Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

Санкт-Петербургский государственный университет

Институт «Высшая школа менеджмента»

**Выпускная квалификационная работа**

**Маршрутизация транспортных средств для доставки продукции группы компаний «Х»**

студента 4 курса

программы бакалавриата

по направлению «Менеджмент»

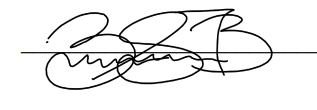
профиля «Логистика»

**Александрова Никиты Ленаровича**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Научный руководитель

**Зятчин Андрей Васильевич**

Доцент кафедры операционного менеджмента

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

[Заявление о самостоятельном характере выполнения работы 3](#_Toc104832435)

[Введение 4](#_Toc104832436)

[1. Теоретические подходы к маршрутизации транспортных средств для доставки продукции 6](#_Toc104832437)

[1.1. История становления и развития группы компаний «Х» 6](#_Toc104832438)

[1.2 Клиентская и кредитная политика группы компаний «Х» 7](#_Toc104832439)

[1.3 Описание целевых рынков Компании. 8](#_Toc104832440)

[1.4 Сегментация клиентов по рыночному потенциалу 11](#_Toc104832441)

[1.5. Этапы международной перевозки, определенной группой компаний «Х» 15](#_Toc104832442)

[2. Анализ задач маршрутизации транспортных средств 23](#_Toc104832443)

[2.1 Структура задач маршрутизации транспортных средств 23](#_Toc104832444)

[2.2 Обзор задач по поиску кратчайшего пути 26](#_Toc104832445)

[3. Решение управленческих проблем компании в рамках вопроса маршрутизации транспортных средств 36](#_Toc104832446)

[3.1 Поиск кратчайшего пути обслуживания клиентов в г. Москва 36](#_Toc104832447)

[3.2 Характеристика грузов и условия по перевозке опасных грузов в рамках обозначенного маршрута 46](#_Toc104832448)

[Заключение 48](#_Toc104832449)

[Список источников 50](#_Toc104832450)

# Заявление о самостоятельном характере выполнения работы

Я, Александров Никита Ленарович, студент 4 курса Высшей школы менеджмента СПбГУ (направление «Менеджмент», профиль «Логистика»), подтверждаю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему «Маршрутизация транспортных средств для доставки продукции группы компаний «Х»», представленной для публичной защиты в июне 2022 года, не содержится элементов плагиата. Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее курсовых и выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.



Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата 30.05.2022

# Введение

В рамках современной логистической компании важно понимать, насколько выстроены логистические схемы компании и как она их реализует в рамках собственной системы развития. В транспортно-логистическом бизнесе существует множество понятий: транспорт, логистика, транспортировка, экспедирование и т.д. Существует также ряд различных учебных программ и дисциплин, таких как экономика транспорта, транспортная логистика, управление логистикой и т.д. Все эти названия часто связаны с содержанием плана, планированием, организацией, управлением и контролем движения людских, материальных, информационных и финансовых потоков. Однако на практике они часто взаимосвязаны и используются не по назначению. Поэтому важной задачей является правильное определение этих понятий. В этой работе, основанной на различной научной литературе, официальной политике компании и общих понятиях логистического бизнеса рассматривается концепция транспортной логистики в различных дисциплинах и областях исследований. Результаты этого анализа позволили выявить, что единого логистического термина не существует. Поэтому также было использовано качественное исследование. **Целью** данного исследования является разработка модели для маршрутизации транспортных средств для доставки продукции группы компаний «Х». Для того чтобы достигнуть поставленной цели потребуется выполнить следующие **задачи**:

* описать историю становления и развития рассматриваемой компании;
* выявить особенности клиентской и кредитной политики для клиентов в компании;
* проанализировать транспортную сеть компании;
* проанализировать существующие методы оптимизации маршрутов;
* разработать методологию решения задач оптимизации для компании;
* с помощью выявленной методологии смоделировать оптимальное решение задачи оптимизации.

В рамках данной работы **объектом** исследования является транспортная компания – группа компаний «Х». **Предметом** исследования является маршрутизация транспортных средств в рамках группы компаний «Х».

Для исследования в данной квалификационной работе использовалась информация о внутренних процессах компании, которая не подлежит разглашению и направлена исключительно для достижения научных целей. Любое использование информации вне рамок научной деятельности может производиться только по согласованию с руководством группы компаний «Х». Также в рамках данной работы использовались источники научной литературы отечественного[[1]](#footnote-1) и зарубежного[[2]](#footnote-2) формата. Таким образом в рамках данной работы было сформировано три главы, каждая из которых отражает определенную специфику транспортно-логистической компании. Так, первая глава посвящена общей информации о компании, её особенностях работы с клиентами, организации международной перевозки и т.д. Во второй главе с помощью специальных методов логистики раскрываются особенности выстраивания маршрутов в компании, проводится обзор существующих методов. В третьей главе представлено решение управленческой проблемы с применением выбранного метода.

# Теоретические подходы к маршрутизации транспортных средств для доставки продукции

## История становления и развития группы компаний «Х»

Группа компаний «Х» была основана в 2003 году в городе Вязьма Смоленской области, который представляет собой крупный транспортный узел на направлениях: Москва – Смоленск и Тверь – Брянск. Город расположен на Федеральной Автодороге М-1 «Беларусь», являющейся частью европейского маршрута E30 и панъевропейского транспортного коридора II Берлин — Нижний Новгород. С 2016 года компания имеет самостоятельное автотранспортное предприятие в Республике Польша.

Основное направление деятельности группы компаний «Х» — международные экспортно-импортные автотранспортные перевозки «Европа – Россия», а также внутрироссийские перевозки. Предприятие имеет удобный подъезд к автомагистрали М-1 «Беларусь» и железнодорожной ветке, что также позволяет оказывать полный спектр услуг по перевалке грузов для дальнейшей отправки в экспортном направлении.

Дополнительно группа компаний «Х» оказывает услуги по:

* таможенной очистке перевозимых грузов;
* складскому хранению, в том числе и как 3PL-оператор;
* эвакуации неисправных и поврежденных транспортных средств;
* ремонту и обслуживанию тахографов, их периодической тарировке.

На сегодняшний день Х является крупным предприятием, прочно закрепившимся на рынке международных перевозок и являющимся собственником таких основных средств, как:

* транспорт: 300 тентованных и 50 рефрижераторных автопоездов от ведущих европейских производителей тягачей (Volvo, Daf, Mersedes-Benz) и полуприцепов (Krone, Kögel, Schmitz);
* в парке компании имеются 20 транспортных средств исполнения «Мега трейлер» — 100 м3 грузового пространства, 3 м высоты грузового отсека (это позволяет разместить груз объёмом на 18 м3 больше, чем в обычном тентованном полуприцепе);
* база по техническому обслуживанию и ремонту автопоездов;
* автостоянка для большегрузных транспортных средств;
* автозаправочная станция;
* промышленный склад для крупногабаритных грузов — 1500 м2;
* отапливаемый склад — 2500 м2;
* открытая площадка для хранения грузов — 10 000м2.

Штат компании — 870 сотрудников.

Компания большое значение уделяет охране окружающей среды: автопарк полностью соответствует экологическим нормам Евро-5, Евро-6 и имеет период эксплуатации до трех лет.

Весь транспорт имеет спутниковую систему слежения с доступом каждого клиента к отслеживанию перемещения груза в режиме реального времени. Ответственность компании, как перевозчика, застрахована в ведущей международной страховой компании на сумму 250 000 евро по каждому страховому случаю.

## 1.2 Клиентская и кредитная политика группы компаний «Х»

Клиентская политика – стратегический документ Компании, описывающий параметры формирования эффективной клиентской базы, а также систему управления взаимоотношениями с существующими клиентами, направленную на удержание и увеличение объемов продаж целевым клиентам ГК «Х».

Настоящий документ предназначен для всех сотрудников Департамента активных продаж, Департамента оперативных продаж и Департамента логистики ГК «Х» и является основополагающим документом для регламентирования деятельности сотрудников в части привлечения и взаимодействия с клиентами Компании в рамках определенных стратегических целей развития клиентской базы ГК «Х».

Далее представлены основные определения, используемые компанией.

**Рыночная сегментация** –объединение клиентов в группы по объему потребности в транспортно-логистических услугах; основным показателем отнесения в ту или иную группу (сегмент рынка) является количество перевозок в год по направлению \ виду услуги (рыночный потенциал клиента)

**Сегмент рынка –** группа клиентов, имеющая потребность в определенном количестве перевозок в год по направлению / виду услуги.

**Сегмент 1 (С1) –** группа клиентов, имеющая рыночный потенциал в 500 и более перевозок в год;

**Сегмент 2 (С2)** – группа клиентов, имеющая рыночный потенциал менее 500, но более 300 перевозок в год;

**Сегмент 3 (С3**) – группа клиентов, имеющая рыночный потенциал менее 300, но более 100 перевозок в год;

**Сегмент 4 (С4)** – группа клиентов, имеющая рыночный потенциал менее 100, но более 50 перевозок в год;

**Сегмент 5 (С5)** – группа клиентов, имеющая рыночный потенциал менее 50, но более 25 перевозок в год;

**Сегмент 6 (С6)** - группа клиентов, имеющая рыночный потенциал менее 25, но более 10 перевозок в год.

**Внутренняя сегментация** – анализ эффективности работы с клиентской базой по критериям: целевой – нецелевой клиент, степень привлекательности, статус клиент в Компании по частоте обращений, категория клиента по объему продаж в EUR.

**Степень привлекательности клиента –** комплексная оценка клиента по критериям: маржинальность перевозки, рыночный потенциал (сегмент рынка), сроки оплаты и кредитный рейтинг клиента). В компании принята следующая шкала привлекательности:

Красный – непривлекательный;

Желтый – привлекательный в средней степени

Зеленый – наиболее привлекательный

**Статус клиента в компании –** показатель частоты и периодичности закупок клиентом продуктов Компании.

Все привлеченные клиенты в первые 6 месяцев имеют статус «НОВЫЙ», с 7го месяца от даты привлечения статус клиента меняется на «СУЩЕСТВУЮЩИЙ» и имеют подстатусы “постоянный”, «разовый», «падающий», «проектный», «утерян» в зависимости от динамики развития отношений с клиентом.

## 1.3 Описание целевых рынков Компании.

Целевой рынок – наиболее привлекательный участок рынка транспортно-логистических услуг, на котором ГК «Х» сосредотачивает свою деятельность с целью полной реализации своих возможностей и достижения максимального эффекта по продажам услуг Компании.

Компанией выбраны следующие целевые рынки:

* **Россия** (в том числе по направлениям: Алтайский край, Амурская область, Красноярск, Новосибирск, Челябинск, Екатеринбург, Пермь, Набережные Челны, Тюмень, Омск, Сургут, Нижневартовск, Иркутск, Чита, Братск, Хабаровский край, *исключая Чукотский автономный округ, Якутию, Калыму)*
* **Германия, Дания, Великобритания**
* **Франция, Бельгия, Голландия, Люксембург, Испания**, (\**опционно* Португалия)
* **Австрия, Швейцария, Италия**
* **Польша, Словакия, Чехия**
* **Венгрия, Словения, Румыния, Болгария, Сербия, Турция**
* **Хорватия, Македония, Греция**
* **Финляндия, Швеция, Норвегия**
* **Монголия, Казахстан, Китай**
* (\**опционно,*) Армения, Беларусь, Казахстан

**\*Опционно** означает, что данная страна включается в учет общего рыночного потенциала клиента при условии заказа Департамента логистики или Департамента оперативных продаж на активную проработку клиентской базы по данному конкретному направлению или при условии продажи (высоко)маржинальных перевозок на данных направлениях. При сегментировании существующих клиентов действующей клиентской базы страны с пометкой \*опционно в общий рыночный потенциал компании не включаются, а оцениваются маркетологом-аналитиком отдельно с пометкой «сегмент опционно». При этом «сегмент опционно» формируется из суммы перевозок всех стран, указанных с примечанием \*опционно.

Портфель продуктов – перечень всех видов услуг, который производит ГК «Х».

К основным продуктам Компании, приносящим основную прибыль, относятся услуги по доставке автомобильным транспортом:

* комплектных грузов,
* сборных грузов,
* негабаритных грузов,
* грузов, требующих соблюдения температурного режима, и опасных грузов (кроме ADR 1, ADR 7),
* дорогостоящих грузов

по направлениям Россия – страны Европы и Азии – Россия.

К тактическим (дополняющим) продуктам Компании относятся:

* оказание услуг по доставке мелких партий грузов воздушным транспортом;
* оказание услуг по доставке грузов морским транспортом;
* оказание складских услуг в РФ;
* оказание таможенных услуг;
* оказание услуг технического импортера

Основное конкурентное преимущество Компании – использование собственных производственных мощностей для качественного комплексного обслуживания клиентов, а также разработка оптимальных схем доставки благодаря высокому профессионализму сотрудников с опытом работы в отрасли более 15 лет.

С целью формирования оценки объемов потребностей клиентов рынка транспортно-логистических услуг принято решение о сегментировании рынка по определенным параметрам. Объединение потребителей в группы по критерию «рыночный потенциал клиента», определяющий максимальный годовой объем потребности в продуктах Компании на целевых рынках, призвано помочь выявить наиболее выгодные сегменты с точки зрения долгосрочной перспективы развития и целенаправленно сконцентрировать усилия Компании на целевых группах клиентов.

Ниже в Таблице 1 представлена сегментация клиентов по рыночному потенциалу в сегменте «оказание услуг по доставке грузов автомобильным транспортом (FTL)».

**Таблица 1.** Сегментация клиентов по рыночному потенциалу в области FTL

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *РЫНОЧНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ* | | *КРИТЕРИЙ ОТНЕСЕНИЯ* | |
| УРОВЕНЬ СЕГМЕНТА | **НАИМЕНОВАНИЕ**  **СЕГМЕНТА** | **КОЛ-ВО ЗАГРУЗОК, общий рыночный потенциал по целевым рынкам /ГОД** | **РАЗБИВКА потребности, кол-во загрузок /МЕС *(справочно)*** |
| высокий | СЕГМЕНТ 1 | =>500 | Более 41 |
| высокий | СЕГМЕНТ 2 | = >300 <500 | 25-41 |
| средний | СЕГМЕНТ 3 | =>100 <300 | 8-24 |
| средний | СЕГМЕНТ 4 | =>50 <100 | 4-8 |
| низкий | СЕГМЕНТ 5 | =>25 <50 | 2-4 |
| низкий | СЕГМЕНТ 6 | =>10 <25 | 1-2 |

Целевыми для привлечения по услуге «грузоперевозки комплектных грузов автомобильным транспортом» Компанией определены **средний и высокий уровни сегментов** (от С1 до С4). Таким образом, наиболее привлекательными для ГК Х являются клиенты с потребностью в грузоперевозках автомобильным транспортом - не менее 50 грузоперевозок в год и более на выбранных целевых рынках.

## 1.4 Сегментация клиентов по рыночному потенциалу

Все клиенты отдела проектных и негабаритных перевозок сегментируются по рыночному потенциалу в зависимости от масштаба проекта без привязки к периодичности поставок (а, именно, без привязки к количеству проектов в год).

**Таблица 2.** Сегментация клиентов по рыночному потенциалу

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| УРОВЕНЬ СЕГМЕНТА | НАИМЕНОВАНИЕ  СЕГМЕНТА | КОЛ-ВО требуемых автотранспортных средств для перевозки проекта/негабаритного груза |
| высокий | СЕГМЕНТ 1 проектный (С1п) | =>15 автотранспортных средств в составе проекта |
| высокий | СЕГМЕНТ 2 проектный (С2п) | =>7<=14 автотранспортных средств в составе проекта |
| средний | СЕГМЕНТ 3 проектный (С3п) | = 5-6 автотранспортных средств в составе проекта |
| средний | СЕГМЕНТ 4 проектный (С4п) | = 3-4автотранспортных средства в составе проекта |
| низкий | СЕГМЕНТ 5 проектный (С5п) | = 2 автотранспортных средства для перевозки негабаритных грузов в составе проекта |
| низкий | СЕГМЕНТ 6 проектный (С6п) | = 1 автотранспортное средство для перевозки негабаритного груза |

Целевыми на этапе развития для отдела проектных и негабаритных перевозок являются клиенты всех шести сегментов (на период 2019-2020).

**Сегментация клиентов по потенциалу в сегменте рынка «предоставление услуг доставки сборных грузов (LTL)»**

**Таблица 3.** Сегментация клиентов по потенциалу в области LTL

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| УРОВЕНЬ СЕГМЕНТА | НАИМЕНОВАНИЕ  СЕГМЕНТА | КОЛ-ВО мелких партий грузов, общий рыночный потенциал по целевым рынкам /год |
| Высокий | СЕГМЕНТ 1 | =>500 |
| высокий | СЕГМЕНТ 2 | = >300 <500 |
| средний | СЕГМЕНТ 3 | =>100 <300 |
| средний | СЕГМЕНТ 4 | =>50 <100 |
| низкий | СЕГМЕНТ 5 | =>25 <50 |
| низкий | СЕГМЕНТ 6 | =>10 <25 |

Целевыми на этапе развития для отдела сборных грузов являются клиенты С3, С4, С5, С6 (на период 2019-2020 гг.)

**Сегментация клиентов по рыночному потенциалу в сегменте рынка «оказание услуг по таможенному оформлению грузов»**

**Таблица 4.** Сегментация клиентов по потенциалу в области таможенных услуг

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Уровень сегмента** | **Наименование сегмента** | **Количество деклараций, общий рыночный потенциал по целевым рынкам/год** |
| **Высокий** | СЕГМЕНТ 1 | =>500 |
| **высокий** | СЕГМЕНТ 2 | = >300 <500 |
| **средний** | СЕГМЕНТ 3 | =>100 <300 |
| **средний** | СЕГМЕНТ 4 | =>50 <100 |
| **низкий** | СЕГМЕНТ 5 | =>25 <50 |
| **низкий** | СЕГМЕНТ 6 | =>10 <25 |

Целевыми на этапе развития для отдела таможенного оформления являются клиенты С3, С4, С5, С6 (на период 2019-2020 гг.)

**Портрет целевого клиента Компании**

Целевые клиенты – представители сегмента рынка, выбранные Компанией как наиболее привлекательные для сотрудничества, заинтересованные в продуктах Компании и имеющие финансовые возможности для их приобретения. К Целевым клиентам ГК «Х» относятся:

1. **Торговые и производственные компании** промышленных отраслей экономики,
2. **Сервисные компании-поставщики услуг**: крупные европейские экспедиции - мировые бренды (*основной показатель: входят в топ-50 мировых логистических компаний*), а также **европейские** **генеральные подрядчики и их представительства в РФ** грузоотправителей или грузополучателей, имеющие основную потребность в грузоперевозках автомобильным транспортом (доставка FTL/LTL-грузов) любого вида сложности (стандартная, проектная, негабаритная перевозка); авиаперевозках, перевозках морским транспортом, таможенных услугах, услугах складской логистики.
3. Национальная принадлежность клиента: страны ЕС и Российской Федерации;
4. Представители целевых сегментов:

* для FTL: С1-С4
* для LTL: С3-С6 (на период развития 2019-2020гг)
* для отдела проектных и негабаритных перевозок: С1-С6 (на период развития 2019-2020гг)
* для отдела продаж таможенных услуг: С3-С6 (на период развития 2019-2020гг)

1. Финансово устойчивые компании с высокой степенью благонадежности, в платежной политике придерживающиеся максимально коротких сроков оплаты (не более 30 дней после получения оригиналов платежных документов за оказанные услуги).

**Описание критериев внутренней сегментации клиентской базы ГК «Х»**

В Компании предусмотрен ежегодный анализ эффективности развития существующей клиентской базы с отнесением клиентов в группы по следующим параметрам:

**По признаку «целевой/нецелевой»**

**Целевой клиент** –представитель целевых сегментов, соответствующих портрету целевого клиента компании.

Таким образом, складывается следующая система целевых клиентов для компании.

* **Целевой клиент для FTL–перевозок** – это представитель торговой, производственной компании либо европейский генеральный подрядчик и/или его представительство в РФ с потребностью в грузоперевозках от 50 в год и выше (сегменты рынка С1-С4)
* **Целевой клиент для LTL-перевозок**: это представитель торговой, производственной компании либо европейский генеральный подрядчик и/или его представительство в РФ с потребностью в грузоперевозках от 10 до 300 перевозок в год (сегменты рынка С3-С6)
* **Целевой клиент для отдела негабаритных и проектных перевозок** - грузоотправитель, грузополучатель или компания-проектный экспедитор (европейский 3PL-4PL- оператор, а также его подразделения в РФ), имеющий потребность в перевозке сельскохозяйственного или промышленного оборудования, которое для удобства транспортировки перевозится в разобранном виде несколькими грузовыми автомобилями в блоке или по отдельности. Целевые сегменты для отдела негабаритных и проектных перевозок – С1-С6
* **Целевой клиент для отдела таможенных услуг -** это представитель торговой, производственной компании либо европейский генеральный подрядчик и/или его представительство в РФ с потребностью в оформлении деклараций от 10 до 300 и выше (сегменты рынка С3-С6)

**Нецелевой клиент** – это представители сегментов, не вошедших в описание «целевой клиент», а также наши прямые конкуренты (российские, белорусские, литовские экспедиции и транспортные компании).

**По степени привлекательности для Компании:**

**Зеленый –** клиент, наиболее привлекательный для сотрудничества с точки зрения прибыльности, сроков оплаты, рыночного потенциала и внутреннего кредитного рейтинга (от 2 до 3 баллов)

**Желтый –** клиент, привлекательный в средней степени для сотрудничества с точки зрения прибыльности, сроков оплаты, рыночного потенциала и внутреннего кредитного рейтинга (от 1,1 до 1,9 баллов)

**Красный –** клиент, непривлекательный для сотрудничества клиент с точки зрения прибыльности, сроков оплаты, рыночного потенциала и внутреннего кредитного рейтинга (от 0 до 1 балла)

**По статусу** (показатель по объему закупок и частоте повторения заказов)

**Потенциальный клиент –** юридическое лицо, имеющее потребность в транспортно-логистических либо транспортно-экспедиционных услугах ГК «Х» и финансовую возможность покупать услуги, но ни разу не разместившее заказ на их оказание.

**Новый клиент –** юридическое лицо, разместившее в ГК «Х» первый заказ на оказание транспортно-логистических либо транспортно-экспедиционных услуг, в учетной программе нашей Компании зарегистрирован первый заказ, сделка по клиенту открыта, т.е. началось оказание услуги на согласованных условиях обслуживания. Признак «новый» сохраняется за клиентом в течение 6 месяцев от даты привлечения. Датой привлечения считается дата начала оказания услуги по первому заказу клиента (в программе отмечена фактическая дата загрузки).

**Новый проектный клиент** – клиент, заказавший перевозку продукции сельскохозяйственного или промышленного характера, которое для удобства транспортировки перевозится в разобранном виде несколькими грузовыми автомобилями в блоке или по отдельности. Признак «новый проектный» сохраняется за клиентом в течение 6 месяцев от даты привлечения.

**Существующий клиент** – статус клиента, который присваивается с 7го месяца от даты привлечения клиента. Клиентам, перешедшим из прошлых периодов, сотрудничество ГК «Х» с которыми насчитывает более 1 года, и регулярно размещающим заказы на оказание услуг, но не менее 12 транспортных заказов в год, автоматически присваивается подстатус «постоянный».

**Разовый клиент** – существующий клиент, разместивший менее 12 заказов в год либо за анализируемый период (11 заказов и менее).

## 1.5. Этапы международной перевозки, определенной группой компаний «Х»

**ЭКСПОРТ**

1. Загрузка

2. Затаможка (таможенное оформление в стране отправления) в РФ

3. Прохождение границы

3.1 Оформление в пограничном пункте пропуска (ППП) ТС (выезд из ТС – Таможенного союза)

3.2 Оформление в ППП ЕС (въезд в ЕС – Европейский союз)

4. Растаможка (таможенная очистка в стране назначения) в ЕС

5. Выгрузка

1. На **загрузке** в РФ (ТС) получаем товаросопроводительные документы (ТСД): CMR (международная товаротранспортная накладная) – с печатями грузоотправителя в 22 графе, инвойс (международный счет-фактура), упаковочный лист (документ, в котором содержится полный перечень товара по каждому товарному месту в отдельности (коробка, ящик, паллета и т.д.). Помимо ТСД выдаются разрешительные документы в зависимости от характера груза: лицензии, разрешения, сертификаты соответствия, декларации о соответствии и т.д.

2. При таможенном оформлении в стране отправления («**затаможка»)** в РФ на основании документов, полученных на загрузке, оформляется декларация на товары (таможенный документ ТС, оформляемый на груз при перемещении его через таможенную границу (при вывозе - экспорте). Данный документ содержит сведения о грузе и его таможенной стоимости, транспорте, осуществляющем доставку, условиях пoставки, отправителе и получателе). При оформлении, декларации присваивается уникальный номер, состоящий их 3 групп цифр, формата:

**XXXXXXXX/**

**XXXXXX/**

**XXXXXXX**

Код таможенного поста

Дата

Номер декларации

Также, при «затаможке», на декларации проставляется штамп или отметка «Выпуск разрешен».

Декларация на товары (ДТ) оформляется за счет клиента.

По факту «затаможки», у перевозчика должны остаться следующие документы: документы с загрузки (иногда, в ТСД вписывается номер ДТ, в CMR проставляются таможенные печати) + ДТ.

3. **Прохождение границы** осуществляется только через специализированные пограничные пункты пропуска и проходит в 2 этапа: 1 - выезд из ТС, 2 - Въезд в ЕС.

3.1. **Выезд из ТС**: Таможенные инспекторы ТС в ППП проводят таможенные процедуры по выпуску груза из ТС и закрывают ДТ. При этом в CMR таможенные инспекторы ППП ТС проставляют свою личную номерную печать (в Беларуси – мытня, в РФ – печать российских таможенников). После данного этапа у перевозчика (в лице водителя) остаются: ТСД

3.2. **Въезд в ЕС:** Таможенные инспекторы ЕС в ППП осуществляют процедуры по оформлению ввозимого на территорию ЕС груза и открывают Т1 (Гарантийный документ (Таможенный документ ЕС), сопровождающий грузы *неевропейского* происхождения при их перевозке между таможенными постами внутри ЕС).

Т1 оформляется за счет перевозчика. После данного этапа у перевозчика (в лице водителя) остаются: ТСД + Т1.

4. При проведении таможенной очистки («**растаможка»)** в ЕС, в таможенный пост (экспедицию) ЕС, указанный клиентом и зафиксированный в 13 графе CMR, сдаются ТСД+Т1. По факту «растаможки» - Т1 закрывается, в СМR проставляются соответствующие таможенные печати (печать экспедиции и таможни). У перевозчика остаются ТСД.

5. На **выгрузке** в ЕС, по факту выгрузки груза, получаем CMR с отметкой (печатью) грузополучателя в 24 графе.

**ИМПОРТ**

1. Загрузка

2. Затаможка (таможенное оформление в стране отправления) в ЕС

3. Прохождение границы

3.1 Оформление в пограничном пункте пропуска (ППП) ЕС (выезд из ЕС)

3.2 Оформление в ППП ТС (въезд в ТС)

4. Растаможка (таможенная очистка в стране назначения) в РФ

5. Выгрузка

Импортная перевозка может осуществляться двумя способами:

1) таможенная перевозка по TIR Carnet (книжка МДП)

2) таможенная перевозка по декларациям

**Таможенная перевозка по TIR Carnet (книжка МДП)**

Carnet TIR (книжка МДП, международных дорожных перевозок) — документ таможенного транзита, дающий право перевозить грузы через границы государств в опломбированных таможней кузовах автомобилей или контейнерах с упрощением таможенных процедур.

1. На **загрузке** в ЕС получаем товаросопроводительные документы (ТСД): CMR – с печатями грузоотправителя в 22 графе, инвойс, упаковочный лист. Помимо ТСД выдаются разбивки, спецификации и т.д.

2. При прохождении процедуры таможенного оформления («**затаможка»)** в ЕС на основании документов, полученных на загрузке, оформляется декларация EX1 (таможенный документ ЕС, данная декларация оформляется на товар, который изготовлен и продан в ЕС и экспортируется за его пределы), либо выдается декларация Т1.

ЕХ-1 должна оформляться клиентом (как правило, поставщиком), либо перевозчиком за счет клиента. По факту «затаможки», у перевозчика должны остаться следующие документы: ТСД + EX1/Т1.

**Если перевозка осуществляется с использованием TIR Carnet**, то тогда в таможне ЕС, на основании EX/Т1 и ТСД открывается TIR (при этом, в Carnet TIR оформляется грузовой манифест, отрывается первый отрывной лист, тем самым груз помещается по таможенный контроль ЕС) и закрывается EX1/Т1. После открытия TIR, у перевозчика должны остаться ТСД+TIR с 1 оторванным листом.

3. **Прохождение границы** осуществляется только через специализированные пограничные пункты пропуска и проходит в 2 этапа: 1 - выезд из ЕС, 2 - Въезд в ТС.

3.1 **Выезд из ЕС**: Таможенные инспекторы ЕС в ППП проводят таможенные процедуры по выпуску груза из ЕС при этом в TIR отрывается 2 отрывной листок (груз выпускается из-под таможенного контроля ЕС). После данного этапа у водителя на руках: ТСД+ TIR с 2 оторванными листами.

3.2 **Въезд в ТС:** Таможенные инспекторы ТС в ППП осуществляют процедуры по оформлению ввозимого на территорию ТС груза при этом в TIR отрывается 3 отрывной листок (груз помещается под таможенный контроль ТС). В CMR таможенные инспекторы ППП ТС проставляют свою личную номерную печать (в Беларуси – мытня, в РФ – печать российских таможенников). После данного этапа у перевозчика (в лице водителя) остаются: ТСД + TIR с 3 оторванными листами.

4. При прохождении процедуры таможенной очистки («**растаможка»)** в РФ (ТС), в таможенный пост, указанный клиентом и зафиксированный в 13 графе CMR, сдаются ТСД+ TIR с 3 оторванными листами. По факту «растаможки» - TIR закрывается (отрывается 4 отрывной листок), выдается подтверждение о прибытии авто на таможню, в СМR проставляются соответствующие печати. У перевозчика остаются ТСД + закрытый TIR с 4 оторванными листами

На **выгрузке**, по факту выгрузки груза, получаем CMR с отметкой (печатью) грузополучателя в 24 графе.

**Таможенная перевозка по декларациям**

1. На **загрузке** в ЕС получаем товаросопроводительные документы (ТСД): CMR – с печатями грузоотправителя в 22 графе, инвойс, упаковочный лист. Помимо ТСД выдаются разбивки, спецификации и т.д.

2. При прохождении процедуры таможенного оформления («**затаможка»)** в ЕС на основании документов, полученных на загрузке, оформляется декларация EX1 (таможенный документ ЕС, данная декларация оформляется на товар, который изготовлен и продан в ЕС и экспортируется за его пределы), либо выдается декларация Т1.

ЕХ-1 должна оформляться клиентом (как правило, поставщиком), либо перевозчиком за счет клиента. По факту «затаможки», у перевозчика должны остаться следующие документы: ТСД + EX1/Т1.

3. **Прохождение границы** осуществляется только через специализированные пограничные пункты пропуска и проходит в 2 этапа: 1 - выезд из ЕС, 2 - Въезд в ТС.

3.1 **Выезд из ЕС**: Таможенные инспекторы ЕС в ППП проводят таможенные процедуры по выпуску груза из ЕС и закрывают ЕХ1/Т1. После данного этапа у водителя на руках: ТСД.

3.2 **Въезд в ТС:** Таможенные инспекторы ТС в ППП осуществляют процедуры по оформлению ввозимого на территорию ТС груза и оформляют Транзитную декларацию (Транзитная декларация - это документ, требуемый для процедуры, внутреннего таможенного транзита, ввозимого на территорию ТС груза. Формируется декларантами ГК «Х» (Отделом ЭПИ и пропусков).

При оформлении декларации присваивается уникальный номер, состоящий их 3 групп цифр, формата:

**XXXXXXXX/**

**XXXXXX/**

**XXXXXXX**

Код таможенного поста

Дата

Номер декларации

В CMR таможенные инспекторы ППП ТС проставляют свою личную номерную печать (в Беларуси – мытня, в РФ – печать российских таможенников). После данного этапа у перевозчика (в лице водителя) остаются: ТСД + Транзитная декларация.

4. При прохождении процедуры таможенной очистки («**растаможка»)** в РФ (ТС), в таможенный пост, указанный клиентом и зафиксированный в 13 графе CMR, сдаются ТСД+ Транзитная декларация. Водителю выдается подтверждение о прибытии авто на таможню. По факту «растаможки» - декларация закрывается, в СМR проставляются соответствующие печати. У перевозчика остаются ТСД.

5. На **выгрузке**, по факту выгрузки груза, получаем CMR с отметкой (печатью) грузополучателя в 24 графе.

На момент проведения анализа основными направлениями работы компании были зарубежные рынки и международные перевозки. Однако, в условиях введения санкций и неблагоприятной политической и экономической ситуации, сложившейся впоследствии, было принято решение сконцентрировать внимание на внутрироссийских перевозках и развитии внутреннего рынка.

**Управление складскими мощностями транспортной компании**

Ожидается, что сложность задач и динамика рынка сильно повлияют на организацию управления складом. Организация управления складом формируется в трех измерениях (масштабность планирования, сложность правил принятия решений, сложность управления) и отражается в специфике информационной системы управления складом.[[3]](#footnote-3)

Следует отметить, что управление складом определяется не только этими двумя основными факторами. На самом деле для успешного управления складом необходимо наличие многих других элементов. К ним относятся образованная и хорошо обученная рабочая сила, соответствующие альянсы с клиентами и поставщиками, хорошо продуманные процессы стратегического планирования, хорошо продуманная планировка и системы, хорошо продуманные рабочие процессы и т.д.

Сложность задач и динамика рынка были выбраны для этого исследования, поскольку они играют ключевую роль в проектировании и управлении складскими системами. Насколько нам известно, взаимосвязь между масштабностью планирования зависимых конструкций, сложностью правил принятия решений, сложностью управления и спецификой информационной системы, и сложностью задач независимых конструкций и динамикой рынка в литературе не рассматривалась.

Чем сложнее складская задача, тем более обширным является планирование. Можно ожидать, что правила принятия решений (т.е. операционные планы), используемые для планирования и оптимизации операций на складе, будут сложными, когда задача сложная. Например, большое количество артикулов обычно подразумевает, что многим из них потребуется различная логика и условия хранения и комплектации заказа (подумайте о размере, весе, физическом состоянии, упаковке и носителях продукта, таких как сумки или поддоны), все это изложено в правилах принятия решений. Если количество артикулов, разнообразие процессов и количество строк заказов невелики.

Чем сложнее складская задача, тем сложнее правила принятия решений. Если задача склада сложна, организационная структура может быть адаптирована для решения этой проблемы, и руководство может делегировать обязанности вниз по организации, чтобы уменьшить сложность. Однако нижестоящие уровни организации должны обосновывать свои решения, регулярно отчитываясь о прогрессе и результатах перед руководством.

Чем сложнее складская задача, тем сложнее система управления. Сложные склады (измеряемые количеством строк заказов, обрабатываемых в день, и количеством активных артикулов) используют индивидуальные программные решения, в то время как простые склады используют стандартные программные решения для поддержки управления складом. Следовательно, если задача склада сложна, то стандартное программное решение будет трудно найти, поскольку ситуация слишком специфична. В таких ситуациях эффективным будет только специально разработанное решение или стандартный пакет специального программного обеспечения с существенной настройкой. Простая складская задача может быть поддержана стандартными, широкими решениями или даже без автоматизированной информационной системы.

Чем сложнее складская задача, тем более специфична функциональность информационной системы. Основными характеристиками динамичного рынка являются непредсказуемость спроса и частые изменения ассортимента. Обширное тактическое планирование неэффективно в условиях высокой динамики, поскольку планы должны постоянно меняться. Краткосрочное планирование или координация с помощью обратной связи, т.е. согласованные изменения в характере или последовательности задач были бы более эффективными в этой ситуации. Напротив, если рынок стабилен, рекомендуется тщательное планирование, чтобы эффективно использовать складские ресурсы (персонал, оборудование, транспорт и складские помещения) и свести к минимуму запасы.

Чем более динамичен рынок складских помещений, тем менее обширна планировка. Поскольку правила принятия решений ориентированы на внутренний рынок, непредсказуемость спроса и изменений ассортимента, обусловленная извне, будет оказывать гораздо меньшее влияние на сложность правил принятия решений.

Таким образом, нельзя предположить наличие влияния динамики рынка на сложность правил принятия решений. Некоторые операции достаточно предсказуемы и обычно выполняются в соответствии с планом. В этих ситуациях потребность в контроле минимальна. Динамизм влияет на надежность информации и допущений, используемых при планировании.

Чем выше скорость изменений, тем больше информации доступно на данный момент. Система внутренней отчетности должна быстро обрабатывать и предоставлять информацию, чтобы идти в ногу с изменениями. Кроме того, на динамичном рынке для реагирования на изменения рынка необходим онлайн-обмен информацией с партнерами (поставщиками и/или клиентами) в цепочке спроса и предложения.

Кроме того, сложная складская задача требует более сложной системы управления. В основном это связано с ролью субразмерности «изменения ассортимента» в конструкции динамики рынка. Изменения ассортимента, по-видимому, оказывают иное влияние в распределительных центрах, чем на производственных складах. В то время как субразмерность «непредсказуемость спроса» действительно приводит к менее масштабному планированию, частые изменения ассортимента приводят к более масштабному планированию в распределительных центрах. Оглядываясь назад, это имеет смысл, поскольку изменение ассортимента является обычным делом (к примеру, можно вспомнить о регулярных рекламных акциях, сезонных продуктах) во многих распределительных центрах, и планы складирования и размещения должны предусматривать это.

Кроме того, распределительные центры обрабатывают значительно больше строк заказов в день, чем производственные склады. Это явление, наряду с противоположным эффектом «изменения ассортимента», объясняет, почему масштабность планирования обусловлена динамикой рынка на производственных складах и сложностью задач в распределительных центрах. Чем сложнее складская задача, тем более специфична функциональность информационной системы. Очевидно, что другие факторы, помимо TC, играют определенную роль в выборе WMS (Warehouse management system-система менеджмента склада).

Подводя итоги первой главы, следует сформулировать **управленческую проблему**. Перед компанией стоит задача по доставке груза по Москве и Московской области ввиду ограничения международных перевозок по причине санкций. Данное направление ранее не было настолько широким и не требовало отдельного внимания, однако в связи с упомянутыми внешними изменениями возникла потребность в разработке более конкретного и стандартизированного плана. Из пункта, в котором располагается грузовой терминал – склад в городе Москва, из которого нужно доставить груз в 11 пунктов назначения. Груз, который предполагается перевозить – каучук в мини-бигбэгах целевым клиентам в Москве и области с использованием кратчайшего пути без перевалки груза. Максимальная вместимость транспортного средства, которым осуществляется внутригородская доставка, составляет 1500 единиц товара в мини-бигбэгах, которые нужно доставить. Данный транспорт в группе компаний Х представляет собой двуосный грузовик с прицепом для доставки сборных грузов в рамках одного города (LTL).

# 2. Анализ задач маршрутизации транспортных средств

## 2.1 Структура задач маршрутизации транспортных средств

В рамках данного параграфа будут проанализированы обозначения и структура задач по маршрутизации. Для полноценного понимания метода во всей главе будут рассмотрены работы, которые предлагают нашему вниманию разный уровень решения управленческой проблемы.

В одной отдельно взятой, условной компании запросы на транспортировку состоят из распределения товаров с одного склада, обозначенного как точка 0, в заданный набор из n других точек, обычно называемых клиентами, N = {1, 2, ..., n}. Сумма, которая должна быть доставлена клиенту i ∈ N, представляет собой спрос клиента, который задается скаляром qi ≥ 0, например, весом товара, подлежащего доставке. Предполагается, что автопарк K = {1, 2, ..., |K|} является однородным, что означает, что |K| транспортных средств имеется в наличии на складе, все они имеют одинаковую вместимость Q> 0 и работают с одинаковыми затратами. Транспортное средство, которое обслуживает подмножество клиентов S ⊆ N, начинается со склада, перемещается один раз к каждому из клиентов в S и, наконец, возвращается на склад. Транспортное средство, перемещающееся из i в j, несет транспортные расходы cij. Данная информация может быть структурирована с использованием неориентированного или ориентированного графа.

Пусть V = {0} ∪ N = {0, 1, ..., n} - множество вершин (или узлов). Удобно определить q0 = 0 для депо. В симметричном случае, т.е. когда стоимость перемещения между i и j не зависит от направления, т.е. либо от i к j, либо от j к i, базовый граф G = (V, E) является полным и неориентированным с набором ребер E = {e = {i, j} = {j,i} : i, j ∈ V, i = j } и затраты на ребро ci j для {i, j } ∈ E. В противном случае, если хотя бы одна пара вершин i, j ∈ V имеет асимметричные затраты ci j ≠ cj i, то лежащее в основе граф представляет собой полный орграф G = (V, A) с набором дуг A = {(i, j) ∈ V ×V: i ≠ j} и стоимостью дуги ci j для (i, j) ∈ A.

В целом, условная компания, о которой идет речь, однозначно определяется полным взвешенным графиком G = (V, E, cij, qi) или орграфом G = (V, A, ci j, qi) вместе с размером |K| парка транспортных средств K и вместимостью транспортного средства Q. Маршрут представляет собой последовательность r = (i 0 ,i 1,i 2,...,i s ,i s+1 ) с i 0 = i s+1 = 0, в которой множество S = {i 1,...,i s } ⊆ N клиентов посещается. Маршрут r имеет стоимость c(r) = Ps p=0 ci p,i p+1 . Это возможно, если ограничение пропускной способности q(S): = P i ∈ S qi ≤ Q выполняется, и ни один клиент не посещается более одного раза, т.е. i j ≠ i k для всех 1 ≤ j <k ≤ s. В этом случае говорят, что S ⊆ N является допустимым кластером. Решение для CVRP состоит из |K| возможных маршрутов, по одному для каждого транспортного средства k ∈ K.

Маршруты r1, r2, ..., r|K| и соответствующие кластеры S1, S2, ..., S|K| обеспечивают возможное решение CVRP, если все маршруты выполнимы, а кластеры образуют раздел N. В заключение, CVRP состоит из двух взаимозависимых задач:

* Разделение набора N клиентов на возможные кластеры S1, ..., S|K|;
* Маршрут каждого транспортного средства k ∈ K через {0} ∪ Sk.

Последняя задача требует решения задачи коммивояжера (TSP) над {0} ∪ Sk. Обе задачи взаимосвязаны, поскольку стоимость кластера зависит от маршрутизации, а маршрутизация требует кластеров в качестве входных данных.[[4]](#footnote-4)

В целом, именно так выглядит построение математической модели для решения задач, связанных с маршрутизацией и поиском наименьшего пути. Очевидно, что задачу можно создавать не под однородный товар внутри грузового транспорта. Так, аналогом доставки клиентам в этом случае является сборный груз от клиентов (LTL) от клиентов.

Различные варианты VRP-задач возникают, когда сбор и распределение (или самовывоз и доставка) материала происходят одновременно по маршруту. При этом по-прежнему предполагается, что распределение начинается, а сбор заканчивается на складе. Поэтому проблемы со сбором также известны как VRP «многие к одному», а проблемы с распределением - как VRP «один ко многим». Первый и, вероятно, самый простой вариант - это VRP с обратными путями. Например, при транспортировке крупногабаритных материалов все поставки так называемым клиентам должны выполняться в первую очередь так, чтобы транспортное средство было пустым, когда оно прибудет в первый пункт сбора. Поскольку любое перемещение от клиента обратного пути к клиенту прямого пути запрещено, модель VRP1 остается применимой, если соответствующие дуги удалены из набора дуг A (в качестве альтернативы можно установить стоимость этих дуг на достаточно большое число M). Ограничения при обратной транспортировке возникают из-за сложности перестановки загруженных предметов внутри транспортного средства. Если загрузочное пространство допускает перестановки, например, потому, что транспортное средство может быть загружено сзади и спереди или со всех сторон, в результате возникает проблема VRP со смешанными поставками и сборами или просто смешанный VRPB.[[5]](#footnote-5) Здесь пропускная способность транспортного средства должна проверяться для каждого пройденного края (или дуги); т.е. нагрузка, уже собранная от клиентов обратной перевозки, плюс нагрузка, которая должна быть доставлена клиентам, никогда не может превышать заданную пропускную способность. В то время как каждому клиенту в VRPB и MVRPB требуется либо доставка, либо сбор, но не и то, и другое, VRP с одновременным получением и доставкой включает в себя два запроса на перевозку для каждого клиента, а именно доставку со склада клиенту, и самовывоз от клиента к депо.[[6]](#footnote-6) Оба запроса на перевозку должны быть выполнены одним транспортным средством за один визит. Такая ситуация часто встречается в нескольких реальных приложениях, таких как доставка напитков и одновременный сбор пустых бутылок, а также перевозка на автобусе вновь прибывающих и покидающих отель гостей между местным аэропортом и несколькими отелями (это обычная практика туроператоров во многих курортных регионах). Опять же, ограничение вместимости гарантирует, что ни одно транспортное средство не будет перегружено в любой точке. Интересно, что существует простой критерий для проверки того, может ли данный набор клиентов S ⊆ N быть реально обслужен одним транспортным средством: существует приемлемый маршрут, если ни общая сумма, подлежащая доставке, ни сумма, подлежащая сбору, не превышают вместимость транспортного средства. Нужно просто построить маршрут таким образом, чтобы клиенты с большей суммой, подлежащей доставке, чем подлежащей сбору, посещались первыми на маршруте. Разновидностью VRPSDP является VRP с разделяемыми поставками и приемами (VRPDDP). Здесь доставка и самовывоз у клиента могут быть выполнены за один визит или за два отдельных визита одним и тем же транспортным средством. Поскольку требуется меньшая пропускная способность, когда доставка должным образом предшествует самовывозу, в VRPDDP возможна экономия затрат по сравнению с VRPSDP. Форма маршрутов является более общей и включает в себя так называемые маршруты лассо и другие.[[7]](#footnote-7) Проблемы с самовывозом и доставкой - это VRP, в которых запросы на транспортировку состоят из двухточечных перевозок. Точнее, каждый запрос на перевозку состоит из перемещения товаров или людей между двумя конкретными местами, одним, где кого-то или что-то забирают, и соответствующим местом для доставки. Эта проблема называется проблемой получения и доставки в контексте транспортировки грузов.[[8]](#footnote-8) Приложения включают в себя грузовые перевозки, подобные тем, которые описаны М. Савельсбергом и М. Солом.[[9]](#footnote-9) В контексте пассажирских перевозок эта проблема известна как проблема набора номера. Существуют приложения для маршрутизации автобусов для учащихся, пациентов, инвалидов и пожилых людей. Почти все варианты включают ограничения по временному окну. Часто уровни обслуживания и удобство пользователя учитываются либо с помощью ограничений, либо в целевой функции. В рассматриваемом случае, актуальным будет только доставка груза с пункта А в множество пунктов B, или же в один пункт C.

## 2.2 Обзор задач по поиску кратчайшего пути

Выбор кратчайшего маршрута для движения мобильных объектов определяет их эффективность и экономическую эффективность. Такие задачи для отдельных транспортных средств решаются методами изучения операций над графами, в частности, на основе известных алгоритмов Дейкстры, подробно рассмотренных у исследователей Черткова А., Беллмана-Форда Р., Сахаров В.

Многие научные работы в области транспортных систем, логистики и исследований операций посвящены решению проблем повышения эффективности международных перевозок грузов. К основным характеристикам дорожных сетей относятся: максимальный поток в сети и кратчайшие расстояния в сети. Для решения задачи оптимизации транспортной сети необходимо уметь сводить сетевое представление транспортной задачи к матричному виду, для которого существует практический математический аппарат оптимизации перевозок. Существующие методы решения задачи максимального потока в транспортной сети удобно использовать только для плоской сети. Алгоритм «максимального потока» позволяет оптимизировать решение задачи, но не учитывает особенности транспортных сетей. Необходимо расширить метод для решения проблемы оптимизации транспортных сетей с ограничениями пропускной способности сети и без них. В процессе функционирования различных компонентов транспортных систем возникает постоянная необходимость решения проблем, связанных с их работой в качестве систем массового обслуживания различных типов требований. Это связано с тем, что их назначением, как правило, является обслуживание различных потребителей транспортных услуг (заказов). Поэтому решение задач анализа и оптимизации режимов работы различных звеньев транспортных систем является достаточно актуальным и способно значительно повысить эффективность использования транспорта в различных отраслях экономики. Функционирование отдельных компонентов транспортных систем (TS) рассматривается в этом случае как набор последовательно связанных входящих потоков требований к обслуживанию (транспортные средства, пассажиры и т.д.), каналов обслуживания (контрольно-пропускные пункты, станции технического обслуживания и т.д.) и исходящих потоков требований после обслуживания. Разнообразие применений теории массового обслуживания определяет растущий интерес к ней, а сложность возникающих проблем не позволяет получать комплексные решения, основанные на аналитических методах, даже при численной реализации последних. В таких ситуациях обязательно использовать имитационное моделирование, которое является незаменимым инструментом для анализа эксплуатационных и многих других характеристик и параметров исследуемых систем. Перспективным направлением исследований является использование современных компьютерных информационных технологий в имитационном моделировании применительно к системам массового обслуживания транспорта. Реализации процесса работы системы массового обслуживания (QSO) моделируются на компьютере с использованием ряда случайных или псевдослучайных величин. Усреднение результатов моделирования по времени работы модели или по количеству реализаций процесса позволяет методами математической статистики получать желаемые характеристики системы. Имитационная модель QSO - это модель, которая показывает, как ведет себя система и как ее состояние будет меняться с течением времени при заданном потоке требований, поступающих на входные данные системы. Параметры входного потока требований являются внешними параметрами QSO. Исходными параметрами являются значения, характеризующие свойства системы и качество ее функционирования. Имитационное моделирование позволяет исследовать СМК с различными типами входных потоков и разной интенсивностью системных требований, а также различной дисциплиной требований к обслуживанию. Сегодня в мире программного обеспечения GPSSW (General Purpose Simulation System World) является самой мощной и универсальной средой моделирования для профессионального моделирования широкого спектра процессов и систем. Эта система предназначена для моделирования дискретных, в основном СМК, и непрерывных систем. Это очень эффективный инструмент моделирования, независимый от ограничений аналитических и численных методов, достаточно «прозрачный», который позволяет выполнять нестандартную обработку данных и устраняет многие нетривиальные проблемы программирования и отладки моделей. Область решений таких оптимизационных задач очень широка, поскольку от выбора маршрутов движения зависит грузопоток и скорость доставки. Далее будут рассмотрены некоторые из возможных методов для решения подобных задач.

**Алгоритм Дейкстры**

Алгоритм Дейкстры предназначен для решения задачи поиска кратчайшего пути на графе. Для заданного ориентированного взвешенного графа с неотрицательными весами алгоритм находит кратчайшие расстояния от выделенной вершины - источника до всех остальных вершин графа. Алгоритм Дейкстры является асимптотически быстрейшим из известных последовательных алгоритмов для данного класса задач. Объяснение алгоритма, формально следующее: каждая вершина получает метку (длину кратчайшего пути из начальной вершины). Каждым шагом алгоритма будет посещение соседней одной вершины и, как результат, попытки уменьшать значение метки. При рассмотрении всех соседей вершины она отмечается как изученная(посещенная) и следующим шагом алгоритма будут аналогичные действия с другой(непосещенной) вершиной и ее соседями. Алгоритм заканчивается при окончании взаимодействия с каждой вершиной. Стоит отметить, что метка может быть ничем не помечена или помечена бесконечностью, если граф несвязный, то есть до вершины не добраться никаким способом. Также очевидным будет и нулевое значение метки начальной вершины. Вовремя выполнения алгоритма удобно использовать матрицу для записи весов графа (длин между вершинами). Реализация алгоритма с большим количеством вершин удобна при помощи программирования на С++ или другого моделирования. Алгоритм Дейкстры использует структуру данных для хранения и запроса частичных решений, отсортированных по расстоянию от начала.

**Генетический алгоритм (GA)**

Генетический алгоритм - это эвристический метод глобального поиска, который выглядит как естественный процесс эволюции с использованием генетических операторов (механизмов, схожими с естественно природными, благодаря чему генерируются различные решения из-за рандомизации). Доказано, что генетический алгоритм может быть эффективен в самых разных областях поиска. В 1975 опубликован и озвучен Джоном Холландом в качестве «новаторского направления эволюционного алгоритма[[10]](#footnote-10)».

Алгоритм GA интуитивно понятен и имеет следующие шаги: создание начальной популяции с определенным количеством особей N (то бишь конечным количеством возможных решений задачи для работы алгоритма); N/2 операций скрещивания между двумя случайными особями (то бишь скрещивание, дающее новый порядок обхода вершин, между двумя возможными решениями); мутирование (использование решений еще не участвующий в скрещивании) случайных особей (решений) в задаче; оценка приспособления новых решений, порядков обхода (селекция). Можно описать и один конкретный алгоритм скрещивания: случайная вершина записывается в хромосому потомка (порядок обхода в решении); выбрать менее длинное ребро, выходящее из вершины; использовать вторую вершину данного ребра(ген) как часть порядка обхода (хромосомы), если же данная вершина уже используется, то вместо нее использовать случайную вершину; продолжать до окончания создания маршрута.

**Метод муравьиных колоний**

Как можно понять из названия, данный метод, как и генетический алгоритм, был разработан на основе природных механизмов, в данном случае – на базе поведения муравьев. Муравьиные колонии отличаются высоким уровнем социального взаимодействия, несмотря на достаточно примитивное устройство муравья как вида, что позволяет этим животным успешно существовать. Обмен информацией у муравьев происходит не централизованно, а при помощи так называемого феромона – вещества, которое муравей оставляет на пути своего движения. Чем чаще определенный путь используется муравьями, тем выше концентрация вещества на нем, что, в свою очередь, делает этот путь более привлекательным для других особей. Таким образом, муравьи отыскивают наиболее выгодный маршрут до точки назначения (источника пищи или муравейника). Уже на этом этапе становится заметным сходство с задачей нахождения кратчайшего пути, то есть оптимизации маршрутов. Метод, использующий в своей основе принципы поведения муравьев в природе, был введен в использование Марко Дориго в 1992 году. Узловые точки формируют полный взвешенный граф, вершины которого представляют собой точки, которые агент должен посетить (города, локации клиентов, склады и т.д.), и, соответственно, решением задачи является наиболее выгодный маршрут, то есть маршрут с минимальной стоимостью транспортировки. Метод подразумевает расчет вероятности, с которой агент перейдет по определенной дуге графа, исходя из текущего количества «феромона», то есть накопленного опыта перемещений, на данном маршруте. Учитывается также изменение количества «феромона» вследствие осуществления новых перемещений. Важным условием для использования алгоритма в решении задач является запрет на возвращение в уже посещенную вершину графа. В настоящее время учеными утверждается, что алгоритм муравьиных колоний достаточно успешен в решении прикладных задач оптимизации маршрутов, а для ряда таких задач является наиболее предпочтительным.

**Метод пчелиного роя**

Еще одним способом, в основе которого лежит механизм действия живой природы, является метод пчелиного роя. Как и муравьи, пчелы являются социальными существами, строящими свои поведенческие тактики на основе взаимодействия с сородичами. Для реализации метода в процессе решения задач оптимизации используется следующий алгоритм. При сборе нектара можно определить его источник, то есть точку, где пчела собирает нектар, а также занятых агентов (пчел), то есть собирающих нектар в данный момент, и незанятых – свободных агентов, а также агентов-разведчиков. Разведчики ищут источники нектара, привлекая свободных пчел на найденные объекты, причем вероятность привлечения свободной пчелы на новый источник тем выше, чем ближе к улью источник расположен, и чем он качественнее (количество нектара). Найдя источник, пчелы-разведчики начинают исследовать область вокруг него, после чего алгоритм повторяется. Для использования алгоритма в замкнутом маршруте определяется набор точек (городов, локаций клиентов и т.д.), а также матрицы расстояний между этими точками. Результатом выполнения алгоритма является построенный замкнутый маршрут перемещений между точками (источниками). На практике метод пчелиного роя реализуется на языке программирования Python.

**Обзор проблемы кратчайшего пути**

Эта проблема имеет много полезных применений. Протоколы маршрутизации, используемые в большинстве современных компьютерных сетей, основаны на алгоритмах кратчайшего пути. Следовательно, это стало предметом обширных исследований. Дейкстра предоставил уже хорошо известный алгоритм. Флойд ослабил ограничение, согласно которому все веса должны быть неотрицательными. Иногда бывает полезно найти два, три или k кратчайших путей. Когда число узлов равно n, а число ребер равно m, Эппштейн дает алгоритм, который находит k кратчайших путей.

Генетические алгоритмы являются одним из самых мощных и успешных методов в методах стохастического поиска и оптимизации, основанных на принципах теории эволюции.

В статье Смирнова А. А. «Оптимизация доставки готовой продукции и математический аппарат для ее достижения» приведены основные изменения, которые происходят после внедрения системы маршрутизации перевозок в любой компании. Маршрутизация перевозок позволяет уменьшать время выполнения каждого маршрута, снижать транспортные затраты на топливо, минимизировать количество опозданий к выгрузке у клиента и так далее. Автор работы приводит классификацию различных видов маршрутизации, которые зависят от конкретной системы доставки, принятой в определенной компании.

В классификацию входят: маршрутизация с ограничением по грузоподъемности, маршрутизация с ограничением по времени, маршрутизация с несколькими депо, маршрутизация с доставкой и возвратом товаров, маршрутизация с возвратом товаров и другие. В конце работы Смирнова А. А. приведена другая классификация наиболее часто используемых методов решения задач маршрутизации, которая сформирована исходя из первой классификации видов маршрутизации. В нее вошли следующие основные группы: простейшие методы, точные подходы, эвристические методы и мета-эвристики. Данные группы отличаются точностью решения и скоростью получения решения. Например, полный лексический перебор, входящий в группу простейших методов, является наиболее долгим методом, т.к. необходимо вручную перебрать все допустимые решения, которых может оказаться довольно большое количество. Также мета-эвристические методы дают более точный результат, чем обычные эвристические методы.

В статье Зубарева А. К. «Планирование маршрутизации движения транспорта в условиях крупного города» рассматриваются различные методы решения проблем маршрутизации автотранспорта в пределах крупного города. Основная проблема маршрутизации, которую затрагивает автор в данной работе, связана с увеличивающимся количеством транспортных единиц на городских улицах. Транспортная инфраструктура крупных городов не позволяет быстро и с минимальными издержками перемещаться по оптимальному маршруту, т.к. развитие инфраструктуры происходит медленнее, чем увеличение транспорта на дорогах. В таких условиях задача маршрутизации может быть решена с помощью построения кольцевого маршрута.

Для его построения могут использоваться линейное программирование и эвристические методы. Основное различие данных методов заключается в том, что линейное программирование дает точное решение, чем эвристические методы. В основной части работы Зубарев А. К. производит сравнительный анализ шести методов, которые позволяют найти кратчайший путь движения грузовика при условии, что грузовик посетит все точки один раз. В анализ включены следующие методы поиска решений: метод 2-опт, алгоритм имитации отжига, приемлемость предельного значения, алгоритм всемирного потопа, алгоритм разрушения-восстановления и нейронные сети.

Профессор технической инженерии университета Арканзаса Хэмди А. Таха в своей работе под названием «Введение в исследование операций» рассматривает основные разделы теории исследования операций: теория принятия решений, математическое программирование (детерминированное и стохастическое, линейное и нелинейное), теория управления запасами, теория игр, имитационное моделирование и теория массового обслуживания. Помимо теории в работе представлены различные типы задач, которые решены с помощью представленных математических моделей.

Также большое внимание в работе уделяется специальному классу задач, которые относятся к сетевым моделям целочисленного программирования, а именно: транспортная, распределительная задачи и задача о назначениях. Наиболее общей моделью является распределительная задача. В работе выделена целая глава под сетевые модели, но они не могут быть применимы в рамках поставленной управленческой проблемы, т.к. основная цель модели – определение объемов перевозок из пунктов предложения в пункты спроса с минимальной стоимостью транспортировки. Более того, в сетевой модели нет последовательного посещения точек спроса. В то время как управленческая проблема компании Х представляет собой классическую задачу маршрутизации перевозок. Данная задача заключается в том, чтобы найти самый выгодный маршрут, удовлетворяющий всем необходимым ограничениям, который проходит последовательно через все точки спроса с последующим возвратом на исходное место.

В работе Хэмди А. Таха присутствует раздел целочисленного линейного программирования с разбором решений задачи коммивояжера. В данном разделе изучается применение двух методов к решению задачи коммивояжера: метод ветвей и границ и метод отсекающих плоскостей. Как уже говорилось ранее методы решения задачи коммивояжера могут быть применены только в совокупности с двухфазным алгоритмом решения задачи маршрутизации перевозок, который вводит различные ограничения на транспортировки.

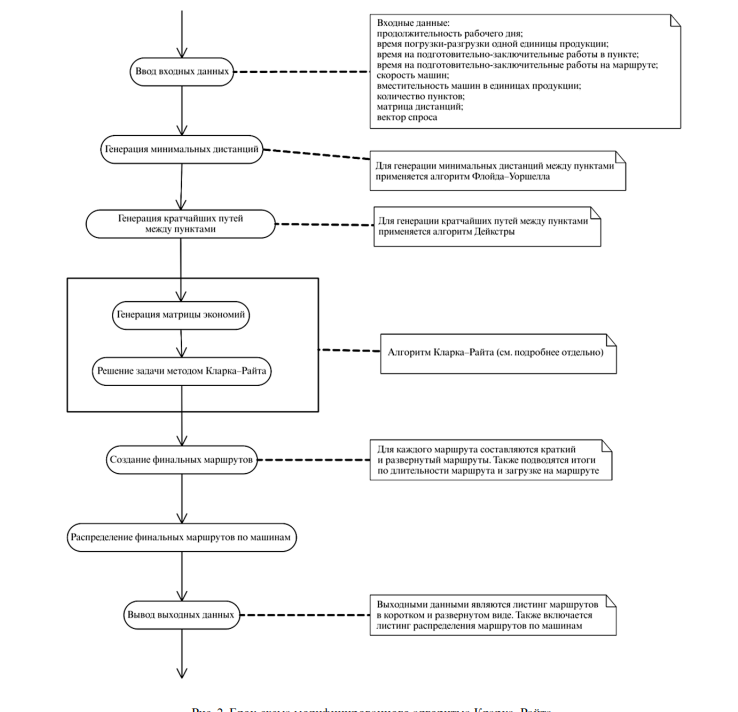
В работе Зайцева М.Г. и Варюхина С.Е. «Методы оптимизации управления и принятия решений» рассматриваются основные методы и модели для оптимизации управления и принятия решений. Работа представляет собой набор теоретической информации по различным тематикам исследования операций, а также приемы для решения практических задач.

Таким образом, существует огромное количество вариаций в рамках решения задач по поиску кратчайшего маршрута. Предполагается, что каждый из этих подходов имеет свойственные только ему плюсы и минусы. Разница между алгоритмами заключается в том, что каждый из них является оптимальным для определенных ситуаций. Так, например, алгоритм Кларка-Райта выглядит наиболее понятным для исследователей, не погруженных в глубокое понимание математики. При этом, например, Алгоритм Р. Флойда и С. Уоршелла позволит нам найти в предложенной матрице дистанций между получателями кратчайшие пути между получателями продукции.

**2.3 Выбор алгоритма решения транспортной задачи**

Далее необходимо выбрать методологию, наиболее подходящую для решения управленческой проблемы, из рассмотренных выше. Нередко на практике при решении подобных задач используется последовательная комбинация различных методов. Например, на блок-схеме (рис.1) представлен один из вариантов, предполагающий последовательное применение нескольких методов для достижения цели.

Для решения данной задачи предлагается использовать метод Кларка-Райта, основанный на экономии пробега за счет замены радиальных маршрутов, подразумевающих посещение каждого клиента отдельным маршрутом, на кольцевые маршруты, в рамках которых несколько клиентов объединяются в один маршрут. Данный метод является эвристическим и потому подвержен некоторой погрешности, однако предлагает решение, близкое к оптимальному. Выбор данного метода обоснован, во-первых, возможностью определить существующую задачу как классическую задачу маршрутизации (VRP, не включающая в себя аспекты самовывоза и другие, усложняющие задачу), а также достаточно малым количеством точек доставки (11 клиентов), что позволяет использовать ручные методы вычисления, уделяя внимание специфике компании-заказчика; данный алгоритм также можно будет использовать далее, в случае, если структура клиентской сети компании будет корректироваться, он является достаточно простым в реализации и может быть предложен менеджменту компании для самостоятельного использования в будущем. Помимо этого, метод Кларка-Райта предполагает условно одновременную доставку продукции клиентам, то есть наличие заказов, ожидающих доставки, от всех клиентов, включенных в задачу, на момент построения маршрутов. В данном случае это условие доступно в компании, поскольку доставка осуществляется некоторыми пулами заказов уже сейчас, а перевозимая продукция не является скоропортящимся товаром и не обладает другими характеристиками, которые делали бы невозможным накопление заказов для последующей развозки.



**Рис 1.** Блок-схема модифицированного алгоритма оптимизации маршрутов

Итогом главы является тот факт, что при всем разнообразии методов был выбран один – алгоритм Кларка-Райта, который предоставляет определенные возможности для транспортной компании по транспортировки грузов в рамках отдельной операции. Его удобство для предложенной задачи заключается в том, что он не использует дополнительных усложняющих элементов для включения в задачу других элементов (таких, как, например, опция самовывоза заказа клиентом), которые в рассматриваемой задаче отсутствуют и потому не требуют сложных алгоритмов. Кроме того, данный метод является эвристическим и не требует специального технического оборудования или программного обеспечения для реализации, позволяя использовать его, в частности, менеджерами компании самостоятельно в будущем. В третьей главе с применением данного метода будет производиться расчет кратчайшего пути, который может помочь в решении проблемы оптимизации доставки каучука в мини-бигбэгах по Москве.

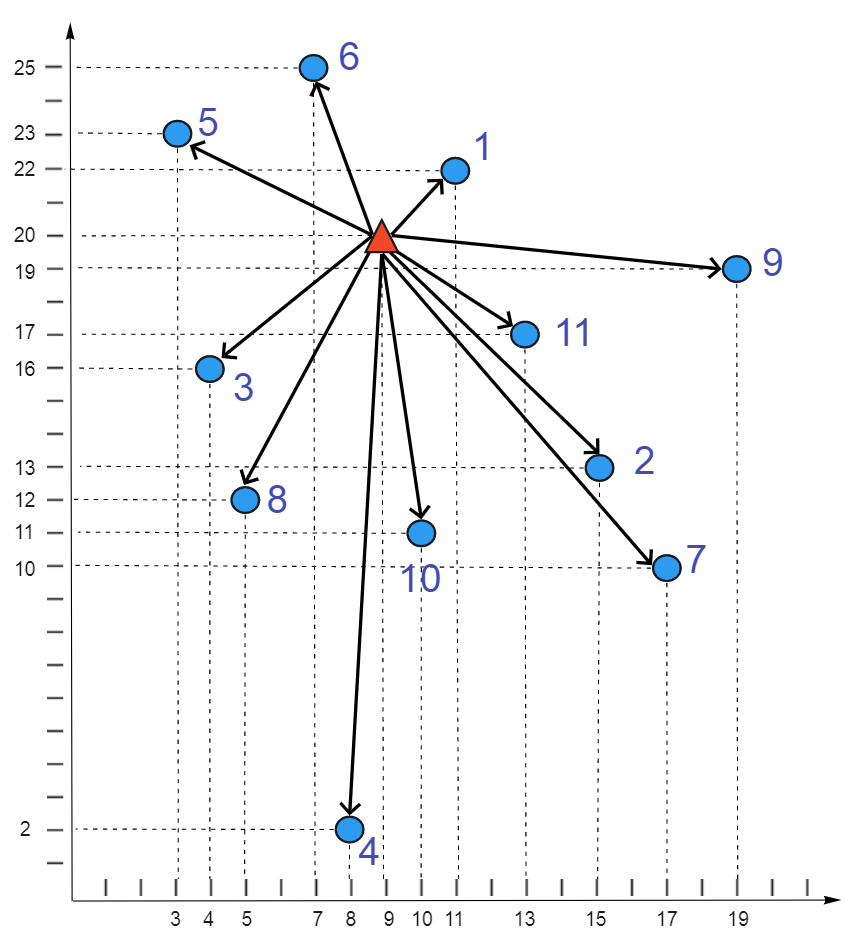
# 3. Решение управленческих проблем компании в рамках вопроса маршрутизации транспортных средств

## 3.1 Поиск кратчайшего пути обслуживания клиентов в г. Москва

В рамках управленческой задачи было определено, что из исходного пункта, в котором располагается грузовой терминал – склад в городе Москва – нужно доставить груз в 11 пунктов назначения. Груз, который предполагается перевозить – каучук в мини-биг бэгах целевым клиентам в Москве и области с использованием кратчайшего пути без перевалки груза. Максимальная вместимость транспортного средства составляет 1500 единиц каучука в мини-биг бэгах, которые нужно доставить. Данный транспорт в группе компаний «Х» представляет собой двуосный грузовик с прицепом для доставки сборных грузов в рамках одного города (LTL). Компания указала точки, куда нужно доставить грузы в рамках транспортной задачи. Всего нужно доставить 11 грузов в разные точки. На текущий момент однозначно простроенных маршрутов у компании нет, поэтому задача будет решаться без исторических данных.

Итак, поставлена задача отыскать самый выгодный маршрут движения транспорта, проходящий по одному разу через указанные пункты с последующим возвратом в исходный пункт (база). Критериями оптимальности в данной постановке задачи являются: минимальный пробег транспортного средства при максимальной загрузке кузова. Для начала перенесем точки доставки по Москве на декартовую систему координат с указанием относительных расстояний. Точные координаты компаний-клиентов не подлежат раскрытию, поэтому визуализируются исходя из условной системы координат с сохранением структуры взаимного расположения, то есть представленная схема представляет собой некоторый масштаб карты клиентов, перевод которого в километры доступен при умножении на некоторый коэффициент. В качестве предположений в модели будем считать, что стоимость транспортировки симметрична, то есть перевозка от склада до клиента будет стоить компании столько же, сколько перевозка от этого клиента до склада. В реальности это может быть не совсем так за счет изменения веса машины после разгрузки и сокращения потребления топлива, а также в случае невозможности возвращения тем же маршрутом; однако данными отклонениями можно пренебречь в силу их незначительного влияния на итоговый результат: по оценкам компании, на текущий момент большинство маршрутов в прямом направлении практически идентичны по расстоянию и времени в пути соответствующим маршрутам в обратном направлении. Следует также отметить, что на время, проведенное в пути, могут оказывать влияние пробки. Для того чтобы детально рассчитать эффект, оказываемый усложненной дорожной ситуацией, необходимо неоднократное проведение одинаковых маршрутов для сбора данных; однако уже на данном этапе компания подтвердила достаточно стабильную ситуацию на территории присутствия в Москве, то есть примерно одинаковое влияние пробок на все маршруты, независимо от их состава. Другими словами, определенные участки дорог со значительно худшей дорожной ситуацией, установившейся на стабильном уровне, в маршруты не входят. Помимо этого, компания заявила о готовности осуществлять развозку заказов во временные промежутки дня, исторически менее подверженные интенсивному дорожному движению в городе. Таким образом, влиянием дорожного движения на длительность маршрутов можно пренебречь.

На рис.2 представлена система координат с отмеченными на ней объектами: красным треугольником обозначен склад, синими кружками – клиенты. Отмечены также условные координаты каждой точки.



**Рис.2.** Расположение склада и клиентов в системе координат

Далее необходимо рассчитать расстояния как от склада до каждого клиента, так и между каждой парой клиентов. Эти расстояния будут далее использованы для формирования кольцевых маршрутов. Расстояния будут рассчитаны по следующей формуле евклидова расстояния:

*,*

где Lij – расстояние между пунктом i и пунктом j, х и у – координаты соответствующих пунктов. Ниже в таблице 5 представлена матрица полученных расстояний. Поскольку расстояния, как и стоимость перевозки, предполагаются в рамках модели симметричными (одинаковыми как в прямом направлении, так и в обратном), матрица заполнена наполовину. Расстояния округлены до целого значения. В последней строке приведены объемы спроса клиентов, усредненные компанией на основе как исторических, так и прогнозных данных, исходя из экспертных оценок и предположений менеджеров компании. Несмотря на то, что данные маршруты являются достаточно новыми для компании, возможность усреднения обусловлена достаточной стабильностью исторического спроса на продукцию компании, что позволяет пренебречь потенциальной погрешностью.

**Таблица 5.** Матрица расстояний между объектами

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |  |
| 3 | 9 | 6 | 18 | 7 | 5 | 13 | 9 | 10 | 9 | 5 | **Склад** |
| - | 10 | 9 | 20 | 8 | 5 | 13 | 12 | 9 | 11 | 5 | **1** |
|  | - | 11 | 13 | 16 | 14 | 4 | 10 | 7 | 5 | 4 | **2** |
|  |  | - | 15 | 7 | 9 | 14 | 4 | 15 | 8 | 9 | **3** |
|  |  |  | - | 22 | 23 | 12 | 10 | 20 | 9 | 16 | **4** |
|  |  |  |  | - | 4 | 19 | 11 | 16 | 14 | 12 | **5** |
|  |  |  |  |  | - | 18 | 13 | 13 | 14 | 10 | **6** |
|  |  |  |  |  |  | - | 12 | 9 | 7 | 8 | **7** |
|  |  |  |  |  |  |  | - | 16 | 5 | 9 | **8** |
|  |  |  |  |  |  |  |  | - | 12 | 6 | **9** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | - | 7 | **10** |
| **350** | **600** | **280** | **540** | **100** | **300** | **770** | **250** | **300** | **620** | **120** |  |

Далее оценим экономию при замене двух радиальных маршрутов одним кольцевым. Под радиальным маршрутом понимается такой маршрут, при котором каждый клиент обслуживается индивидуально – транспортное средство отправляется со склада к клиенту, разгружается и возвращается обратно, затем загружается заказом следующего клиента, и так далее. Кольцевой маршрут подразумевает обслуживание клиентов в рамках одного рейса, без возврата на склад после разгрузки у каждого клиента. Другими словами, мы будем объединять клиентов в сборные маршруты, чтобы развозить продукцию без заезда на склад после каждого клиента. Согласно алгоритму Кларка и Райта, экономия пробега, то есть сокращение расстояния рейса (выигрыш) от внедрения кольцевого маршрута между складом (обозначается за точку «0») и клиентами i, j составляет L0i + L0j – Lij. Это означает, что за счет объединения двух клиентов в пару в рамках одного маршрута транспортное средство не возвращается обратно на склад после посещения клиента i, то есть экономит расстояние L0i, не отправляется со склада к клиенту j, то есть экономит расстояние L0j, но при этом проезжает расстояние между клиентами, то есть из экономии вычитается расстояние Lij.

В таблице 6 представлена матрица выигрышей при объединении в пару каждой комбинации из двух клиентов. Выигрыши округлены до целого значения.

**Таблица 6.** Матрица выигрышей при внедрении кольцевых маршрутов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| **1** | - | 2 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 4 | 1 | 2 |
| **2** |  | - | 4 | 14 | 0 | 0 | 18 | 8 | 12 | 13 | 10 |
| **3** |  |  | - | 10 | 6 | 2 | 5 | 11 | 1 | 8 | 2 |
| **4** |  |  |  | - | 3 | 0 | 19 | 17 | 8 | 18 | 7 |
| **5** |  |  |  |  | - | 8 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| **6** |  |  |  |  |  | - | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| **7** |  |  |  |  |  |  | - | 10 | 14 | 15 | 10 |
| **8** |  |  |  |  |  |  |  | - | 3 | 13 | 5 |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  | - | 7 | 9 |
| **10** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | - | 7 |
| **11** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | - |

Дальнейшие расчеты по методу Кларка-Райта предполагают сортировку выигрышей по убыванию, тем самым позволяя определить, какие объединения позволят добиться максимальной экономии. Очевидно, что в случае, если два отдельно взятых клиента располагаются очень близко друг к другу, но далеко от склада, экономия будет достаточно большой за счет короткого пути между клиентами и большой экономии на маршрутах от склада и до него. При этом в случае относительно небольшого расстояния до клиентов от склада, но значительно более долгого пути от одного клиента к другому экономия будет снижаться и может отсутствовать вовсе. Таким образом, максимально выгодные объединения будут поочередно включаться в маршрут до тех пор, пока вместимость транспортного средства не будет исчерпана; после этого начинается второй маршрут (используется второе транспортное средство) и так далее до тех пор, пока каждый клиент не будут включен в один из маршрутов. Методология предполагает, что автопарк компании не ограничен; разумеется, в реальности это невозможно, однако на небольшой клиентской базе, учитывая достаточный размер парка, можно сделать это допущение. Как было отмечено выше, максимальная вместимость грузового автомобиля, используемого для доставки, составляет 1500 единиц товара. В данном случае сортировка производилась на неокругленных значениях, тем самым устраняя возможную погрешность вследствие отсутствия одинаковых значений в матрице выигрышей. В таблице 7 представлена последовательность пар, отсортированная по убыванию (слева направо). Из таблицы видно, что разброс выигрышей достаточно велик: пары, стоящие в конце списка, практически не обеспечивают никакой экономии при объединении их в единый маршрут.

**Таблица 7.** Пары клиентов, отсортированные по убыванию выигрыша

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **выигрыш** | **пара** |  | **выигрыш** | **пара** |  | **выигрыш** | **пара** |  | **выигрыш** | **пара** |
| 18,792 | 4 7 |  | 9,585 | 7 8 |  | 4,2209 | 2 3 |  | 0,8385 | 1 10 |
| 18,42 | 2 7 |  | 8,7253 | 9 11 |  | 3,3417 | 8 9 |  | 0,6324 | 1 4 |
| 17,864 | 4 10 |  | 8,1139 | 2 8 |  | 3,2136 | 1 6 |  | 0,4095 | 5 7 |
| 16,532 | 4 8 |  | 7,8292 | 4 9 |  | 3,1489 | 4 5 |  | 0,3912 | 4 6 |
| 14,791 | 7 10 |  | 7,6483 | 3 10 |  | 2,4433 | 1 11 |  | 0,3852 | 6 11 |
| 14,209 | 2 4 |  | 7,6212 | 5 6 |  | 2,3477 | 3 11 |  | 0,3072 | 2 5 |
| 13,637 | 7 9 |  | 7,3472 | 10 11 |  | 2,3015 | 3 6 |  | 0,2657 | 5 9 |
| 12,901 | 8 10 |  | 7,2164 | 4 11 |  | 2,2183 | 1 7 |  | 0,1825 | 2 6 |
| 12,89 | 2 10 |  | 7,0636 | 9 10 |  | 2,1991 | 1 2 |  | 0,1637 | 6 7 |
| 12,058 | 2 9 |  | 6,0403 | 3 5 |  | 2,0186 | 6 9 |  | 0,1227 | 6 10 |
| 11,224 | 3 8 |  | 4,8916 | 3 7 |  | 1,8711 | 5 10 |  | 0,1108 | 1 8 |
| 9,8707 | 3 4 |  | 4,5103 | 8 11 |  | 1,4744 | 1 5 |  | 0,0463 | 5 11 |
| 9,7474 | 2 11 |  | 4,4721 | 5 8 |  | 1,1765 | 6 8 |  | 0,012 | 1 3 |
| 9,744 | 7 11 |  | 4,3343 | 1 9 |  | 1,1559 | 3 9 |  |  |  |

Далее решение строилось следующим образом. Использовался последовательный алгоритм объединения клиентов в пару с наибольшим выигрышем, проверялась доступность такого маршрута (суммарный спрос в сравнении с вместимостью машины – 1500 единиц товара). Спрос каждого клиента должен быть удовлетворен за один заезд целиком, то есть догрузить машину до максимальной вместимости частью заказа нельзя. Составленную пару разбивать нельзя, поскольку это приведет к потере экономии; то есть дополнительных клиентов можно присоединять к маршруту до первого и после последнего клиента на текущем маршруте, даже если порядок клиентов в паре меняется; такая возможность появляется за счет симметричности расстояний и затрат, выбранной в качестве допущения модели. Когда вместимость машины подходит к концу, маршрут закрывается и начинается новый. Каждый маршрут начинается со склада и заканчивается им (машина возвращается после последней разгрузки). Пары, которые невозможно присоединить к текущему маршруту, пропускаются; с них начинается построение следующего маршрута после окончания текущего маршрута – это соответствует последовательному алгоритму Кларка-Райта. В таблице 8 представлены построенные маршруты и итерации, которые привели к данному результату. Как видно из таблицы, компании потребуется только три транспортных средства для использования данного решения в работе, что вполне удовлетворяет текущим возможностям компании. Более того, маршруты могут осуществляться не параллельно, а последовательно, то есть с использованием одной машины, в случае, если сроки доставки заказов позволяют это сделать и по какой-либо причине компания не будет располагать одновременно тремя свободными транспортными средствами. Однако основной вариант предполагает использование трех машин.

**Таблица 8.** Итоговые маршруты по методу Кларка-Райта

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Пара** | **Маршрут** | **Спрос** | **Доступность** | **Итоговый маршрут** |
| **Маршрут 1** | 4 7 | 0 4 7 0 | 1310 | да (<1500) | 0 4 7 0 |
| *свободное место: 190, подходят только клиенты 5 и 11*  *Выбирается ближайшая пара, объединяющая 5 или 11 клиента с 4 или 7* | | | | |
| 7 11 | 0 4 7 11 0 | 1430 | да (<1500) | **0 4 7 11 0** |
| *свободное место: 70, клиентов со спросом <70 нет* | | | | |
| **Маршрут 2** | 8 10 | 0 8 10 0 | 870 | да (<1500) | 0 8 10 0 |
| 2 10 | 0 8 10 2 0 | 1470 | да (<1500) | **0 8 10 2 0** |
| *свободное место: 30, клиентов со спросом <30 нет* | | | | |
| **Маршрут 3** | 5 6 | 0 5 6 0 | 400 | да (<1500) | 0 5 6 0 |
| 3 5 | 0 3 5 6 0 | 680 | да (<1500) | 0 3 5 6 0 |
| 1 6 | 0 3 5 6 1 0 | 1030 | да (<1500) | 0 3 5 6 1 0 |
| 3 9 | 0 9 3 5 6 1 0 | 1330 | да (<1500) | **0 9 3 5 6 1 0** |

Таким образом, сложилось следующее решение.

* **Маршрут 1: склад – клиент 4 – клиент 7 – клиент 11 – склад**

В пару объединяются два клиента – 4 и 7, поскольку экономия при включении их в кольцевой маршрут является максимальной. Суммарный спрос этих клиентов составляет 1310 единиц товара; при максимальной вместимости транспортного средства в 1500 единиц товара машина может вместить еще 190 единиц товара. Большинство клиентов имеют больший спрос, поместиться в машину могут только заказы 5 или 11 клиента. Вследствие этого были пропущены все пары, которые, с одной стороны, не включают в себя заезд к 4 или 7 клиенту (т.е. возможность присоединить пару к текущему маршруту), и, с другой стороны, не включают заезд к 5 или 11 клиенту. Ближайшая пара в ранжированном списке, удовлетворяющая условиям – это пара клиентов 7 и 11. Таким образом, клиент 11 был присоединен к маршруту после клиента 7. После этой итерации вместимость машины оказалась практически полностью заполненной – 1430 единиц товара. Клиентов со спросом менее 70 единиц товара нет, поэтому данный маршрут закончен.

* **Маршрут 2: склад – клиент 8 – клиент 10 – клиент 2 – склад**

После завершения построения маршрута 1 все пары, содержащие заезд к включенным в него клиентам (4, 7, 11) были удалены из ранжированного списка, поскольку к каждому клиенту заезд осуществляется один раз. В таблице 9 представлен очищенный ранжированный список пар.

**Таблица 9.** Ранжированный список пар по выигрышу после удаления клиентов, включенных в маршрут 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **выигрыш** | **пара** | **выигрыш** | **пара** |
| 12,901 | 8 10 | 2,3015 | 3 6 |
| 12,89 | 2 10 | 2,1991 | 1 2 |
| 12,058 | 2 9 | 2,0186 | 6 9 |
| 11,224 | 3 8 | 1,8711 | 5 10 |
| 8,1139 | 2 8 | 1,4744 | 1 5 |
| 7,6483 | 3 10 | 1,1765 | 6 8 |
| 7,6212 | 5 6 | 1,1559 | 3 9 |
| 7,0636 | 9 10 | 0,8385 | 1 10 |
| 6,0403 | 3 5 | 0,3072 | 2 5 |
| 4,4721 | 5 8 | 0,2657 | 5 9 |
| 4,3343 | 1 9 | 0,1825 | 2 6 |
| 4,2209 | 2 3 | 0,1108 | 1 8 |
| 3,3417 | 8 9 | 0,012 | 1 3 |
| 3,2136 | 1 6 |  |  |

Парой с максимальной экономией пробега после этого является пара клиентов 8 и 10. С нее начинается маршрут 2. Далее к нему присоединяется клиент 2, поскольку пара клиентов 2 и 10 является следующей по убыванию выигрыша. Суммарный спрос трех клиентов составил 1470 единиц товара, поэтому маршрут заканчивается: ни один из оставшихся клиентов не может быть включен из-за ограничения вместимости.

* **Маршрут 3: склад – клиент 9 – клиент 3 – клиент 5 – клиент 6 – клиент 1 – склад**

После завершения маршрута 2 из ранжированного списка убираются пары, включающие клиентов 8, 10 и 2. Обновленный список представлен в таблице 10. После их удаления парой с максимальным выигрышем из оставшихся является пара клиентов 5 и 6. Они объединяются в маршрут. Далее, согласно алгоритму, присоединяются клиенты 3, 1 и 9. Их суммарный спрос меньше максимальной вместимости транспортного средства, поэтому они все включаются в маршрут. Таким образом, маршрут 3 включает в себя всех 5 оставшихся клиентов, тем самым завершая задачу.

**Таблица 10.** Ранжированный список пар по выигрышу после удаления клиентов, включенных в маршрут 2

|  |  |
| --- | --- |
| **выигрыш** | **пара** |
| 7,6212 | 5 6 |
| 6,0403 | 3 5 |
| 4,3343 | 1 9 |
| 3,2136 | 1 6 |
| 2,3015 | 3 6 |
| 2,0186 | 6 9 |
| 1,4744 | 1 5 |
| 1,1559 | 3 9 |
| 0,2657 | 5 9 |
| 0,012 | 1 3 |

Далее необходимо рассчитать длительность каждого маршрута. Для этого будут просуммированы последовательно расстояния из таблицы 5 в рамках каждого маршрута. Результаты представлены в таблице 11.

**Таблица 11.** Длительность маршрутов и суммарный пробег

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Маршрут** | **Объем перевозки** | **Расстояние** |
| Маршрут 1 | 0 4 7 11 0 | 1430 | **43** |
| Маршрут 2 | 0 8 10 2 0 | 1470 | **29** |
| Маршрут 3 | 0 9 3 5 6 1 0 | 1330 | **45** |
| **Суммарно** |  | **4230** | **116** |

Таким образом, по итогам решения задачи компании предлагается способ внутригородской доставки, близкий к оптимальному (кратчайшему) при текущих условиях. Интерпретация данного результата заключается в умножении полученного значения пробега на некоторый коэффициент масштаба, не представленный в работе в силу необходимости сохранения конфиденциальности информации. Поскольку основные расчеты затрат на транспортировку в компании базируются на расстоянии, полученное значение пробега можно использовать как базу для этих расчетов. В случае изменения клиентского спроса, появления новых постоянных клиентов или сокращения текущих метод может быть скорректирован и применен повторно для изменившихся условий.

Для подтверждения эффективности выбранного решения была проведена также оценка расстояния в аналогичной системе координат при использовании других маршрутов. В таблице 12 представлена одна из таких вариаций, составленная на основе деления карты на условные зоны (без пересечения маршрутов).

**Таблица 12.** Вариант маршрутизации без использования специальных методов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Маршрут** | **Расстояние** |
| Маршрут 1 | 0 10 4 0 | 36 |
| Маршрут 2 | 0 5 3 8 0 | 27 |
| Маршрут 3 | 0 6 1 9 0 | 29 |
| Маршрут 4 | 0 11 2 7 0 | 26 |
| **Суммарно** |  | **118** |

Важно отметить, что, как было указано ранее, полученные значения не выражаются в конечных единицах измерения маршрутов (километрах) из-за измененного масштаба карты, то есть фактическая разница будет отличаться значительно сильнее. Также следует принимать во внимание, что метод Кларка-Райта, как и большинство других методов, поддается автоматизации и может быть улучшен за счет использования модифицированного для условий компании программного обеспечения, что позволит получать результаты быстрее и точнее. Это, однако, можно считать оправданным только при наличии потребности в регулярных расчетах и значительной клиентской базе; при отсутствии такой необходимости экономически целесообразнее проведение расчетов по приведенному выше алгоритму. Для этого на текущий момент компании предлагается использовать алгоритм в корпоративных документах в Excel, поскольку функционал данного программного обеспечения достаточен для выполнения алгоритма.

Полученные маршруты позволят компании осуществлять перевозки с меньшими затратами. В силу отсутствия исторических данных оценить потенциальную экономию не представляется возможным, однако сокращение расходов будет основываться на трех основных статьях: почасовая оплата труда водителей транспортных средств, стоимость топлива, а также износ оборудования, который в компании «Х» рассчитывается на основе пройденного километража совместно с гарантийным сроком службы транспортного средства, то есть выбирается событие, наступающее по прогнозам раньше – превышение планового установленного километража или окончание гарантийного срока службы. В таблице 13 представлены начальные данные для расчета затрат на внутригородские перевозки. Конфиденциальные данные были скрыты по просьбе компании.

**Таблица 13.** Расчет затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **Расчет расходов на доставку** |
| **Зарплата водителей (в час)** | Х30 руб. | 116 \* К / S \* X30 |
| **Стоимость топлива (на 100 км)** | Х20 руб. | 116 \* К / 100 \* Х20 |
| **Срок службы ТС** | 10 лет | A = МИН (1X0000 / (116 \* К \* N); 10) |
| **Установленный максимальный километраж в пределах срока службы** | 1Х0000 км |
| **Балансовая стоимость ТС** | ХХ60000 руб. |  |
| **Амортизация (линейный метод), в мес.** |  | XX60000 / (А \* 12) |
|  |  |  |
| *К - коэффициент для перевода дистанции в км* | | |
| *S - средняя скорость ТС на маршрутах* | | |
| *N - предполагаемое количество полных маршрутов в год* | | |

Таким образом, расходы на одну полную развозку будут складываться из зарплаты водителей и стоимости топлива; при достаточно больших собранных исторических данных о ежемесячном спросе клиентов возможно будет произвести процесс усреднения; в первое время после внедрения алгоритма предлагается учитывать фактические данные о заказах. Амортизация, рассчитываемая в компании линейным методом, включается в ежемесячные затраты. Коэффициент K компании известен, далее необходимо получить данные о коэффициентах S и N, что будет достигнуто уже после первых нескольких развозок, после чего их можно будет уточнять в зависимости от сезонности спроса, времени года и влиянии его на качество дорожного движения, а также других факторов. Следует отметить, что стоимость топлива на 100 км пути также меняется в зависимости от сезона вследствие роста потребления топлива зимой за счет обогрева транспортного средства, а также возможных сложностей на дорогах из-за осадков; показатель, приведенный в таблице 13, рассчитан компанией как среднегодовое значение на основе исторических данных о перевозках на других маршрутах и используется для соответствующих целей в других документах.

## 3.2 Характеристика грузов и условия по перевозке опасных грузов в рамках обозначенного маршрута

В рамках существующей задачи нахождения кратчайшего маршрута стоит также определить особенности транспортировки грузов. Компания может возить все классы ADR грузов (опасных), кроме 1-ого и 7-ого классов по данным маршрутам, помимо каучука в мини-бигбэгах. Она также может поставлять на данные складские комплексы грузы в виде баллонов с кислородом, спрей-дезодорантов и пр.

После определения особенностей транспортных требований в пространстве и времени и выявлении кратчайшего маршрута необходимо определить ограничения. Ограничения, возникающие при установлении маршрутов движения транспортных средств, используемых для перевозки опасных грузов, отражаются в различных типах ограничений, определенных в рамках правовых норм, в физических типах ограничений и тех ограничениях, которые связаны с чувствительными участками природы (экологическими зонами).

Ограничения, которые могут существовать в правовых нормах, представляют собой те виды правил, в соответствии с которыми перевозка опасных грузов по определенным дорогам и маршрутам в определенные периоды времени запрещена, или правила (на местном уровне), которые точно определяют, какие дороги могут использоваться для перевозки опасных грузов и в какой период времени. Когда рассматриваются пространственные ограничения в правовых нормах, они связаны с ограничением перевозки опасных грузов транспортными маршрутами или дорогами с определенными физическими ограничениями, отраженными в высоте водопропускной трубы эстакады, допустимой нагрузке на ось дорожного покрытия, а также в запрете перевозки по тем транспортным маршрутам, которые проходят через или находятся рядом с основными частями города.

Временные ограничения, предусмотренные правовыми нормами, представлены периодами времени, в течение которых перевозка опасных грузов по определенным транспортным маршрутам или дорогам запрещена. Эти периоды обычно определяются в часы пикового трафика, то есть когда транспортные потоки являются наибольшими. Данный вид ограничений вводится с целью минимизации возможных последствий в случае возникновения инцидентной ситуации.

Определение чувствительных экологических зон государственными или городскими властями может оказать сильное влияние на выбор маршрута перевозки опасных грузов, поскольку возможное воздействие опасных грузов на эти районы может иметь неизмеримые последствия. Типы чувствительных зон окружающей среды, которые расположены вдоль маршрута дороги, используемой для перевозки опасных грузов, могут быть определены из разных источников и на основе уровня мер, применяемых для определения местоположения чувствительных зон, где государство или государственные органы могут предписать запрет на прохождение по этим областям.

Очень важным фактом, который может повлиять на осуществимость решения, является предотвращение того, чтобы маршрут, используемый для перевозки опасных грузов в пределах его зоны влияния (путем создания интервалов влияния опасных грузов), пересекал или касался этих чувствительных областей окружающей среды. Если это не так, то решение относительно маршрута обречено из-за такого рода сбоев, независимо от того, насколько оно хорошо с технической и технологической точки зрения. Еще один шаг, определяющий альтернативы для анализа, определяющий критерии выбора маршрута, представляют собой два шага, на основе которых можно исключить определенные маршруты, которые в любом случае не могут соответствовать условиям использования для перевозки опасных грузов.

Вышеизложенные ограничения не повлияют на текущую ситуацию, при которой клиентам доставляется каучук, не являющийся опасным грузом. Однако они могут стать значимыми в случае изменения условий. Таким образом, в рамках существующих грузовых потребностей удалось выделить особенности транспортировки грузов компании. Сейчас мы имеем полноценное представление о грузе, кратчайшем маршруте и о том, какие особенности транспортировки связаны с данными грузами. При наличии должной подготовки маршрута возможность выстроить стабильную логистическую схему выглядит реалистичной и оправданной.

# Заключение

В настоящее время во всех отраслях экономики логистика помогает оптимизировать существующие производственные и распределительные процессы на основе одних и тех же ресурсов с использованием методов управления для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Ключевым элементом логистической цепочки является транспортная система, которая объединяет определенные виды деятельности. Транспортировка занимает треть суммы затрат на логистику, а транспортные системы оказывают огромное влияние на работу логистической системы. Только хорошая координация между каждым компонентом логистики может принести максимальную пользу государству и компании.

В рамках данной работы были рассмотрены задачи по маршрутизации и оптимизации транспортировки грузов. Логистическая система составляет сегодня основу многих компаний, которые занимаются транспортировкой грузов. В рамках логистических операций, проводимых компаниями, задействуется логистическая система, которая у каждой отдельно взятой компании особенная, но имеет схожие основы.

Можно говорить о том, что логистическая система представляет собой основу, «скелет» компании и требует изучения для полноценного понимания логистических операций. На данный момент существует большое число организаций, оказывающих услуги разных уровней и представляющих собой сложную систему, объединяющих эти организации в разные группы: логистические, транспортно-логистические, транспортные, оказывающие/ не оказывающие услуги мультимодальных транспортировок и т.д. Одной из важных задач, с которыми сталкиваются транспортные компании, является задача оптимизации маршрутов, которая заключается в поиске кратчайшего пути и, как следствие, снижении логистических затрат, повышении уровня сервиса за счет сокращения сроков доставки и других аспектах. Для решения данной задачи используются разнообразные алгоритмы, предназначенные для учета различных условий и допущений. На примере транспортно-логистической компании был рассмотрен данный вопрос и сформулирован ряд рекомендаций по транспортировке грузов и, как итог, поддержания стабильности логистической системы по доставке грузов в районе одного города в 11 точек, которые были обозначены компанией как приоритетные в рамках доставки в отдельном взятом городе. В качестве инструмента был использован алгоритм Кларка-Райта, хорошо подходящий для решения классических задач оптимизации маршрутов на небольшом количестве точек доставки. Применение алгоритма позволило предложить компании не только решение, близкое к оптимальному на текущий момент, но и предоставить готовый шаблон для применения алгоритма в дальнейшем. Стоит отметить, что задача, которая была поставлена компанией предполагает не только техническую сторону вопроса, но и практическую. В рамках поиска кратчайшего маршрута не стоит забывать о том, что могут возникать различные препятствия в виде ограничений по перевозке легковоспламеняющихся грузов, ADR грузов в частности, грузов, которые не имеют сертификата происхождения и т.д. На данный момент компания не ставила задачу учета этих возможных событий, однако не исключает их важность в будущем. Предложенное решение может служить основой для использования компанией в дальнейшем, поскольку достаточно универсально и легко приспосабливается к измененным условиям, а его реализация по предоставленным для компании шаблонам не требует специальных математических знаний и навыков, вследствие чего может быть самостоятельно использована менеджерами компании. Разумеется, использованная модель основывается на ряде ограничений и допущений, которые должны быть учтены в каждом отдельном случае, однако она является базой, позволяющей в дальнейшем строить более стандартизированные и аргументированные модели.

# Список источников

1. Аникин, Б. А. Логистика производства: теория и практика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. А. Волочиенко, Р. В. Серышев; отв. ред. Б. А. Аникин. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 454 с.
2. Бочкарев, А. А. Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для СПО / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 150 с.
3. Бочкарев, А. А. Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: 2019 - 477с.
4. Григорьев, М. Н. Коммерческая логистика: теория и практика: учебник для СПО / М. Н. Григорьев, В. В. Ткач. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 507 с.
5. Григорьев, М. Н. Логистика. Продвинутый курс. В 2 ч. Часть 2 : учебник для бакалавриата и магистратуры / М. Н. Григорьев, А. П. Долгов, С. А. Уваров. — 4-е изд., пер. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 341 с.
6. Гришин А. А. Исследование эффективности метода пчелиного роя в задаче глобальной оптимизации / А.А. Гришин, А.П. Карпенко // Машиностроение и компьютерные технологии. –2010. №08
7. Задача маршрутизации транспорта [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики — Режим доступа: <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/vrp-2006> (дата обращения: 20.04.2022).
8. Зайцев, М.Г. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы: учебное пособие / С.Е. Варюхин, М.Г. Зайцев – 2-е изд., испр. – М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. – 664 с.
9. Зубарева А. К. Планирование маршрутизации движения транспорта в условиях крупного города / А. К. Зубарев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. - № 3.
10. Максимова Н.Н. Поиск оптимального кольцевого маршрута с использованием пчелиного алгоритма / Н.Н. Максимова, Н.С. Колтунов // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2020. №89
11. Метод Кларка-Райта. Оптимальное планирование маршрутов грузоперевозок [Электронный ресурс] // ООО «Инфостарт». — Режим доступа: <http://infostart.ru/public/443585/> (дата обращения: 20.04.2022).
12. Павленко А.И. Сравнительный анализ модифицированных методов муравьиных колоний / А.И. Павленко, Ю.П. Титов // Прикладная информатика. – 2012. №4 (40).
13. Пожидаев, М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: автореф. дис. на соискание канд. тех. наук: 05.13.18 / Пожидаев Михаил Сергеевич. - Томск., 2010. – 19 с.
14. Смирнова А. А. Оптимизация доставки готовой продукции и математический аппарат для ее достижения / А. А. Смирнова // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. – 2009. - № 4.
15. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Таха. – 7-е изд.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
16. Чернышев, С. В. Модели, методы и алгоритмы эффективного решения задачи маршрутизации транспорта на графах больших размерностей: автореф. дис. на соискание канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Чернышев Сергей Владленович. - М., 2011. – 22 с.

**Иностранные источники**

1. Ballou, Ronald H. Business Logistics Management. Prentice-Hall International, Inc. 1999. - 681 c.
2. Cooper J., Browne M., Peters M. European Logistics: markets, management, and strategy. Oxford, Blackwell Publishers, 1991.-331 c.
3. Copacino, William C. Supply Chain Management. The Basics and Beyond. APICS, 1997. - 204 c. // Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J Jr. Zarzadzanie logistyczne, PWE, Warszawa, 2002. C. 24-33.
4. International Journal of Operations and Production Management. -1992.-vol.5.-C.18. // Langford, John W. Logistics: Principles and Applications. -McGraw-Hill, Inc. 1995. 567 c.
5. Laporte, G. A Concise Guide to the Traveling Salesman Problem [Electronic resource] / G. Laporte // JSTOR. – Режим доступа: <http://www.jstor.org.ezproxy.gsom.spbu.ru:2048/stable/pdf/40540226.pdf?_=1460820285494> (дата обращения: 20.05.2016).
6. Mohr, Nicolas. Distribution for the small business. Biddies Limited, Guilford. 1990. - 184 c.
7. Toth, Paolo The vehicle routing problem / Paolo Toth, Daniele Vigo - Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. – 367 p.

1. См: Аникин, Б. А. Логистика производства: теория и практика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. А. Волочиенко, Р. В. Серышев; отв. ред. Б. А. Аникин. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 454 с. // Бочкарев, А. А. Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для СПО / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 150 с. // Бочкарев, А. А. Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: 2019 - 477с. // Григорьев, М. Н. Коммерческая логистика: теория и практика: учебник для СПО / М. Н. Григорьев, В. В. Ткач. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 507 с. // Григорьев, М. Н. Логистика. Продвинутый курс. В 2 ч. Часть 2: учебник для бакалавриата и магистратуры / М. Н. Григорьев, А. П. Долгов, С. А. Уваров. — 4-е изд., пер. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 341 с. [↑](#footnote-ref-1)
2. См: Ballou, Ronald H. Business Logistics Management. Prentice-Hall International, Inc. 1999. - 681 c. // Cooper J., Browne M., Peters M. European Logistics: markets, management, and strategy. Oxford, Blackwell Publishers, 1991.-331 c. // Copacino, William C. Supply Chain Management. The Basics and Beyond. APICS, 1997. - 204 c. // Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J Jr. Zarzadzanie logistyczne, PWE, Warszawa, 2002. C. 24-33. // International Journal of Operations and Production Management. -1992.-vol.5.-C.18. // Langford, John W. Logistics: Principles and Applications. -McGraw-Hill, Inc. 1995. 567 c. // Mohr, Nicolas. Distribution for the small business. Biddies Limited, Guilford. 1990. - 184 c. [↑](#footnote-ref-2)
3. Еремина, Е. А. Пути снижения логистических издержек при распределении продукции / Е. А. Еремина // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2008. – № 3 (10). – C. 66-67 [↑](#footnote-ref-3)
4. G. GUTIN AND A. P. PUNNEN, eds., The Traveling Salesman Problem and Its Variations, vol. 12 of Combinatorial Optimization, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. [↑](#footnote-ref-4)
5. A. C. WADE AND S. SALHI, An investigation into a new class of vehicle routing problem with backhauls, Omega, 30 (2002), pp. 479–487. [↑](#footnote-ref-5)
6. H. MIN, The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 23. 1989. pp. 377–386. [↑](#footnote-ref-6)
7. I. GRIBKOVSKAIA, HALSKAU SR., G. LAPORTE, AND M. VLCEK ˇ , General solutions to the single vehicle routing problem with pickups and deliveries, European Journal of Operational Research, 180 (2007), pp. 568–584. [↑](#footnote-ref-7)
8. C. GRÖER, B. L. GOLDEN, AND E. A. WASIL, The consistent vehicle routing problem, Manufacturing and Service Operations Management, 11. 2009. pp. 630–643. [↑](#footnote-ref-8)
9. M. W. P. SAVELSBERGH AND M. SOL, The general pickup and delivery problem, Transportation Science, 29. 1995. pp. 17–29. [↑](#footnote-ref-9)
10. HOLLAND J. H. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975. – 183 p. [↑](#footnote-ref-10)