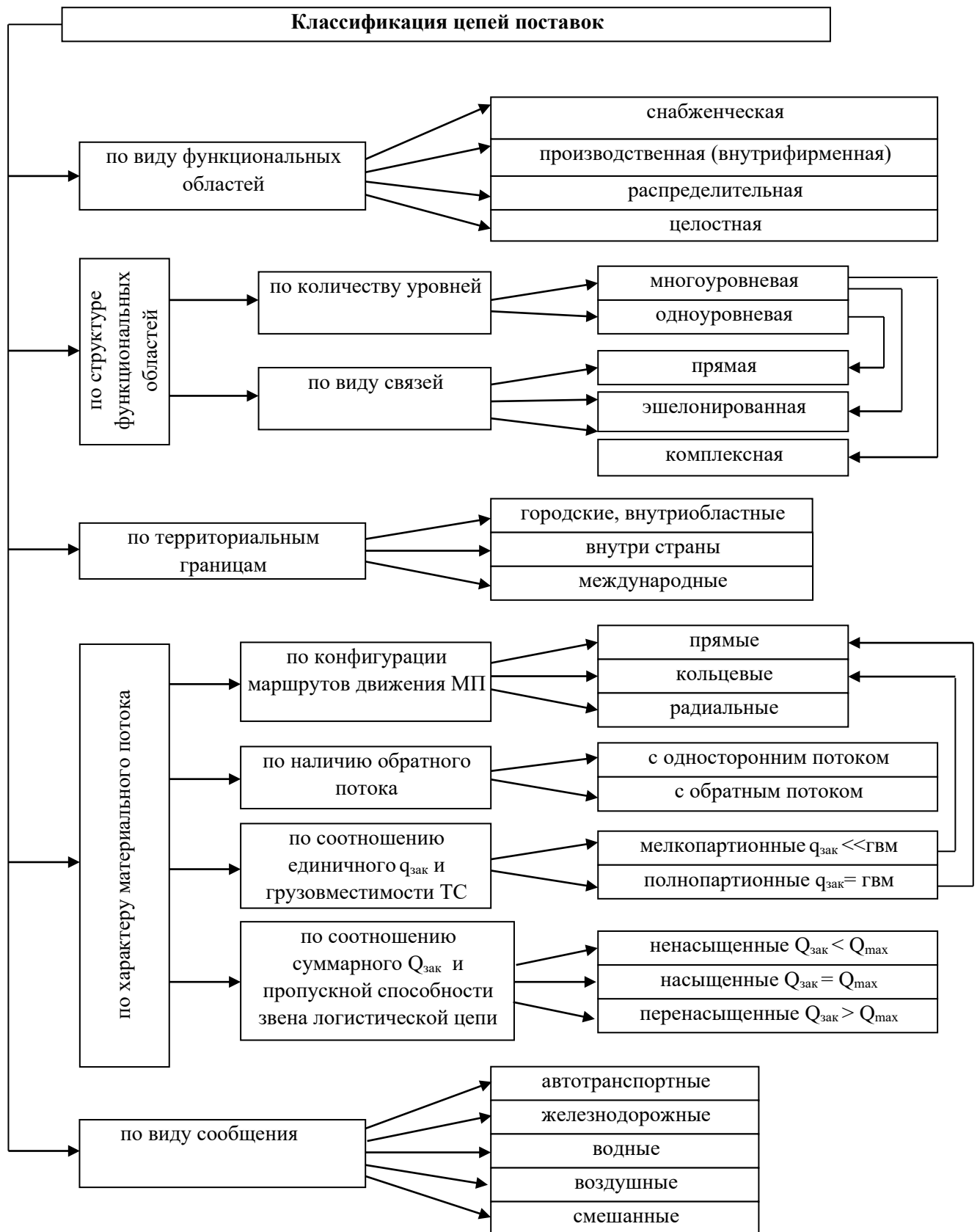


Рисунок 1 - Усовершенствованная классификация цепей поставок грузов автомобилями в ИТЛС

В третьей главе разработана оптимизационная модель функционирования КЦПГА в ИТЛС, учитывающая логистику снабжения, производства и сбыта. Объектом исследования выбираем КЦПГА в ИТЛС. Оптимизационная модель предполагает минимизацию общих операционных затрат путём грамотного управления всеми операциями цепочки поставок: закупки, производства, распределения и запасов.

Предлагается новый подход к анализу КЦПГА в ИТЛС, базирующийся на интеграции различных функциональных решений внутри производственной и дистрибьюторской сети в общую оптимизационную модель. Оптимизация каждой отдельной подсистемы не обязательно ведёт к глобальной оптимизации всей системы. Такой вывод привел к сдвигу фокуса исследований в сторону более интегрированных методов. Эффективное управление и планирование в рамках единой логистической цепи позволяет сократить затраты и ускорить выполнение заказов, одновременно повышая качество обслуживания. Экономический эффект и возможность быстрого реагирования на рыночные изменения оправдывают использование современных интегрированных моделей оптимизации логистических цепей поставок.

Условия в оптимизации математической модели функционирования КЦПГА в ИТЛС.

Оптимизационная модель включает в себя логистику снабжения, производства и сбыта. Принимаем следующие условия в оптимизации математической модели функционирования КЦПГА в ИТЛС:

- 1) Определение объёма груза, которое должно быть доставлено от поставщиков на производство, с производства потребителю.
- 2) Количество каждого вида продукции, которое будет произведено на каждом заводе в определённый период.
- 3) Объём продукции, передаваемый на аутсорсинг в каждый временной отрезок.
- 4) Уровень запасов незавершённого производства, остающихся на каждом предприятии к концу соответствующего периода.
- 5) Запасы готовой продукции, хранимые на складах каждого звена цепи поставки к концу соответствующего периода.
- 6) Количество продукции, отправляемой со складов производства на распределительные склады в соответствующий период.
- 7) Объём продукции, отгружаемой с распределительных складов конечным покупателям в указанный срок.

8) Количество продукции, направляемое напрямую со складов производителя, клиентам в течение конкретного временного интервала.

9) Общее количество готовой продукции, оставшейся на складах к концу отчётного периода.

Оптимизационная математическая модель функционирования КЦПГА в ИТЛС охватывает широкий спектр мероприятий — от снабжения сырьем и складированием его на производстве, перевозка и складирование готовой продукции по распределительной сети. Этот масштаб планирования, вовлекающий множество участников, делает логистическую задачу крайне сложной, учитывая большое число переменных и ограничений, влияющих на принятие решений.

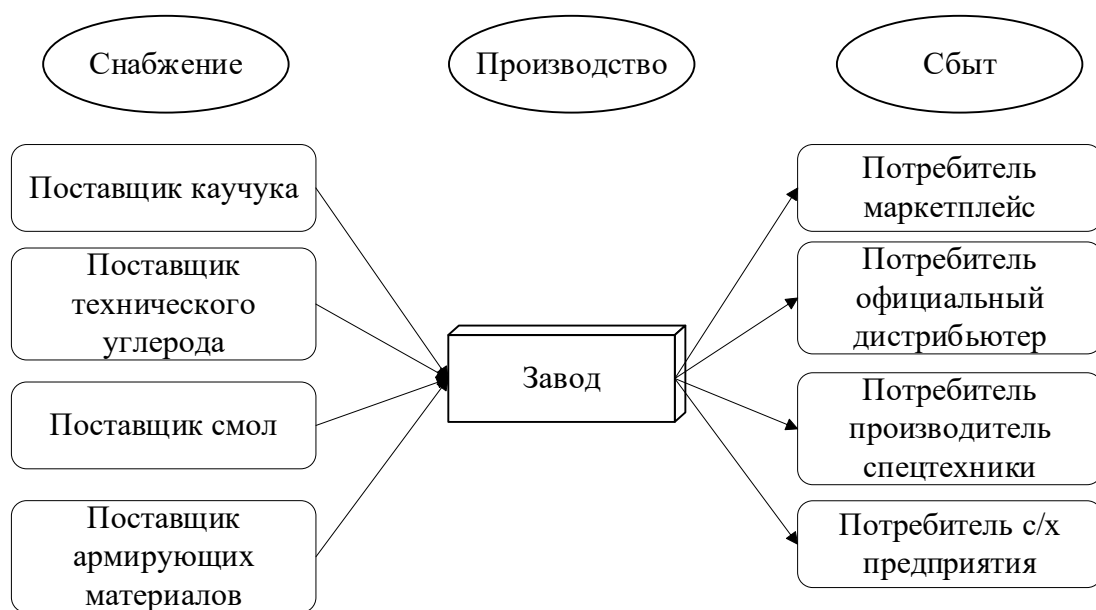


Рисунок 2 – Комплексная цепь поставки шинной продукции

Сложность проблемы, возникающей при анализе функционирования КЦПГА в ИТЛС, настолько велика, что достижение оптимального результата становится трудновыполнимой задачей. Дополнительные трудности возникают из-за сложности структуры цепи поставки, ограниченности видимости и участия разных организаций с конфликтующими интересами. Именно поэтому упрощение реальной ситуации через формулировку условий и ограничений, неизбежно при создании оптимизационной модели КЦПГА. Большинство задач относятся к классу недетерминированных трудных задач, решение которых занимает огромное время, и традиционные методы планирования и оптимизации часто оказываются неэффективными в решении оперативных планов.

Для решения задач малых и средних предприятий (от 10 до 100 участников с малой географией логистической сети) использовались разнообразные методы, такие как математическое моделирование, эвристические алгоритмы, имитационное моделирование, экспертные системы и даже методы нечеткой логики. Тем не менее, найти оптимальное решение для сложных задач ЛП с использованием существующих подходов связано с огромными вычислительными затратами. Таким образом, возникает необходимость в повышении качества и точности решений для оптимизации сложных логистических задач.

Ключевые показатели эффективности.

В первую очередь, при построении математической модели КЦПГА необходимо определить соответствующий ключевой показатель эффективности работы КЦПГА. Для оценки эффективности КЦПГА можно рассматривать ряд показателей эффективности, таких как общие системные затраты, затраты на управление запасами, эффективность доставки и оперативность реагирования сети. В литературе, посвященной моделям в логистике, указывается, что стоимостные характеристики (например, общая стоимость, прибыль, стоимость установки, стоимость доставки и штрафные санкции), основанные на затратах, являются наиболее популярными показателями эффективности. Оптимизация, основанная на затратах, имеет прямое финансовое значение. оказывает влияние на производительность системы и четко отражает эффективность цепей поставок. Предлагаемая модель КЦПГА основывается на анализе соотношения затрат, и, следовательно, целевые функции направлены на минимизацию общих затрат КЦПГА в качестве ключевого показателя эффективности.

Допущения.

В предлагаемой модели КЦПГА в ИТЛС необходимо учитывать ряд допущений. Закупочная деятельность (включая приобретение сырья и его транспортировку на заводы-изготовители) в этой модели учитывается. Поставка сырья на заводы, с заводов потребителям также учитывается в известных моделях логистического планирования цепей поставок.

Таким образом, предлагаемая модель связана с производством нескольких видов продукции на разных заводах-изготовителях и распределением готовой продукции между заводами и конечными потребителями (через несколько складов). Кроме того, спрос является детерминированным, и предполагается, что совокупный спрос на все виды конечной продукции в соответствующие периоды известен на несколько периодов в ближайшем будущем. Совокупный

спрос у каждого конечного потребителя — это общий спрос на каждый продукт, который, возможно, был заказан несколькими частными лицами и (оптовыми)розничными торговцами конечных потребителей продукции.

Другие принятые допущения.

- 1) Известен ассортимент продукции (i), которая будет производиться.
- 2) Известны количество, местоположение и мощность заводов (m) и складов (w).
- 3) Известны количество и местоположение конечных потребителей (e).
- 4) Известен ассортимент сырья (k), из которого будет производиться продукция (i).
- 5) Все требования по спросу, предъявляемые к каждому продукту, должны быть удовлетворены в течение рассматриваемого периода планирования.

Условия.

Если спрос на определенный продукт в определенный период будет отклонен, это повлечет за собой штрафные санкции.

Отложенные заказы должны быть удовлетворены в течение следующих периодов до окончания периода планирования.

Ограничения

Известны ограничения производственных и распределительных мощностей, объема поставок сырья и объема складских помещений на складских складах. Для управления запасами уровни всех видов продукции (в буферах хранения и на складах) должны быть равны нулю в начале и в конце периода планирования.

Наличие запасов незавершенного производства на предприятиях-производителях в этой модели не учитывается.

Транспортные расходы пропорциональны расстояниям транспортировки.

Зоны конечных потребителей (звено доставки на последней миле) — это места, куда продукция доставляется конечным потребителям без дальнейшей добавленной стоимостью.

Параметры и переменные для описания функционирования логистики снабжения КЦПГА в ИТЛС.

Для описания функционирования логистики снабжения КЦПГА в ИТЛС применяются следующие переменные:

k – для обозначения типов сырья для заводов-потребителей, $k=1,2,\dots, K$;

i — для типов продукции $i=1,2,\dots, I$,
 m — для производственных предприятий $m=1,2,\dots, M$,
 b — для буферного хранения $b=1,2,\dots, B$,
 w — для складов $w=1,2,\dots, W$,
 e — для конечных пользователей $e=1,2,\dots, E$,
 f — для обозначения поставщиков сырья, $f=1,2,\dots, F$,
 t — для временных периодов $t=1,2,\dots, T$.

В модели используются следующие параметры:

Параметры, применяемые при описании логистики снабжения КЦПГА в ИТЛС.

K_{kmt} — объем поставок k -го сырья на m -ое предприятие в периоде t .

P_{kmt} — себестоимость снабжения единицей k -го сырья на m -ом предприятии в периоде t .

H_{kbt} — себестоимость хранения единицы k -го сырья в b -ом буферном складе в периоде t .

Y_{kbt} — количество k -го сырья, которое оставлено в b -ом буферном складе в конце периода t .

H_{kwt} — себестоимость хранения единицы k -го сырья на w -ом складе на этапе снабжения в периоде t .

Z_{kwt} — количество k -го сырья, которое оставлено в w -ом складе в конце периода t .

T_{kbwt} — стоимость транспортировки единицы k -го сырья от буферного b -го склада до w -го склада в периоде t .

T_{kwmt} — стоимость транспортировки единицы k -го сырья от w -го склада до m -го производственного предприятия в периоде t .

T_{kbmt} — стоимость прямой транспортировки единицы k -ой сырья от b -го буферного склада до m -го производственного предприятия в периоде t .

D_{ket} — прогнозируемый спрос на k -ое сырье, предъявленный m -м производственным предприятием в периоде t .

O'_{kmt} — фиксированные затраты на поставку k -го сырья m -ым производственным предприятием в периоде t .

Выходные данные модели или переменные, значения которых необходимо определить с помощью оптимизационной модели.

J_{kbwt} — количество k -го сырья, отгруженного из b -го буферного склада на w -ый склад в течение периода t

J_{kwmt} — количество k -го сырья, отгруженного из w -го склада до m -го производственного предприятия в течение периода t

J_{kbmt} — количество k -го сырья, отгруженного из b -го буферного склада до m -го производственного предприятия в течение периода t

Булевы переменные.

$$F_{kbwt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } k - \text{ое сырье отгружено из } b \text{ буфера на } w \text{ склад в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.1)$$

$$F'_{kwmt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } k - \text{ое сырье отгружен с } w \text{ склада } m \text{ производственному} \\ & \text{предприятию в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.2)$$

$$F''_{kbmt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } k - \text{ое сырье отправлено из } b \text{ буфера } m \text{ производственному} \\ & \text{предприятию в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.3)$$

$$G_{mt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } g \text{ оборудование } m \text{ производственного предприятия} \\ & \text{работает в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.4)$$

$$G'_{wt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } w \text{ склад работает в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.5)$$

Целевая функция и ограничения модели в логистике снабжения КЦПГА в ИТЛС.

Целевая функция затрат на логистику снабжения представлена формулой 1.6.

Функция затрат от добычи до производства состоит из 6 слагаемых. Они зависят от темпов и объемов снабжения, производства и распределения на заводе или складе и могут включать затраты на строительство и оснащение, амортизацию станков и инструментов, заработную плату менеджеров, ежегодные страховые выплаты и т.д. Слагаемое 1 выражает затраты на снабжение сырьем. Слагаемые 2 и 3 представляют затраты на хранение запасов сырья в буферах хранения и на складах, соответственно. Слагаемые 4,5 и 6 отражают транспортные расходы на доставку сырья от поставщиков сырья к производителям. Это может быть сделано непосредственно с добычи производителям (как в слагаемом 4) или косвенно с добычи на склады, а затем со складов производителям (как в слагаемых 5 и 6).

$$\begin{aligned}
Z_{kmt} &= \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T K_{kmt} \cdot P_{kmt} \\
&+ \sum_{k=1}^K \sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T H_{kbt} \cdot Y_{kbt} + \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W \sum_{t=1}^T H_{kwt} \cdot Z_{kwt} \\
&+ \sum_{k=1}^K \sum_{b=1}^B \sum_{w=1}^W \sum_{t=1}^T J_{kbwt} \cdot T_{kbwt} \cdot F_{kbwt} \\
&+ \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T J'_{kwmt} \cdot T'_{kwmt} \cdot F'_{kwmt} \\
&+ \sum_{k=1}^K \sum_{b=1}^B \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T J''_{kbmt} \cdot T''_{kbmt} \cdot F''_{kbmt}
\end{aligned} \tag{1.6}$$

Модель содержит следующие ограничения

Ограничения по объему поставок сырья:

$$K_{kmt} \ll \gamma_{kmt} \forall k, m, t \tag{1.7}$$

Ограничение по удовлетворению потребности производителей:

Общий объем поставок для каждого сырья должен соответствовать прогнозируемому спросу заводов на это сырье в конце периода планирования (т.е. полное удовлетворение всех потребностей в каждом сырье в конце этапа планирования):

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (K_{kmt} \cdot O'_{kmt}) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T D_{kmt} \forall k, m, t \tag{1.8}$$

Ограничение емкости стокового запаса сырья:

$$Y_{kbt} \ll \gamma_{kbt} \forall k, b, t \tag{1.9}$$

Остаток запасов сырья в буферных складах:

$$Y_{kbt} = Y_{kb(t-1)} + [K_{kmt} + K''_{kmt}] - \left[\sum_{w=1}^W J_{kbwt} + \sum_{e=1}^E J''_{kbmt} \right] \forall k, b, m, t \tag{1.10}$$

Ограниченная вместимость центральных складов:

$$Z_{kwt} \ll HC'_{kwt} \quad \forall k, w, t \tag{1.11}$$

Ограничения пропускной способности распределительных устройств в буферных складах:

$$\sum_{b=1}^B J_{kbwt} + \sum_{b=1}^B J''_{kbwt} \ll E_{kbt} \forall k, b, t \tag{1.12}$$

Ограничение пропускной способности на центральных складах

Ограничение пропускной способности на складах:

$$\sum_{w=1}^W J'_{kwmt} \ll E'_{kwt} \forall k, w, t \quad (1.13)$$

Остатки запасов на складах:

$$Z_{kw(t-1)} + \sum_{b=1}^B J_{kbmt} \cdot F_{kbwt} = \sum_{w=1}^W J'_{kwmt} \cdot F'_{kwmt} + Z_{kwt} \forall k, w, t \quad (1.14)$$

Роль нулевого переключателя:

$$\sum_{t=0} Y_{kbt} = \sum_{t=T} Y_{kbt} = 0 \quad \forall k, b \quad (1.15)$$

$$\sum_{t=0} Z_{kwt} = \sum_{t=T} Z_{kwt} = 0 \quad \forall k, w \quad (1.16)$$

Ограничение неотрицательности для всех переменных принятия решения

$$I_{kmt} \geq 0 \quad \forall k, m, t \quad (1.17)$$

$$I'_{kmt} \geq 0 \quad \forall k, m, t \quad (1.18)$$

$$J_{kbwt} \geq 0 \quad \forall k, b, w, t \quad (1.19)$$

$$J'_{kwmt} \geq 0 \quad \forall k, w, m, t \quad (1.20)$$

$$J''_{kbmt} \geq 0 \quad \forall k, b, m, t \quad (1.21)$$

$$Y_{kbt} \geq 0 \quad \forall k, b, t \quad (1.22)$$

$$Z_{kwt} \geq 0 \quad \forall k, w, t \quad (1.23)$$

Параметры, применяемые при описании логистики производства КЦПГА в ИТЛС.

O_{mt} — фиксированные эксплуатационные затраты m -го производственного предприятия в периоде t .

O_w — фиксированные эксплуатационные затраты w -го склада в планируемом горизонте T .

H_{ibt} — себестоимость хранения единицы i -ой готовой продукции в b -ом буферном складе в периоде t .

P_{imt} — себестоимость производства единицы i -ой продукции на m -ом предприятии в периоде t .

E_{ibt} — пропускная способность b -го буферного склада для i -ой продукции в периоде t .

E_{iwt} — пропускная способность w -го склада для i -ой продукции в периоде t .

Выходные данные модели или переменные, значения которых необходимо определить с помощью оптимизационной модели. Это

I_{imt} — количество i -ой продукции, произведенной на m -ом производственном предприятии за период t

J_{ibwt} — количество i -ой продукции, отгруженной из b -го буферного склада на w -ый склад в течение периода t

J_{iwet} — количество i -ой продукции, отгруженной со w -го склада e -му конечному потребителю в течение периода t

J_{ibet} — количество продукта I , которое отправлено непосредственно из b -го буферного склада e -му конечному потребителю в течение периода t .

Y_{ibt} — количество продукта I , которое оставлено в b -ом буферном складе в конце периода t ,

Булевы переменные.

$$F_{ibwt} = \begin{cases} 1, & \text{Если продукт } i \text{ отгружен из } b \text{ буфера на } w \text{ склад в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.24)$$

$$F'_{ibwt} = \begin{cases} 1, & \text{Если продукт } i \text{ отгружен с } w \text{ склада } e \text{ конечному} \\ & \text{потребителю в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.25)$$

$$F''_{ibwt} = \begin{cases} 1, & \text{Если продукт } i \text{ отправлен из } b \text{ буфера } e \text{ конечному} \\ & \text{потребителю в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.26)$$

$$G_{mt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } g \text{ оборудование } m \text{ производственного предприятия} \\ & \text{работает в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.27)$$

$$G'_{wt} = \begin{cases} 1, & \text{Если } w \text{ склад работает в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.28)$$

$$d_{iet} = \begin{cases} 1, & \text{Если спрос на } i \text{ продукт у } e \text{ конечного потребителя} \\ & \text{не удовлетворен в период } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.29)$$

Целевая функция и ограничения модели в логистике производства КЦПГА в ИТЛС.

Целевая функция затрат на логистику производства представлена формулой 1.30.

Функция затрат на логистику производства состоит из 3 слагаемых. Слагаемое 1 представляет собой затраты на хранение k -го сырья на складах перед производственной линией. Слагаемое 2 выражает затраты на производство i -ой продукции. Слагаемое 3 представляет затраты на хранение готовой i -ой продукции на складах после производственной линии.

$$Z_{ikmt} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T G_{mt} \cdot O_{mt} + \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T I_{imt} \cdot P_{imt} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T H_{ikt} \cdot Y_{ikt} \quad (1.30)$$

В модели приняты следующие ограничения.

Ограничения по объему производства продукции:

$$I_{ikmt} \ll \gamma_{ikmt} \forall i, m, t \quad (1.31)$$

Ограничение по удовлетворению спроса производственных предприятий:

Общий объем производства для каждого продукта на всех заводах должен соответствовать прогнозируемому спросу на этот продукт в конце периода планирования (т.е. полное удовлетворение всех потребностей в каждом продукте в конце этапа планирования):

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (I_{ikmt} \cdot O'_{ikmt}) = \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T D_{iet} \forall i, m, t \quad (1.32)$$

Ограничение емкости стокового запаса:

$$Y_{ibt} \ll \gamma_{imt} \forall i, m, t \quad (1.33)$$

Остаток запасов в буферных складах:

$$Y_{ibt} = Y_{ib(t-1)} + [I_{imt} + I''_{imt}] - \left[\sum_{w=1}^W J_{ibwt} + \sum_{e=1}^E J''_{ibmt} \right] \forall i, b, m, t \quad (1.34)$$

Ограниченная вместимость центральных складов:

$$Z_{iwt} \ll HC'_{iwt} \quad \forall i, m, t \quad (1.35)$$

Роль нулевого переключателя:

$$\sum_{t=0} Y_{ibt} = \sum_{t=T} Y_{ibt} = 0 \quad \forall i, b \quad (1.36)$$

$$\sum_{t=0} Z_{iwt} = \sum_{t=T} Z_{iwt} = 0 \quad \forall i, w \quad (1.37)$$

Ограничение неотрицательности для всех переменных принятия решения

$$I_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (1.38)$$

$$I'_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (1.39)$$

$$J_{ibwt} \geq 0 \quad \forall i, b, w, t \quad (1.40)$$

$$J'_{iwet} \geq 0 \quad \forall i, w, e, t \quad (1.41)$$

$$J''_{ibet} \geq 0 \quad \forall i, b, e, t \quad (1.42)$$

$$Y_{ibt} \geq 0 \quad \forall i, b, t \quad (1.43)$$

$$Z_{iwt} \geq 0 \quad \forall i, w, t \quad (1.44)$$

Параметры, применяемые при описании логистики сбыта КЦПГА в ИТЛС.

D_{iet} — это прогнозируемый спрос на i -ый продукт, предъявленный e -м конечными пользователями в периоде t .

O_w — фиксированные эксплуатационные затраты w -го склада в планируемом горизонте T .

H_{ibt} — себестоимость хранения единицы i -ой готовой продукции в b -ом буферном складе в периоде t .

H_{iwt} — себестоимость хранения единицы i -ой готовой продукции на w -ом складе в периоде t .

HC_{ibt} — максимальная вместимость (в единицах) b -го буферного склада для i -ой продукции в периоде t .

H_{iwt} — ёмкость w -го склада для i -ой продукции в периоде t .

T_{ibwt} — стоимость транспортировки единицы i -ой продукции от буферного b -го склада до w -го склада в периоде t .

T_{iwt} — стоимость транспортировки единицы i -ой продукции от w -го склада до конечного e -го потребителя в периоде t .

T_{vbet} — стоимость прямой транспортировки i -ой единицы продукции от b -го буферного склада до конечного e -го потребителя в периоде t .

P_{imt} — себестоимость производства единицы i -ой продукции на m -ом предприятии в периоде t .

SC_{iet} — штраф за дефицит единицы i -ой продукции у конечного e -го потребителя в периоде t .

S_{iet}^{\max} — максимальное допустимое количество дефицита при задержке поставки i -ой продукции у конечного e -го потребителя в периоде t .

λ_{igmt} — время для производства i -ой продукции на g оборудовании на m -ом предприятии в периоде t .

γ_{imt} — доступное количество единиц сырья для производства i -ой продукции на m -ом предприятии в периоде t .

E_{ibt} — пропускная способность b -го буферного склада для i -ой продукции в периоде t .

E_{iwt} — пропускная способность w -го склада для i -ой продукции в периоде t .

Выходные данные модели или переменные, значения которых необходимо определить с помощью оптимизационной модели. Это

I_{imt} - Количество i -ой продукции, произведенной на m -ом производственном предприятии за период t

I_{imt} - количество i -ой продукции, переданной на аутсорсинг m -ым производственным предприятием в период t

J_{ibwt} - Количество i -ой продукции, отгруженной из b -го буферного склада на w -ый склад в течение периода t

J_{iwet} - количество i -ой продукции, отгруженной со w -го склада e -му конечному потребителю в течение периода t

J_{ibet} - количество продукта I , которое отправлено непосредственно из b -го буферного склада e -му конечному потребителю в течение периода t .

Y_{ibt} - количество продукта I , которое оставлено в b -ом буферном складе в конце периода t ,

S_{iet} - Количество продукта I , которое повторно заказывается у e -го конечного потребителя в конце периода t

Целевая функция и ограничения модели в логистике сбыта КЦПГА в ИТЛС.

Целевая функция затрат на логистику сбыта представлена формулой 1.45.

Функция затрат от производства до конечного получателя состоит из 5 слагаемых. Слагаемые 1 и 2 представляют затраты на хранение запасов продукции в буферах хранения и на складах, соответственно. Слагаемые 3, 4 и 5 отражают транспортные расходы на доставку товаров с заводов конечным потребителям. Это может быть сделано непосредственно с заводов конечным пользователям (как в слагаемом 3) или косвенно с заводов на склады, а затем со складов конечным пользователям (как в слагаемых 4 и 5).

$$\begin{aligned}
Z_{imt} = & \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T H_{ibt} \cdot Y_{ibt} + \sum_{i=1}^I \sum_{w=1}^W \sum_{t=1}^T H'_{iwt} \cdot Z_{iwt} \\
& + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{w=1}^W \sum_{t=1}^T J_{ibwt} \cdot T_{ibwt} \cdot F_{ibwt} \\
& + \sum_{i=1}^I \sum_{w=1}^W \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T J'_{iwet} \cdot T'_{iwet} \cdot F'_{iwet} \\
& + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T J''_{ibet} \cdot T''_{ibet} \cdot F''_{ibet}
\end{aligned} \tag{1.45}$$

В данной модели приняты следующие ограничения.

Ограничения по объему поставок продукции:

$$I_{imt} \ll \gamma_{imt} \forall i, m, t \tag{1.46}$$

Ограничение по удовлетворению спроса:

Общий объем производства и аутсорсинга для каждого продукта на всех заводах должен соответствовать прогнозируемому спросу на этот продукт в конце периода планирования (т.е. полное удовлетворение всех потребностей в каждом продукте в конце этапа планирования):

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (I_{ikmt} \cdot O'_{ikmt}) = \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T D_{iet} \forall i, m, t \tag{1.47}$$

Ограничение емкости стокового запаса:

$$Y_{ibt} \ll \gamma_{imt} \forall i, m, t \tag{1.48}$$

Остаток запасов в буферных складах:

$$Y_{ibt} = Y_{ib(t-1)} + [I_{imt} + I''_{imt}] - \left[\sum_{w=1}^W J_{ibwt} + \sum_{e=1}^E J''_{ibet} \right] \forall i, b, m, t \tag{1.49}$$

Ограниченная вместимость центральных складов:

$$Z_{iwt} \ll HC'_{iwt} \forall i, m, t \tag{1.50}$$

Ограничения пропускной способности распределительных устройств в буферных складах

$$\sum_{b=1}^B J_{ibwt} + \sum_{b=1}^B J''_{ibwt} \ll E_{ibt} \forall k, b, t \tag{1.51}$$

Ограничение пропускной способности на центральных складах

Ограничение пропускной способности на складах:

$$\sum_{w=1}^W J'_{iwet} \ll E'_{iwt} \forall i, w, t \quad (1.52)$$

Остатки запасов на складах:

$$Z_{iw(t-1)} + \sum_{b=1}^B J_{ibmt} \cdot F_{ibwt} = \sum_{w=1}^W J'_{iwet} \cdot F'_{iwet} + Z_{iwt} \forall i, w, t \quad (1.53)$$

Ограничения, связанные с задержкой выполнения работ конечными потребителями.

Максимально допустимый дефицит у конечных потребителей:

$$S_{iet} \ll S_{iet}^{Max} \forall i, e, t \quad (1.54)$$

Роль нулевого переключателя

$$\sum_{t=0} Y_{ibt} = \sum_{t=T} Y_{ibt} = 0 \quad \forall i, b \quad (1.55)$$

$$\sum_{t=0} Z_{iwt} = \sum_{t=T} Z_{iwt} = 0 \quad \forall i, w \quad (1.56)$$

Ограничение неотрицательности для всех переменных принятия решения

$$I_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (1.57)$$

$$I'_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (1.58)$$

$$J_{ibwt} \geq 0 \quad \forall i, b, w, t \quad (1.59)$$

$$J'_{iwet} \geq 0 \quad \forall i, w, e, t \quad (1.60)$$

$$J''_{ibet} \geq 0 \quad \forall i, b, e, t \quad (1.61)$$

$$Y_{ibt} \geq 0 \quad \forall i, b, t \quad (1.62)$$

$$Z_{iwt} \geq 0 \quad \forall i, w, t \quad (1.63)$$

$$S_{iet} \geq 0 \quad \forall i, e, t \quad (1.64)$$

Оптимизационная модель функционирования КЦПГА в ИТЛС

Целевая функция (функция затрат) минимизирует сумму затрат на снабжение, затрат на хранение запасов сырья, транспортных затрат и затрат на создание резервов. Функция затрат является целевой функцией модели, представленной в уравнении (1.65). Это уравнение состоит из 3 слагаемых: затраты логистики снабжения, затраты логистики производства, затраты логистики сбыта.

$$Min Z_{общ} = Z_{kmt} + Z_{ikmt} + Z_{imt} \quad (1.65)$$

Z_{kmt} – функция затрат на логистику снабжения k -ым сырьем m -ое производственное предприятие,

Z_{ikmt} - функция затрат на производство i -ой продукции из k -сырья на m -ом предприятии,

Z_{imt} – функция затрат на логистику распределения i -ой продукции от m -го производственного предприятия

В четвертой главе разработана методика оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС. Представленная методика (рисунок 3 и рисунок 4) позволяет определить требуемое количество транспортных средств при оперативном планировании КЦПГА в ИТЛС. Методика учитывает систему управления запасами и рассчитывает спрос на автомобили на основе проверки совпадения/несоответствия дней доставки для конкретного цикла и окончания поставки из предыдущего цикла.

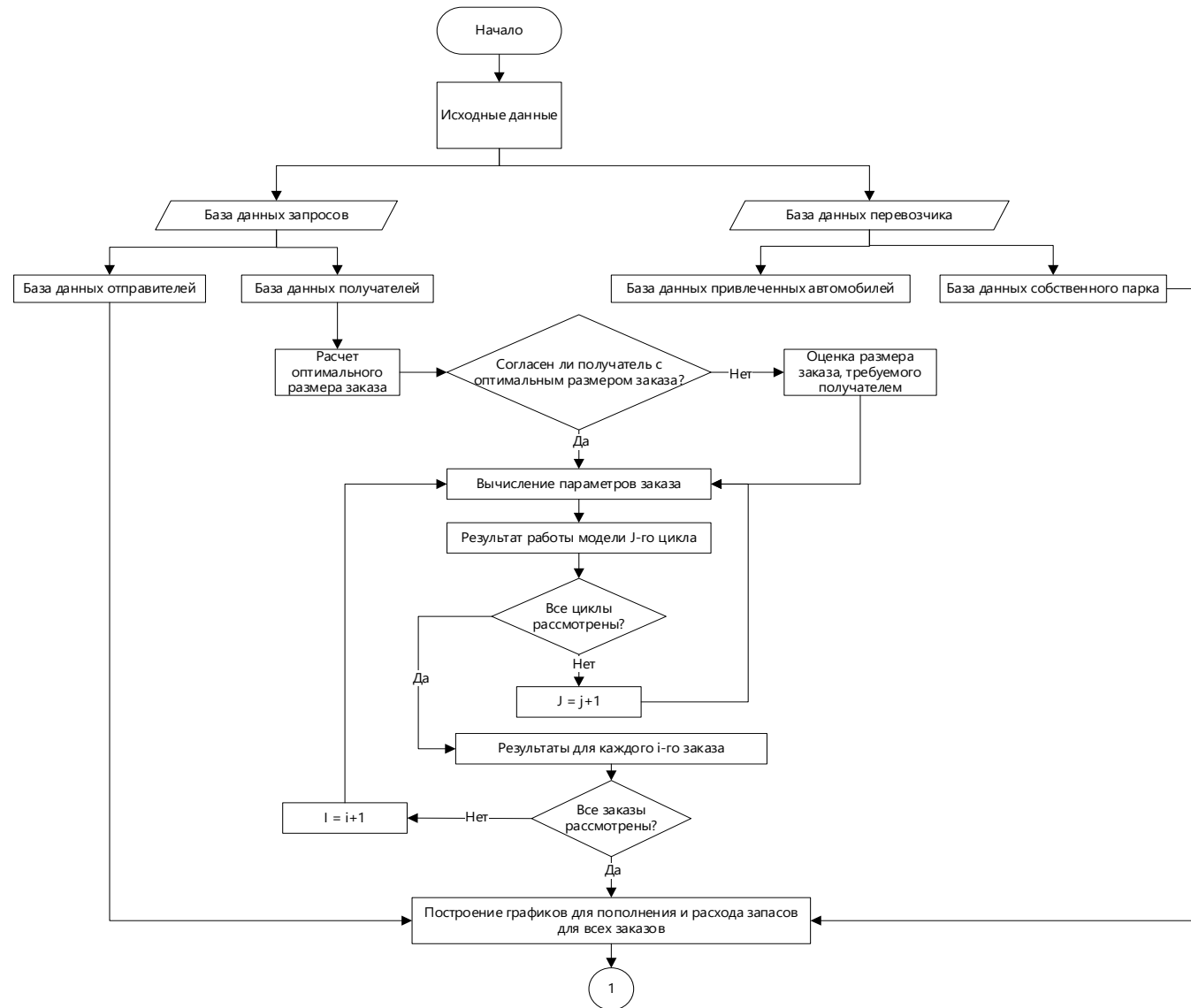


Рисунок 3 – Методика оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС (часть 1).

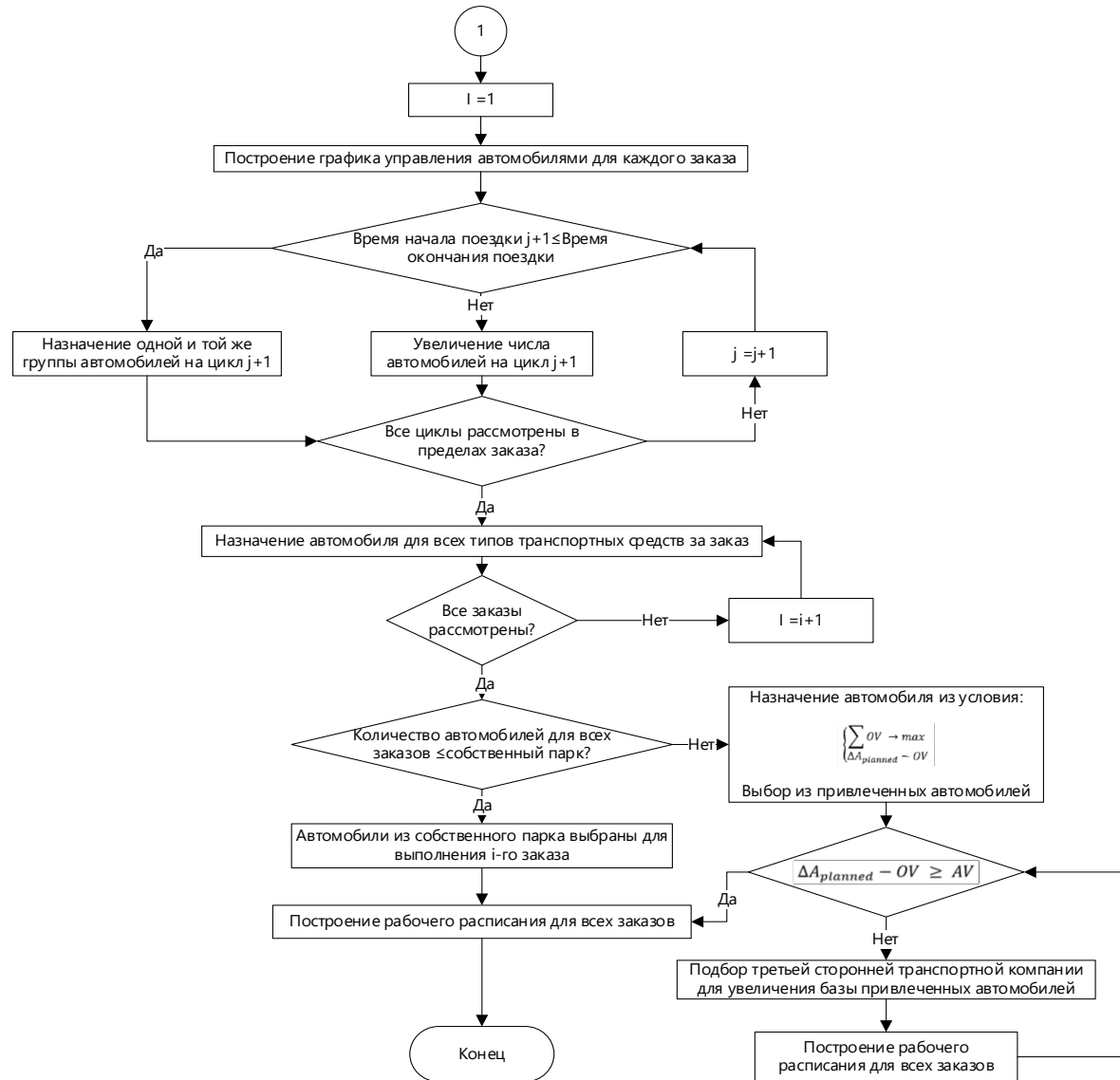


Рисунок 4 – Методика оперативного планирования КЦПА в ИТЛС (часть 2).

Для проверки методики выбрана комплексная цепь поставки продукции автомобилями АО «Омскшина» (Шинный завод г. Омск). В качестве примера логистика снабжения КЦПГА.

Компания осуществляет междугородние грузовые перевозки в четырех направлениях: 1. Омск - Астрахань; 2. Омск - Пермь; 3. Омск - Казань; 4. Омск - Красноярск.

Таблица 1 – Исходные данные по маршрутам

Заказ	Маршрут	Дни отправки	Длина маршрута Lм, км	Объем перевозок грузов Q, т	Время на выполнение заказа, дни	Выполнение заказа, ч	Скорость V _T , км/ч
I1	Омск – Астрахань	Пн	6062	35	14	336	55
I2	Омск - Пермь	Чт	2640	50	7	168	55
I3	Омск – Казань	Вт	1900	20	7	168	40
i4	Омск - Красноярск	Ср	1430	40	6	144	40



Рисунок 5 – График пополнения запасов и потребления для первого запроса.

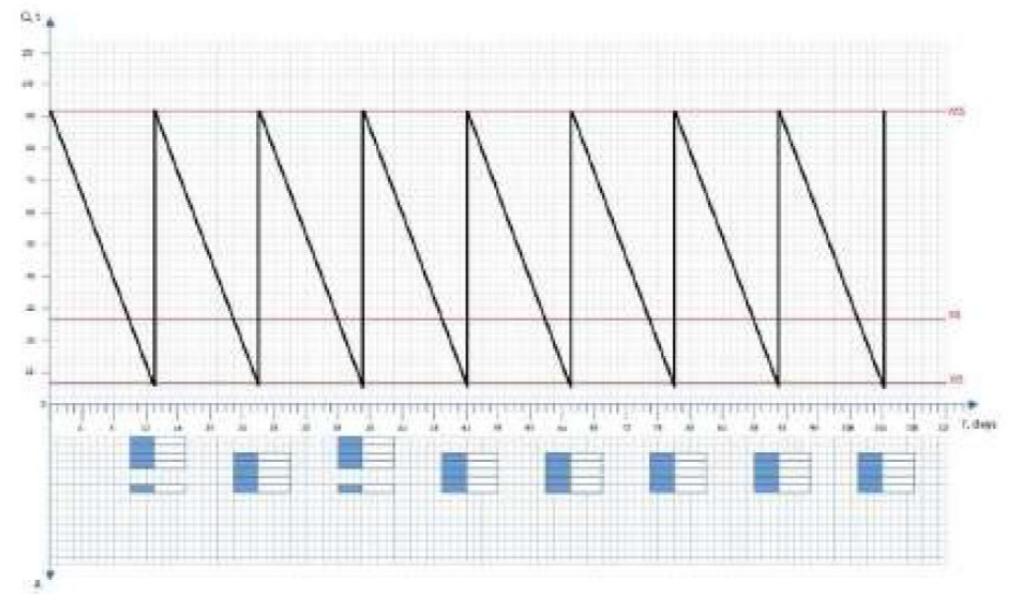


Рисунок 6 – График пополнения запасов и потребления для второго запроса.

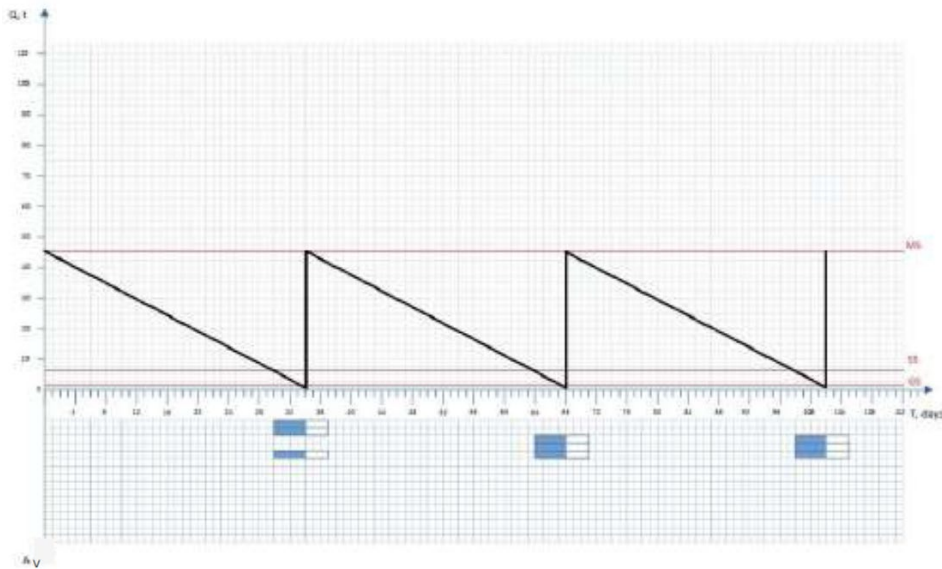


Рисунок 7 – График пополнения запасов и потребления для третьего запроса.

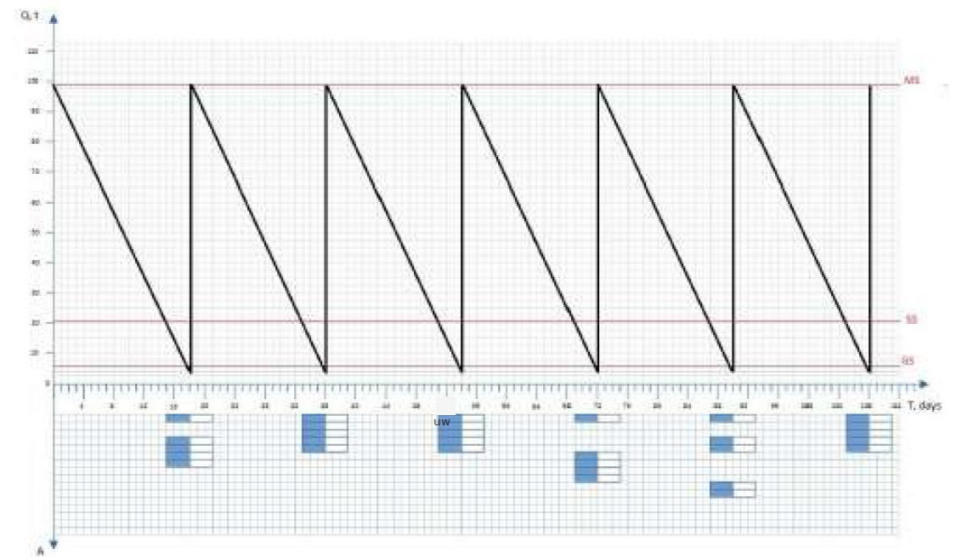


Рисунок 8 – График пополнения запасов и потребления для четвертого запроса.

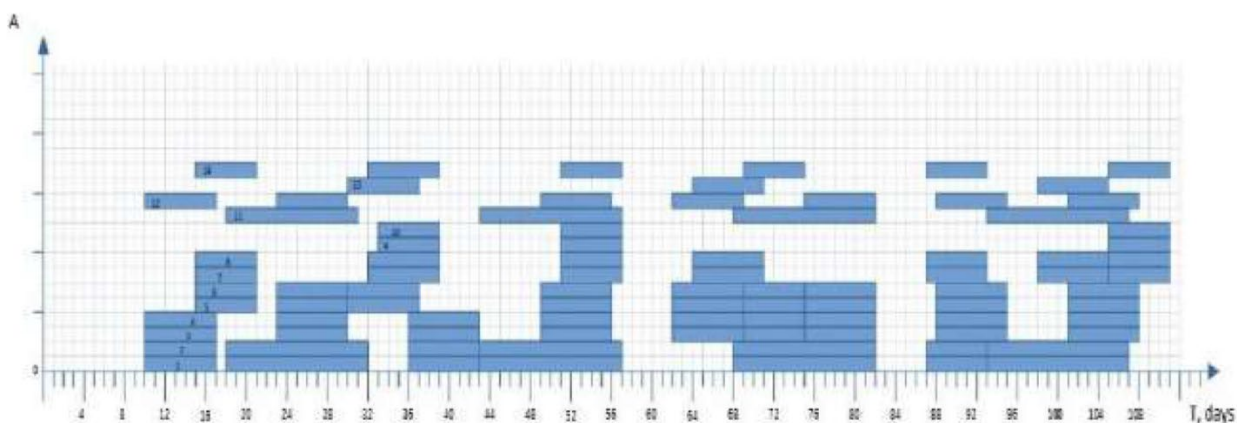


Рисунок 9 – График работы автомобилей для всех заказов

Таблица 2 – Затраты КЦПГА в ИТЛС (квартал)

Статья затрат	Затраты до внедрения методики, руб.	Затраты после внедрения методики, руб.
Затраты на логистику снабжения	366 624,25	301 794, 68
Затраты на логистику производства	614 007,37	600 258,10
Затраты на логистику распределения	475 841,12	483 065, 73
Затраты КЦПГА	1 456 472, 74	1 385 118, 51
	Снижение затрат на 71 354, 23 руб. (4,9%)	

Благодаря разработанной методике функционирования КЦПГА в ИТЛС на примере цепи поставки продукции на этапе логистики снабжения эффективность подтверждается тем, что позволяет оптимизировать функционирование через планирование, получая в том числе и график работы автомобилей в ИТЛС, дает возможность координировать их между собой и выходить на общий график работы. Методика учитывает систему управления логистикой на этапе снабжения, производства и распределения, рассчитывает потребность в транспортных средствах с учётом проверки совпадения/несоответствия дней поставки для конкретного цикла и завершения поставки для предыдущего цикла. Также позволяет определить необходимое число транспортных средств при планировании отправок грузов междугородным сообщением потребителям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Выполнен анализ научного методологического и практического опыта развития процессов в КЦПГА в ИТЛС;
- 2) Разработана усовершенствованная классификация цепей поставок грузов автомобилями в ИТЛС;
- 3) Разработана оптимизационная модель функционирования КЦПГА в ИТЛС;
- 4) Разработана методика оперативного планирования КЦПГА в ИТЛС;
- 5) Выполнена оценка эффективности разработанной методики для условия функционирования КЦПГА в ИТЛС.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография:

1. Мирошина И. В. Классификация цепей поставок с учетом факторов транспортной логистики / С. М. Мочалин, И. В. Мирошина // International Journal of Advanced Studies. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 81–103. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=75098744.pdf>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Аникин Б.А., Родкина Т.А. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика : в 3 ч. : учебник / Б.А. Аникин, Т.А. Родкина [и др.] ; ред.: Б.А. Аникин, Т.А. Родкина. – М. : Проспект, 2011–2012. – Ч. 1 : Основы логистики. – 2012. – 339 с.
- 2 Аникин Б.А., Тяпухин А.П. Коммерческая логистика : учебник. – М. : Проспект, 2015. – 432 с.
- 3 Гаджинский А.М. Логистика : учебник для высших учебных заведений по направлению подготовки «Экономика». – М. : Дашков и К, 2011. – 481 с. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/logist/text.pdf> (дата обращения: 08.04.2026).
- 4 Гаджинский А.М. Проектирование товаропроводящих систем на основе логистики : учебник. – 5-е изд., стер. – М. : Дашков и К, 2024. – 322 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=711116> (дата обращения: 08.04.2026). – ISBN 978-5-394-05524-9.
- 5 Гулый И.М. Проекты цифровизации российских транспортно-логистических компаний — операторов транспортного рынка // Информатизация в цифровой экономике. – 2023. – Т. 4, № 4. – С. 431–442. – DOI: 10.18334/ide.4.4.120249.
- 6 Ефимов А.А., Медведева К.С. Интеллектуальные транспортные системы: перспективы, эффективность и проблемы // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 132–150.
- 7 Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы в логистике. – М. : МАДИ, 2020. – 280 с.
- 8 Жеребцов В.И. Оптимизация логистических цепочек методом транспортной задачи // Вестник транспорта ДВГАУ. – 2024. – № 1. – С. 45–52.
- 9 Зырянов В.В. Интеллектуальные транспортные системы в логистике. – М. : Транспорт, 2018. – 210 с.
- 10 Иванов Д.А. Управление цепями поставок. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 659 с. – Режим доступа: <https://altairbook.com/books/5148200-upravlenie-cepnyami-postavok.html> (дата обращения: 08.04.2026).

- 11 Коммерция и логистика. Теория и практика : сб. науч. тр. / под ред. В.В. Щербакова, А.В. Парфеновой, Е.А. Смирновой. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 204 с.
- 12 Курганов В.М. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров : учеб.-практ. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Книж. мир, 2009. – 512 с. : ил., табл. – ISBN 978-5-8041-0368-3.
- 13 Ларин О.Н. Методические основы оптимального планирования доставки сырья в логистических системах : на прим. пред-приятий кондитер. пром-сти : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – М., 1998. – 186 с. : ил.
- 14 Лукинский В.С. Управление транспортными потоками в логистике. – СПб. : Лань, 2012. – 320 с.
- 15 Миротин Л.Б., Бульба А.В., Демин В.А. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов. – М. : Феникс, 2009. – 408 с.
- 16 Миротин Л.Б., Николин В.И., Ташбаев Ы.Э. Транспортная логистика. – М. ; Омск, 1994. – 236 с.
- 17 Мочалин С.М., Мирошина И.В. Классификация цепей поставок с учетом факторов транспортной логистики // International Journal of Advanced Studies. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 81–103.
- 18 Мочалин С.М. Теоретические аспекты совершенствования взаимодействия предпринимательских структур в цепи поставок [Текст] : монография / С. М. Мочалин, В. В. Чувилова ; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Сибирская гос. автомобильно-дорожная акад. (СибАДИ)". - Омск : СибАДИ, 2013. - 164 с. : табл.; 21 см.; ISBN 78-5-93204-661-6
- 19 Новиков А.Н. Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса : учеб. пособие. – Орел : Орлов. гос. ун-т, 2023. – 78 с.
- 20 Парфенов М.А. Типология цепей поставок и особенности их потоковых процессов // Вестн. АГТУ. Сер. : Экономика. – 2010. – № 2. – С. 167–169.
- 21 Попов С.В. Оптимизация логистических цепочек при транспортировке грузов морским транспортом // Азиатско-Тихоокеанский вестник. – 2023. – № 3. – С. 112–120.
- 22 Сафиуллин Р.Р., Симонова Л.А. Научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в

транспортно-технологический процесс доставки грузов // Горная промышленность. – 2025. – № 1S. – С. 55–61. – DOI: 10.30686/1609-9192-2025-1S-55-61.

23 Сергеев В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 642 с.

24 Сергеев В.И. Логистика в бизнесе : учебник. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 608 с.

25 Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике. – М. : Филинь, 1997. – 772 с.

26 Сергеев И.В. Методология формирования системы контроллинга логистических бизнес-процессов в цепях поставок сетевых розничных операторов с использованием цифровых технологий : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : 5.2.3. – М. : Рос. ун-т транспорта (МИИТ), 2025. – 47 с. : ил.

27 Соколова О.И., Зырянкина К.Э. Методы анализа и синтеза интеллектуальных транспортных систем, их архитектуры и алгоритмов восстановления работоспособности // Интеллектуальный транспорт. – 2025. – № 2 (34). – С. 30–42.

28 Сырцова Е.А. Эффекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах России // Государственное управление. Электронный вестник. – 2023. – № 101. – С. 159–169.

29 Федюкин Ю.В., Минаков Е.И., Агуреев И.Е., Хазов Н.И., Чайковский В.М. Построение и применение модели эффективности интеллектуальной транспортной системы // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 4. – С. 77–87. – DOI: 10.21685/2307-4205-2023-4-7.

30 Чебакова Е.О., Мочалин С.М., Варакин В.В. Технико-экономическое планирование транспортного процесса в цепях поставок : монография. – Омск : СибАДИ, 2009. – 320 с.

31 Хусаинов Р.М., Талипов Н.Г., Катасёв А.С., Шалаева Д.В. Интеллектуальная система анализа транспортных потоков в автоматизированных системах управления дорожным движением // Программные продукты и системы. – 2024. – Т. 37, № 1. – С. 69–76. – DOI: 10.15827/0236-235X.142.069-076.

32 Щербаков В.В. [и др.]. Управление цепями поставок : учебник для среднего проф. образования / под ред. В.В. Щербакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2023. – 234 с.

- 33 Bowersox D.J., Closs D.J. Logistics: integrated supply chain. – 2nd ed. – Transl. from English. – М. : Олимп-Бизнес, 2006. – 640 p.
- 34 Christopher M. Logistics and supply chain management: how to reduce costs and improve customer service / М. Christopher ; transl. from Engl. V. Kuzin [et al.]. – М. : Piter, 2004. – 315 с. : ил., табл.
- 35 Fahimnia B. Optimisation of Manufacturing Lead-Time, Using Genetic Algorithm : Master's Thesis. – Adelaide : Univ. of South Australia, School of Advanced Manufacturing and Mechanical Engineering, 2006. – 151 p.
- 36 Fahimnia B., Molaei R., Ebrahimi M.H. Integration in Logistics Planning and Optimization // Logistics Operations and Management: Concepts and Models. – 2011. – 486 p.
- 37 Rashad M.F., Ali Q.I. Advancements in Intelligent Transportation Systems (ITS) and Roadside Unit (RSU) Design: A Comprehensive Review // International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches. – 2023. – Vol. 7, № 9. – P. 209–221. – DOI: 10.59287/ijanser.1534.
- 38 Stock J.R., Lambert D.M. Strategic logistics management. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 797 с.
- 39 Waters D. Logistics. Supply chain management / D. Waters ; transl. from Engl. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 32 с.