

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
И.С. ТУРГЕНЕВА»

На правах рукописи



Жесткова Светлана Анатольевна

**УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК
ЧЕРЕЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР**

Специальность 2.9.4. Управление процессами перевозок

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Новиков Александр Николаевич

Орел 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПЕРЕВОЗОК МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ.....	14
1.1. Анализ моделей функционирования автомобильных перевозок.....	15
1.2. Анализ методов решения маршрутизации транспорта.....	21
1.3. Анализ задачи по определению координат местоположения распределительного центра.....	34
Выводы по первой главе.....	41
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА ДОСТАВКИ ГРУЗА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ.....	43
2.1. Анализ применяемых схем передвижения грузов.....	43
2.2. Теоретическое обоснование и усовершенствование методики маршрутизации транспорта метода «ветвей и границ» при вырождении решении задачи.....	49
2.3. Теоретическое обоснование и усовершенствования методики маршрутизации транспорта метода «ветвей и границ» при повышении точности решения задачи.....	67
2.4. Теоретическое обоснование, разработка метода маршрутизации транспорта при использовании внешних и внутренних фиктивных узлов.....	79
2.5. Решение задачи маршрутизации транспорта методом «фиктивных узлов и ветей» с использованием разработанного программного обеспечения	98
2.6. Практическая значимость предложенного метода при решении задачи маршрутизации транспорта.....	111
Выводы по второй главе.....	115
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МЕТОДОМ ФУВ.....	116
3.1. Метод маршрутизации транспорта с ограничениями величины партии груза и количества пунктов на маршруте.....	117
3.2. Решение задачи маршрутизации транспорта на основе разработанного метода с помощью программного обеспечения Logistics	125
3.3. Метод маршрутизации транспорта с ограничением на обратный груз.....	130

3.4. Решение задач маршрутизации на основе разработанного метода с помощью программного обеспечения Logistics	139
Выводы по третьей главе.....	142
ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРИ ДОСТАВКЕ ГРУЗА ПО КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ.....	144
4.1. Методические аспекты определения местоположения распределительного центра грузовых потоков.....	144
4.2. Численный пример определения местоположения распределительного центра грузовых потоков для маятниковых маршрутов.....	154
4.3. Численный пример определения местоположения распределительного центра грузовых потоков для кольцевых маршрутов.....	163
Выводы по четвертой главе.....	186
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ЧЕРЕЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ПАО «МАГНИТ»).	188
5.1. Определение местоположения распределительного центра с учетом формирования оптимальных схем доставки груза в торговые точки.....	191
5.2. Оценка эколого-экономического эффекта внедрения разработанных решений.....	221
5.2.1. Затраты на организацию маршрутов при доставке груза.....	222
5.2.2. Расчет социально-экономического ущерба от воздействия вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферу при сетевой доставке груза.....	225
5.2.2.1. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей-грузовиков категории N3.....	226
5.2.2.2. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей категории N3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобиля MAN TGS 26.....	227
5.2.2.3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей категории N3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобиля MAN TGM 18.250.....	228
5.2.2.4. Расчет величины социально-экономического ущерба.....	229
Выводы по пятой главе.....	230
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.....	231
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	234
ПРИЛОЖЕНИЕ А	247
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	257
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	269

ПРИЛОЖЕНИЕ Г	274
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	317
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	324
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	327

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В управлении цепями поставок через распределительный центр основное место занимает расположение логистических мощностей центра и наиболее рациональные маршруты доставки груза через него.

Несовершенство существующих расчетных моделей и логистического сервиса, отражающих функционирование системы управления цепями поставок через распределительный центр, приводит к принятию неоптимальных управленческих и организационных решений. Неоптимальное расположение логистических мощностей центра и нерациональный выбор маршрутов движения приводит к перепробегу автомобилей, увеличению транспортной работы и товарной стоимости груза, что в свою очередь ведет к значительному росту эколого-экономического ущерба от выброса в атмосферу вредных веществ с отработанными газами автомобилей.

Актуальным становится поиск новых решений управления цепями поставок через распределительный центр. А научная и практическая значимость исследований в данной области предопределяет выбор темы диссертационной работы.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в решение основных проблем развития транспортной системы страны, создание и формирование современных методов организации и управления перевозками, развитие транспортной логистики внесли: Беллман Р., Белокуров В.П., Вельможин А.В., Витвицкий Е.Е., Воркут А.И., Герами В.Д., Гудков В.А., Горев А. Э., Зарецкий Л.С., Зырянов В.В., Житков В.А., Контарович Л.В., Корчагин В.А., Кожин А.П., Курганов В.М., Ларин О.Н., Лейдерман С.Р., Лукинский В. С., Ляпин С.А., Миротин Л.Б., Мочалин С.М., Николин В.И., Новиков А.Н., Панов С.А., Покровская О.Д., Сергеев В. И., Сигал И.Х., А., Трофимова Л.С., Филиппова Н.А.,

Clarka J., Kofmana G., Little D., Millera, C.E., Serjvika R., Taillarda, E.D., Thompsona P. M., и другие российские, а также иностранные ученые.

Вместе с тем вопросы управления цепями поставок через распределительный центр остаются недостаточно проработанными. Учитывая значимость данной отрасли для экономики Российской Федерации, крайне важно рассмотреть возможность внедрения наиболее передовых научно-методологических решений и их обоснования.

Результаты диссертационной работы получены при выполнении НИР и по заказам коммерческих структур: 1) Соглашение с АО «Тандер» г. Краснодар (торговая марка «Магнит») от 05.06.2019; 2) Написание ПО «Logistics» (программа формирует маршруты, выбирает грузовые терминалы и транспортные средства, определяет производительность подвижного состава) Свидетельство гос. регистрации ПО для ЭВМ №2023669755 от 14.09.2023; 3) Разработка ПО «Transportation» (программа для логистов по грузоперевозкам, позволяющая планировать и формировать пути доставки грузов), Лицензионный договор №01 от 12.01.2024 с ООО «АЛЬТАИР», г. Пенза; 4) Разработка ПО «Distribution Center» (программа помогает составлять оптимальные маршруты с учетом требований грузоотправителя и грузополучателя, определять тариф в зависимости от выбранного маршрута и пр.), Свид-во гос. регистрации ПО для ЭВМ №2024614147 от 14.09.2024; 5) Лицензионный договор № 6 от 1.04.2025 с ИП Молин О.В.; 6) Свид-во гос. регистрации ПО для ЭВМ №2025661413 от 06.05.2025;

Достижения соискателя представлены в рамках «Ежегодной региональной выставки научных достижений ученых пензенских предприятий и высших учебных заведений» в 2024 – 2025 годах.

Целью исследования - повышение эффективности управления цепями поставок партионных грузов на основе определения рациональных маршрутов доставки и местоположения распределительного центра.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методов и моделей определения рациональных маршрутов доставки и местоположения распределительного центра при управлении цепями поставок партионных грузов.
2. Разработать метод маршрутизации транспорта при доставке груза с распределительного центра методом «фиктивных узлов и ветвей» с учетом наличия обратного груза и ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.
3. Усовершенствовать математическую модель определения местоположения распределительного центра на основе минимизации транспортной работы с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля.
4. Усовершенствовать математическую модель определения местоположения распределительного центра на основе минимизации времени перевозочного процесса с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля.
5. Разработать алгоритмы и программное обеспечение управления цепями поставок в распределительном центре на основе полученных методов и математических моделей.
6. Провести экспериментальные исследования по определению основных технико-эксплуатационных показателей процесса доставки грузов при выборе местоположения распределительного центра по критериям: «транспортная работа и времени».
7. Установить степень зависимости выработки и транспортной работы подвижного состава при доставке груза с распределительного центра от длины маршрута, времени и массы груза в городском и междугородном сообщении.
8. Определить экономическую и экологическую целесообразность внедрения разработанного комплекса математических моделей, методов и программного обеспечения управления цепями поставок в распределительном центре на примере компаний ПАО «Магнит», ООО «Караван у дома», ООО «Скидкино» и торговых сетей компании X5 Group.

Объект исследования - распределительный центр

Предмет исследования - процесс организации и управления цепями поставок через распределительный центр.

Рабочая гипотеза – определение местоположения распределительного центра и выбор рациональных маршрутов доставки грузов позволит повысить эффективность и экономическую целесообразность транспортных процессов распределительного центра.

Научная новизна исследования:

1. Разработан метод маршрутизации транспорта с учетом ограничений по количеству пунктов на маршруте и массе отправляемого груза, позволяющий получить точное решение на основе ввода внутренних и внешних фиктивных узлов.

2. Усовершенствованы математические модели аналитического определения координат местоположения распределительного центра по критериям «минимизация транспортной работы» и «время», учитывающие полную работу и время движения подвижного состава в прямом и обратном направлениях с формированием рациональных маршрутов и учетом кривизны траектории движения автомобиля с помощью аппроксимаций.

3. Разработан точный метод маршрутизации транспорта при наличии обратного груза и ограничений по массе доставляемого груза и количеству пунктов на маршруте, учитывающий рациональные маршруты с основным грузом и совмещенные маршруты с использованием функции выгоды.

4. Определена степень зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по критерию «минимизация времени» от длины маршрута, времени и массы доставляемого груза.

5. Определена степень зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по критерию «минимизации транспортной работы» от длины от длины маршрута, времени и массы доставляемого груза.

Методология и методы исследования:

Диссертационная работа базируется на известных научных трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации перевозочных услуг, управления цепями поставок, определения местоположения распределительного центра, выбора рациональных схем доставки груза при решении задачи маршрутизации.

В ходе исследования применялись методы вычислительной математики, математической статистики, теории графов, методы системного анализа: натурное обследование, моделирование данных, численный эксперимент.

Методология и методы исследования диссертационная работа базируется на известных научных трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации перевозочных услуг, управления цепями поставок, определения местоположения распределительного центра, выбора рациональных схем доставки груза при решении задачи маршрутизации.

В ходе исследования применялись методы вычислительной математики, математической статистики, теории графов, методы системного анализа: натурное обследование, моделирование данных, численный эксперимент.

Область исследования соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.9.4. «Управление процессами перевозок»:

- Пункт 2. Технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов.
- Пункт 7. Развитие технических средств и систем управления, цифровизация управления транспортными технологическими процессами.
- Пункт 16. Организация грузовой и коммерческой работы на транспорте. Транспортное экспедирование и сервис.

Теоретическая значимость исследования. Получены новые научные результаты, представленные в виде комплекса моделей, методического инструментария и программно-математического обеспечения к математическим моделям, имеющие научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых имеет существенное значение в управлении

процессами перевозок и вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны. Разработанные методологические основы управления цепями поставок в распределительном центре прошли теоретико-экспериментальную апробацию, которая позволила сократить время и затраты на доставку груза, повысить конкурентоспособность компаний.

Практическая значимость исследования состоит в разработке, апробации и внедрении новых научно-методологических решений в компании, которые осуществляют оптово-розничную торговлю продуктами питания и непродовольственными товарами. Представленные в исследовании математические модели, методы и методики позволяют повысить процесс организации и управления цепями поставок через распределительный центр, учитывая спрос потребителя на нужном логистическом уровне, повысить потребительскую стоимость товара.

Результаты работы могут быть использованы в деятельности распределительных центров, научно-исследовательских институтов, в учебном процессе вузов при подготовке специалистов, бакалавров, магистров и аспирантов по автотранспортным профилям, направлениям подготовки и научным специальностям.

Диссертация выполнена в рамках комплексного плана научно-исследовательских работ кафедры сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» по научной проблематике «Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса».

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод «фиктивных узлов и ветвей» (ФУВ) для маршрутизации транспорта с учетом ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.

2. Метод «фиктивных узлов и ветвей» для маршрутизации транспорта с учетом наличия обратного груза и ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.

3. Усовершенствованная математическая модель определения местоположения распределительного центра по критерию «транспортная работа» с учетом кривизны движения автомобиля методом аппроксимации.

4. Усовершенствованная математическая модель определения местоположения распределительного центра по критерию «времени» с учетом кривизны движения автомобиля методом аппроксимации.

5. Алгоритмы и программное обеспечение управления цепями поставок, разработанные на основе комплекса математических моделей и методов, применяемых для определения местоположения распределительного центра и рациональных маршрутов.

6. Показатели работы подвижного состава осуществляющего доставку груза с распределительного центра, по критериям «транспортная работа и времени».

7. Уравнения регрессионной зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава от длины маршрута, времени и массы перевозимого груза.

Результаты диссертационной работы представлены в виде методик расчета при моделировании и принятии наиболее эффективных управленческих решений по определению рациональных схем цепи поставок с учетом ограничений на примере торговых сетей: «Магнит» (Пензенская область), «Перекресток» (Московская область), «Скидкино» (Пензенская область), «Караван 24» (Пензенская область); использованы в проектировании при определении местоположения распределительных центров для компании ПАО «Магнит».

Результаты работы используются при подготовке студентов по направлениям «Технология транспортных процессов» (23.03.01, 23.04.01), «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (23.03.01, 24.04.03), «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01) как в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства, так и Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены на конференциях:

– международных: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург 2013, 2019, 2024), «Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза 2013,2014), «Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники» (Пенза, 2015, 2016), V International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (Белгород, 2021г.), International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Modern Science» (Белгород, 2014г.), International Scientific and Practical Conference «Scientific Industry of the European Continent» (Прага,2014), International Scientific and Practical Conference «Innovative developments for the development of the national economy» (Прага 2014), «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза, 2016), «Socio-cultural factors of consolidation of modern Russian society» (Пенза, 2019), VII, VIII, IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management for Transport Systems» (Орел, 2021, 2022, 2023, 2024), «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк,2024), «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: эксплуатация и развитие автомобильного транспорта» (Пенза, 2014, 2017, 2020, 2024), «83 научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ» (Москва,2025);

– всероссийских (с международным участием): «Актуальные проблемы автотранспортного комплекса» (Самара 2018);

– всероссийских: «Проблемы качества и эксплуатации транспортных средств» (Пенза, 2018, 2019), «Перспективы развития технологий транспортных процессов» (Воронеж, 2022), «Современные проблемы и направления развития автомобильно-дорожного комплекса Российской Федерации» (Пенза, 2017, 2024).

Личный вклад автора.

Автором лично сформулированы все основные идеи, положенные в основу системы принятия решения в части управления цепями поставок через распределительный центр, цели и задачи работы, выбраны основные направления теоретических и экспериментальных исследований, предложены математические модели, разработаны методы их реализации, совокупность методик, отображающих научно-технические основы повышения управления процессами перевозок.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 66 научных работах, из них 13 в научных изданиях, включенных в перечень рецензируемых и рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, в 1 монографии, в 4 учебных пособиях, 4 свидетельствах регистрации программы для ЭВМ. В прочих изданиях опубликовано 44 работы.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 133 источников и 17 приложений. Содержит 244 страницы машинописного текста, 129 рисунков и 135 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПЕРЕВОЗОК МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

В экономике Российской Федерации важная роль принадлежит автомобильному транспорту (АТ). Объем грузовых перевозок автомобильным транспортом в 2019 году составил 5735 млн. тонн, или 79% объема перевозок, без учета трубопроводного транспорта [78]. Его грузооборот составил 275 млрд. тонно-километров, или 9,2 процента грузооборота всех видов транспорта, за исключением трубопроводного. Средняя дальность грузовой перевозки автомобильным транспортом составила 48 километров.

По сравнению с другими видами транспорта он является самым мобильным для перевозки товара мелкими партиями. По данным [15], доля автотранспортных издержек в стоимости продукции отдельных секторов экономики составляет: промышленности –15 %, строительства – 30 %, сельского хозяйства и торговли – 40 %. Высокий уровень издержек связан с первой очередь с низкой производительностью перевозок. Вследствие этого требуется увеличение оборотных средств. Происходит удорожание продукции и снижение ее конкурентоспособности.

Продукция автотранспорта имеет материальную природу и заключается в перемещении груза. В результате производится работа и появляются дополнительные прямые издержки, что влечет за собой увеличение стоимости товара. Задача транспортной логистики заключается в их минимизации.

Развитие автомобильного транспорта привело к значительному росту эколого-экономического ущерба. На него приходится 80 - 95 процентов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [78].

Снижение выбросов можно достичь за счет оптимальной организации маршрутов передвижения. Согласно ноосферологической методики, расходы на ликвидацию ущерба от передвижения автомобиля: загрязнение окружающей

среды, парниковый эффект, шум, ДТП; расходы на инфраструктуру и заправки необходимо включать в стоимость транспортных услуг. Вследствие этого происходит повышение стоимости товара и снижение его конкурентоспособности. Таким образом, актуальным является повышение эффективности работы автомобильных перевозок.

1.1. Анализ моделей функционирования автомобильных перевозок

Наблюдения, проведенные в компаниях «РОСНЕФТЬ-Пенза» [21] и «ПАО «Магнит» показали, что принятие решений по определению маршрутов выполняется диспетчерской службой на основе интуиции из «прошлого опыта» или использования приближенного метода расчета «Свира» [13]. Это указывает на актуальность настоящего исследования в интересах практики и усовершенствования теории перевозочного процесса.

Несовершенство моделей, отражающих физический процесс доставки мелкопартионных грузов, служит тормозом технического прогресса.

Сейчас применяются две модели расчета технико-экономических показателей для описания эффективности организации процесса перевозки грузов: функциональная и дискретная.

Основой функциональной модели является расчет часовой производительности автомобиля, когда транспортная работа описывается с позиции непрерывности протекания процесса перевозки. Она была предложена в 30-х годах прошлого века Лейдерманом С.Р. [54, 55] и потом изучалась другими исследователями. Выражение часовой производительности автомобильного транспорта [5, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 37, 38, 65] выглядит следующим образом:

$$U = \frac{qV_T\beta}{l^{ze} + t^{np}V_T\beta}, \quad (1.1)$$

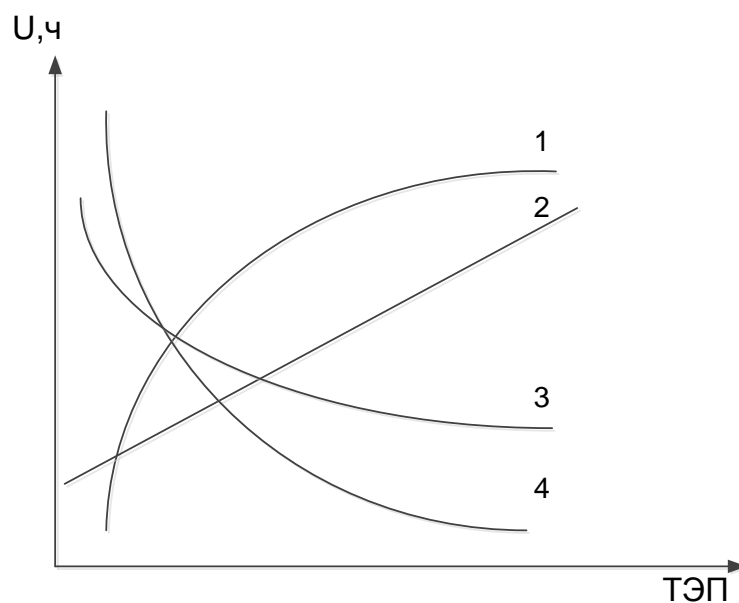
где U – часовая производительность, т/ч;
 q – номинальная грузоподъемность, т;
 γ – статический коэффициент использования грузоподъемности;
 V_T – техническая скорость, км/ч;
 β – коэффициент использования пробега;
 l^{ze} – длина ездки с грузом, км;
 l^{np} – время простоя автомобиля под погрузкой и разгрузкой, ч.

Величина транспортной работы, выполняемой транспортным средством в течение часа, записывается в виде:

$$W = \frac{q\gamma V_T \beta l^{ze}}{l^{ze} + t^{np} V_T \beta}, \quad (1.2)$$

где γ_q – динамический коэффициент использования грузоподъемности;
 W – часовая производительность подвижного состава, ткм/ч.

Теоретические зависимости между технико-эксплуатационными характеристиками (ТЭП) и производительностью подвижного состава, выраженные через формулу (1.2), иллюстрируются на рисунке 1.1.



1 – β, V_T ; 2 – q ; 3 – t^{np} ; 4 – l^{ze}

Рисунок 1.1 – Влияние ТЭП на производительность

Формулы (1.1) и (1.2) предназначены для моделирования процессов помашинной перевозки товаров.

Таким образом, считается, что автомобиль используется для передвижения между базой и одним потребителем. От него автомобиль выполняет холостую езду на склад.

Рассмотренную функциональную модель выработки применяют при вычислении экономической эффективности использования автомобиля. В результате применения детерминированного метода определяется тренд изменения изучаемого параметра.

Однако производительность транспортного средства не может изменяться монотонно. Когда перевозчик выполняет новую поездку с грузом, производительность меняется скачкообразно. Повышение производительности можно зафиксировать после окончания разгрузки груза.

Несоответствие технико-экономических показателей, определенных с помощью функциональной модели и реальной работы автомобиля, составляет около 30 %, [60].

Чтобы более правильно зафиксировать влияние ТЭП на эффективность организации транспортного процесса, следует признать его фактическую дискретность [8, 21, 60, 62, 63, 64]. Это выполнено графически на рисунке 1.2.

Выработка не производится с момента времени от t_1 до t_3 . В этот период времени начинается погрузка на автомобиль. Транспортная работа возникает, когда автомобиль находится в движении с времени t_3 до t_4 . Таким образом, считается, что автомобиль используется для передвижения между одной базой и одним потребителем.

Выгрузка товара производится с момента времени t_4 . Выработка в тоннах производится в интервале времени от t_4 до t_5 . За одну езду в пункт клиента привезено товара в количестве q_1 . Затем транспортное средство отправляется на базу за другой партией груза. Здесь транспортная работа не происходит. Погрузка производится с момента времени t_6 и прекращается в t_7 . В следующий момент

времени t_9 у грузопотребителя накопилось количество товара (q_1+q_2) . Затем цикл транспортного процесса повторяется.

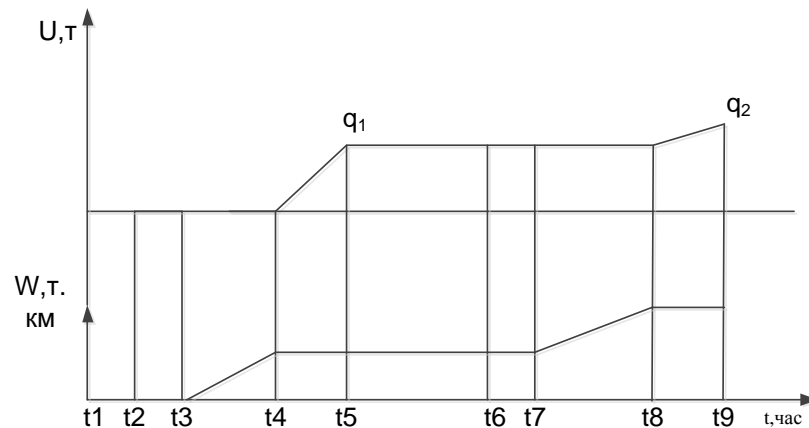


Рисунок 1.2 – График изменения выработки от времени

Из рисунка 1.2 видно, что фазы выработки в тоннах и тонно-километр по времени не совпадают. Выражения $U = f(t)$ и $W = f(t)$ не являются монотонно изменяющимися функциями и соответствуют разрывным линейным зависимостям.

В работах [60, 64] дискретная модель функционирования транспортного процесса использована для исследования средних систем доставки грузов (ССДГ). Она представлена схематично, например, на рисунке 1.3. Здесь квадратами показаны базы. Пункты грузополучателей обозначены кругами.

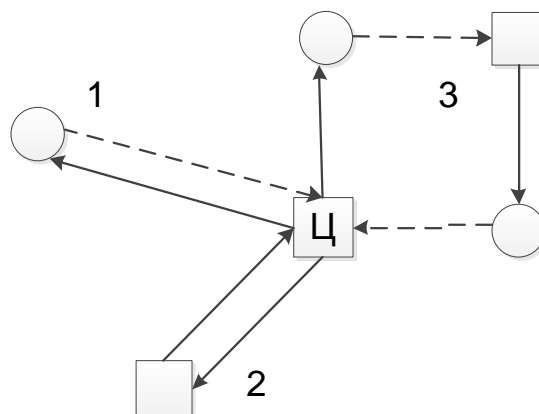


Рисунок 1.3 – Система средней доставки грузов (ССДГ)

Согласно работам [60, 64] в ССДГ применяются маятниковые и кольцевые схемы передвижения, выходящие с одной центральной базы при помашинных

отправках. На рисунке 1.3 обозначены: 1 и 2 – маятниковые маршруты с обратным холостым и гружеными схемами передвижения, соответственно; 3 – кольцевой маршрут с попутным грузом. Холостой пробег показан штриховой линией.

Мелкопартионная развозка товара из одной базы с учетом дискретного характера транспортной работы выполнена в [8]. Выделяются несколько видов маршрутов: развозочно-сборный, кольцевой, развозочный с центральным пунктом погрузки (S_{pu}), сборный с центральным пунктом разгрузки (S_{cu}), развозочно-сборный с центральным пунктом погрузки-разгрузки (S_{pc}^u). В качестве примера, на рисунке 1.4 показана схема S_{pu} . В такой системе развозки отсутствуют очереди на базе погрузки. Это достигается за счет составления графика работы автомобилей.

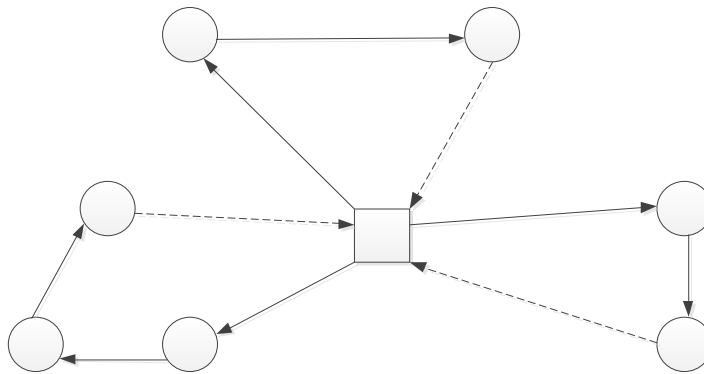


Рисунок 1.4 – Развозочно-сборная транспортная система с центральным пунктом

В работе [8] применен метод прямого счета для определения действительного объема выполненных работ.

Выработка в тоннах есть:

$$Q = \sum_{i=1}^N q_{ij}, \quad (1.5)$$

где q_{ij} – величина груза доставленного в i -й пункт груза на j -ой ветви;

N – количество пунктов разгрузки.

Транспортная работа в тонно-километрах:

$$P = \sum_1^N q_{ij} l_{ij}^{ce}, \quad (1.6)$$

где l_{ij}^{ce} – длина грузовой езды между пунктами i и j .

В общем случае транспортировка может происходить по замкнутым и разомкнутым схемам передвижения. При пробеге по замкнутой схеме транспортное средство обязательно возвращается в исходный пункт первоначальной погрузки. В нее входят кольцевые маршруты мелкопартионной и помашинной развозки груза, а также маятниковые маршруты с холостым и грузеным частично или целиком обратным пробегом.

Незамкнутой схемой движения считается та, где автомобиль, минуя начальный пункт погрузки, например, едет в АТП, выполняя при этом порожний пробег. В рассмотренных выше транспортных схемах ССДГ и РСТС, она не указывается, так как в основе расчета ТЭП авторами принято понятие оборота из одного центрального пункта.

Тем не менее, передвижение с полной загрузкой может осуществляться и по кольцевой схеме с промежуточными пунктами погрузки. Следовательно, возникают сложности с классификацией маршрутов.

В настоящее время в крупных городах наблюдается тенденция хранения транспортных средств между сменами на платных стоянках, около места проживания водителей, а не на АТП, это позволяет сократить холостые пробеги в городе Москве [73].

Кроме того, в модели ССДГ не учитывается возможность переезда транспортного средства с одного склада на другую базу.

На рисунке 1.5 рассматривается классификация маршрутов, рекомендуемая в работе [14]. Она также не рассматривает разомкнутые схемы передвижения с нескольких баз.

В работах [8, 62 – 64] показано, что на доставку массовых грузов транспортные затраты значительно ниже, чем на перевозку партионных грузов. Однако транспортные расходы на последние достигают 35 % от всей суммы

затрат. Неправильный выбор рационального маршрута ведет к перепробегу автомобилей, который может составлять до 30 %.

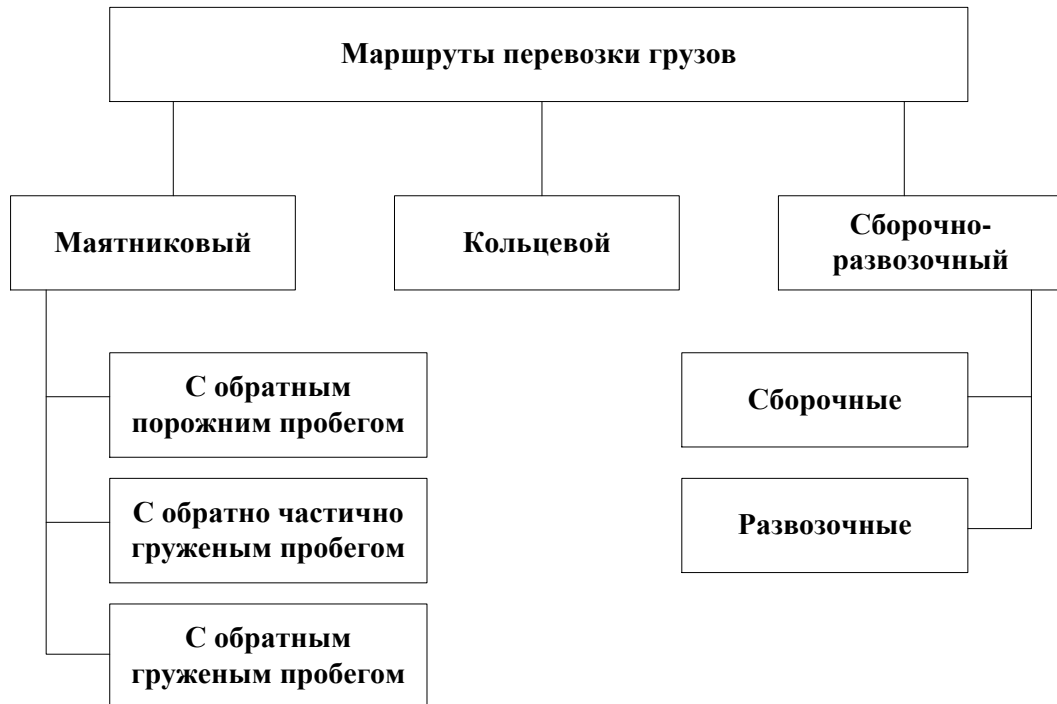


Рисунок 1.5 – Рекомендуемая классификация маршрутов

В работах [8, 62 – 64] показано, что на доставку массовых грузов транспортные затраты значительно ниже, чем на перевозку партионных грузов. Однако транспортные расходы на последние достигают 35 % от всей суммы затрат. Неправильный выбор рационального маршрута ведет к перепробегу автомобилей, который может составлять до 30 %.

Следовательно, классификацию моделей схем перемещения по маршрутам необходимо усовершенствовать.

1.2. Анализ методов решения маршрутизации транспорта

Рассмотрим задачу маршрутизации транспорта (ЗМТ). Дана дислокация транспортной сети, объемы вывоза и завоза товара в пункты; транспортные

средства. В качестве целевой функции могут выступать: длина пробега, время, транспортная работа, затраты и т.д. Расчет маршрута должен выполняться с учетом заданных ограничений, например, по грузоподъемности автомобиля. Требуется построить оптимальную схему передвижения автомобиля.

Теоретическими исследованиями управления работой автомобилей начали заниматься в связи с увеличением затрат на их содержание, ростом объема перевозок. Вначале создавалась методика ЗМТ для помашинной развозки товара [39, 40]. Затем был разработан метод разрешающих множителей на основе задачи линейного программирования [74]. Целевой функцией является заданное количество груза, перевозимого по маршрутам каждым типом автомобиля. В модифицированном распределительном методе [45].

В качестве целевой функции используется минимизация транспортной работы:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} L_{ij} \rightarrow \min \quad (1.5)$$

при лимитах:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = G_i, \quad i = 1, 2 \dots n; \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = Q_j, \quad j = 1, 2 \dots m; \quad (1.7)$$

$$X_{ij} \geq 0; \quad (1.8)$$

$$\sum_{i=1}^n G_i = \sum_{j=1}^m Q_j. \quad (1.9)$$

Задача решается методом потенциалов с использованием опорного плана. Его можно составлять разными способами. В случаях вырождения в задачах линейного программирования используются специальные приемы. Недостатком метода является непригодность его использования для решения задачи маршрутизации при перевозке товара мелкими партиями по кольцевому маршруту.

Сейчас известно много алгоритмов решения ЗМТ основанных на эвристических принципах [129, 130]. Они построены на интуиции, учитывая опыт специалиста в области транспортной логистики. Их применение носит рекомендательный характер. Они могут быть близки к оптимальному результату. Однако нет полной уверенности, что найдено оптимальное решение.

Рассмотрим наиболее известные алгоритмы эвристических методик, используемые при решении ЗМТ.

Особой популярностью пользуется метод Кларка-Райта [91, 100, 103, 118, 133]. Принимаем, что из одного склада выходят несколько маятниковых маршрутов. Выбираем два из них, которые объединяются в кольцевой маршрут по принципу наибольшей функции выгоды. Геометрическая иллюстрация расчета функции выгоды показана на рисунке 1.6. Она вычисляется по формуле:

$$\Delta_{ij} = l_{in} + l_{nj} - l_{ij}, \quad (1.10)$$

где Δ_{ij} – функция выгоды от сокращения пробега при объединении пунктов i и j в маршрут;

l_{in} и l_{nj} – кратчайшие расстояния от пункта i до n и от n до j ;

l_{ij} – кратчайшее расстояние между пунктами i и j .

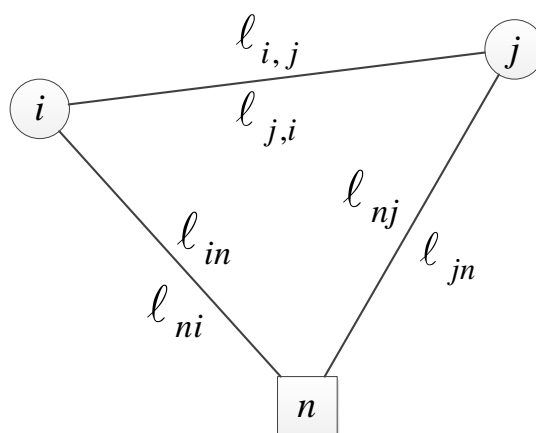


Рисунок 1.6 – Геометрическая иллюстрация функции выгоды

В результате применения этого метода для всех возможных объединений определяются значения функциональной выгоды, формирующие так называемую матрицу экономий. Этот метод применим к автомобильному парку с различной

грузоподъемностью и может использоваться даже с несимметричной матрицей исходных данных.

Основным недостатком метода Кларка-Райта является его последовательный характер без возможности предварительного просмотра хода решения и возвращения назад. Например, включенная в маршрут связь в последующих итерациях не может быть исключена, даже если она оказывается невыгодной для общего решения.

Метод применяется для автомобилей разной грузоподъемности. Очень важно, что он также используется для несимметричной матрицы весов.

Недостатки метода Кларка-Райта: невозможность просмотра заранее последующей ветви, включенную в маршрут, потом удалить невозможно. Методика расчета не учитывает расположение АТП. Целевой функцией служит величина пробега автомобиля. Метод Кларка-Райта не обеспечивает достижение оптимального результата. Качество работы алгоритма для симметричной матрицы заметно ухудшается. Кроме того, эффективность его падает по мере приближения к концу вычислений. В работах [100, 133] предлагается обобщение понятий сбережения с целью устранения этого недостатка. Функция выгоды представлена в виде:

$$\Delta_{ij} = l_{in} + l_{nj} - \lambda l_{ij},$$

где λ – параметр для учета формы маршрута, который позволяет сделать акцент на расстоянии между вершинами для соединения.

Подчеркнем, что нахождение наибольшей функции выгоды – это трудоемкий процесс. Поэтому для ее вычисления в работе [119] разработан специальный интерактивный алгоритм, который использует приближенную длину.

Комплексный показатель выгоды, включающий пробег и выполняемую транспортную работу приведен в работе [72].

Эвристический алгоритм показан в работе [105] для решения задачи коммивояжера с симметричной матрицей. Главный алгоритм метода состоит в

разделении некоторого контура транспортного графа на две части с помощью удаления двух произвольных хорд, рисунок 1.7. Потом происходит их соединение в один маршрут путем включения в него других звеньев.

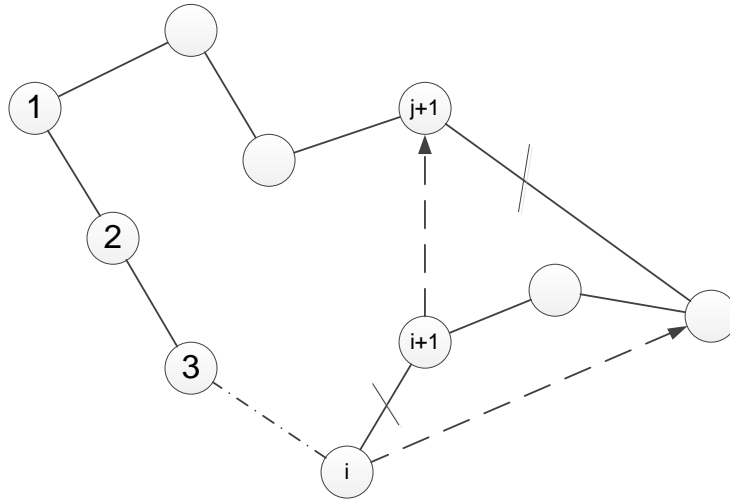


Рисунок 1.7 – Определение схемы передвижения типа 2-опт

Затем одна из траекторий маршрута проходит в обратном направлении. Полученную длину маршрута сравнивают с первоначальной длиной. Последовательно заменяя пары звеньев, определяем вариант с наибольшей выгодой. Рассчитанная схема передвижения к оптимальной типа 2-опт.

На рисунке 1.7 вычеркнутые хорды перечеркнуты, а вводимые ветви показаны штриховой линией.

Длина контура отличается от длины исходного маршрута на величину:

$$\Delta_{ij} = l_{in} + l_{nj} - \lambda l_{ij}, \quad \Delta_{ij} = l_{ij} + l_{i+1,j+1} - l_{i,i+1} - l_{j,j+1}. \quad (1.12)$$

Следующее улучшение может быть достигнуто путем последовательного изменения расположения вершин графа на маршруте. Например, можно поставить пункт i -й вслед за точкой j -й, рисунок 1.8. Здесь вершина 3 идет за пунктом 5, взамен узла 2 в исходном контуре.

Разница в длине маршрутов составит:

$$\Delta_{ij} = l_{j-1,i+1} + l_{ji} + l_{ij+1} - l_{i-1,i} - l_{i,i+1} - l_{i,j+1}. \quad (1.13)$$

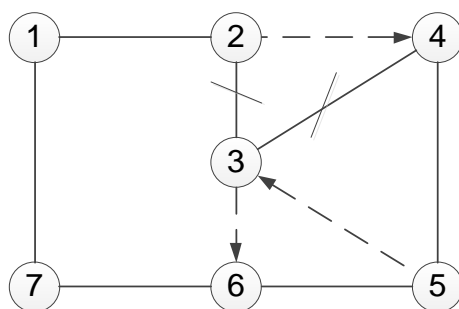


Рисунок 1.8 – Схема инверсии узлов

В первоначальном решении можно менять не две, а на три ветви. В общем случае схема 3-опт показана на рисунке 1.9, где объем вычислений сильно увеличивается [106]. Если для 2-опт планов на каждом шаге требуется проанализировать $n(n - 3)$ вариантов замены звеньев, то для 3-опт их количество составит $4n(n - 4)(n - 5)/3$ вариантов. Метод инверсии 3-опт требует большего количества вычислений, чем по методике Кларка-Райта.

В работе [112] представлена методика локальной оптимизации для λ -опт операций. Здесь λ ребер вычеркивается из маршрута, а λ других сегментов присоединяется во всех возможных комбинациях. Расчеты прекращаются, если нельзя найти более подходящие варианты.

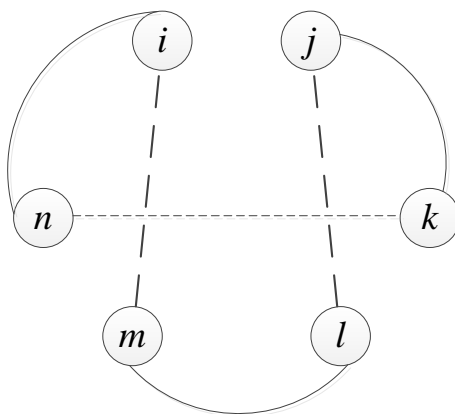


Рисунок 1.9 – Сочетание ветвей 3-опт

Исследовано несколько способов реализации этого алгоритма. В работе [113] используется методика с динамически переменным параметром λ .

Усеченная форма 3-опт, состоящая в замене соседних вершин другими фрагментами, идущими последовательно, дана в работе [116].

В основном способы локальной оптимизации исследовались применительно для одного автомобиля. В работах [81, 83, 96, 97, 98, 100, 102, 108, 109, 111, 116, 117, 118, 121, 126, 131, 132] разработаны методики локального поиска путем обмена ребрами между маршрутами в циклических передачах. Для них исследован класс процедур изменения λ [111, 112, 113]. Рассматривается общая схема перестановки маршрутов и k -вершин между ними. Согласно работе [101], основные виды перекосов в маршрутах классифицируются следующим образом: перекрещиванием в двух маршрутах двух ребер; обменом вершинами между двумя маршрутами; переносом вершины из одного в другой маршрут; комбинацией различных вариантов (рисунок 1.10).

В работах [10, 11] задача развозки решается, с использованием принципа ближайшего соседа. Он заключается в соединении двух смежных вершин, между которыми имеется наименьшее расстояние. На каждом шаге добавляется хорда, имеющая наименьшую длину. Набор пунктов начинается с вершины с наибольшим числом хорд из пункта, который наиболее удален от склада.

После объединения пунктов в кластер по грузоподъемности решается для него задача маршрутизации.

Еще одним приближенным методом решения ЗМТ является суммирование по столбцам. Вначале выбираются три пункта, имеющие наибольшее суммарное расстояние. Из них образуется исходный маршрут, в который будут включаться остальные вершины. Вершину необходимо включить в маршрут между двумя пунктами, для которых приращение длины получилось наименьшим.

В алгоритме заметания, работа [103] используются данные о дислокации вершин транспортного графа на плоскости, рисунок 1.11.

При повороте луча из начального пункта производится набор пунктов в кластер по грузоподъемности. Затем для каждого кластера отдельно решается задача коммивояжера. В некоторых методиках применяется прием оптимизации,

закрывающийся в обмене пунктами между кластерами. Начинается расчет с вершины, имеющей наименьший угол.

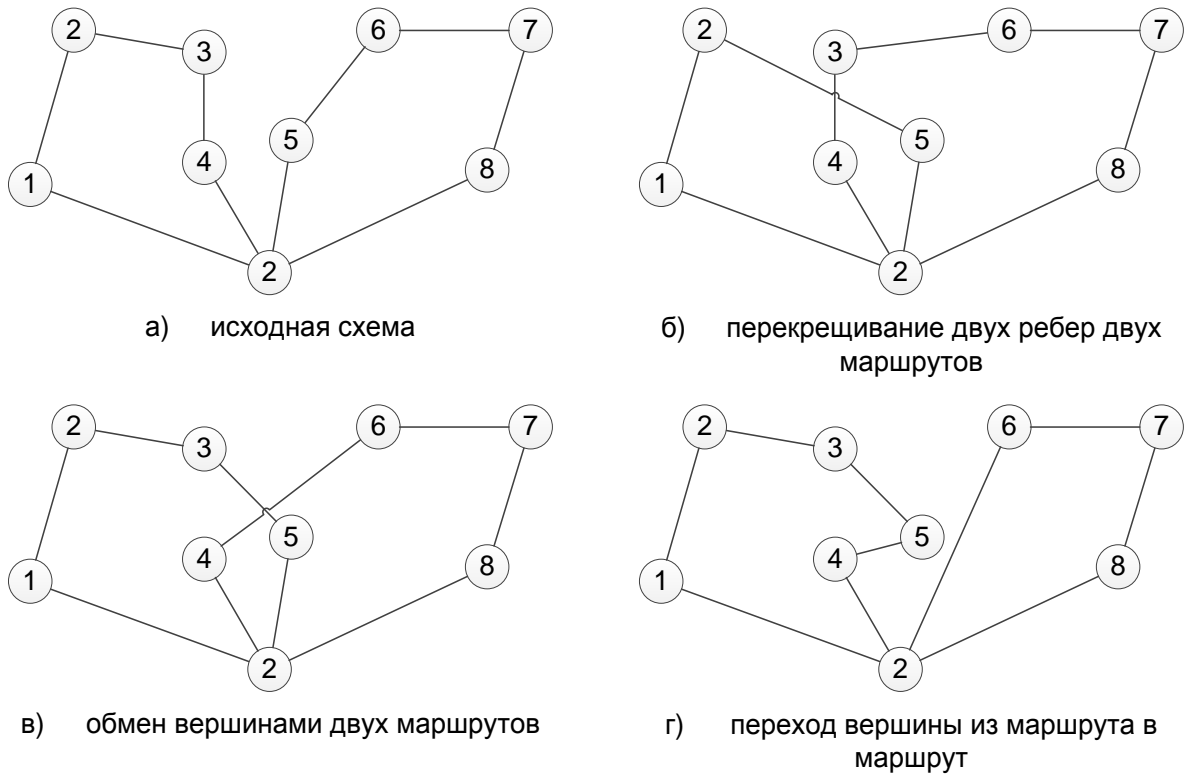


Рисунок 1.10 – Циклические передачи

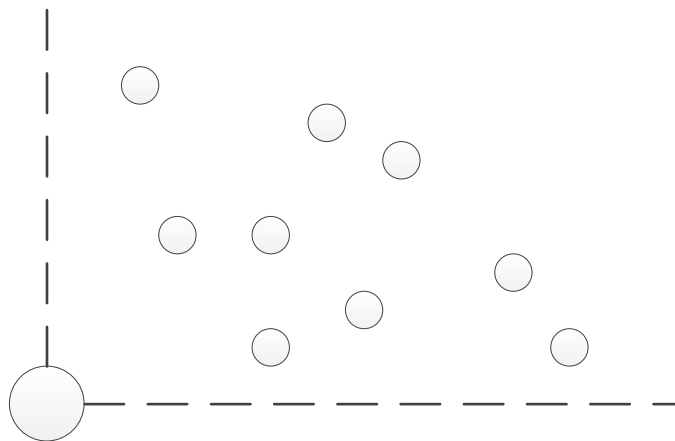


Рисунок 1.11 – Дислокация пунктов в секторе

Другой классический кластерный алгоритм исследован в работе [89]. В этой работе используется понятие ядра кластера. Оно находится при решении задачи размещения с ограничением по мощности. В работе находятся k ядер кластеров

из n местоположений пунктов. При этом предполагается, что измеренные расстояния от всех пунктов до ближайших ядер кластеров являются наименьшими.

Усовершенствованный алгоритм заметания представлен в работе [123]. Он получил название «алгоритм лепестков». В первую очередь, создается избыточное множество маршрутов. Потом компонуют из него лепестки путем деления на подмножества. Множество маршрутов покрывает все пункты транспортной сети, рисунок 1.12.

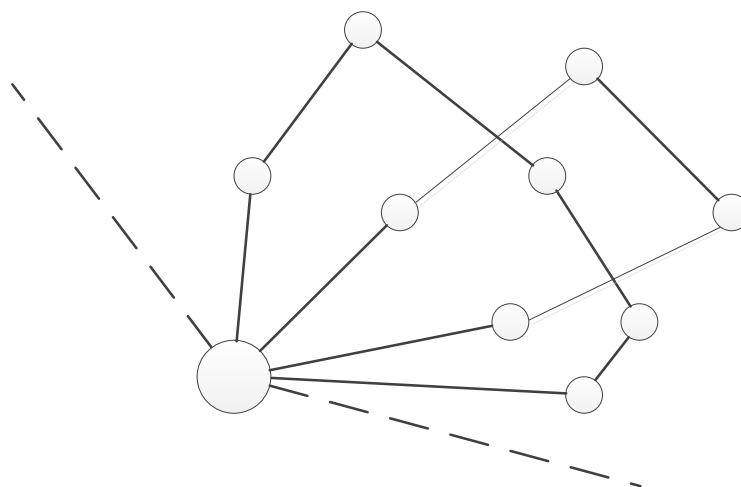


Рисунок 1.12 – Создание подмножества из лепестков

Количество лепестков создается с помощью методики заметания. После включения новой вершины используется процедура 4-опт. Для создания второго лепестка рассматриваются два наиболее удаленных узла.

В работе [69, 70] исследуется алгоритм, в основе которого лежит сбалансированное дихотомическое деление вершин на группы. В этом случае он позволяет учесть ограничения по грузоподъемности. Далее в каждом кластере решается задача маршрутизации, например, методом ветвей и границ.

На практике маршруты могут пересекаться, а вершины транспортного графа и хорды посещаются несколько раз.

В настоящее время исследованы метаэвристические алгоритмы: моделируемый отжиг в работе [147], алгоритм муравьиных колоний в работах [90, 92, 93, 94, 95, 99, 107], нейронные сети в работах [97, 101, 102,

105, 109], генетический алгоритм в работах [88, 120, 121, 122, 124, 125, 127]. К недостаткам следует отнести наличие большого количества параметров, которые требуется установить для каждого вида задач. Применение эмпирических зависимостей не означает, что будет получен оптимальный результат. К этому следует добавить, что в алгоритмах применяется вероятностный подход.

В метаэвристических алгоритмах не учитываются подциклы, многократная езда через вершины графа и пересечение маршрутов.

Метод ветвей и границ (ВиГ) был опубликован в работе [56, 57]. В научной литературе он считается точным при решении задачи коммивояжера [45, 72, 81, 85, 86, 88]. Однако в общем случае метод ВИГ может иметь вырождение и получить неточное решение [21]. Решение ЗМТ сводится к нахождению целевой функции в виде:

$$L = \sum_{i=1}^n l_{ij}, \quad (1.14)$$

где n – число ветвей;

l_{ij} – длина хорды между вершинами i и j .

Рассмотрим расчет по методике ВиГ.

На первом шаге определяется граница функционала, больше которой величина целевой функции быть не может. Выполняется операция приведения в матрице расстояний. Для этого из каждого элемента строки вычитается ее наименьший элемент. Затем операция вычитания повторяется для каждого столбца.

В результате такой операции в приведенной матрице в каждой строке и каждом столбце будет не менее одной нулевой ячейки. Затем выполняется операция оценки нулевых элементов. Ее величина равна сумме наименьших значений в строке и столбце, на пересечении которых расположена рассматриваемая нулевая ячейка. В маршрут включается ветвь с максимальной оценкой. Следовательно, на каждом шаге множество разбивается на два не

пересекающихся подмножества, для каждого из которых определяется нижняя граница решения.

Одно подмножество образует маршруты, которые включают звено графа k_s и тогда:

$$L_{ks} = L(U), \quad (1.15)$$

где $L(U)$ – нижняя граница решения.

Другое – маршруты, которые это звено исключают:

$$L_{ks} = L(U) + A_{ks}. \quad (1.16)$$

Таким образом, получаем «дерево решений». Оно разветвляется в каждом узле графа. Путь является оптимальным, если его длина не превышает нижнюю границу любого из неразбитых подмножеств. После прохождения по всем ветвям «дерева решений» процесс вычисления заканчивается.

Одним из недостатков метода ВиГ является проезд по ветви только один раз. Вторым его слабым местом является трудоемкость вычислений. Транспортный граф является разряженным ввиду особенностей расположения улиц в современных городах. Быстродействие и память ПК быстро растут из года в год [74, 75, 76, 77]. По данным исследования компании Google, опубликованного в 2023 году, квантовый компьютер решает задачи в 220 миллионов раз быстрее обычного.

Точное решение ЗМТ находится методами динамического, целочисленного и линейного программирования, а также применяются алгоритмы перебора всех возможных вариантов движения.

В методе динамического программирования алгоритм вычисления состоит из $(n + 1)$ этапов [1, 81]. Номер этапа равен номеру пункта. Находится оценка каждой ветви, идущей из разгрузочного пункта, и выбирается ее наименьшее значение. Комбинация пунктов, согласно рассматриваемой хорде, не должна противоречить двум условиям:

- одна хорда входит и выходит из пункта;
- нет подциклов на рассматриваемом участке.

Если ограничения не выполняются, то выполняется возврат на один шаг. Если условия выполняются, то переходим на стадию вперед.

Уравнение задачи можно записать так:

$$f_i = \min(l_{ij} + f_j), \quad (1.17)$$

где l_{ij} – расстояние между вершинами i и j ;

f_j – функция состояния от пункта j к конечному пункту.

Основу динамического состояния составляет принцип Бельмана. Его можно записать следующим образом: каково бы ни было состояние рассматриваемой системы перед очередным шагом, надо выбрать управление на этом шаге так, чтобы выигрыш на этом шаге плюс оптимальный выигрыш на всех последующих шагах были максимальными. Поэтому решение задачи необходимо начинать с последнего n -м шага. Существуют определенные трудности в расчетах задач большой размерности.

В работах [44, 51, 61, 74, 84, 87, 114, 115] рассматривается метод целочисленного программирования при решении задачи коммивояжера. Математический подход к решению задачи.

Длина гамильтонового контура:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij} y_{ij}, \quad (1.18)$$

где есть матрица циклической подстановки:

$$y_{ij} = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{vmatrix}, \quad (1.19)$$

Если хорда входит в рассматриваемый контур, то $y_{ij}=1$, в противоположном случае $y_{ij}=0$. Следовательно, должны выполняться $2n$ условий:

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (1.20)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.21)$$

Для того чтобы в маршруте в каждую вершину входила и выходила ровно одна дуга, все переменные решения y_{ij} должны принимать положительные целочисленные значения. Это достигается путём применения следующих условий:

$$y_{ij} \geq 0, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1.22)$$

При решении задачи маршрутизации транспорта (ЗМТ) обеспечение условий цикличности матрицы y_{ij} , является одним из наиболее сложных задач, особенно когда вводятся ограничения. Эти условия [61] включают:

$$(n-1)y_{ij} + u_j - u_i \leq n-2, i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j, \quad (1.23)$$

где u_i - некоторые вспомогательные неотрицательные целые числа.

Необходимость проверки наличия гамильтонового замкнутого контура по выражению (1.23) является недостатком метода. Метод целочисленного программирования не может решать такой класс задач, когда нет цикличности.

В работе [45] для определения наименьшего расстояния между двумя вершинами применяют методы потенциалов и метлы. По методу потенциалов задача решается в несколько этапов. Число этапов равно числу вершин. На первом этапе для выбранной начальной вершины назначается потенциал равный нулю. Затем рассчитывают потенциалы смежных точек и из них выбирают наименьший:

$$a = a_i + l_{ij}, \quad (1.24)$$

где a_i – потенциал предшествующей i -ой вершины;

l_{ij} – длина дуги между пунктами i и j .

В процессе решения задачи методом метлы последовательность действий выглядит так:

1. Для начального пункта в таблице записывается значение ноль, а для остальных вершин — М.

2. Определяется расстояние между начальной вершиной и смежными вершинами, которое заносится в таблицу вместо М.

3. Все вершины транспортной сети последовательно проверяются сверху вниз и отмечаются знаком (+).

4. В таблицу заносятся расстояния, полученные в результате расчётов. Если в результате появляется несколько вариантов, выбирается наименьший.

5. Процесс решения повторяется до тех пор, пока из таблицы не будут исключены все знаки проверки.

Этот алгоритм является относительно простым и подходит для больших объемов расчетов, однако он не предназначен для поиска незамкнутого оптимального маршрута между двумя вершинами.

1.3. Анализ задачи по определению координат местоположения распределительного центра

Использование в розничной торговле распределительного центра товаров возникает, когда магазины не имеют необходимого складского помещения и нуждаются в поступлении товаров небольшими партиями в упакованном виде с высокой степенью цикличности. Географическое расположение РЦ по отношению к потребителям и поставщикам, наличие разветвленной транспортной сети и величина тарифов на доставку груза оказывают наибольшее влияние на транспортные издержки при доставке товара повседневного спроса. Задача местонахождения РЦ становится актуальной при разветвленной сети дорог. В общем случае она является NP-трудной, так как включает в себя задачу маршрутизации.

Рассмотрим аналитические методы расчета определения местонахождения РЦ. С точки зрения концептуального подхода, следует выделить две основные модели, которые продолжают развиваться: формализованная математическая и неформализованная экспертная. Некоторые исследователи дополнительно разделяют последнюю модель на две частные: ранжированную и качественную

экспертизы [74]. В действительности они близки друг к другу. Для системы распределения с несколькими РЦ они действуют те же принципы, но являются более сложными.

Модель качественной экспертизы – это способ коллективного решения задачи при помощи анонимного анкетирования экспертов, который проводится в несколько этапов, например, методы Дельфи, экспертных оценок и другие. Появляется возможность применения некантифицируемых параметров принятия решений и использования научного потенциала экспертов. В конце исследования обработка результатов производится статистическим методом.

К моделям ранжированной экспертизы относятся методы рейтинговых оценок, доминирующих характеристик, аналитических иерархий [3] и другие. По сравнению с вышеприведенной моделью добавлен расчет баллов на основе количественных оценок по каждому варианту. Преимуществом методов ранжирования является возможность определить значимость и дать количественную оценку любому параметру, а затем посчитать интегральный балл.

К недостаткам модели неформализованной экспертизы следует отнести отсутствие строгого обоснования оптимальности решения и субъективность его принятия. В этом случае возрастает отрицательное влияние человеческого фактора – лоббирование группы интересов и, следовательно, возрастание коррупционной составляющей проекта. Эта модель используется при стратегическом планировании, когда важен тренд развития и преобладает качественная сторона исследования над предполагаемым количественным результатом.

Формализованная математическая модель охватывает методы, которые позволяют, используя математические функции, находить рациональное решение по заданному количественному параметру. К ней можно отнести методы центра тяжести, пробной точки, коэффициентов объезда и расхода топлива, линейного, целочисленного и динамического программирования и другие. Преимуществом методов этой модели является способность дать точное решение задачи о

размещении РЦ, используя выбранную целевую функцию в рамках принятой расчетной схемы. В целом, формализованная математическая модель решает тактические задачи размещения объектов в городах на региональном уровне. Более подробный анализ применения метода линейного и целочисленного программирования для решения задач по рациональному расположению объектов производственной инфраструктуры цепей поставок приведен в работе [74].

Метод центра тяжести [13] системы основан на понятии точки центра масс в теоретической механике. Координаты точки определяются по формулам сопротивления материалов для плоской фигуры (1) и (2):

$$x_i = \frac{\sum_{i=1}^m F_i x_i}{\sum_{i=1}^m F_i}; \quad (1.25)$$

$$y_i = \frac{\sum_{i=1}^m F_i y_i}{\sum_{i=1}^m F_i}, \quad (1.26)$$

где F_i – грузооборот потребителя;
 x_i, y_i – координаты потребителя;
 m – количество потребителей.

Поставщики – клиенты, производящие товар, который у них необходимо забрать. Потребители – клиенты, которым необходимо доставить товар, полученный от поставщиков.

Например, региональный центр обслуживает пять магазинов (рисунок 1.13). Находим их координаты и записываем в скобках их месячный грузооборот.

Заметим, что с помощью метода центра тяжести находится место расположения РЦ, относительно которого затраты на перевозку слева и справа по оси X, а ниже и выше по оси Y равны. Таким образом, рассматриваемый метод

является приближенным. Недостатком модели является применение воздушной прямой от потребителей до базы. На практике маршрут не является прямой линией. Как правило, он представляет криволинейную траекторию.

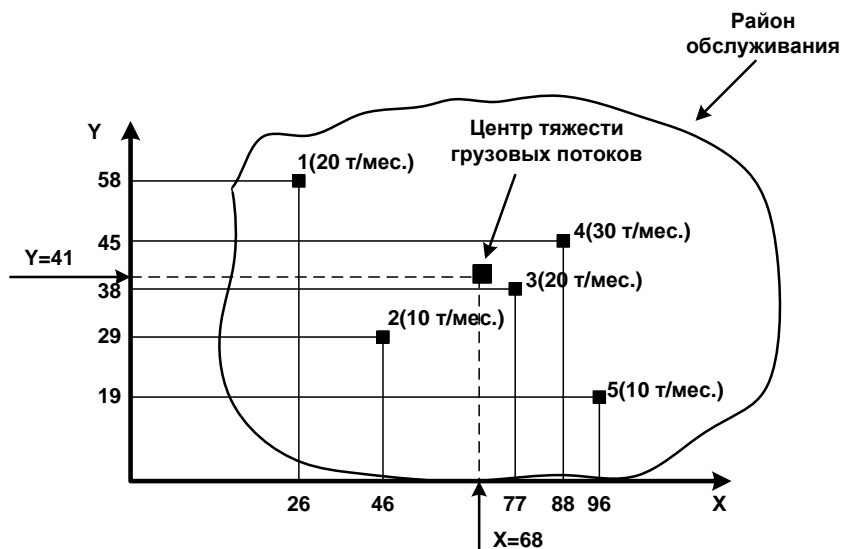


Рисунок 1.13 – Расчет расположения РЦ.

Достоинством метода является его простота. Он не требует много ресурсов времени. Метод широко применяется для определения района расположения РЦ, а также в качестве первого приближения в других методиках расчета.

Координаты РЦ могут определяться при помощи выражения формул центра тяжести через тарифы на перевозку грузов для поставщиков и потребителей [2,46,82].

Используется декартова система координат.

Целевой функцией является величина транспортных издержек по доставке продукции, которая выражается формулой:

$$Z = \sum_{i=1}^n F_i^{(n)} T_i D_i + \sum_{j=1}^n F_j^{(k)} T_j d_j \rightarrow \min, \quad (1.27)$$

где n – количество поставщиков;

m – количество потребителей (клиентов);

F_n – объем груза от поставщика i в распределительный центр;

F_m – объем груза из распределительного центра потребителю j ;

T_i, T_j – тарифы на транспортировку;

D_i – расстояние от поставщика i до распределительного центра;

d_j – расстояние от распределительного центра до потребителя j .

Координаты оптимального расположения распределительного центра рассчитываются итерационным методом по видоизмененным формулам центра тяжести (1.25) и (1.26):

$$x_k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i^{(n)} T_i x_i}{D_i T_i} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j^{(k)} T_j x_j}{d_j T_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i^{(n)} T_i}{D_i T_i} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j^{(k)} T_j}{d_j T_j}}, \quad y_k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i^{(n)} T_i y_i}{D_i T_i} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j^{(k)} T_j y_j}{d_j T_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i^{(n)} T_i}{D_i T_i} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j^{(k)} T_j}{d_j T_j}}, \quad (1.28)$$

где x_i, y_i – координаты поставщика i ;

x_j, y_j – координаты потребителя j ;

x_k, y_k – координаты распределительного центра.

Использование тарифов позволяет расширить количество учитываемых параметров. Однако в данном методе не рассматривается изменчивость тарифов в зависимости от расстояния.

Рассмотрим модель пробной точки, которая относится к методу полного перебора. Методика применяется при прямоугольной сетке автомобильных дорог [13]. В этом ее недостаток. Например, для 8 потребителей: А, В, С, D, E, F, G и Н на рисунке 1.14 показан месячный грузооборот объема товаров.

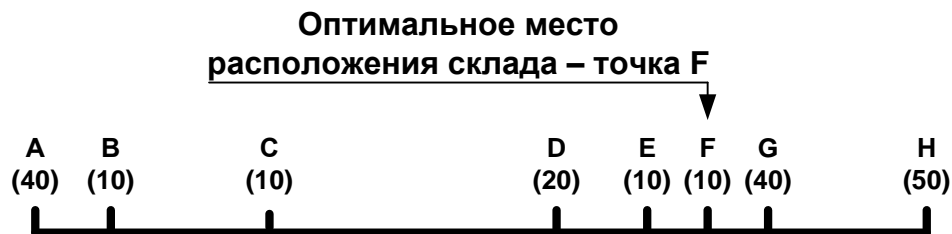


Рисунок – 1.14 Метод пробной точки

Методика решения заключается в последовательной проверке каждого отрезка обслуживаемого участка, начиная с крайнего левого конца. Вначале на

отрезке АВ ставится пробная точка. Если грузооборот справа от выбранной точки, больше то проверяется следующий отрезок ВС. На нем ставится точка. Если он меньше, то РЦ устанавливается в начале анализируемого отрезка АВ.

Перенос пробных точек продолжается до тех пор, пока не появится точка, для которой сумма объемов завоза к потребителям с левой стороны не превысит сумму объемов завоза к потребителям с правой стороны. Склад может размещаться в начале этого отрезка, то есть слева от пробной точки. В нашем примере это точка F.

В работе [19] предлагается сначала определять расположение распределительного центра, используя несколько методов, рисунок 1.15.

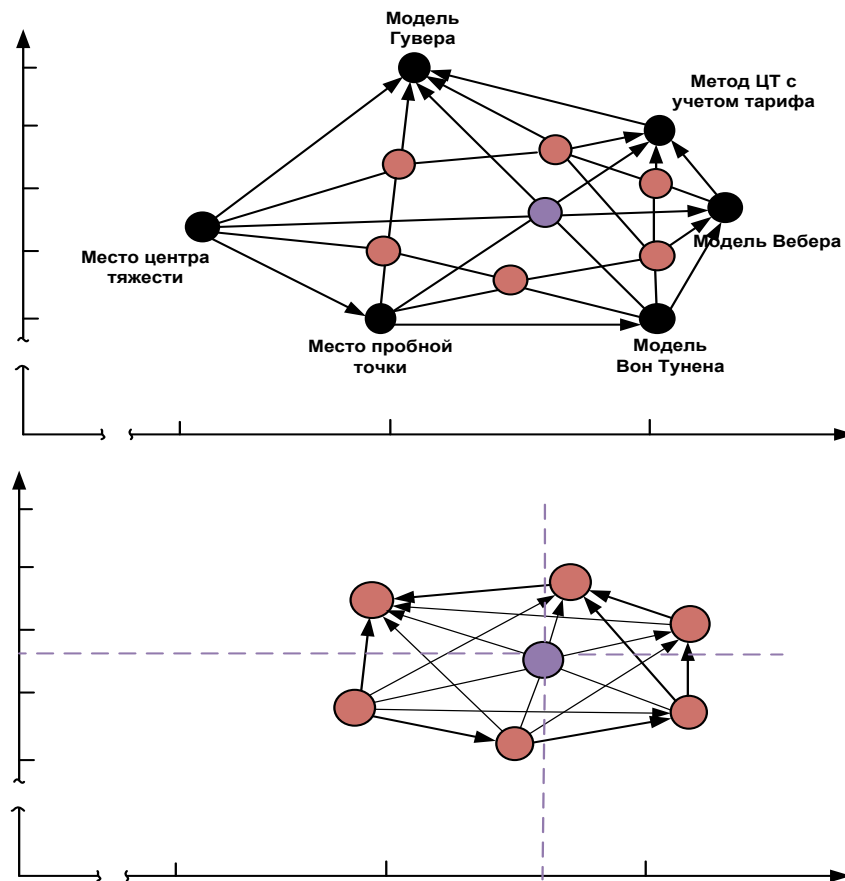


Рисунок 1.15 – Модель Гусева

Затем необходимо соединить полученные точки прямыми линиями. Общий РЦ будет находиться на их пересечении. В качестве примера на рисунке 1.15 представлен граф, построенный при использовании шести известных моделей: центров тяжести и тарифа, пробной точки, Вон Тунена, Вебера, Гувера.

Недостатком подхода является отсутствие критерия выбора «контрольных методик» для расчета. Также отсутствует алгоритм уточнения расположения РЦ внутри многогранника.

В работе [20] автор предлагает корректировать воздушную прямую между пунктами транспортной сети с помощью топливного безразмерного коэффициента, учитывающего трассировку пути передвижения:

$$K_T = \frac{R_\Phi}{R_H}, \quad (1.28)$$

где R_Φ – действительный расход топлива;

R_H – нормативный расход топлива.

Формулы (1.25) и (1.26) записываются таким образом:

$$x_i = \frac{\sum_{i=1}^m F_i x_i K_T}{\sum_{i=1}^m F_i}; \quad (1.29)$$

$$y_i = \frac{\sum_{i=1}^m F_i y_i K_T}{\sum_{i=1}^m F_i}; \quad (1.29)$$

Коэффициент можно использовать для разветвленной транспортной сети, когда велика вероятность, что РЦ попадет на существующую дорогу. В противном случае, определение реального расхода топлива является проблематичным, так как дорожное полотно отсутствует.

Другой вариант корректировки расчета по воздушной прямой с помощью коэффициента объезда предложен в работе [9]. Для каждого пункта выбирается прямоугольный треугольник с гипотенузой, соединяющей вершину потребителя с РЦ. В нем находится максимальное ортогональное расстояние от РЦ до вершины $\max L_{\text{кат}}$. Коэффициент объезда находится по формуле:

$$K_o = \frac{\max L_{\text{кат}}}{L_{\text{гип}}}, \quad (1.30)$$

где $\max L_{\text{кат}}$ – длина катетов;

$L_{\text{гип}}$ – длина гипотенузы от РЦ до рассматриваемой вершины потребителя.

Затем вычисляется его средняя величина по всей транспортной сети, $K_{\text{сред}}$. Расчетное расстояние между РЦ и пунктом потребителя находится по формуле:

$$L_i = L_{\text{гип}} K_{\text{сред}}. \quad (1.31)$$

Оно в дальнейшем используется при решении задачи маршрутизации и вычислении работы. Методика может применяться только при заранее известных координатах РЦ. В этом ее недостаток.

Выводы по первой главе

1. Предлагаю выделить две концептуальные модели, используемые при аналитическом методе расчета расположения РЦ: формализованную математическую и неформализованную экспертную. Последняя модель применяется при стратегическом планировании использования объекта.

2. Для определения координат распределительного центра, для перевалки товаров повседневного спроса для региона нужно использовать формализованную математическую модель.

3. Общим недостатком формализованной математической модели является использование евклидовой метрики при определении расстояния между распределительным центром и пунктами, а также отсутствие учета кривизны схемы передвижения по маршруту.

4. Использование дискретной модели для описания процесса автомобильных перевозок является более правильным по сравнению с функциональной оценкой, так как отражает действительный характер транспортной работы и соответствует принятой модели развития цифровой экономики в РФ.

5. Приведенные исследования показали, что дискретные модели перевозок: (ССДГ) и (РСТС) не описывают разомкнутые маршруты и работу автомобиля с нескольких баз.

6. Существующие методы расчета кольцевых маршрутов в формализованной математической модели не учитывают езду по ветвям маршрута несколько раз.

7. При оценке эффективности разработанных моделей маршрутизации необходимо учитывать эколого-экономический подход.

ГЛАВА 2.**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА
ДОСТАВКИ ГРУЗА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

Для повышения эффективности транспортных процессов активно используются точные методы расчета при составлении оптимальных маршрутов. На сегодняшний день часто применяется метод «ветвей и границ» (ВиГ), однако проведенные исследования показывают, что этот метод не всегда дает точное решение маршрутизации.

Для более точного описания процесса доставки грузов был разработан новый метод, известный как метод «Фиктивных узлов и ветвей» (ФУВ). В отличие от других существующих методов, он обеспечивает точное решение задачи маршрутизации и позволяет учитывать возможность движения по пунктам и улицам транспортной сети несколько раз, что более точно соответствует реальному маршруту передвижения.

В условиях современного рынка, требования к точности определения оптимального маршрута увеличиваются, поскольку от этого зависит прибыль компании.

2.1. Анализ применяемых схем передвижения грузов

При маршрутизации транспорта возникла необходимость уточнить терминологию и классификацию схем движения грузов. В настоящее время существуют различные точки зрения по этому вопросу.

Необходимо более четко разграничить следующие понятия: маршрут, способы доставки грузов и схемы передвижения.

Маршрутом называется путь следования автомобиля от начального до конечного пункта с указанием мест доставки груза. Это определение признают все исследователи. По назначению маршрут может быть трех видов: развозочным, сборочным, сборочно-развозочным.

Например, доставка товаров из центра распределения к торговым точкам происходит по развозочному маршруту.

По способу доставки различают помашинные и партионные отправки груза. Помашинная отправка подразумевает разгрузку всего объема груза, находившегося в кузове автомобиля или любого другого груза в одном пункте за один раз. При партионной отправке, например, развозка груза происходит в несколько торговых точек. Дополнительное деление грузов по размерам партий на массовые и мелкопартионные не целесообразно, так как их величина не является общепризнанной.

В работе [18, 102] многие авторы, при исследовании процесса перевозки грузов не уделяют внимания понятию схемы передвижения по маршруту. При выполнении перевозок грузов помашинными отправками различают маятниковые, кольцевые и радиальные схемы, а при доставке грузов мелкими отправками – развозочные, сборочные и развозочно-сборочные маршруты. В действительности развозочный маршрут может использоваться и при помашинной отправке грузов.

В работе [18] рассматривается классификация маршрутов, показанная на рисунке 2.1. Тем не менее передвижение с полной загрузкой может осуществляться и по кольцевой схеме с промежуточными пунктами погрузки. Следовательно, возникают сложности с классификацией маршрутов.

Таким образом, в дальнейших исследованиях предлагается придерживаться следующих схем передвижения по маршруту: маятниковой, кольцевой и радиальной.

Маятниковая схема передвижения применяется при доставке груза от одного производителя (рисунок 2.2). В этом случае автомобиль после разгрузки

возвращается на базу А без груза. На рисунке 2.2 l^{ze} – длина ездки с грузом, а l^x – холостой пробег. Количество груза на базе погрузки Q_A равно количеству груза в точке разгрузки.

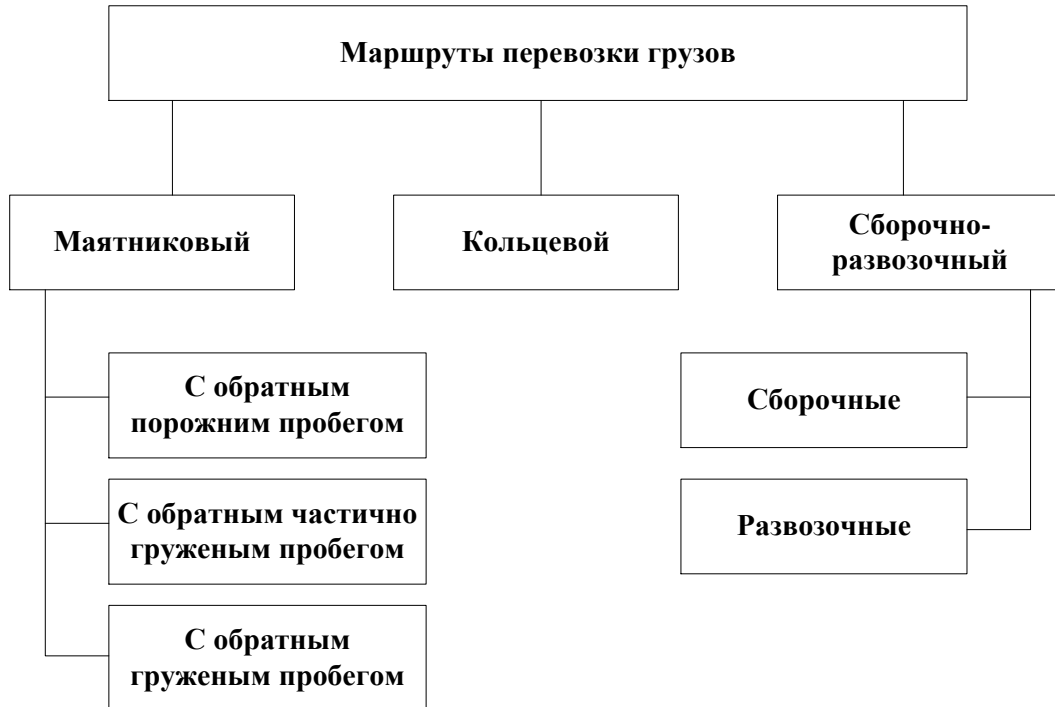


Рисунок 2.1 – Классификация маршрутов

Кольцевая схема применяется для мелкопартионной доставки груза из одного центра погрузки, если грузоподъемность автомобиля превышает количество груза, доставляемого одному из потребителей (рисунок 2.3). В этом случае автомобиль также возвращается на исходную базу без груза, совершая холостой пробег.

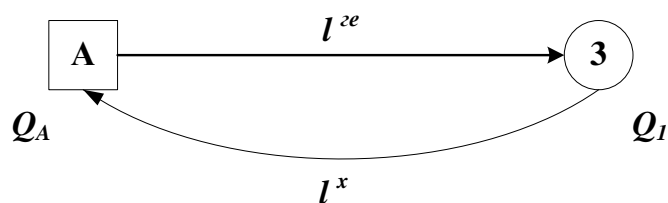


Рисунок 2.2 – Маятниковая схема движения

На рисунке 2.3 груженная ездка $l^{ze} = l_{A1} + l_{12}$, холостой пробег $l^x = l_{2A}$.

Количество перевозимого груза $Q_A = q_1 + q_2$.

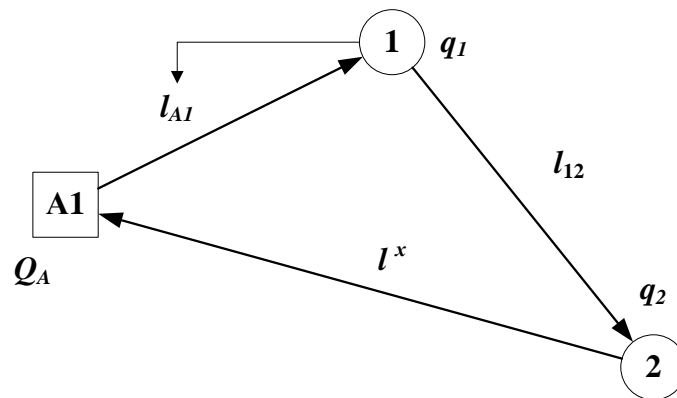


Рисунок 2.3 – Кольцевая схема движения

В радиальной схеме движения автомобиль, после полной разгрузки, не возвращается обратно на исходную базу погрузки (рисунок 2.4). Эта схема может использоваться при помашинной и партионной развозке груза. Маршрут получается разомкнутым.

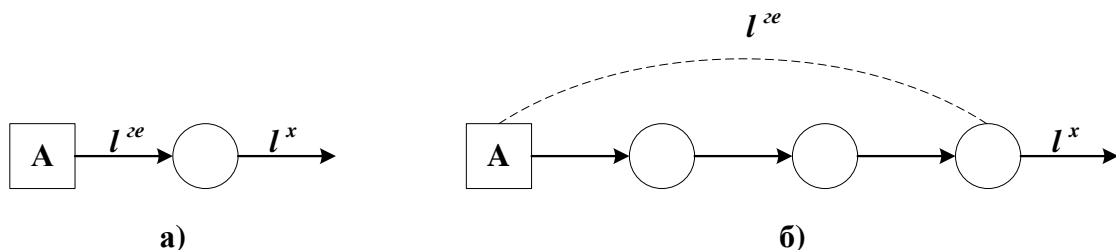


Рисунок 2.4 – Радиальная схема движения:

а – помашинная разгрузка; б – партионная разгрузка

Характерной чертой радиального маршрута по сравнению с кольцевым и маятниковым является отсутствие оборота.

Кольцевые, маятниковые и радиальные схемы передвижения объединяются в комбинированную схему развозки грузов (КСРГ). Пример такой схемы показан на рисунке 2.5.

Под комбинированной схемой развозки грузов понимается совокупность одной центральной базы погрузки, АТП и множества периферийных пунктов разгрузки, соединенных между собой маятниковыми, кольцевыми и радиальными

ветвями, по которым груз перевозится помашинными или мелкопартионными отправлениями.

На рисунке 2.5 А-1А – маятниковая схема передвижения при помашинной развозке; А-2-3-4-А – кольцевая схема при партионной развозке; А-3-5-АТП – радиальная схема при партионной развозке; А-6-АТП – радиальная схема при помашинной развозке.

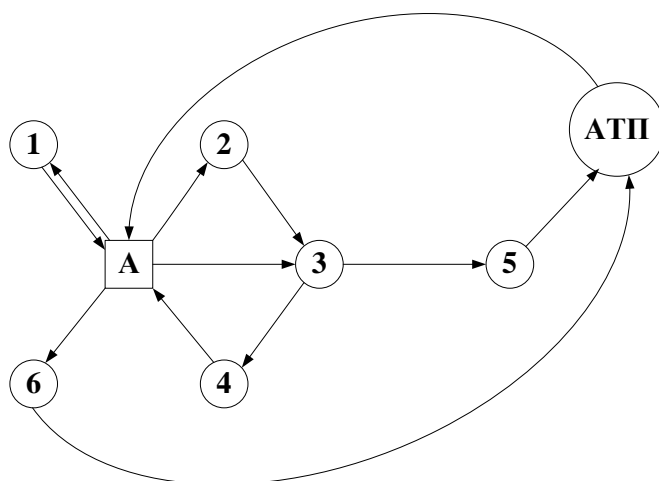


Рисунок 2.5 – Комбинированная схема развозки грузов

Согласно определению, приведенному в работе [102], комбинированные ССДГ по конфигурации представляют собой радиальный маршрут, по которому перевозки осуществляются помашинными отправлениями и ветви которого соответствуют по конфигурации маятниковому или кольцевому маршруту. Приведенная на рисунке 2.5 схема является с одной стороны, более общей, а с другой – более простой и точной.

Характерным признаком комбинированной схемы передвижения является наличие одного центра. Следует отметить, что в рассмотренных схемах развозки [102] также имеется радиальный маршрут, когда автомобиль, минуя исходную базу погрузки, возвращается в автотранспортное предприятие (АТП). Однако авторы в работе [85] не учитывают этого в своей классификации, что указывает на ее неточность.

Под интегрированной схемой развозки грузов (ИСРГ) понимается совокупность нескольких центральных баз погрузки, АТП и множества периферийных пунктов разгрузки, соединенных между собой маятниковыми, кольцевыми и радиальными ветвями, по которым перевозка грузов осуществляется помашинными и партионными отправлениями (рисунок 2.6).

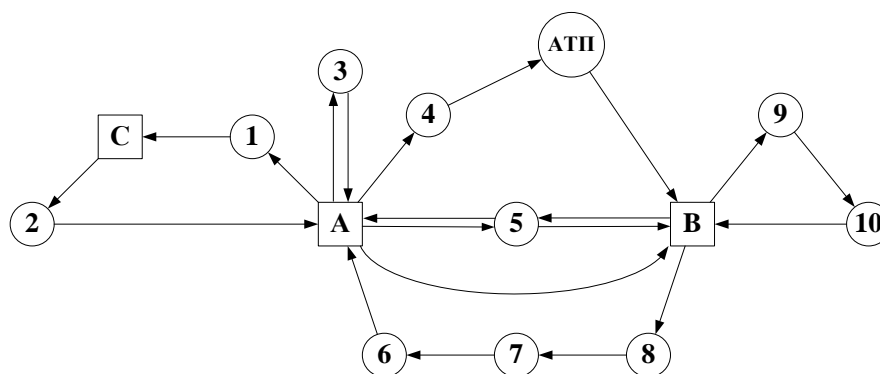


Рисунок 2.6 – Интегрированная схема развозки грузов

На данной схеме базы изображены квадратами. А-1-С и С-2-А радиальные схемы передвижения с помашинной развозкой груза; А-4-АТП и А-5-В-радиальные схемы передвижения с помашинной развозкой груза; А-3-А-маятниковая схема передвижения с помашинной развозкой груза; В-9-10-В-кольцевая схема передвижения с партионной развозкой груза; В-8-7-6-А-радиальная схема передвижения с партионной развозкой груза.

Следует отметить, что радиальные маршруты часто выступают в качестве связующих между базами снабжения. В источнике [18] под интегрированной транспортной схемой понимается схема, которая способна обслуживать несколько производственных структур или определенный географический регион. В данном случае процессы перемещения грузов будут происходить между несколькими производственными предприятиями, складами или пунктами сбора или развозки груза отправителями и получателями. Следовательно, предполагается рассматривать не конкретные схемы передвижения, а варианты организации транспортного процесса.

В интегрированной схеме возможно перемещение между базами без груза при переезде с одной базы на другую (см. рисунок 2.7). Это нулевой пробег, который необходимо учитывать при расчете.

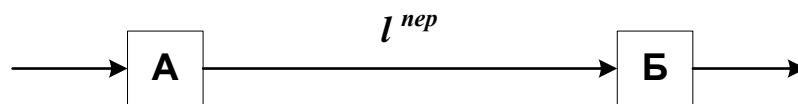


Рисунок 2.7 – Пробег при переезде на другую базу

Однако его смысл иной. В данном значении он выступает как неотъемлемая структурная составляющая схемы передвижения.

2.2. Теоретическое обоснование и усовершенствование методики маршрутизации транспорта метода «ветвей и границ» при вырождении решения задачи

В данной работе в основу оптимизации маршрутов был положен метод «ветвей и границ». Были проведены экспериментальные исследования по использованию классической методики расчета оптимальных маршрутов при доставке груза.

Установлено, что метод «ветвей и границ» при решении задачи маршрутизации может столкнуться с проблемой вырождения, и, таким образом, требует усовершенствования.

Пример 1.

Рассмотрим вырождение решения задачи маршрутизации на примере транспортного графа, представленного на рисунке 2.8. В таблице 2.1 приведена матрица расстояний. Из рисунка видно, что существует гамильтонов контур: 1-2-4-6-7-5-3-1 или 1-2-5-7-6-4-3-1, общей длиной 29 км.

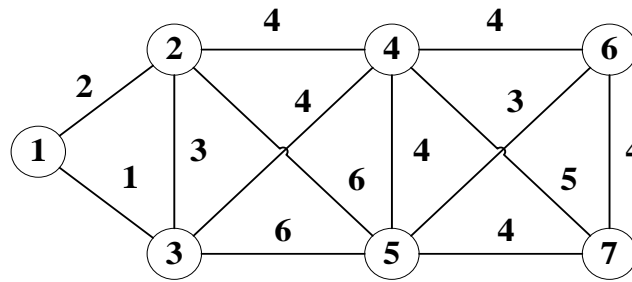


Рисунок 2.8 – Исходный транспортный граф

Таблица 2.1 – Исходная матрица расстояний

	1	2	3	4	5	6	7
1		2	1				
2	2		3	4	6		
3	1	3		4	6		
4		4	4		4	4	6
5		6	6	4		3	4
6				4	3		8
7				6	4	8	

Решаем исходную задачу методом ВиГ. Для этого сначала вычтем минимальный элемент из каждой строки, а затем из каждого столбца. В результате получим приведенную матрицу с нижней границей для множества гамильтоновых контуров - 17 (см. таблицу 2.2). Затем определим оценки нулевых элементов и составим оценочную матрицу (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.2 – Первый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	
1		0	0					1
2	0		1	2	3			2
3	0	1		2	4			1
4		0	1		0	1	2	3
5		2	3	0		0	0	2
6				1	0		5	2
7				2	0	5		3
		1		1			1	17

Таблица 2.3 – Второй шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7
1		0^0	0^1				
2	0^1		1	1	3		
3	0^1	1		2	4		
4		0^0	1		0^0	1	2
5		2	3	0^1		0^1	0^2
6				1	0^1		5
7				2	0^2	5	

Следует отметить, что в оценочной матрице две ячейки имеют одинаковую оценку 2: 7-5 и 5-7.

Рассмотрим процесс удаления ветви 5-7 в таблице 2.3, которая имеет наивысшую оценку 2. После этого мы получаем матрицу меньших размеров (см. таблицу 2.4), где блокируем ячейку 7-5 против заикливания. Таким образом, формируется дерево решений (см. рисунок 2.9).

После оценки элементов в таблице 2.4 результаты заносятся в новую таблицу 2.5.

Таблица 2.4 – Третий шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6
1		0	0			
2	0		1	1	3	
3	0	1		2	4	
4		0	1		0	1
6				1	0	
7				2	∞	5

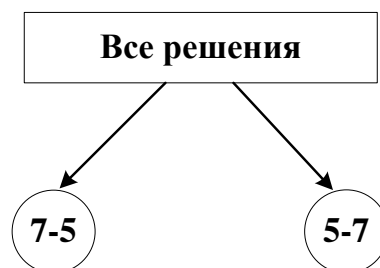


Рисунок 2.9 – Промежуточное дерево решений 1

В таблице 2.5 максимальную оценку имеет ветвь 7-4, включаем её в маршрут. Далее получаем матрицу размером 5x5 (см. таблицу 2.6)

Таблица 2.5 – Четвертый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	
1		0^0	0^1				
2	0^1		1	1	3		
3	0^1	1		2	4		
4		0^0	1		0^0	0^2	
6				1	0^1		
7				0^3		2	2
						1	

Таблица 2.6 – Пятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5	6
1		0^0	0^1		
2	0^1		1	3	
3	0^1	1		4	
4		0^0	1	∞	0^∞
6				0^∞	

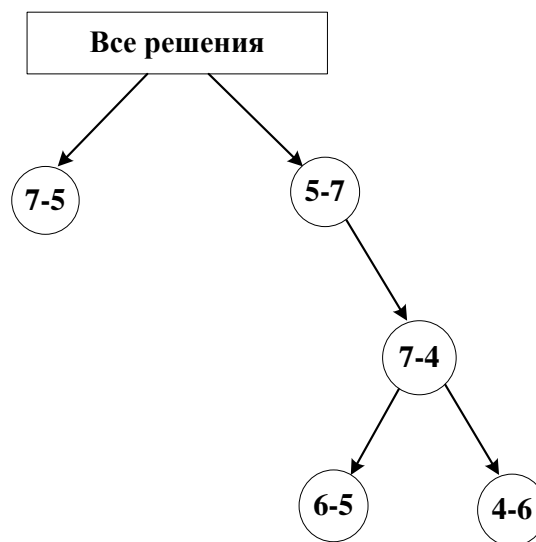


Рисунок 2.10 – Промежуточное дерево решений 2

В таблице 2.6 устанавливаем значение ∞ в ячейке 4-5, чтобы предотвратить заикливание. Затем проводим оценку её элементов. Наивысшую оценку имеют

две ветви: 4-6 и 6-5, как показано на рисунке 2.10. Рассмотрим сначала вариант удаления звена 4-6. В результате получаем матрицу, представленную в таблице 2.7. В этой матрице необходимо заблокировать ячейку 6-5, чтобы избежать зависания (см. таблицу 2.8).

Таблица 2.7 – Шестой шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5
1		0	0	
2	0		1	3
3	0	1		4
6				0

Таблица 2.8 – Седьмой шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5
1		0	0	
2	0		1	3
3	0	1		4
6				∞

Если этого не сделать, то возникнет цикл 5-7-4-6-5, и весь гамильтонов контур разобьется на два отдельных цикла (см. рисунок 2.11). Это противоречит цели задачи маршрутизации.

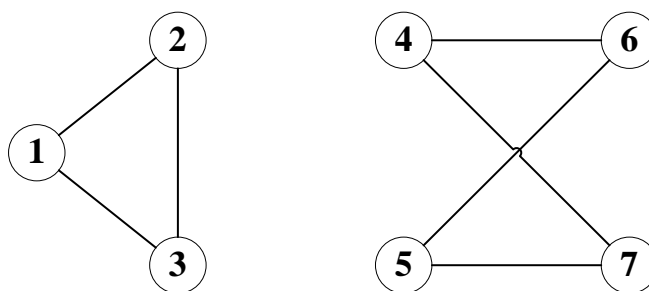


Рисунок 2.11 – Разделение гамильтонового контура на два цикла

В противном случае, если не блокировать ячейку 6-5, то в строке № 6 все значения будут равны ∞ , и узел заблокируется. Следовательно, не будет

возможности выйти из этого узла. Это приведет к вырождению решения задачи методом ВиГ.

На рисунке 2.12 заблокированные ветви показаны штриховыми линиями.

Рассмотрим другой вариант удаления ветви 6-5 по таблице 2.5. В этом случае получим таблицу 2.9, где наибольшая оценка ∞ находится в элементе 4-6.

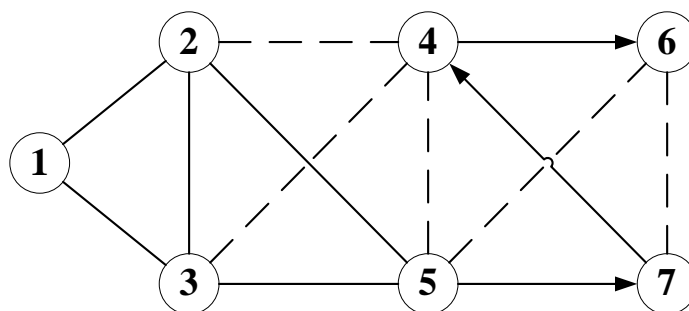


Рисунок 2.12 – Первый пример вырождения метода ВиГ

Таблица 2.9 – Восьмой шаг преобразования матрицы

	1	2	3	6
1		0^0	0^1	
2	0^1		1	
3	0^1	1		
4		0^0	1	0^∞

В соответствии с методикой «ветвей и границ» необходимо заблокировать ветвь 4-6. В результате получаем столбец № 6, в котором все элементы равны ∞ . Это означает, что узел № 6 зависит, так как из него нет выхода. Таким образом, сталкиваемся с вырождением решения (см. рисунок 2.6).

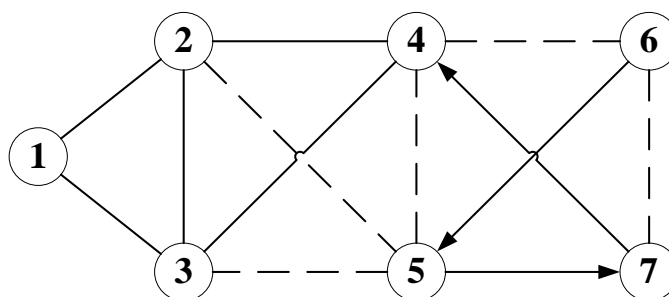


Рисунок 2.13 – Второй пример вырождения метода ВиГ

Далее возможно вырождение строки или столбца в приведенной матрице весов. Если не блокировать ячейку 4-6, то снова получим разделение общего гамильтонового контура на два цикла.

Переходим к рассмотрению оборванной ветви дерева решений 7-5 (см. рисунки 2.9 и 2.10).

Для этого следует вернуться назад в таблицу 2.3. Здесь необходимо вычеркнуть вместо звена 5-7 ветвь 7-5 и снова попробовать найти невырожденное решение задачи коммивояжера. Результат приведен в таблице 2.10. В таблице 2.11 ячейка 5-4 заблокирована от зацикливания.

Таблица 2.10 – Девятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	6	7
1		0^1	0^1			
2	0^1		1	1		
3	0^1	1		2		
4		0^0	1		1	0^1
5		2	3	0^0	0^1	
6				0^2		2

Здесь имеем два варианта дальнейшего решения: 4-7 или 6-4. Дерево решений на этом этапе показано на рисунке 2.14.

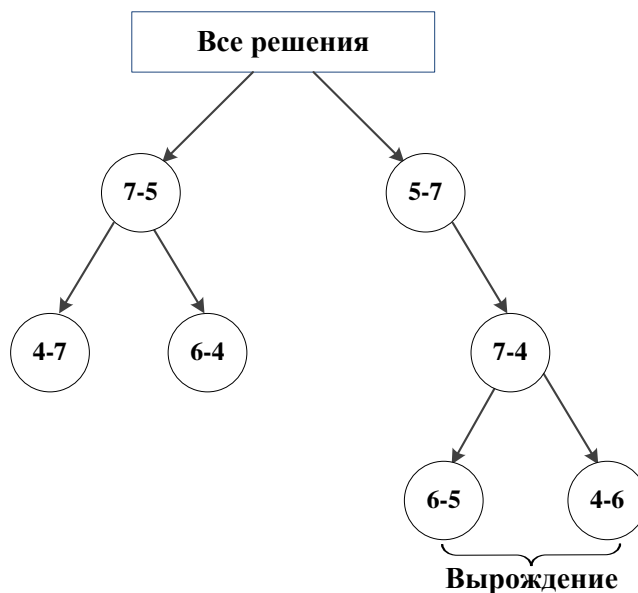


Рисунок 2.14 – Дерево решений 3

Принимаем решение включить в маршрут ветвь 4-7 и получаем оценочную матрицу, изображенную в таблице 2.11. В этой матрице блокируем ячейку 5-4, чтобы избежать заикливания.

Таблица 2.11 – Десятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	6
1		0^1	0^1		
2	0^1		1	1	
3	0^1	1		2	
5		2	3	∞	0^∞
6				0^∞	

Из таблицы 2.11 видно, что в дальнейшем возможны два варианта развития событий: ветвь 6-4 или ветвь 5-4. Рассмотрим вариант включения в маршрут ветви 6-4, тогда получаем матрицу размером 4x4, показанную в таблице 2.12.

Согласно методу «ветвей и границ», необходимо заблокировать ветвь 5-6 (см. таблица 2.13).

Таблица 2.12 – Одиннадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	6
1		0^1	0^1	
2	0^1		1	
3	0^1	1		
5		2	3	0^∞

Таблица 2.13 – Двенадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	6
1		0	0	
2	0		1	
3	0	1		
5		2	3	∞

В результате получаем вариант вырождения, где узел № 6 зависит, так как в него нет входа. Полученная схема, приведенная на графе, показана на рисунке 2.8.

На рисунке 2.15 штриховой линией обозначены заблокированные дуги. Следует отметить, если не блокировать ветвь 5-6 в таблице 2.12, а удалить её, то получим разделение гамильтонового контура на два цикла (см. рисунок 2.11). Это противоречит условию задачи.

Выбираем второй вариант включения в маршрут ветви 5-6 из таблицы 2.11.

Результат вычисления оценочной матрицы показан в таблице 2.14.

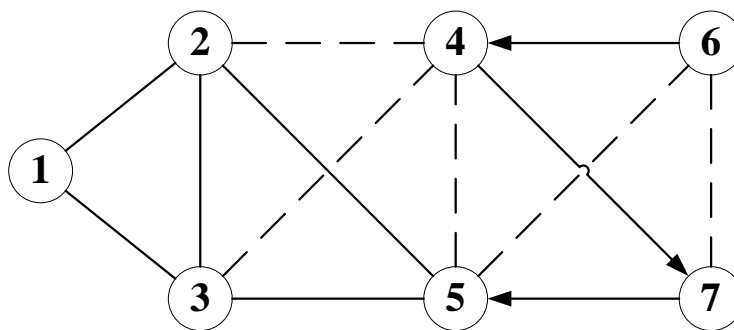


Рисунок 2.15 – Третий вариант вырождения решения

Таблица 2.14 – Тринадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4
1		0^1	0^1	
2	0^0		1	0^0
3	0^1	1		1
6				0^∞

Таблица 2.15 – Четырнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4
1		0	0	
2	0		1	0
3	0	1		0
6				∞

Дерево решений на данном этапе изображено на рисунке 2.16. Если в таблице 2.14 заблокировать ячейку 6-4 в соответствии с алгоритмом метода «ветвей и границ», то во всех ячейках шестой строки будет стоять бесконечность (см. таблицу 2.14).

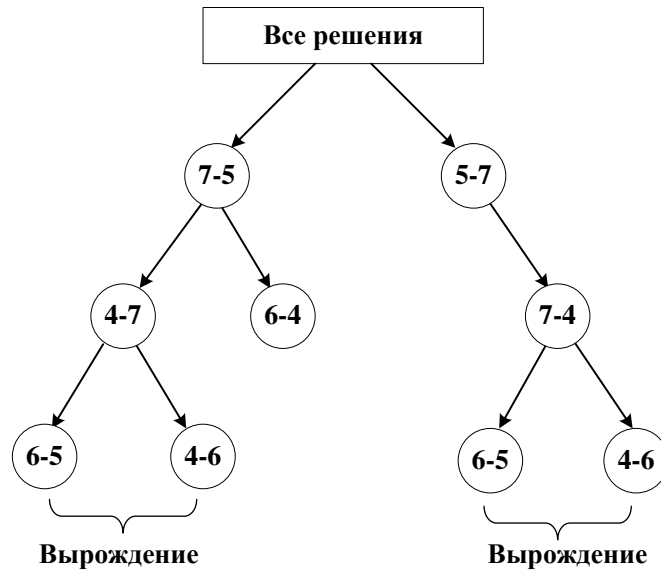


Рисунок 2.16 – Дерево решений 4

Далее снова сталкиваемся с ситуацией, когда узел № 6 зависит, так как из него нет выхода, что приводит к вырождению решения. Схема передвижения по графу показана на рисунке 2.17.

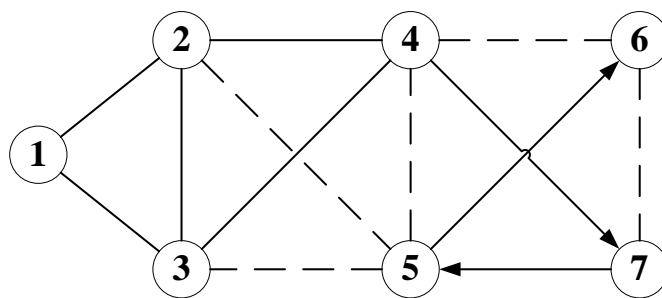


Рисунок 2.17 – Четвертый вариант вырождения решения

Если не заблокируем ячейку 6-4, то сталкиваемся с вырождением решения, при котором гамильтонов контур разделяется на два цикла, как показано на рисунке 2.11. Следовательно, на этой ветви дерева решений получаем вырождение решения.

Переходим к рассмотрению последнего варианта решения, связанного с удалением ветви 6-4, которая изображена на рисунке 2.15 в таблице 2.10. Результат включения данной ветви в маршрут дает оценочную матрицу, отраженную в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Пятнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	6	7
1		0^0	0^1		
2	0^1		1		
3	0^1	1			
4		0^0	1	1	0^∞
5		2	3	0^1	

Исходя из данных таблицы 2.16, включаем в маршрут ветвь 4-7, которая имеет наивысшую оценку ∞ . Это приведет к формированию матрицы, представленной в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Шестнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	6
1		0^0	0^0	
2	0^1		1	
3	0^1	1		
5		2	3	0^∞

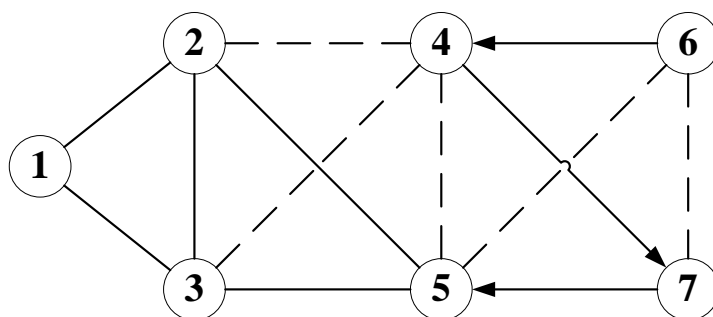


Рисунок 2.18 – Пятый вариант вырождения решения

Последующие итерации аналогичны описанным выше. Если заблокируем ячейку 5-6, снова столкнемся с вырождением решения, при котором узел № 6 зависит, так как в него нет входа (см. рисунок 2.17). Если удалим звено 5-6, гамильтонов контур разделится на два цикла (см. рисунок 2.11).

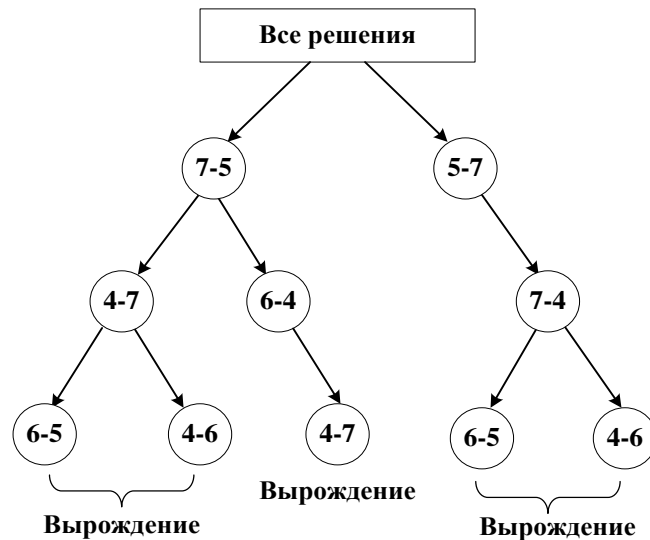


Рисунок 2.19 – Дерево решений

Проведенные исследования показали, что рассматриваемый транспортный граф содержит характерный подграф, состоящий из вершин 4, 5, 6, 7, что приводит к зависанию центрального узла № 6 (рисунок 2.14).

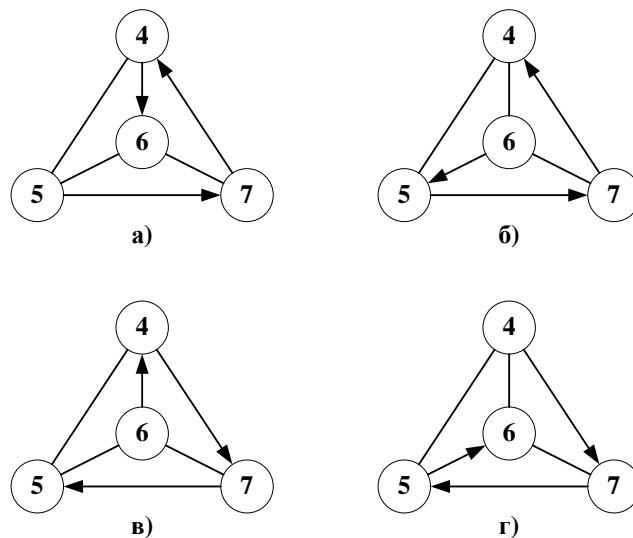


Рисунок 2.20 – Возможные схемы передвижения в варианте 1 подграфа вырождения: а) и г) - нет выхода из вершины 6; б) и в) - нет входа в узел 6

Чтобы исключить вырождение решения задачи, используя классический метод, и обойти зависание узла № 6, необходимо усовершенствовать методику расчета.

Были рассмотрены различные варианты ее изменения, учитывая, что в большинстве случаев метод ВиГ дает правильное решение. Поэтому был выбран вариант модернизации, который не изменяет определение нижней границы подмножества, а только корректирует порядок вычеркивания ветвей при возникновении зависания с узлом. Рассмотрим, в чем усовершенствование методики решения заключалось. После остановки решения и установления факта вырождения было определено, какая ветвь с зависшим центральным узлом 6 подграфа вырождения не была вычеркнута или заблокирована. Это звено 6-7. На следующем этапе не происходит удаления ячейки с наибольшей оценкой, как предусмотрено методикой «ветвей и границ», а происходит удаления звена 6-7, при этом оно должно образовывать единую цепь с предыдущей вычеркнутой ветвью.

Это означает, что если в маршрут включается звено 5-7 (рисунок 2.20 а и 2.20 б), то следующей вычеркнутой ветвью будет 7-6. Для схем, изображенных на рисунке 2.20 в и 2.20 г, после удаления звена 7-5 необходимо вычеркнуть ветвь 6-7. После этого сохраняется методика ВиГ до следующего возникновения вырождения и снова применяется процедура усовершенствования.

Проверим применение усовершенствованной методики на примере. В качестве варианта допустим, что первое вырождение произошло на первой ветви дерева решений при вычеркивании 5-7, 7-4 и 4-6 (см. рисунок 2.19). Это соответствует схеме подграфа вырождения, представленной на рисунке 2.20 а.

После остановки решения из-за его вырождения, возвращаемся назад в таблицу 2.5 и заменяем звено 7-4 на дугу 7-6, формируя склейку маршрута: 5-7-6 (таблица 2.18). Далее получаем матрицу размером 5х5 и блокируем ветвь 6-5 для предотвращения заикливания. Затем даем оценку элементов этой матрицы согласно стандартной методике ВиГ. Результаты отображены в таблице 2.19.

Далее в таблице 2.19 удаляем дугу 6-4, имеющую наибольшую оценку ∞ . Это приводит к получению оценочной матрицы, представленной в таблице 2.20. Здесь ветвь 4-5 также блокируется для предотвращения заикливания.

Таблица 2.18 – Семнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6
1		0	0			
2	0		1	1	3	
3	0	1		2	4	
4		0	1		0	0
6				1	0	
7				0		2

Таблица 2.19 – Восемнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5
1		0^0	0^1		
2	0^1		1	1	3
3	0^1	1		2	4
4		0^0	1		0^3
6				0^∞	∞

Таблица 2.20 – Девятнадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5
1		0^0	0^1	
2	0^0		1	0^1
3	0^1	1		1
4		0^1	1	∞

В таблице 2.20 четыре дуги имеют одинаковую оценку: 1-3, 2-5, 3-1 и 4-2 с оценкой 1. Следовательно, можем включить в маршрут любую из этих дуг. Для доказательства существования гамильтонового контура после усовершенствования алгоритма рассмотрим сначала вариант с включением в маршрут ветви 1-3. Это приводит к получению таблицы 2.21 с новой оценочной матрицей, в которой блокируем ячейку 4-1 для предотвращения заикливания.

В таблице 2.21 удаляем ветвь 4-2 и получаем новую матрицу размером 2x2, показанную в таблице 2.22, где блокируем ячейку 3-1 для предотвращения заикливания. В этой матрице вычеркиваемые дуги определяются однозначно: 2-1 и 3-5 с оценкой равной ∞ .

В таблице 2.21 удаляем ветвь 4-2 и получаем новую матрицу размером 2x2, показанную в таблице 2.22, где блокируем ячейку 3-1 для предотвращения заикливания. В этой матрице вычеркиваемые дуги определяются однозначно: 2-1 и 3-5 с оценкой равной ∞ .

Таблица 2.21 – Двадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	5
2	0^0		0^1
3	0^1	1	1
4	∞	0^∞	

Таблица 2.22 – Двадцать первый шаг преобразования матрицы

	1	5
2	0^∞	0^0
3	∞	0^∞

В результате применения усовершенствованной методики ВиГ были вычеркнуты следующие ветви: 5-7, 7-6, 6-4, 1-3, 4-2, 2-1 и 3-5. Это позволило получить оптимальный кольцевой маршрут 5-7-6-4-2-1-3-5 длиной 29 км, который показан на рисунке 2.21.

Рассмотрим второй вариант удаления ветви 2-5 по таблице 2.20. Новая оценочная матрица, в которой заблокирована ячейка 4-2 против заикливания, представлена в таблице 2.23. Удаляем из нее дугу 4-3.

Из таблицы 2.24 получаем новую матрицу размером 2x2, в которой однозначно вычеркиваем ветви 1-2 и 3-1. Во втором варианте были вычеркнуты ветви: 5-7, 7-6, 6-4, 2-5, 4-3, 1-2 и 3-1. С учетом этих изменений получаем

оптимальный второй гамильтоновский контур: 5-7-6-4-3-1-2-5 длиной 29 км. Этот маршрут показан на рисунке 2.16.

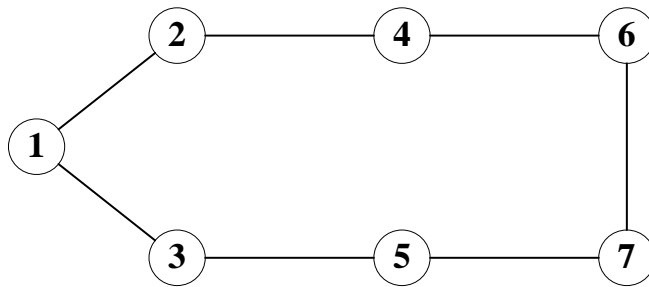


Рисунок 2.21 – Первый вариант оптимального гамильтоновского контура

Отметим, что при рассмотрении всех других возможных вариантов дерева решений улучшение маршрута не было обнаружено.

Таблица 2.23 – Двадцать второй шаг преобразования матрицы

	1	2	3
1		0^0	0^0
3	0^∞	1	
4		∞	0^∞

Таблица 2.24 – Двадцать третий шаг преобразования матрицы

	1	2
1		0^∞
3	0^∞	1

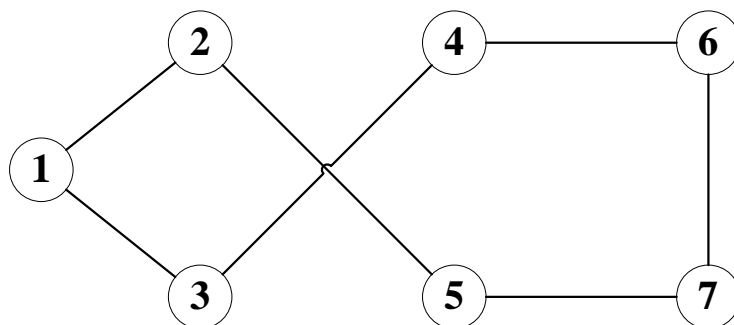


Рисунок 2.22 – Второй вариант оптимального гамильтоновского контура

Следовательно, применение разработанной методики позволяет преодолеть вырождение решения и найти оптимальные гамильтоновы контуры.

Остановимся на втором виде подграфа, который может привести к вырождению. Его схема получается путем удаления ветви 4-5 и изменения длины дуги 4-6, как рассмотрено в примере.

Приведенные расчеты показали, что возможные схемы передвижения при вырождении совпадают с указанным на рисунке 2.20. Подграф вырождения 4-5-6-7 изображен на рисунке 2.23

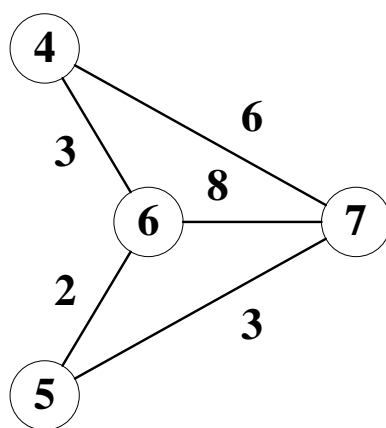


Рисунок 2.23 – Второй вариант подграфа вырождения

Наличие вырождения зависит от различных факторов:

- размер ветви в подграфе вырождения;
- длины и расположения ветвей и дуг вокруг зависшего узла, что может вызвать зависание вершин 6 или 7.

Еще один пример, подтверждающий эффективность усовершенствованной методики приведенной в Приложении Б.

Проведенные исследования показали, что усовершенствованный классический метод ВиГ можно представить следующими этапами.

1 этап. Создается исходная матрица весов $[N]$.

2 этап. Выполняется операция приведения $[N]^{np}$. В каждой строке матрицы весов $[N]$ находится минимальный элемент z_i и вычитается из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (2.1)$$

Затем в полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j который вычитается из всех остальных элементов t'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (2.2)$$

3 этап. Определяется оценочная матрица $[N]^0$. Выполняется операция оценки нулевых элементов. Осуществляется для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в $[N]^{np}$ оценка по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (2.3)$$

где t''_{ik} - наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} - наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i; k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Находится пара $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2.4)$$

4 этап. Происходит переход к новой матрице L_1 . Для этого вычеркивается из $[N]^0$ строку k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируем ячейку на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущая к заиклииванию цепи со звеном $k - s$.

5 этап. При вырождении решения устанавливается номер зависшего узла ζ .

6 этап. Устанавливается дуга $\zeta - \omega$ с зависшей вершиной, которая не была заблокирована или использована.

7 этап. На следующем шаге вычеркивается дуга $\zeta - \omega$, а не ячейка с максимальной оценкой. При этом $\zeta - \omega$ и $\omega - \theta$ должны образовывать склейку.

8 этап. Над матрицей выполняются процедуры оценки и приведения по пунктам с 2-7 до тех пор, пока не останется матрица 2×2 и вычеркиваемая ветвь не станет очевидна.

9 этап. Оптимальный маршрут устанавливается путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей.

10 этап. Определяется в пункте 1 ветвь ζ - ω против зависания, которая вводится в исходную матрицу весов, а остальные ветви с зависающим узлом удаляются. Получается исправленная матрица весов $[N]''$.

11. Подтверждается отсутствие вырождения при расчете исправленной матрицы весов $[N]''$.

2.3. Теоретическое обоснование и усовершенствования методики маршрутизации транспорта метода «ветвей и границ» при повышении точности решения задачи

Проведенные исследования показали, что метод «ветвей и границ» не всегда обеспечивает точное решение задачи маршрутизации. Это связано с принятой методикой расчета исходной задачи. При использовании метода «ветвей и границ» применяются две основные гипотезы: приведение и оценка нулевых элементов в матрице расстояний.

Гипотеза приведения является точной и не вызывает сомнений. Суть ее заключается в том, что решение задачи не изменится, если из какой-либо строки или столбца матрицы вычесть произвольное положительное число, так как это просто изменит длину маршрута.

Вторая гипотеза связана с оценкой нулевого элемента, которая определяется как сумма минимального элемента в строке и в столбце, на пересечении которого она находится.

Однако вторая гипотеза, связанная с оценкой нулевого элемента, может вызывать сомнения. Она определяется как сумма минимального элемента в строке и в столбце, содержащая нулевой элемент. Это позволяет определить маршрут наименьшей длины. Однако возникают сомнения в эффективности данной оценки

на каждом этапе итерации, особенно при вычеркивании нулевого элемента с максимальной оценкой.

Причина в том, что оценка носит случайный характер и может не учитывать все возможные комбинации последующих шагов.

Рассмотрим неточность метода ВИГ на двух числовых примерах, когда нет возможности найти оптимального решения задачи при удалении ветви с максимальной оценкой.

Проведенные исследования показали, что усовершенствованный классический метод можно представить следующими этапами:

1 этап. Создается исходная матрица весов $[N]$.

2 этап. Находится приведенная матрица $[N]^{np}$. Выполняется операция приведения. В каждой строке матрицы весов $[N]$ находится минимальный элемент z_i и вычитается из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (2.5)$$

Затем в полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитается из всех остальных элементов t'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (2.6)$$

3 этап. Определяется оценочная матрица $[N]^o$. Выполняется операция оценки нулевых элементов. Осуществляется для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в $[N]^{np}$ оценка по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (2.7)$$

где t''_{ik} - наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} - наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i; k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Находится пара $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2.8)$$

4 этап. Происходит переход к новой матрице L_1 . Для этого вычеркивается из матрицы $[N]^0$ строка k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируется ячейка на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущую к заиклииванию цепи со звеном $k - s$.

5 этап. Над матрицей выполняются процедуры оценки и приведения по пунктам с 2-4 до тех пор, пока не останется матрица 2×2 и вычеркиваемая ветвь не станет очевидна.

6 этап. Проверяется расчет методом ВиГ на точность путем вычеркивания в первой оценочной исправленной матрице, где присутствуют несколько разных по величине оценок, строка v и столбец h с оценкой на одну ступень ниже максимальной.

7 этап. В следующей второй оценочной матрице включается в маршрут дуга с максимальной оценкой, как в классическом методе ВиГ. Блокируется ячейка на пересечении строки h и столбца v , а также ветвь, ведущая к заиклииванию цепи звеном $k - s$.

8 этап. Рациональный маршрут устанавливается по наименьшей длине, путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей, вычисленной по пункту 6 и найденной классическим методом ВиГ.

Рассмотрим пример, в котором исходная матрица расстояний и транспортный граф такие, как в таблице 2.25, (рисунок 2.24, соответственно).

Далее рассмотрим операцию приведения по строкам и столбцам согласно методике ВиГ, (таблица 2.26).

Затем по таблице 2.26 определяем оценку нулевых элементов, в результате чего получаем таблицу 2.27. В этой таблице имеются две ячейки 5-1 и 8-4 с максимальной оценкой 98. Рассмотрим, пример, с удалением ветви 5-1.

Далее рассмотрим операцию приведения по строкам и столбцам согласно методике ВиГ, (таблица 2.26).

Затем по таблице 2.26 определяем оценку нулевых элементов, в результате чего получаем таблицу 2.27. В этой таблице имеются две ячейки 5-1 и 8-4 с максимальной оценкой 98. Рассмотрим, пример, с удалением ветви 5-1.

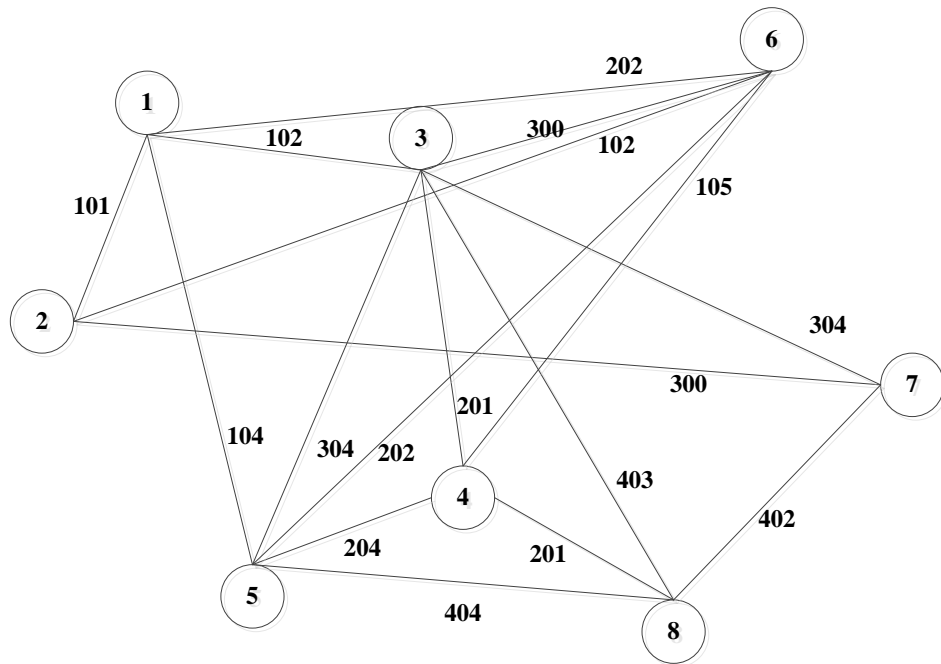


Рисунок 2.24 – Исходный транспортный граф в примере 1

Таблица 2.25 – Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		101	202		104	202		
2	101					102	300	
3	202			201	304	300	304	403
4			201		204	105		201
5	104		304	204		202		404
6	202	102	300	105	202			400
7		300	304					402
8			403	201	404	400	402	

После удаления ветви 5-1 получаем таблицу 2.28 меньшего размера, в которой блокируем ячейку 1-5, чтобы предотвратить заикливание.

Таблица 2.26 – первый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0	97		0	101		
2	0					1	96	
3	1			0	100	99	0	106
4			92		96	0		0
5	0		196	100		98		204
6	100	0	194	3	97			202
7		0	0					6
8			198	0	200	199	98	

Таблица 2.27 – второй шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0^0	97		0^{96}	101		
2	0^1					1	96	
3	1			0^0	100	99	0^{96}	106
4			92		96	0^1		0^6
5	0^{98}		196	100		98		204
6	100	0^3	194	3	97			202
7		0^0	0^{92}					6
8			198	0^{98}	200	199	98	

В таблице 2.28 наибольшую оценку 98 имеет элемент 8-4, удаляем ветвь и включаем в маршрут.

Затем выполняем операции приведения и получаем таблицу 2.29.

После удаления ветви 8-4 получаем таблицу 2.29, в которой блокируем ячейку 4-8, а затем выполняем операцию приведения.

После этого производим оценку нулевых элементов и вычеркиваем ветвь 7-8 с максимальной оценкой 100. Далее мы получаем матрицу меньших размеров. В этой матрице выполняем операции приведения и оценку нулевых элементов, что отображено в таблице 2.30.

Вычеркиваем в таблице 2.30 ветвь 3-7 с наибольшей оценкой 99 и получаем таблицу 2.31.

Таблица 2.28 – третий шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	7	8
1	0^{97}	97		∞	101		
2					0^{95}	95	
3			0^0	4	99	0^{95}	106
4		92		0^1	0^0		0^6
6	0^1	194	3	1			202
7	0^0	0^{92}					6
8		198	0^{98}	104	199	98	

Таблица 2.29 – четвертый шаг преобразования матрицы

	2	3	5	6	7	8
1	0^{97}	97		101		
2				0^{95}	95	
3			4	99	0^{99}	100
4		92	0^1	0^0		∞
6	0^1	194	1			196
7	0^0	0^{92}				0^{100}

Таблица 2.30 – пятый шаг преобразования матрицы

	2	3	5	6	7
1	0^5	5		101	
2				0^{95}	95
3			4	99	0^{99}
4		0^5	0^1	0^0	
6	0^1	102	1		

Таблица 2.31 – шестой шаг преобразования матрицы

	2	3	5	6
1	0^0	0^{97}		101
2				0^∞
4		∞	0^1	0^0
6	0^1	97	1	

В полученной матрице блокируем ячейку 4-3, чтобы предотвратить зацикливание, и выполняем операцию приведения и оценку нулевых элементов. Результаты показаны в таблице 2.32. Здесь блокируем ячейку 6-2.

Таблица 2.32– седьмой шаг преобразования матрицы.

	2	3	5
1	0^∞	0^{96}	
4			0^∞
6	∞	96	0^{96}

Таблица 2.33 – восьмой шаг преобразования матрицы

	3	5
4		0^∞
6	0^∞	∞

После выполнения операции приведения и оценки нулевых элементов в таблице 2.32 получаем два элемента с максимальной оценкой: 1-2 и 4-5. После удаления ветви 1-2 получаем матрицу 2.33 меньшего размера, в которой будут вычеркнуты ветви 6-3 и 4-5.

В итоге получаем маршрут 5-1-2-6-3-7-8-4-5 длиной 1718 км, как показано на рисунке 2.25.

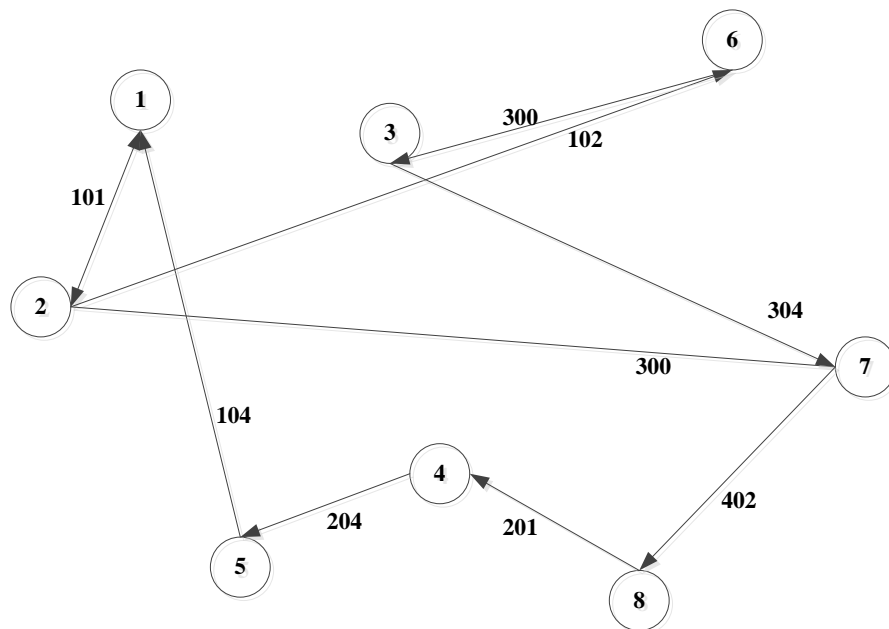


Рисунок 2.25 – Первый неточный маршрут в примере 1

Рассмотрим второй вариант решения задачи, где происходит удаление ветви 8-4 из таблицы 2.27. В результате этого получаем таблицу 2.34.

Выполняем операции приведения и получаем оценочную матрицу в таблице 2.35. В этой матрице вычеркиваем ветвь 7-8 (см. таблица 2.36). Далее наибольшую оценку 98 имеет ветвь 5-1 в таблице 2.37. Ее удаляем.

Следующим шагом в полученной матрице выполняем операцию приведения.

После удаления ветви 5-1 получаем таблицу 2.38.

Таблица 2.34 – девятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0^0	97		0^{96}	101		
2	0^1					1	96	
3	1			0^0	100	99	0^{96}	106
4			92		96	0^1		0^6
5	0^{98}		196	100		98		204
6	100	0^3	194	3	97			202
7		0^0	0^2					6
8			198	0^{98}	200	199	98	

Таблица 2.35 – десятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5	6	7	8
1		0^0	97	0^{96}	101		
2	0^1				1	96	
3	1			100	99	0^{96}	106
4			92	96	0^1		0^6
5	0^{98}		196		98		204
6	100	0^3	194	97			202
7		0^0	0^2				6

Таблица 2.36 – одиннадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5	6	7	8
1		0^0	97	0^{96}	101		
2	0^1				1	96	
3	1			100	99	0^{97}	100
4			92	96	0^{93}		∞
5	0^{98}		196		98		198
6	100	0^{97}	194	97			196
7		0^0	0^{97}				0^{100}

Таблица 2.37 – двенадцатый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5	6	7
1		0^0	5	0^{96}	101	
2	0^1				1	96
3	1			100	99	0^{97}
4			0^5	96	0^1	
5	0^{98}		104		98	
6	100	0^{97}	102	97		

Таблица 2.38 – тринадцатый шаг преобразования матрицы

	2	3	5	6	7
1	0^5	5	∞	101	
2				0^{95}	95
3			4	99	0^{99}
4		0^5	0^1	0^0	
6	0^1	102	1		

В этой таблице выполняем операцию приведения и удаляем ветвь 3-7 с оценкой 99.

В таблице 2.39 выявляем, что наибольшую оценку ∞ имеет ветвь 2-6. После ее удаления получаем оценочную матрицу, показанную в таблице 2.40. В этой матрице удаляем ветви 1-2, 4-5 и 6-3.

Таблица 2.39 – четырнадцатый шаг преобразования матрицы

	2	3	5	6
1	0	0	∞	101
2				0^∞
4		∞	0	0
6	0	97	1	

Таблица 2.40 – пятнадцатый шаг преобразования матрицы

	2	3	5
1	0^∞	0	
4			0^∞
6	∞	96	0

В результате проведенных итераций получаем маршрут длиной 1718 км, как показано на рисунке 2.26.

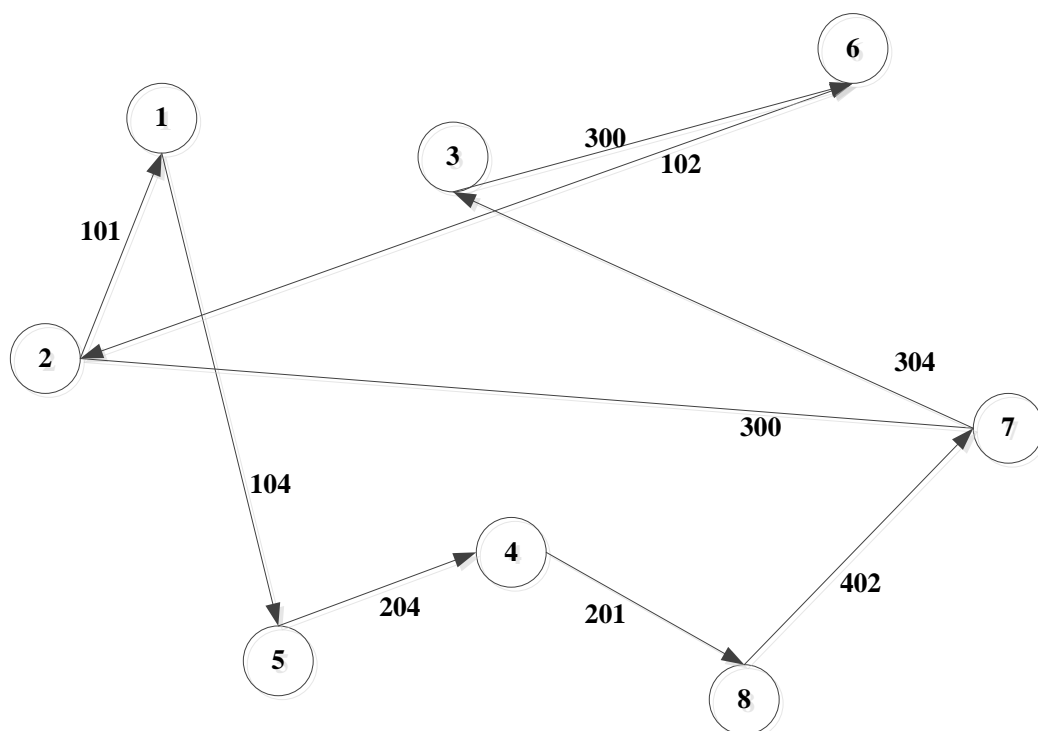


Рисунок 2.26 – Второй неточный маршрут в примере 1

Проведенные исследования показали, что найденный маршрут не является оптимальным. Необходимо усовершенствовать методику ВиГ, особенно в части выбора ветви с максимальной оценкой.

Рассмотрим решение задачи по рисунку 1 на примере одной из ветвей дерева решений. Вместо ветви 8-4 с наибольшей оценкой 98 в таблице 2.27 вычеркиваем ветвь 1-2 с оценкой 97 (таблица 2.41).

Далее мы получаем таблицу 2.42, в которой выполняем операцию приведения и оценку нулевых элементов.

В результате выполненных итераций получаем два нулевых элемента матрицы 8-4 и 7-3, которые имеют одинаковую оценку 98.

В качестве примера рассмотрим матрицу с включением в маршрут ветви 7-3. Получаем таблицу 2.43, в которой блокируем ячейку 3-7 против зацикливания.

После выполнения операций приведения и оценки нулевых элементов в таблице 2.43, удаляем ветвь 4-8 с максимальной оценкой 106.

Таблица 2.41 – шестнадцатый шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	7	8
1	0^{97}	97		∞	101		
2					0^{95}	95	
3			0^0	4	99	0^{95}	106
4		92		0^1	0^0		0^6
6	0^1	194	3	1			202
7	0^0	0^{92}					6
8		198	0^{98}	104	199	98	

Таблица 2.42 – семнадцатый шаг преобразования матрицы

	3	4	5	6	7	8
2				0^{95}	95	
3		0^0	4	99	0^{95}	106
4	92		0^0	0^0		0^6
6	193	2	0^2			201
7	0^{98}					6
8	198	0^{98}	104	199	98	

После этого получаем таблицу 2.44, где блокируем ячейку 8-4. Затем проводим процедуру приведения и оценки нулевых элементов. После анализа таблицы 2.44 включаем в маршрут ветвь 8-7, которая обладает максимальной оценкой 101.

Таблица 2.43 – восемнадцатый шаг преобразования матрицы

	4	5	6	7	8
2			0^0	0^3	
3	0^4	4	99	∞	106
4		0^0	0^0		0^{106}
6	2	0^2			201
8	0^3	104	199	3	

После этого переходим к таблице 2.45, где блокируем ячейку 3-4 и совершаем операции приведения.

Наибольшую оценку имеют две ветви: 2-6 и 6-4. В данном случае выбираем ветвь 2-6 для удаления.

Таблица 2.44 – девятнадцатый шаг преобразования матрицы

	4	5	6	7
2			0^{99}	0^0
3	0^6	4	99	
6	2	0^6		
8	∞	101	196	0^{101}

Отметим, что удаление ветви 6-4 в таблице 2.45 не приводит к улучшению решения.

Таблица 2.45 – двадцатый шаг преобразования матрицы

	4	5	6
2			0^∞
3	∞	0	95
6	0^∞	0^6	

Получаем матрицу, где блокируем ветвь 6–5 (таблица 2.46) для предотвращения циклических путей, и добавляем в маршрут очевидные ветви для удаления: 3 – 5 и 6 – 4.

Получаем маршрут 5 – 1 – 2 – 6 – 4 – 8 – 7 – 3 – 5 длиной 1623 единицы (рисунок 2.27). Это на 95 км короче, чем в первом варианте расчета. Экономия составляет 5% от длины маршрута.

Таблица 2.46 – двадцатый первый шаг преобразования матрицы

	4	5
3		0^∞
6	0^∞	∞

Еще один пример, подтверждающий эффективность усовершенствованной методики, приведен в Приложении Б.

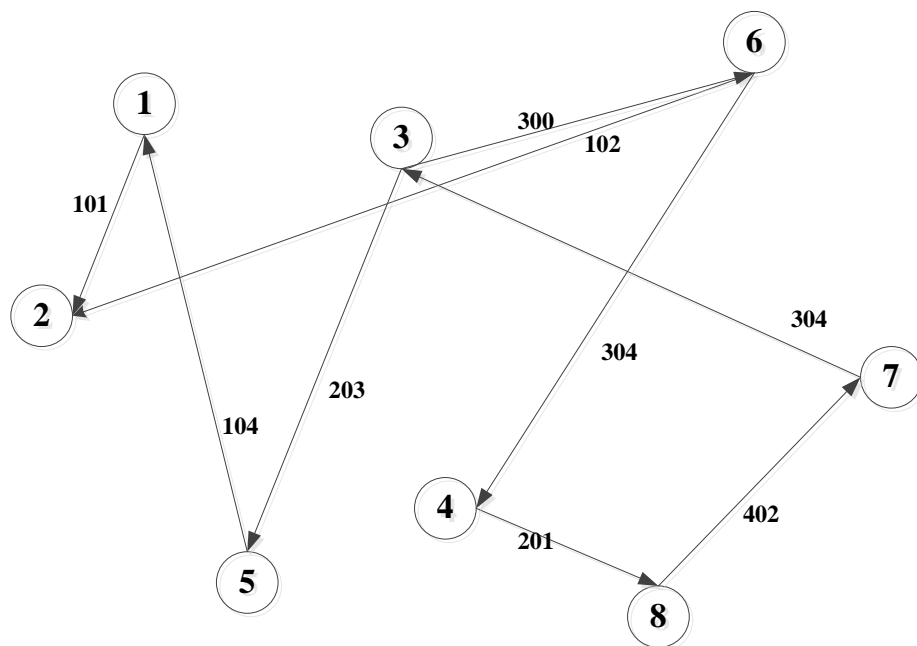


Рисунок 2.27 – Оптимальный маршрут в примере 1

2.4. Теоретическое обоснование, разработка метода маршрутизации транспорта при использовании внешних и внутренних фиктивных узлов

Проведенные исследования показали, что использование метода «ветвей и границ» не дает точного решения задачи, так как не позволяет посещать вершины и ветви транспортного графа несколько раз. Для решения поставленной задачи, была разработан метод «фиктивных узлов и ветвей». Особенностью которого является использование внешних и внутренних фиктивных узлов и ветвей.

Фиктивным узлом является элемент, который представляет собой копию реальной вершины исходного графа. Под фиктивной дугой понимается дополнительная связующая линия между вершинами, не существующая в исходном графе.

Необходимо подчеркнуть различие между функциями внешнего узла, добавляемого перед обработкой матрицы весов, и внутреннего фиктивного узла. Внешний узел предназначен для обязательного его посещения. В то время как

внутренний фиктивный узел, появляющийся в процессе работы с матрицей весов, предоставляет возможность вернуться назад, чтобы снова посетить исходный узел, если это способствует уменьшению целевой функции. Введение внутреннего фиктивного узла производится автоматически программой для открытых задач или вручную специалистом в логистике для закрытых задач. На рисунке 2.28 демонстрируется схема ввода узла для повторного посещения узлов транспортного графа.

Используем метод от противного для доказательства. Предположим наличие оптимального замкнутого маршрута из пункта Ц через контрольную вершину К, как показано на рисунке 2.29 а. Данный маршрут дает возможность передвижения в любом направлении. В вершине К вводим фиктивный узел КФ и образуем связь с реальными соседними узлами с помощью фиктивных дуг, имеющих веса a и b , аналогичные вершине К, что изображено на рисунке 2.29 б штриховыми линиями. Это действие приводит к формированию двух разомкнутых маршрутов из центрального пункта Ц к конечным точкам К и КФ. Допустим, существует альтернативная схема передвижения между этими точками с меньшим общим весом, отличным от замкнутого маршрута. Связывая реальную вершину К и фиктивную КФ дугой весом равным нулю, создаем новый оптимальный замкнутый маршрут из пункта Ц через контрольную вершину К, который отличается от изначально предполагаемого (рисунок 2.29 в).

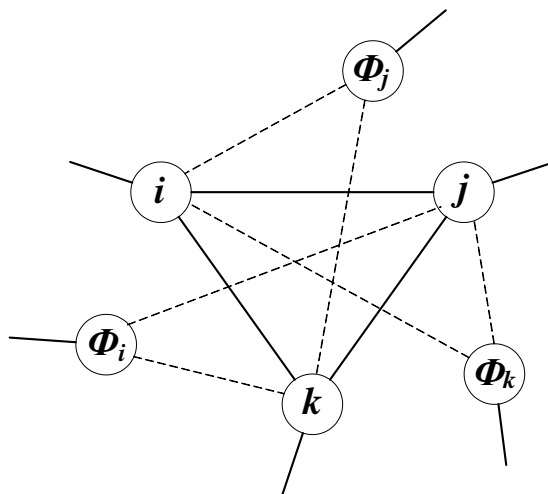


Рисунок 2.28 – Схема ввода фиктивных узлов

Рассмотрим применение предложенного метода на численном примере. Транспортный граф представлен на рисунке 2.29, где требуется найти оптимальный маршрут, включающий ветви: 4-5, 6-7, 8-9 и 3.

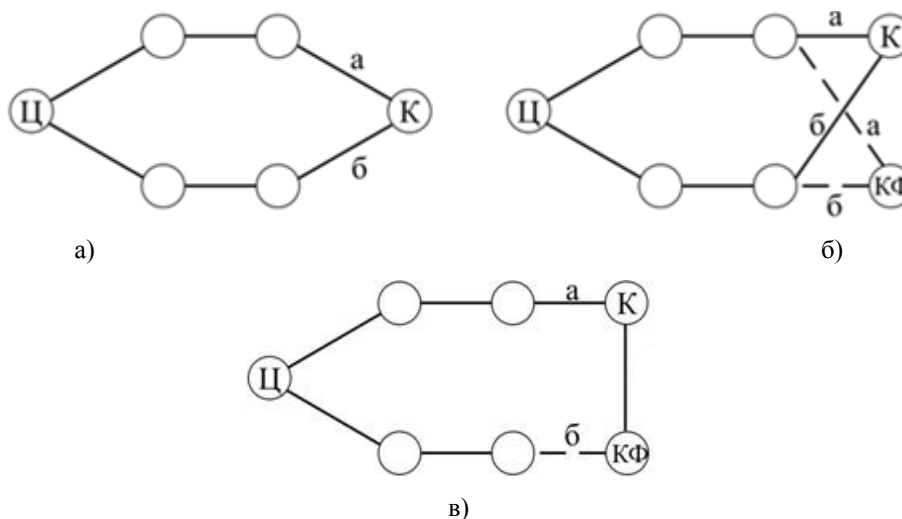


Рисунок 2.29. Схема ввода фиктивного узла в контрольный пункт

На рисунке 2.30 распределительные центры расположены в квадратах, а торговые предприятия - в кружках.

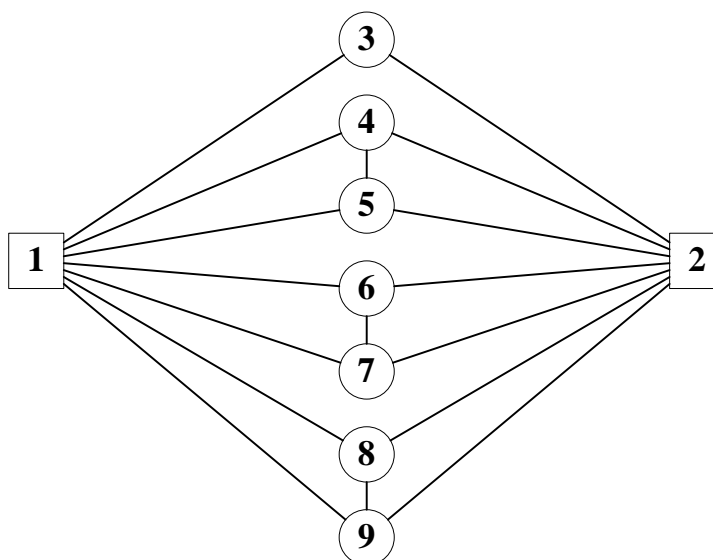


Рисунок 2.30 – Транспортный граф примера 1

Рассмотрим задачу, когда количество маршрутов через каждый терминал не ограничивается, а регулируется наименьшим значением целевой функции всего маршрута, например, длиной.

Решение задачи маршрутизации транспорта предложенным методом состоит из нескольких этапов:

1 этап. Создается исходная матрица весов $[N]$.

2 этап. Выполняется операция приведения $[N]^{np}$. В каждой строке матрицы весов $[N]$ находится минимальный элемент z_i и вычитается из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (2.9)$$

Затем в полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитается из всех остальных элементов t'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (2.10)$$

3 этап. Определяется оценочная матрица $[N]^o$. Выполняется операция оценки нулевых элементов. Осуществляется для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в $[N]^{np}$ оценка по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (2.11)$$

где t''_{ik} - наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} - наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i; k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Находим пару $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2.12)$$

4 этап. Происходит переход к новой матрице L_1 . Для этого вычеркиваем из $[N]^o$ строку k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируется ячейка на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущая к заикливлению цепи со звеном $k - s$.

5 этап. Создается новые фиктивные матрицы Φ_k и Φ_s , путем ввода в L_1 фиктивных узлов k и s . Выполняются над полученными матрицами L_1 , Φ_k и Φ_s

операции приведения и оценки, описанные в пунктах 2–4, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

6 этап. Рациональный маршрут устанавливается по наименьшей длине, путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей.

Пример 1

Исходная матрица расстояний показана в таблице 2.47. В качестве примера приводим описание только одного оптимального хода из всего дерева решений.

Над матрицей производится операция приведения по строкам и столбцам, результаты которой отображены в таблице 2.48.

Таблица 2.47 – Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1			1	8	3	12	6	5	5
2			8	4	4	7	3	1	7
3	1	8							
4	8	4			10				
5	3	4		10					
6	12	7					6		
7	6	3				6			
8	5	1							5
9	5	7						5	

Таблица 2.48 – Матрица приведения

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1			0	7	2	11	5	4	4
2			7	3	3	6	2	0	6
3	0	7							
4	4	0			6				
5	0	1		7					
6	6	1					0		
7	3	0				3			
8	4	0							4
9	0	2						0	

После оценки нулевых элементов в приведенной таблице 2.49, видно, что два элемента, 1-3 и 3-1, имеют наибольшую оценку равную 7. В качестве примера исключается ветвь 1-3.

В результате действий над таблицей 2.50 формируется матрица размером 8x8. Далее вводится фиктивный узел 10Ф в пункте 1, что приводит к созданию фиктивных матриц. Затем осуществляется блокировка ячейки 3-1 (табл. 2.50), после чего проводится оценка нулевых элементов данной матрицы. Далее исключается ветвь 3-10Ф.

Таблица 2.49 – Первый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1			0^7	4	0^1	8	5	4	0^0
2			7	0^3	1	3	2	0^0	2
3	0^7	7							
4	4	0^4			4				
5	0^1	1		4					
6	6	1					0^3		
7	3	0^0				0^3			
8	4	0^0							0^0
9	0^0	2						0^0	

Таблица 2.50 – Второй шаг преобразования матрицы

	1	2	4	5	6	7	8	9	10Ф
2			0^3	1	3	2	0^0	2	
3	∞	7							0^7
4	4	0^4		4					4
5	0^0	1	4						0^0
6	6	1				0^3			6
7	3	0^0			0^3				3
8	4	0^0						0^0	4
9	0^0	2					0^0		0^0
10Ф			4	0^1	8	5	4	0^0	

Получается новая матрица, в которую вводится фиктивный узел 11Ф (таблица 2.51).

Проводится оценка нулевых элементов в таблице 2.51, после чего ячейка 2-4 вычеркивается. В результате получается новая таблица 2.52, в которой блокируется ветвь 4-2, а также вводится фиктивный узел 12Ф в пункте 2.

После оценки нулевых элементов в таблице 2.52 вычеркивается ветвь 4-12Ф с максимальной оценкой 4. В таблице 2.53 исключается ветвь 6-7 с наибольшей оценкой 3. Затем формируется новая матрица, в которой блокируется ячейка 7-6.

Таблица 2.51 – Третий шаг преобразования матрицы

	1	2	4	5	6	7	8	9	11Ф
2			0^4	1	3	2	0^0	2	
4	4	0^4		4					4
5	0^0	1	4						0^0
6	6	1				0^3			6
7	3	0^0			0^3				3
8	4	0^0						0^0	4
9	0^0	2					0^0		0^0
10Ф			4	0^0	8	5	4	0^0	
11Ф			4	0^0	8	5	4	0^0	

Таблица 2.52 – Четвертый шаг преобразования матрицы

	1	2	5	6	7	8	9	11Ф	12Ф
4	4	∞	4					4	0^4
5	0^0	1						0^0	1
6	6	1			0^3			6	1
7	3	0^0		0^3				3	0^0
8	4	0^0					0^0	4	0^0
9	0^0	2				0^0		0^0	2
10Ф			0^0	8	5	4	0^0		
11Ф			0^0	8	5	4	0^0		
12Ф			1	3	2	0^1	2		

Таблица 2.53 – Пятый шаг преобразования матрицы

	1	2	5	6	7	8	9	11Ф
5	0^0	1						0^0
6	6	1			0^3			6
7	3	0^0		0^3				3
8	4	0^0					0^0	4
9	0^0	2				0^0		0^0
10Ф			0^0	8	5	4	0^0	
11Ф			0^0	8	5	4	0^0	
12ф			1	3	2	0^1	2	

В таблице 2.54 обнаруживаем ячейку 12Ф-6 с максимальной оценкой 5.

Таблица 2.54 – Шестой шаг преобразования матрицы

	1	2	5	6	8	9	11Ф
5	0^0	1					0^0
7	3	0^0		∞			3
8	4	0^0				0^0	4
9	0^0	2			0^0		0^0
10Ф			0^0	5	4	0^0	
11Ф			0^0	5	4	0^0	
12ф			1	0^5	0^0	2	

Блокируем ветвь 7-2 против заикливания.

В таблице 2.55 после оценки нулевых элементов вычеркивается ветвь 8-2 с оценкой 1. Новая матрица показана в таблице 2.56. Оценка всех нулевых элементов одинаковая. Здесь вычеркивается в качестве примера ветвь 5-1 и получается новая матрица в таблице 2.57.

После оценки ее элементов вычеркивается ветвь 7-11Ф с оценкой ∞ .

Блокируется дуга 11Ф-9 против заикливания. Включается в маршрут ветвь 9-8.

Далее получается матрица размером 2x2, которая показана в таблице 2.59. Здесь вычеркиваемые ветви очевидны: 11Ф-5 и 10Ф-9.

Таблица 2.55 – Седьмой шаг преобразования матрицы

	1	2	5	8	9	11Φ
5	0^0	1				0^0
7	0^0	∞				0^0
8	4	0^1			0^0	4
9	0^0	2		0^0		0^0
10Φ			0^0	4	0^0	
11Φ			0^0	4	0^0	

Таблица 2.56– Восьмой шаг преобразования матрицы

	1	5	8	9	11Φ
5	0^0				0^0
7	0^0				0^0
9	0^0		0^0		0^0
10Φ		0^0	4	0^0	
11Φ		0^0	4	0^0	

Таблица 2.57 – Девятый шаг преобразования матрицы

	5	8	9	11Φ
7				0^∞
9		0^0		0^0
10Φ	0^0	4	0^0	
11Φ	0^0	4	0^0	

Таблица 2.58 – Десятый шаг преобразования матрицы

	5	8	9
9		0^∞	
10Φ	0^0	4	0^∞
11Φ	0^4	4	∞

Таблица 2.59 – Одиннадцатый шаг преобразования матрицы

	5	9
10Φ		0^∞
11Φ	0^∞	

В ходе вычислений были исключены следующие ветви: 1-3, 3-10Ф, 2-4, 4-12Ф, 6-7, 12Ф-6, 8-2, 5-1, 7-11Ф, 9-8, 10Ф-9, 11Ф-5. После объединения данных ветвей был определен маршрут: 1-3-10Ф-9-8-2-4-12Ф-6-7-11Ф-5-1 (см. рисунок 2.31).

Удалив фиктивные узлы, получаем следующую последовательность перемещений: 1-3-1-9-8-2-4-2-6-7-1-5-1 общей протяженностью 46 единиц, (рис. 2.32). Важно отметить, что передвижение по данной схеме возможно в обратном направлении.

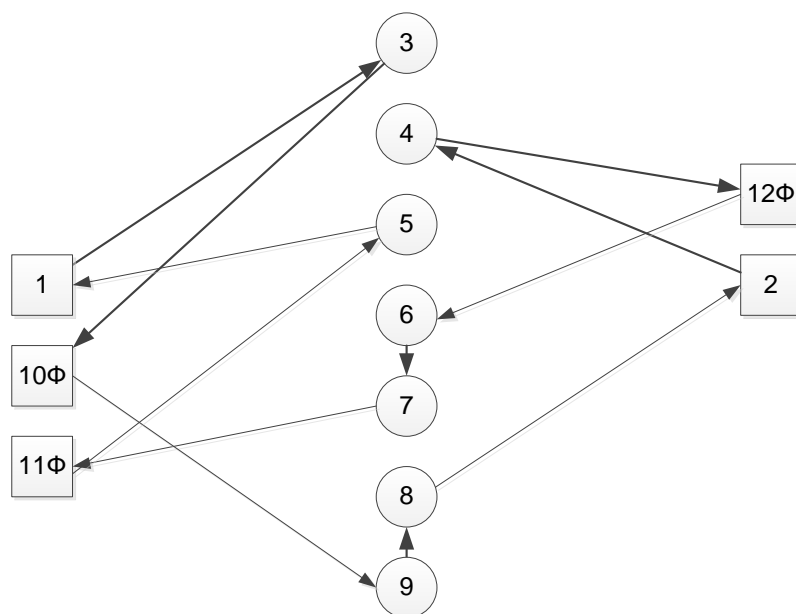


Рисунок 2.31 – Граф фиктивного кольцевого маршрута примера 1

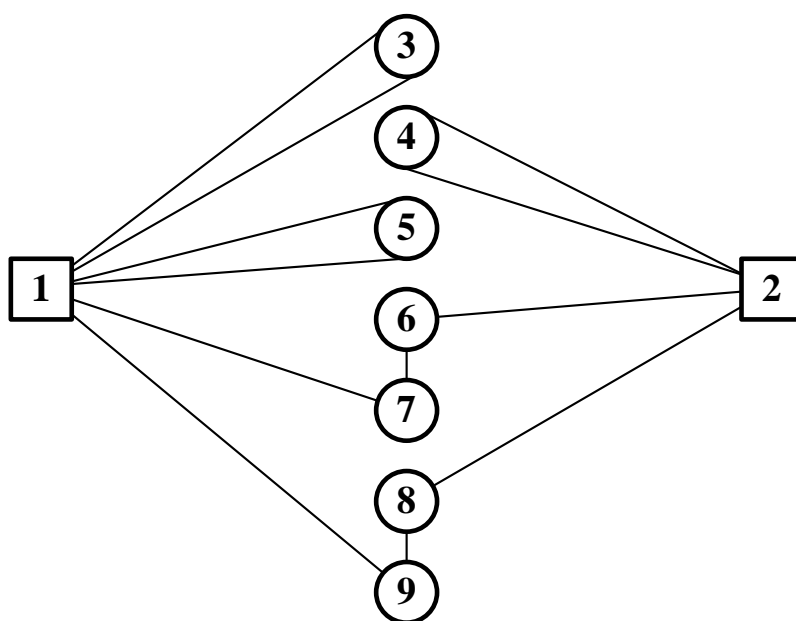


Рисунок 2.32– Граф полученной схемы передвижения в примере 1

Как видно из рисунка 2.32, маршрут не проходит через ветвь 4-5. Это противоречит постановке вопроса задачи.

Как показал численный эксперимент, метод ФУВ не всегда может решить задачу маршрутизации из нескольких кольцевых маршрутов с двумя пунктами на маршруте, выходящих из двух баз. Значит, методику решения необходимо усовершенствовать.

Число фиктивных узлов, кольцевых и маятниковых маршрутов, а также их распределение по базам заранее неизвестно. Рассматриваем открытую задачу. Наибольшее количество фиктивных узлов по всей транспортной схеме равно разности между количеством пунктов и числом баз.

$$\max \Phi = m - b, \quad (2.9)$$

где m – количество пунктов на маршрутах,

b – количество баз.

В этом случае все маршруты будут маятниковые.

Одним из основных способов улучшения является введение внешнего фиктивного узла Φ между двумя реальными вершинами i и j маршрута. Этот узел соединяется с реальными пунктами с помощью фиктивных ветвей, длина каждой из которых составляет половину расстояния между соответствующими реальными узлами. Действительная хорда между узлами i и j затем удаляется. Схематично это изображено на рисунке 2.33. Здесь удаляемая дуга изображена штриховой линией.

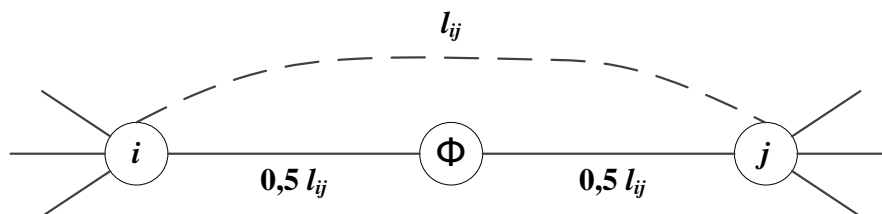


Рисунок 2.33 – Схема ввода внешнего фиктивного узла Φ

Таким образом, получаем фиктивный транспортный граф (рисунок 2.34) для рассмотренного ранее примера, решаем его усовершенствованной методикой фиктивных узлов и ветвей.

2 этап. Выполняется операция приведения $[N]^{np}$. В каждой строке матрицы весов $[N]$ находится минимальный элемент z_i и вычитается из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (2.10)$$

Затем в полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитается из всех остальных элементов t'_{ij} расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (2.11)$$

3 этап. Определяется оценочная матрица $[N]^o$. Выполняется операция оценки нулевых элементов. Осуществляется для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в $[N]^{np}$ оценка по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (2.12)$$

где t''_{ik} - наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} - наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i; k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Находим пару $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2.13)$$

4 этап. Происходит переход к новой матрице L_1 . Для этого вычеркивается из матрицы $[N]^o$ строку k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируется ячейка на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущая к заикливлению цепи со звеном $k - s$.

5 этап. Создаются внутренние фиктивные матрицы Φ_k и Φ_s , путем ввода в L_1 вычеркнутых узлов k и s несколько раз.

6 этап. Выполняются над полученными матрицами L_1 , Φ_k и Φ_s операции приведения и оценки, описанные в пунктах 2–4, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

7 этап. Наибольшее количество вводимых фиктивных узлов равно разнице между количеством пунктов и числом баз, формула (2.9) .

8 этап. Процесс ввода дополнительных внутренних фиктивных узлов прекращается, когда длина маршрута перестает уменьшаться.

9 этап. Радиональный маршрут выбирается по наименьшему значению целевой функции.

Пример 2

Рассмотрим методику решения задачи при вводе внешнего фиктивного узла в середину трех действительных ветвей: 4-5, 6-7, 8-9. Исходные данные берем из таблицы 2.47 и добавляем в нее фиктивные ветви: Ф1, Ф2, Ф3 (таблица 2.60). Транспортный граф представлен на рисунке 2.36.

Таблица 2.60 – Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ф1	Ф2	Ф3
1			1	8	3	12	6	5	5			
2			8	4	4	7	3	1	7			
3	1	8										
4	8	4								5		
5	3	4								5		
6	12	7									3	
7	6	3									3	
8	5	1										2,5
9	5	7										2,5
Ф1				5	5							
Ф2						3	3					
Ф3								2,5	2,5			

На 2 и 3 этапах выполняем операции приведения и оценки. Рассмотрим в пример, где необходимо найти один оптимальный маршрут. Результат представлен в таблице. 2.61.

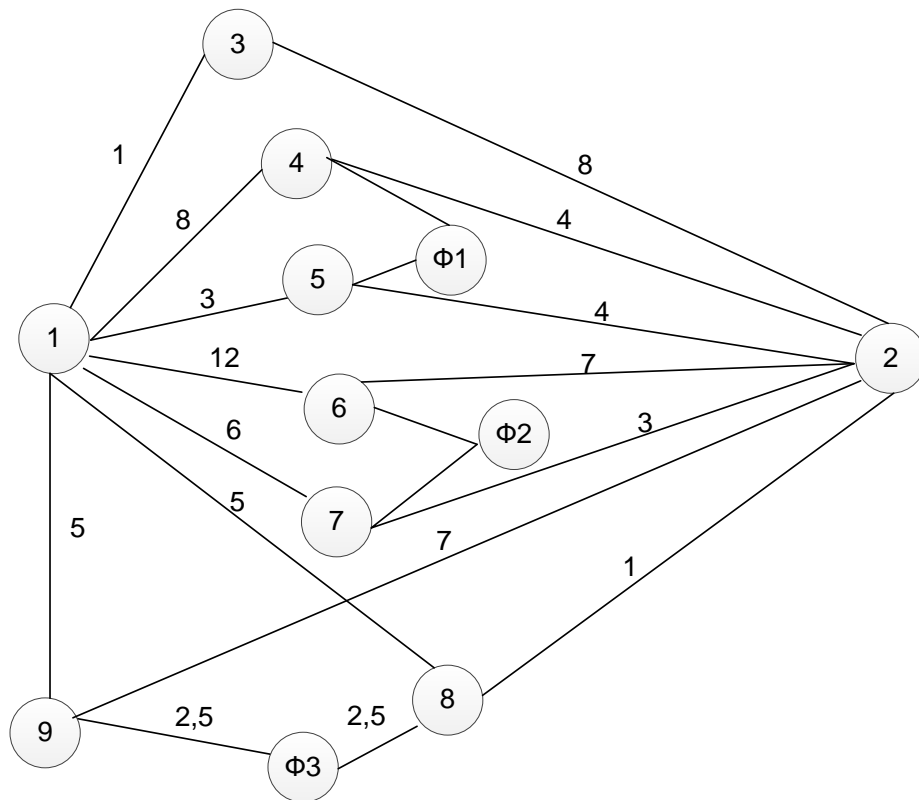


Рисунок 2.36 – Транспортный граф примера 2

Таблица 2.61– Оценочная матрица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ф1	Ф2	Ф3
1			0^9	7	2	11	5	4	4			
2			7	3	3	6	2	0^2	6			
3	0^7	7										
4	4	0^0								0^1		
5	0^1	1								1		
6	9	4									0^4	
7	3	0^0									0^0	
8	4	$0^{1,5}$										1,5
9	2,5	4,5										0^4
Ф1				0^3	0^2							
Ф2						0^6	0^2					
Ф3								0^0	0^4			

Выполняем 4 этап. Наибольшая оценка шесть наблюдается в ячейке 1-3. Включаем ветвь в маршрут. Приступаем к 5 этапу и вводим в нее фиктивный узел

10Ф. Блокируем ветвь 3-1 против зацикливания. Результат представлен в таблице 2.62.

Таблица 2.62 – Оценочная матрица 2

	1	2	4	5	6	7	8	9	Ф1	Ф2	Ф3	10Ф
2			3	3	6	2	0 ²	6				
3	∞	7										0 ⁷
4	4	0 ⁰							0 ¹			4
5	0 ^{2,5}	1							1			0 ⁰
6	9	4								0 ⁴		9
7	3	0 ⁰								0 ⁰		3
8	4	0 ^{1,5}									1,5	4
9	2,5	4,5									0 ⁴	2,5
Ф1			0 ³	0 ⁰								
Ф2					0 ⁶	0 ²						
Ф3							0 ⁰	0 ²				
10Ф			5	0 ²	9	3	2	2				

Максимальная оценка семь находится в клетке 3-10Ф. Включаем ее в маршрут и удаляем из таблицы 2.62. Наибольшая оценка 6 имеется у ветви Ф2-6 в таблице 2.63. Включаем ее в маршрут.

Таблица 2.63 – Оценочная матрица 3

	1	2	4	5	6	7	8	9	Ф1	Ф2	Ф3
2			3	3	6	2	0 ²	6			
4	4	0 ⁰							0 ¹		
5	0 ^{3,5}	1							1		
6	9	4								0 ⁴	
7	3	0 ⁰								0 ⁰	
8	4	0 ^{1,5}									1,5
9	2,5	4,5									0 ⁴
Ф1			0 ³	0 ⁰							
Ф2					0 ⁶	0 ²					
Ф3							0 ⁰	0 ²			
10Ф			5	0 ²	9	3	2	2			

Получаем новую таблицу, и методика ее расчета повторяется. Проведенные расчеты показали, что для получения оптимального маршрута достаточно

ограничиться вводом двух внутренних фиктивных узлов в базу 1. Получаем шесть маршрутов длиной 53 км:

- 1 - 3 - 1 - 8 - ф3 - 9 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 4 - ф1 - 5 - 1;
- 1 - 3 - 1 - 9 - ф3 - 8 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 4 - ф1 - 5 - 1;
- 1 - 3 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 8 - ф3 - 9 - 1 - 4 - ф1 - 5 - 1;
- 1 - 3 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 4 - ф1 - 5 - 1 - 9 - ф3 - 8 - 1;
- 1 - 3 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 4 - ф1 - 5 - 1 - 8 - ф3 - 9 - 1;
- 1 - 3 - 1 - 4 - ф1 - 5 - 1 - 7 - ф2 - 6 - 2 - 8 - ф3 - 9 - 1.

В качестве примера на рисунке 2.37 представлена схема первого маршрута.

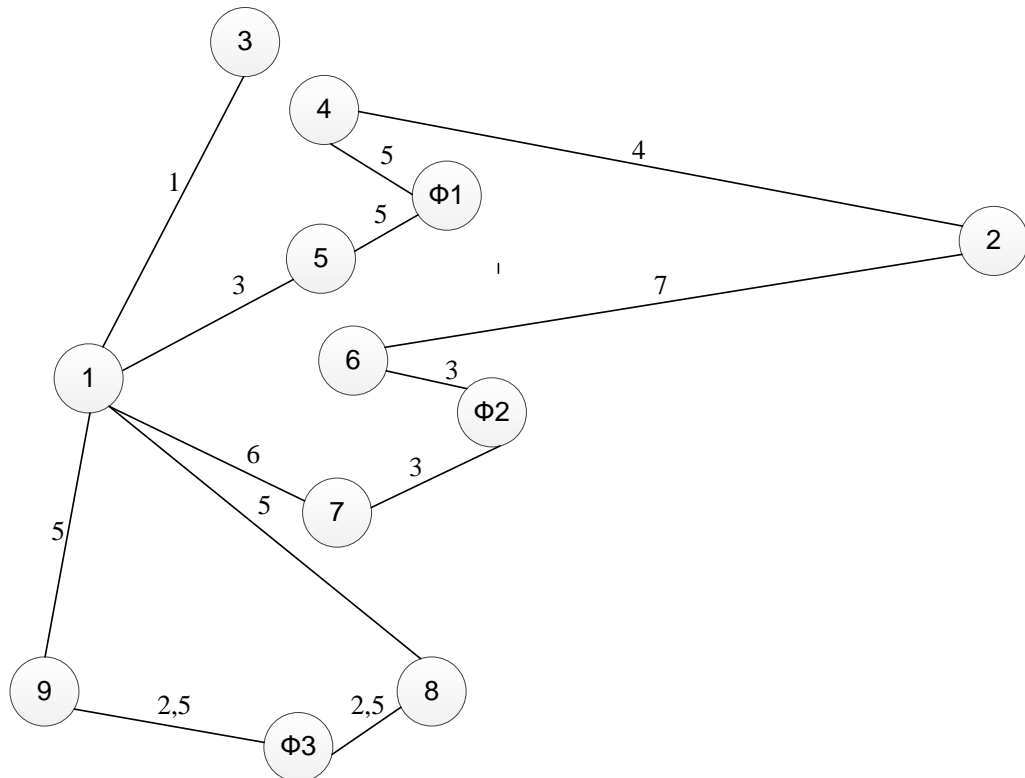


Рисунок 2.37 – Первый оптимальный маршрут примера 2

Таким образом, предложенный метод позволяет организовать заданное по условию задачи ограничение в виде последовательности посещения пунктов обслуживания, во-первых. Во-вторых, преодолеть ограничение, наложенное в задаче коммивояжера на посещение вершины транспортного графа один раз. Еще один пример решения приведен в приложении В диссертации.

2.5. Решение задачи маршрутизации транспорта методом «фиктивных узлов и ветей» с использованием разработанного программного обеспечения

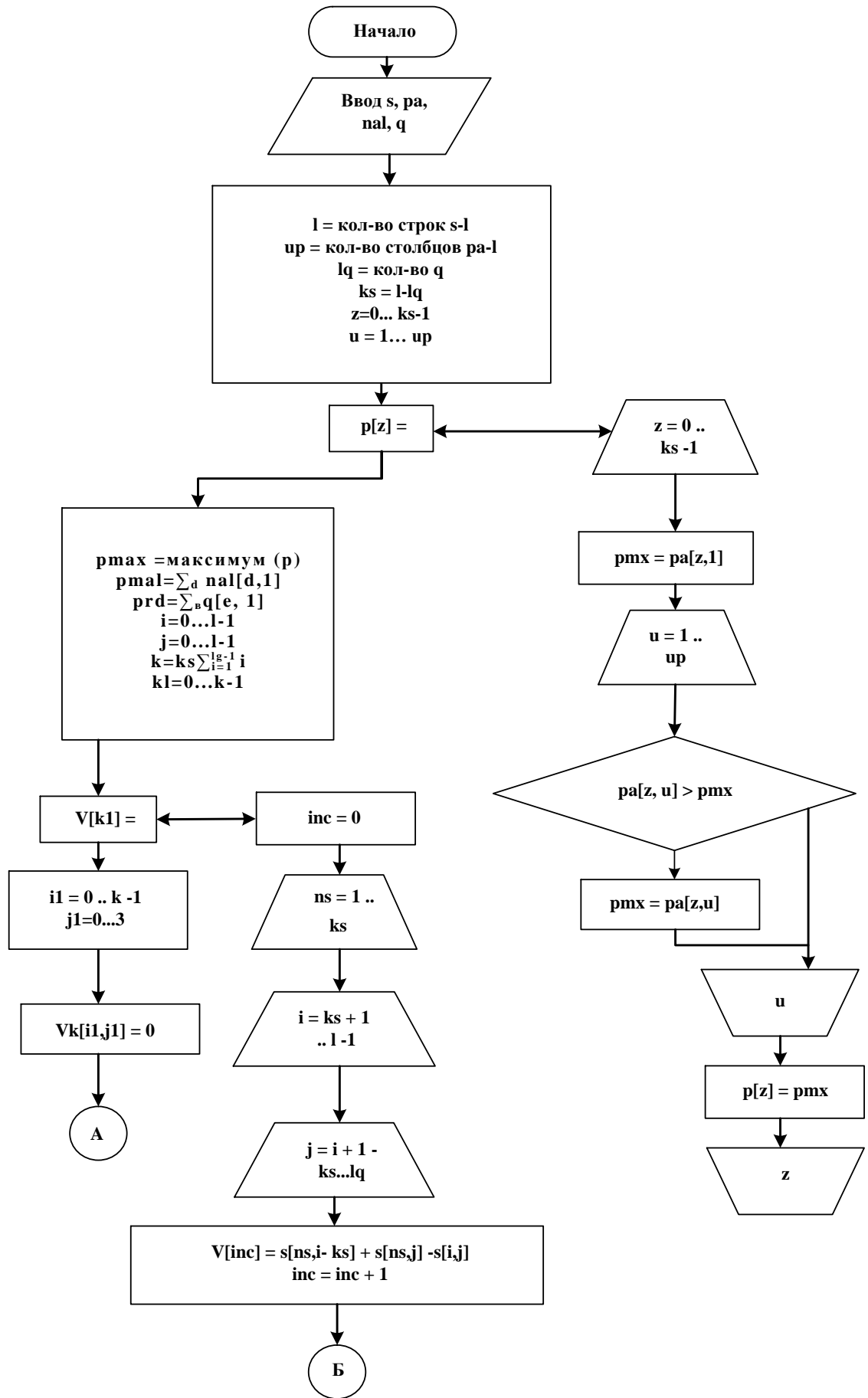
Расчет задач маршрутизации производится по специально разработанной программе Trasportation (№ свидетельства 2023664020), схема которой показана на рисунке 2.38.

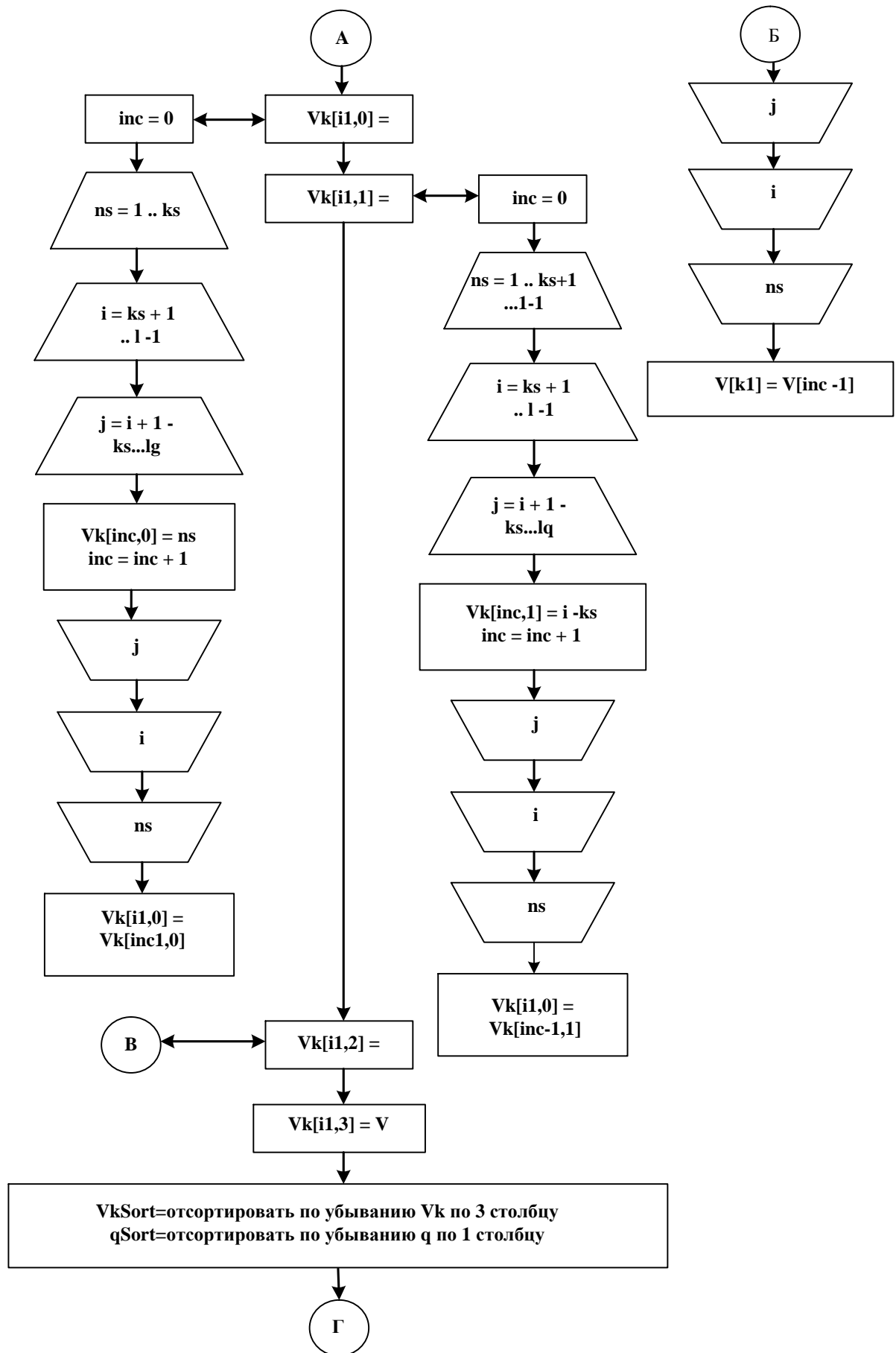
Программа позволяет осуществить перебор всех возможных вариантов маршрутов в соответствии с разработанным методом. Если в процессе расчета получается несколько маршрутов, имеющих одинаковое минимальное значение целевой функции, то программа выбирает рациональный маршрут по наименьшей транспортной работе. В ней предусмотрен контроль над вводом количества фиктивных узлов на усмотрение оператора. Это позволяет решать закрытые задачи, когда запас груза в распределительном центре ограничен. Кроме того, если заранее известно количество заездов в данную вершину транспортного графа, то такая операция позволяет сократить количество вариантов на дереве решений и время решения задачи. В качестве целевой функции в программе можно принять расстояние, время, вес и т.д.

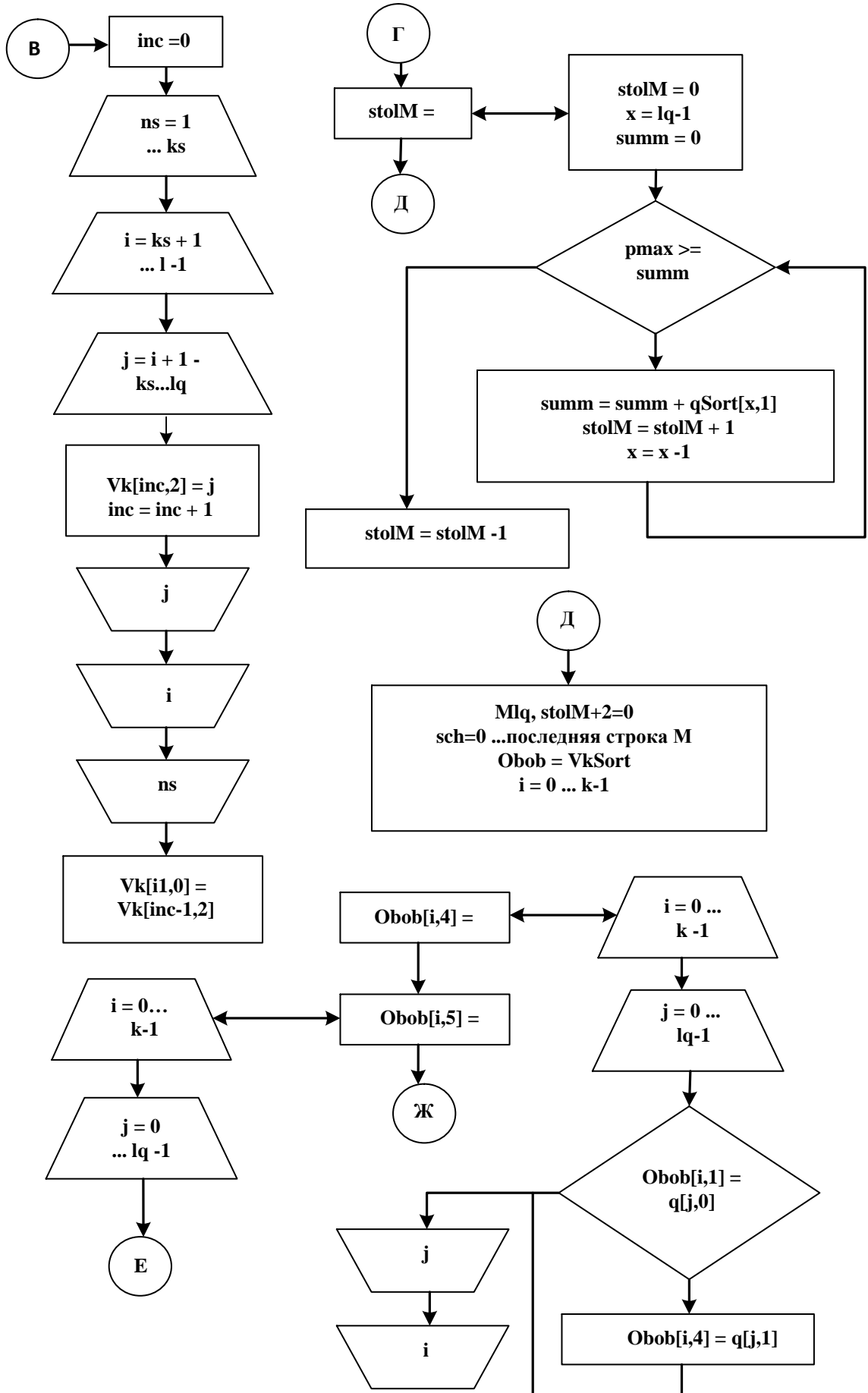
Рассмотрим пример открытой задачи маршрутизации. В примере используем два распределительных центра. Исходная дислокация показана на рисунке 2.39.

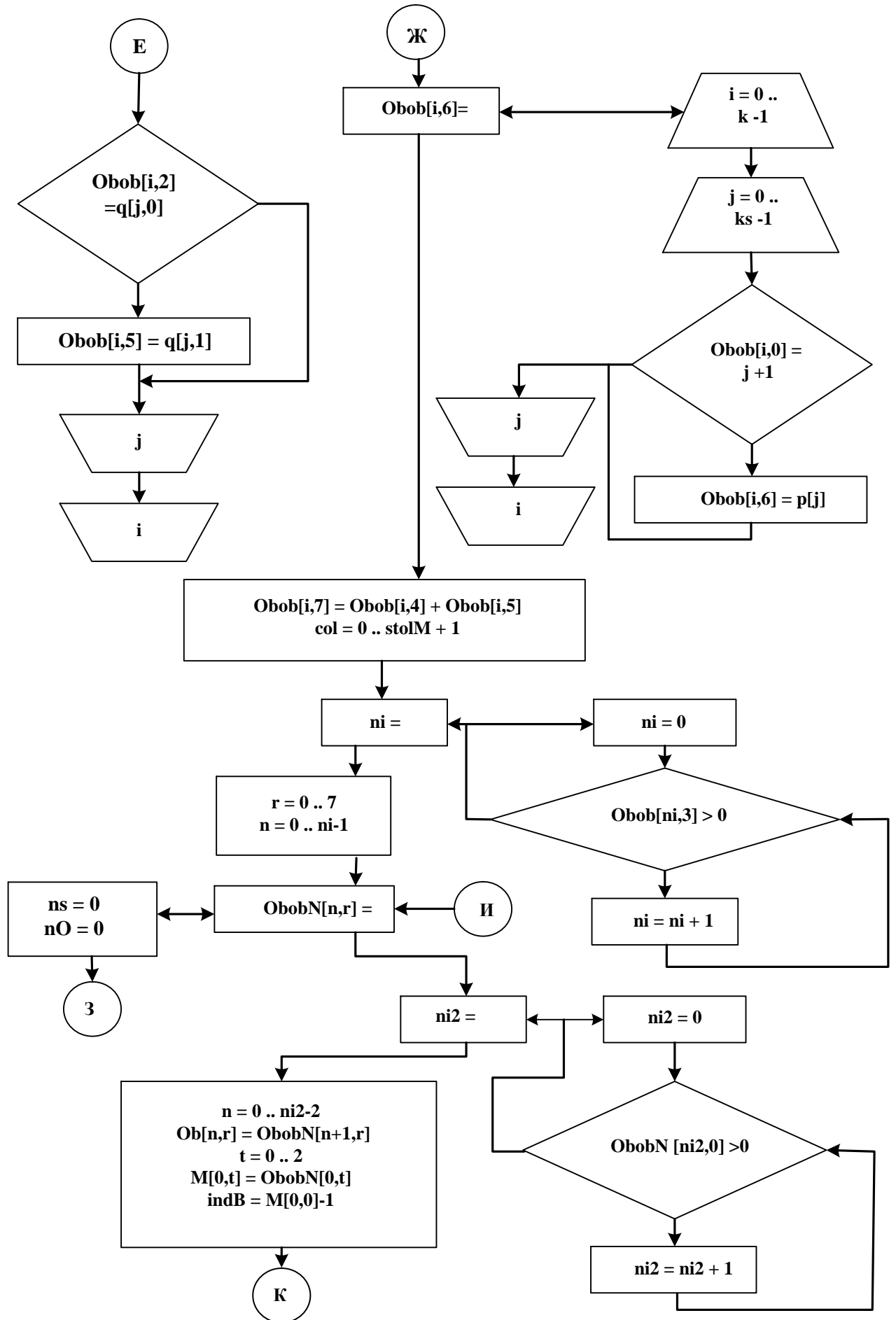
Даны кратчайшие расстояния между торговыми предприятиями и распределительными центрами. Матрица расстояний приведена в таблице 2.64.

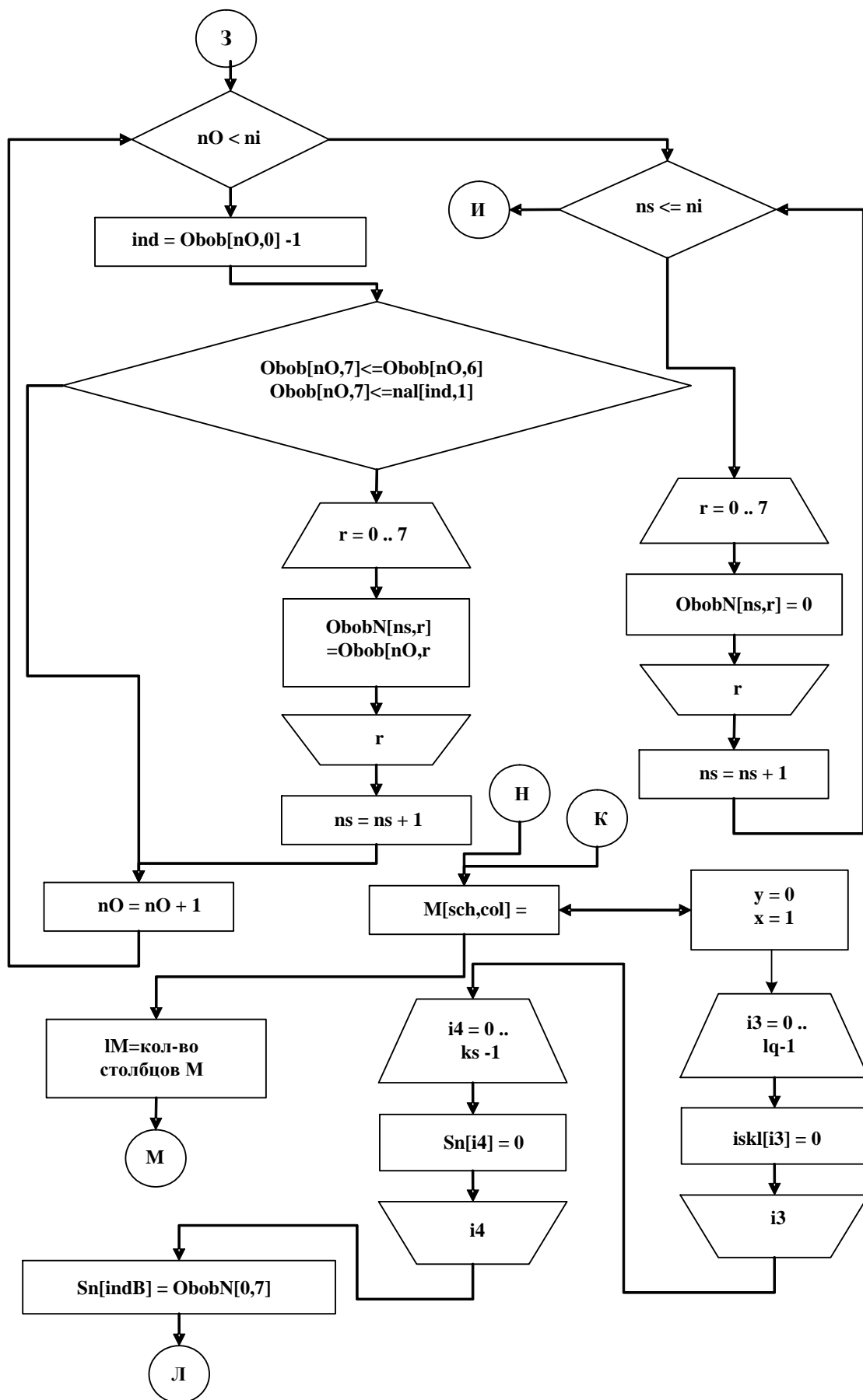
Расчет начинаем с формирования пар, по два торговых предприятия. В таблице 2.65 дан массив сочетания пар. Здесь представлены все возможные их сочетания, которые были рассмотрены при решении задачи. Будем считать, что во всех случаях суммарный статистический коэффициент грузоподъемности равен единице.

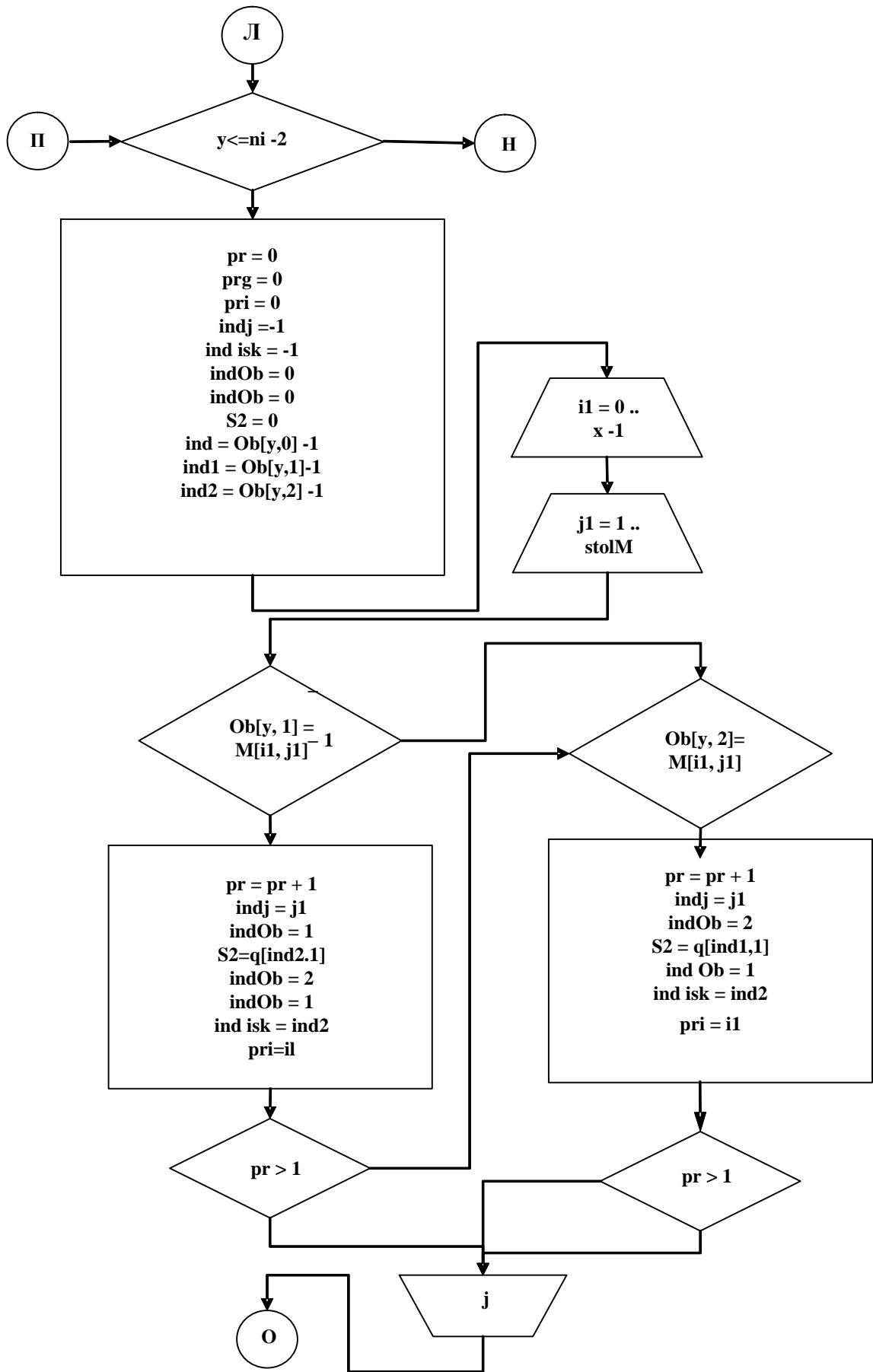


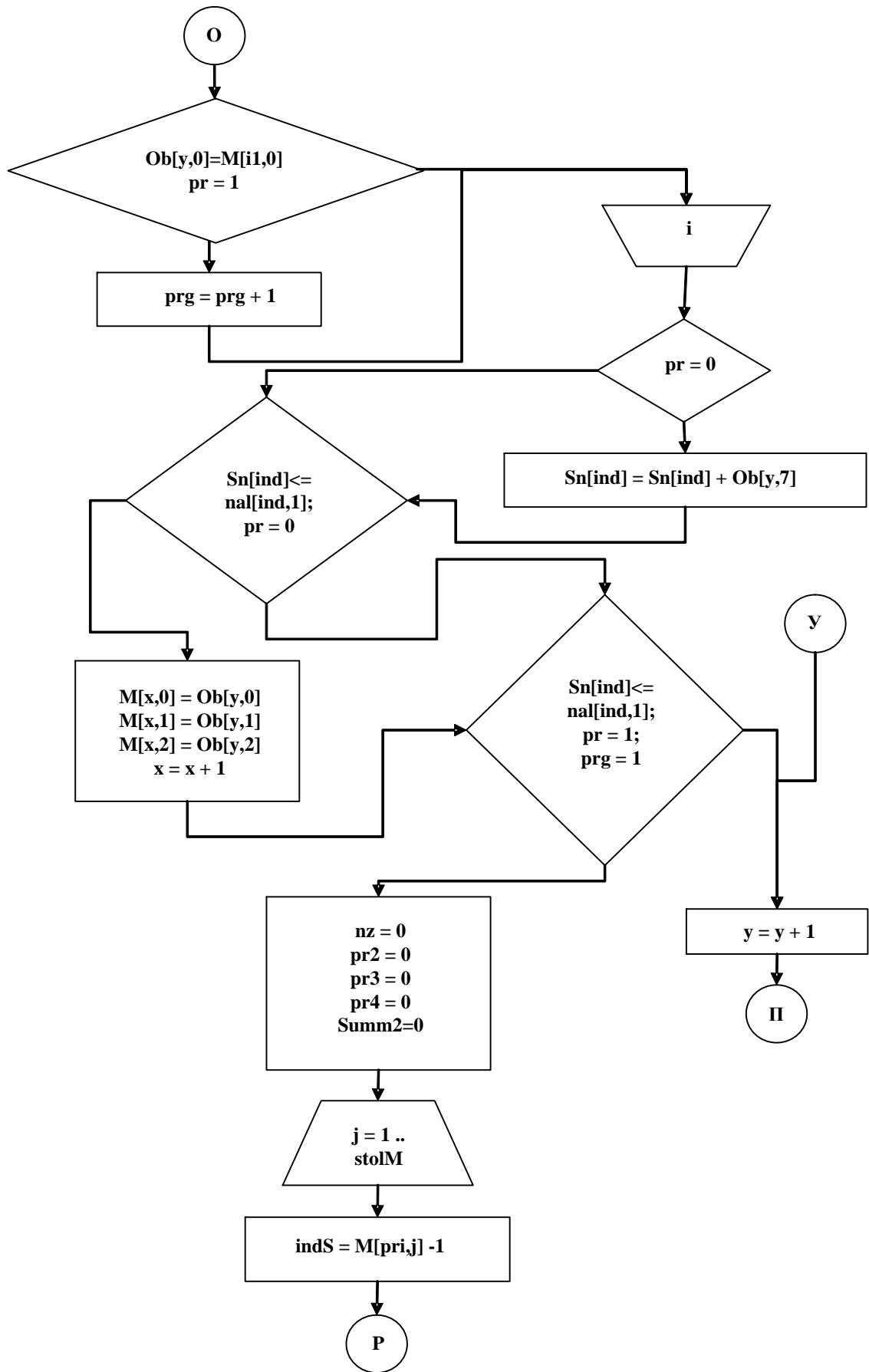


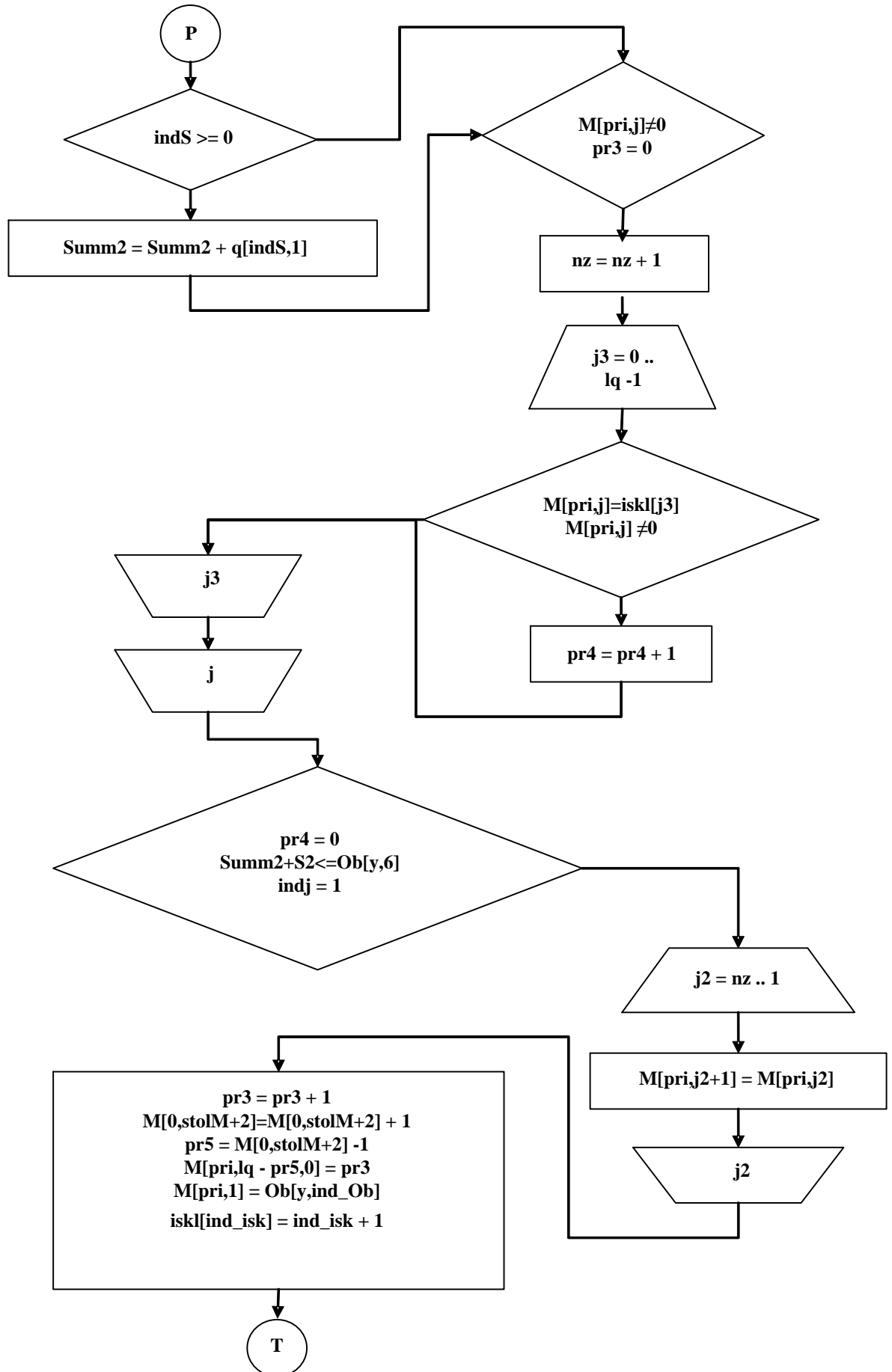


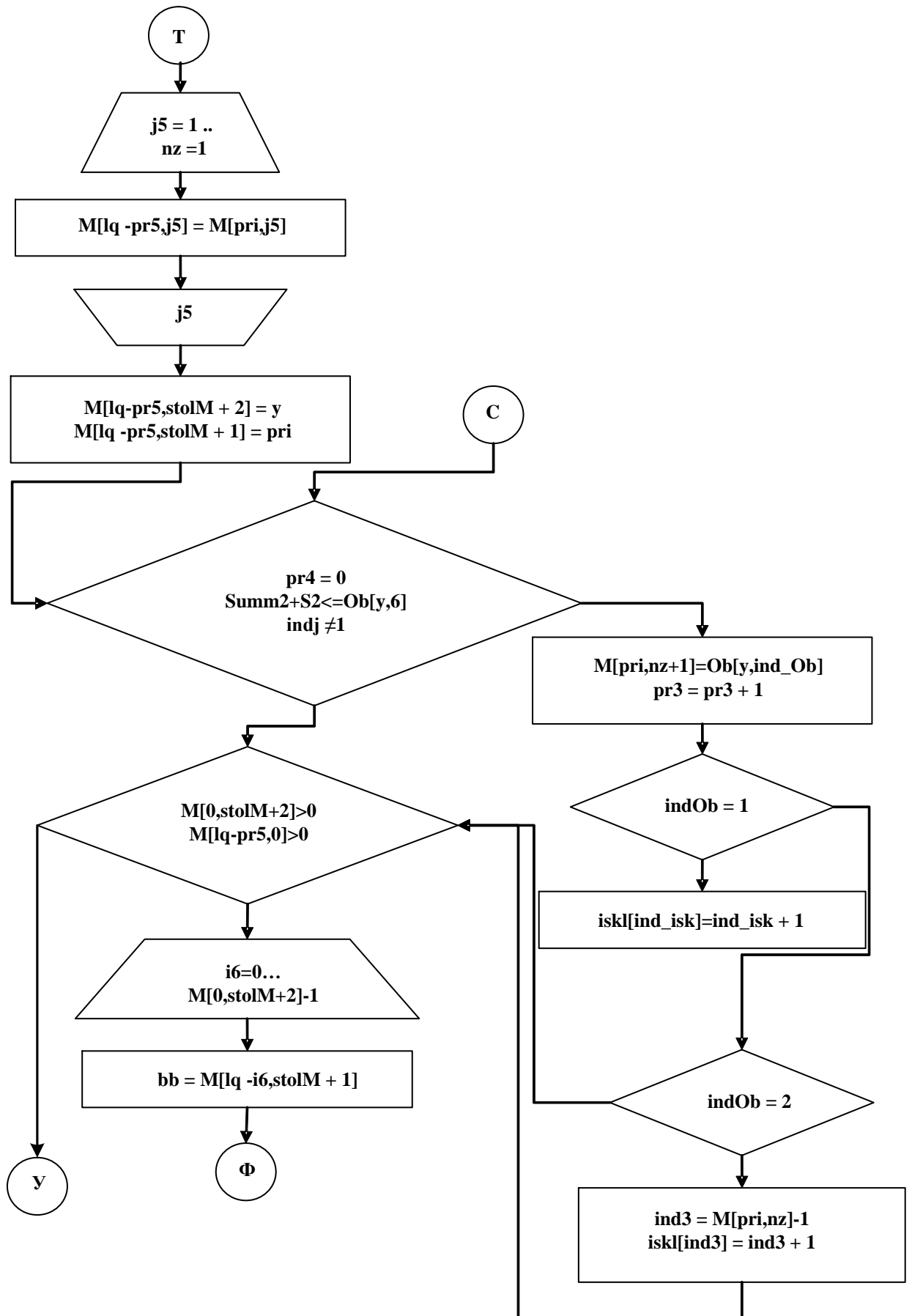












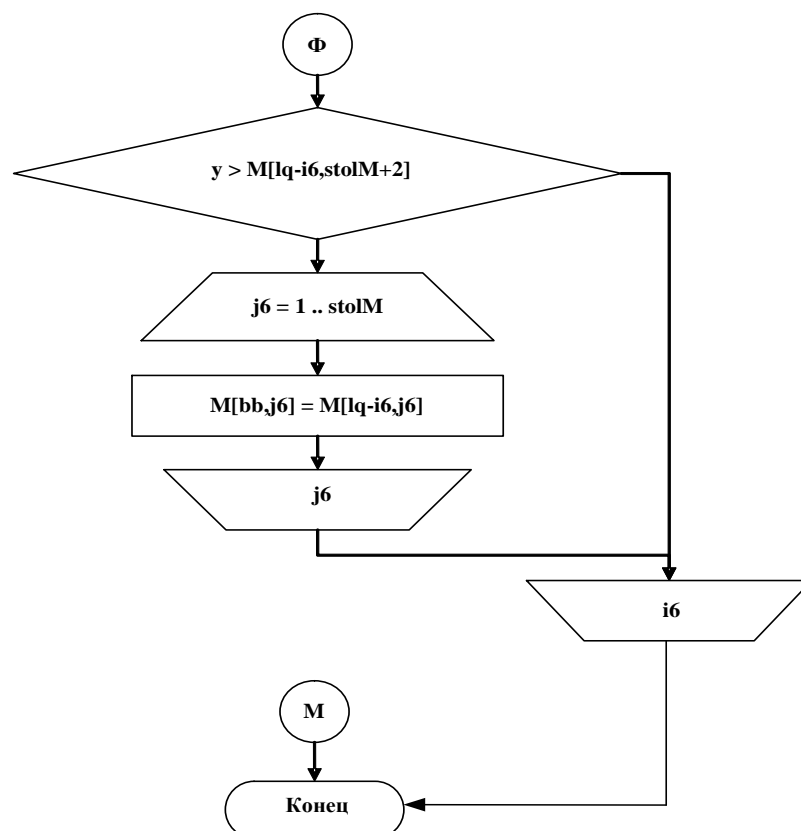


Рисунок 2.38 – Функциональная схема программы (составлено автором)

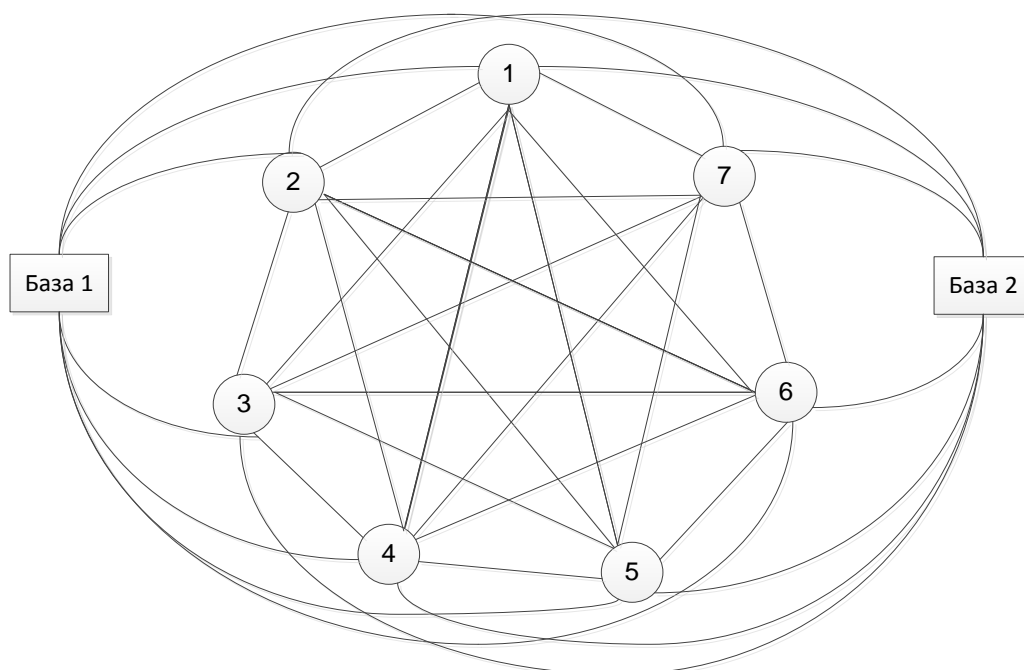


Рисунок 2.39 – Схема дислокации торговых точек и распределительных центров на транспортной сети

Таблица 2.64 – Матрица исходных расстояний

	Б1	Б2	1	2	3	4	5	6	7
Б1	0	100	8	11	6	10	13	8	11
Б2	100	0	10	8	7	9	2	15	8
1	8	10	0	18	14	18	12	16	7
2	11	8	18	0	15	17	9	7	13
3	6	7	14	15	0	14	9	13	14
4	10	9	18	17	14	0	11	14	7
5	13	2	12	9	9	11	0	28	14
6	8	15	16	7	13	14	28	0	13
7	11	8	7	13	14	7	14	13	0

Далее выполняем с 5 – 8 этапы для каждого номера сочетаний пар, приведенных в таблице 2.66.

Таблица 2.65 - Массив сочетания кластерных пар

№	Сочетание кластеров														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пары	1-2	1-2	1-2	1-3	1-3	1-3	1-4	1-4	1-4	1-5	1-5	1-5	1-6	1-6	1-6
	3-4	3-6	4-6	5-6	4-5	2-5	5-6	3-5	2-5	2-3	2-6	2-4	4-5	3-4	2-4
	5-6	4-5	3-5	2-4	2-6	4-6	2-3	2-6	3-6	4-6	3-4	3-6	2-3	2-5	3-5
Длина, км	118	100	99	117	90	95	119	92	92	99	91	100	101	99	106

Были разработаны фиктивные графы, а также построено пятнадцать расчетных таблиц матриц расстояний. Расчеты всех пятнадцати таблиц на восьмом этапе предложенным методом с помощью программы на ПК позволили найти рациональный маршрут передвижения между распределительными центрами. Им оказался вариант № 5 в таблице 2.65 с длиной пробега 90 км.

На рисунке 2.40 в качестве примера представлен фиктивный кластерный граф для рационального маршрута (здесь в квадратных скобках указаны вершины по разработанной программе). Матрица его расстояний показана в таблице 2.66.

Вершины с четырёхзначным номером означают, что в базу № 2 программой было введено два фиктивных внутренних узла. Схема передвижения,

согласно ПК, показана на рисунке 2.41. Здесь в квадратных скобках показан маршрут: [1-8-11-4-2-6-12-7-2-9-2-5-10-3-1].

Таблица 2.66 – Матрица кратчайших расстояний

	База1	База 2	Вер.1	Вер.2	Вер.3	Вер.4	Вер.5	Вер.6	Вер.7	Вер.Ф1	Вер.Ф2	Вер.Ф3
База1	NaN	100.0	8.0	11.0	6.0	10.0	13.0	8.0	11.0	NaN	NaN	NaN
База2	100.0	NaN	10.8	8.0	7.0	9.0	2.0	15.0	8.0	NaN	NaN	NaN
Вер.1	8.0	10.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	7.0	NaN	NaN
Вер.2	11.0	8.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.5	NaN
Вер.3	6.0	7.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	7.0	NaN	NaN
Вер.4	10.0	9.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5.5
Вер.5	13.0	2.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5.5
Вер.6	8.0	15.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.5	NaN
Вер.7	11.0	8.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Вер.Ф1	NaN	NaN	7.0	NaN	7.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Вер.Ф2	NaN	NaN	NaN	3.5	NaN	NaN	NaN	3.5	NaN	NaN	NaN	NaN
Вер.Ф3	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5.5	5.5	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

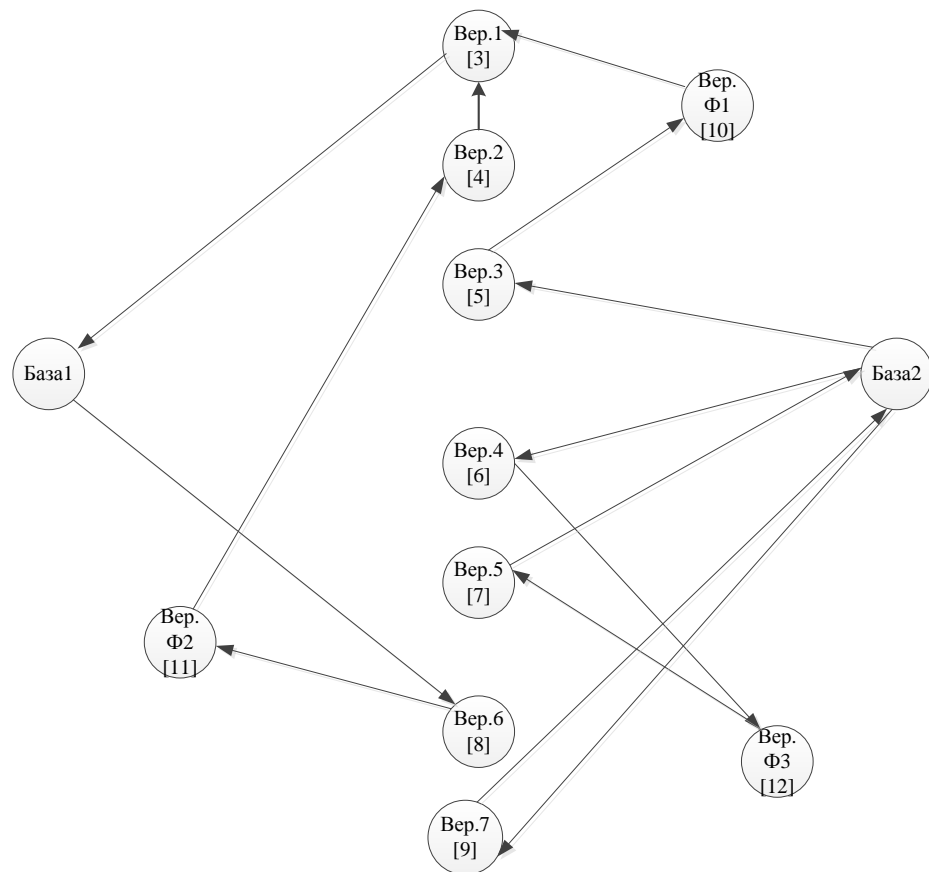


Рисунок 2.40 – Фиктивный кластерный граф открытой задачи

Отбросив фиктивные узлы, получим рациональный кратчайший путь длиной 90 км, который изображен на рисунке 2.42.

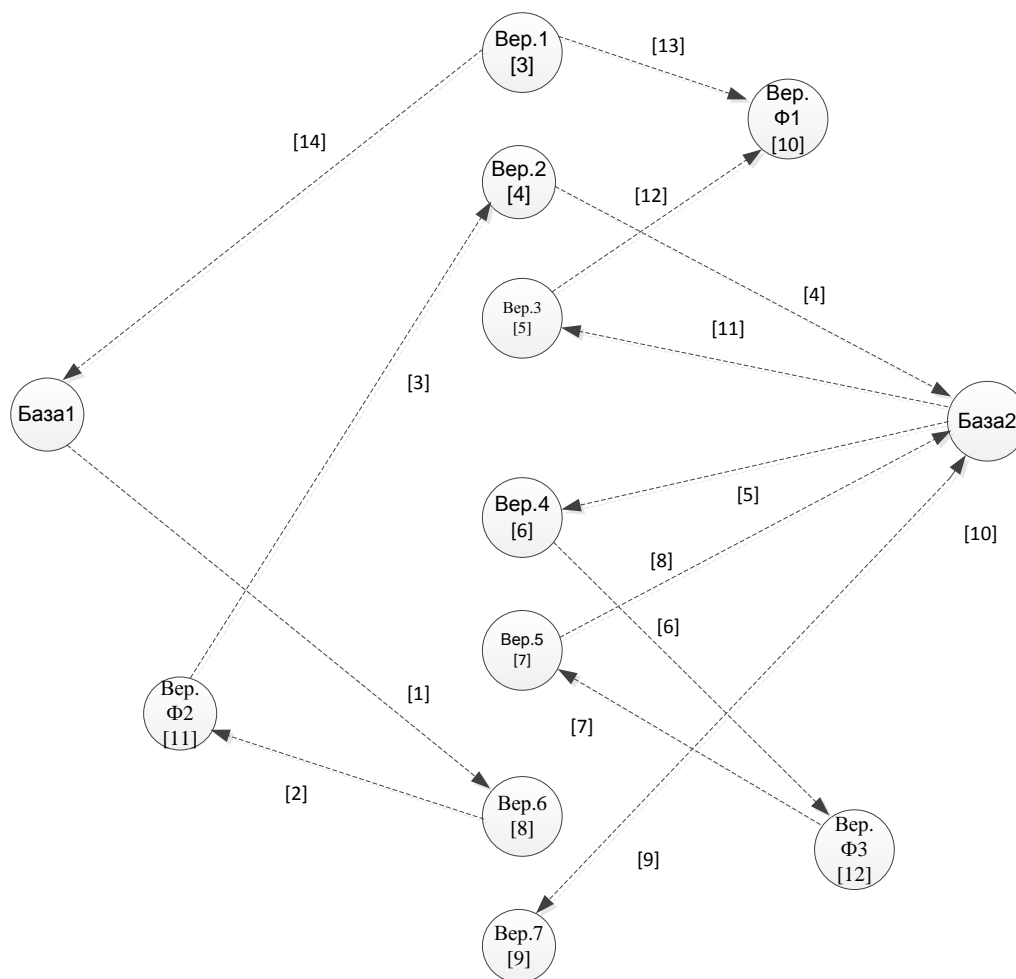


Рисунок 2.41 – Оптимальная схема передвижения в фиктивном графе открытой задачи

Таким образом, при решении открытой задачи маршрутизации база №1 посещается один раз, а на базу № 2 выполняются три ездки.

Рассмотрим закрытую задачу маршрутизации на примере графа (см. рисунок 2.43). Количество ездов в распределительный центр № 2 сократим до двух.

Для этого достаточно ограничить оператором ПК ввод одного фиктивного узла (приложение Е). Получается схема передвижения: [1-4-11-8-11-4-2-6-12-7-2-9-1-5-10-3-1].

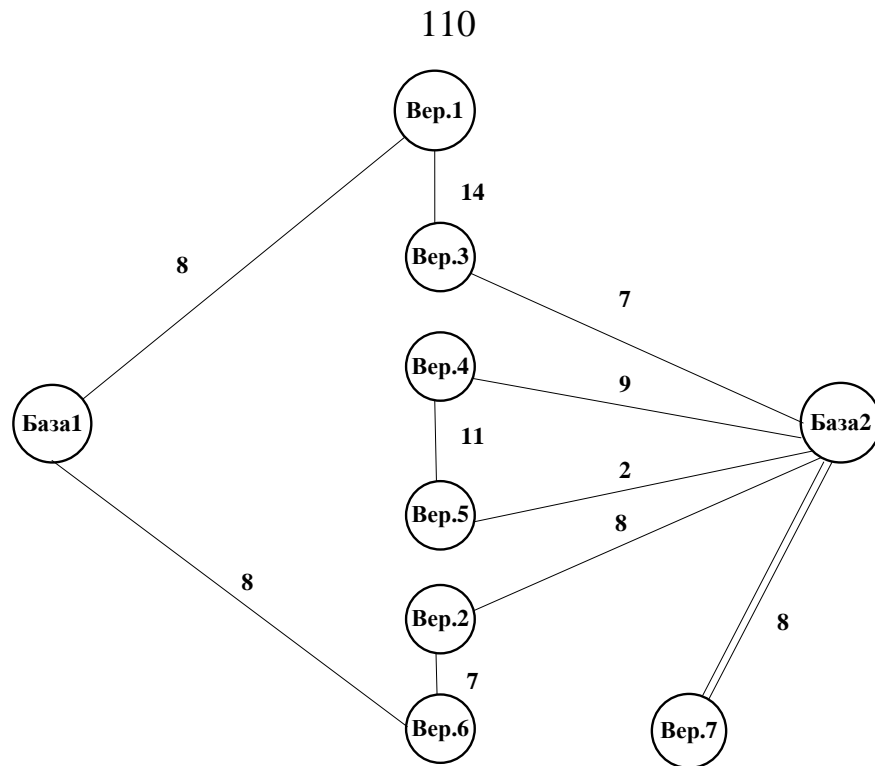


Рисунок 2.42 – Оптимальный маршрут открытой задачи

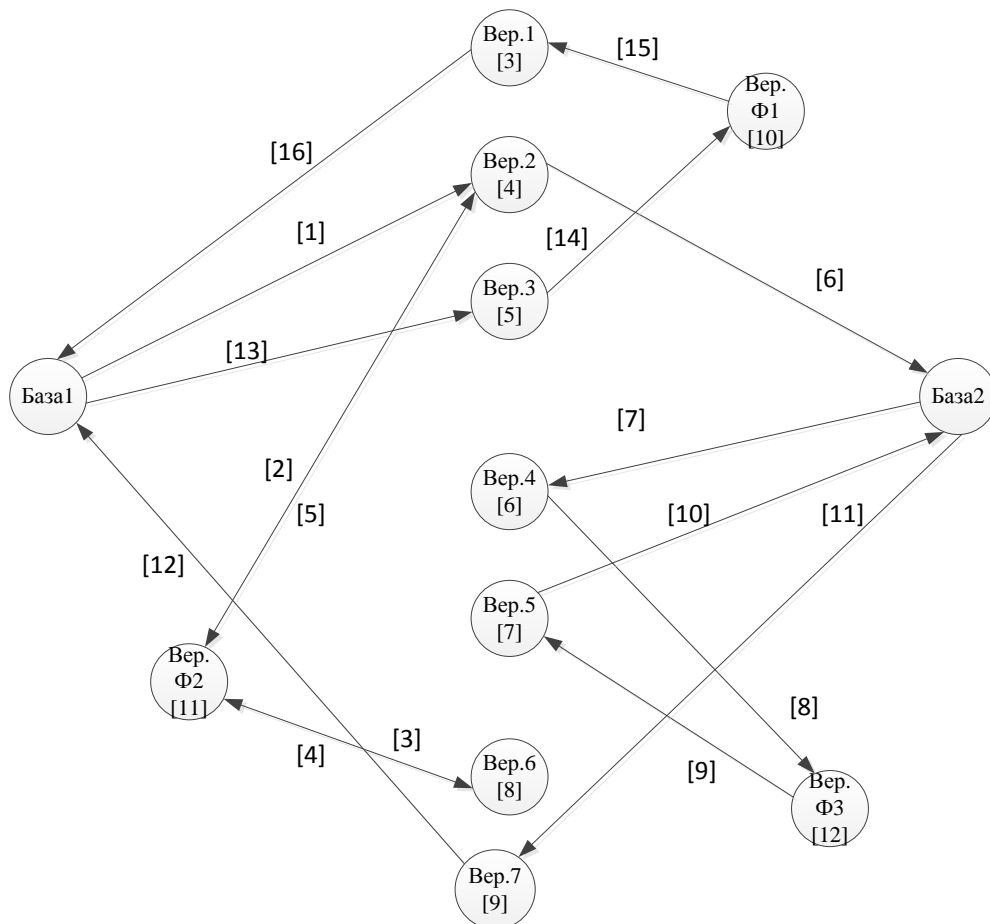


Рисунок 2.43 – Оптимальная схема передвижения в фиктивном графе закрытой задачи

На рисунке 2.44 представлен оптимальный маршрут длиной 96 км. Отметим, что в отличие от предыдущего варианта движение по ветви 1-9 осуществляется два раза.

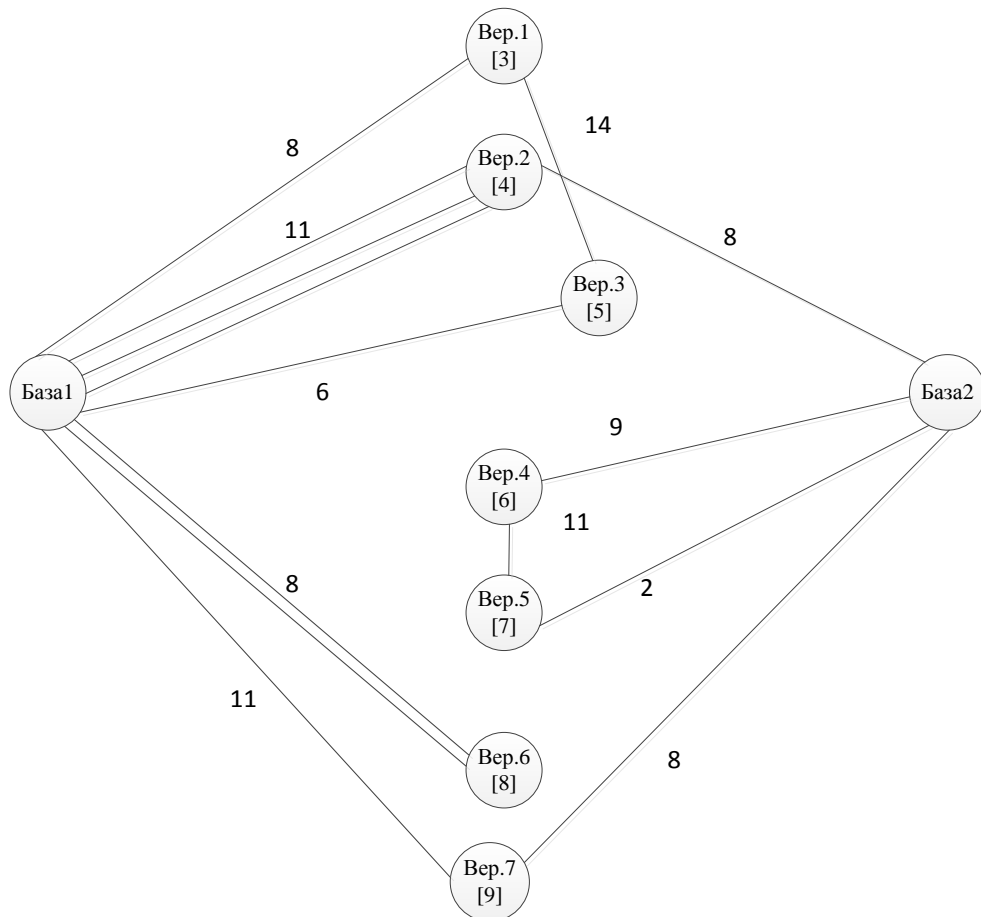


Рисунок 2.44 – Оптимальный маршрут закрытой задачи

2.6. Практическая значимость предложенного метода при решении задачи маршрутизации транспорта

Рассмотрим эффективность применения разработанного метода. Для этого сравним результаты расчета методами ВИГ и ФУВ. Решение задач будут приведены в приложении А. За основу исходных данных возьмем 39 путевых

листов РЦ Пенза АО Тендер за смену. В качестве примера рассмотрим вариант № 15 (с экономией длины маршрута 21% и времени 25%) и № 34 (с экономией длины маршрута и времени движения 0%).

15) Маршрутный лист RT№ 26916854 (РЦ Пенза-ММ Агизиппе-ММ Арбеково - РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 3-1-2-3 длиной 48 км (рисунок 2.45). Время на движение 48 минут.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 3-1-2-1-3 длиной 38 км (рисунок 2.46). Это на 10 км меньше, чем при расчете в первом варианте. Время на движение 36 минут. Экономия составляет 21 % длины маршрута и 25% времени движения.

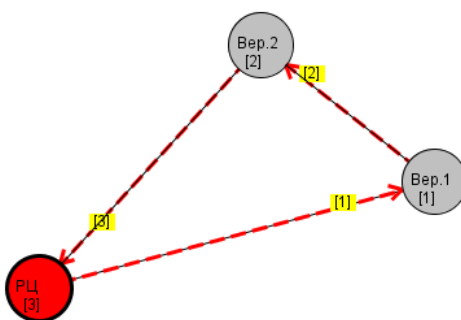


Рисунок 2.45 – Решение транспортного графа методом ВИГ

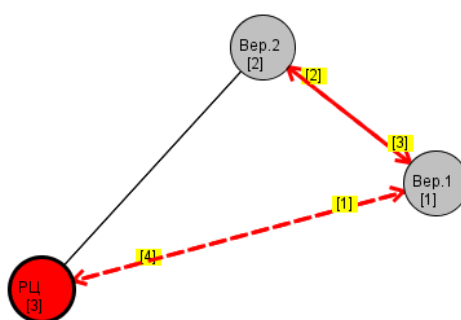


Рисунок 2.46 – Решение транспортного графа методом ФУВ

34) Маршрутный лист RT№ 26913644 (РЦ Пенза- ММ Теперское-ММ Тарханы– ММ Клатч-РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 4-2-3-1-4 длиной 68,6 км (рисунок 2.47). Время на движение 1 час.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 4-2-3-1-4 длиной 68,6 км (рисунок 2.48). Время на движение 1 час Экономия составляет 0 % длины маршрута и времени на движение.

Сравнение результатов расчета двумя методиками по времени движения и длине маршрута приведены в таблице 2.67.

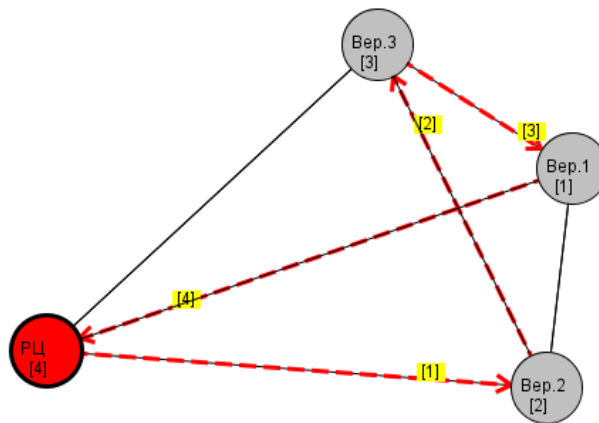


Рисунок 2.47 – Решение транспортного графа методом ВИГ

Таблица 2.67 - Результаты решения задач маршрутизации транспорта методами
ВИГ и ФУВ

Транспортная схема	Длина, км		Время расчёта, мин	
	ВИГ	ФУВ	ВИГ	ФУВ
1	2	3	4	5
1	59,52	59,52	54	54
2	105,93	94,33	108	96
3	202	199	204	198
4	153,65	153,65	144	144
5	182,1	182,1	180	180
6	138	137	138	132
7	148	148	144	144
8	171,1	171,1	168	168
9	133,8	133,8	132	132
10	303	300	303	300
11	53	53	120	120
12	48	48	48	48
13	110,1	110,1	120	120
14	63,4	63,4	60	60

Продолжение таблицы 2.67

1	2	3	4	5
15	48	38	48	36
16	70	70	70	70
17	64,1	55,1	60	54
18	55	51	55	51
19	48	48	48	48
20	45,07	43,07	45	43
21	73	73	73	73
22	47	44	47	44
23	57	57	60	60
24	52	52	54	54
25	42	42	42	42
26	65,32	65,32	60	60
27	43	38	43	38
28	48,03	48,03	48	48
29	45	45	45	45
30	57,2	44,4	54	42
31	53	51	54	42
32	50	50	48	48
33	49	44	48	42
34	68,6	68,6	60	60
35	57,2	57,2	54	54
36	47	47	42	42
37	46	43	48	42
38	22,7	6,94	18	6
39	38	38	18	18
Итого	3163,9	3072,66	3165	3058

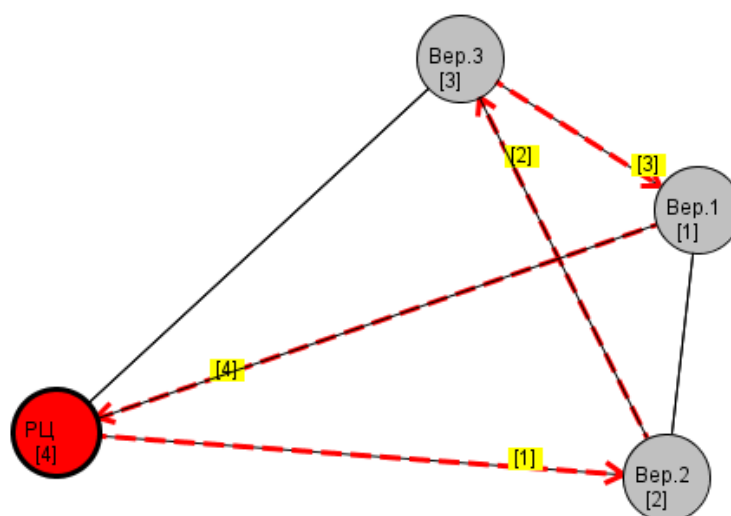


Рисунок 2.48 – Решение транспортного графа методом ФУВ

Из таблицы 2.67 видно, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами, экономия по длине маршрута составит 3% и по времени движения 4%.

Выводы по второй главе

1. Уточнены терминология и классификация схем передвижения грузов в управлении перевозочным процессом.
2. Получено доказательство вырождения решения задачи маршрутизации методом ветвей и границ. Предложена усовершенствованная методика, позволяющая его избежать. Приведен численный пример решения задачи применением разработанной методики.
3. Разработан метод маршрутизации, позволяющий более точно описать процесс доставки груза за счет ввода внутренних и внешних фиктивных узлов. Приведены числовые примеры решения транспортной задачи применением разработанного метода
4. Разработано программное обеспечение на основе предложенного метода. Разработан алгоритм программы.
5. Показана эффективность разработанного метода на примере, обработки путевых листов РЦ Пенза «АО Тендер». Его применение позволило сократить длину маршрута на 3% за смену и на 4 % время движения автомобиля.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МЕТОДОМ ФУВ

На сегодняшний день основной проблемой транспортной логистики является маршрутизация транспорта при доставке груза на кольцевых маршрутах. Затраты на транспортировку грузов составляют значительную долю себестоимости перевозок.

Задача маршрутизации транспорта относится к NP – трудной задаче дискретной оптимизации. Некоторые исследователи данную задачу относят к задаче о бродящих торговцах. Для ее решения используются точные и приближенные методики. К точным методикам относятся методы: динамического программирования и фиктивных узлов и ветвей (ФУВ).

Недостатком метода динамического программирования является хранение огромного объема информации при решении. В настоящее время для сокращения времени расчета используют метод параллельного программирования. Основу приближенных методов проектирования маршрутов составляют эвристические методы, которые позволяют сократить время на решение задачи маршрутизации, а в ряде случаев получить точное решение.

Широко используемый метод ветвей и границ не является точным, как показали приведённые исследования выше. Основным недостатком метода ФУВ является необходимость анализа большого количества вариантов сочетаний ветвей, что приводит к большим затратам времени. Причина этого древовидная методика решения поставленной задачи. Однако затраты времени могут быть значительно уменьшены, если матрица весов будет несимметричной. Этого можно достичь, если решается задача развозки и в качестве критерия оптимизации используется время. Этот критерий использован в главе 4. В данной главе используется классический критерий оптимизации – наименьшая длина маршрута. Здесь основное внимание уделено учету ограничений методом

блокировки в оценочной матрице ветви с наибольшей оценкой. Она не зависит от выбора целевой функции.

3.1. Метод маршрутизации транспорта с ограничениями величины партии груза и количества пунктов на маршруте

Рассмотрим метод фиктивных узлов и ветвей при маршрутизации транспорта с ограничениями величины партии груза и количества пунктов на маршруте.

Рассмотрим дислокацию транспортной сети и расположение торговых пунктов. Известно количество кольцевых маршрутов – m и число пунктов посещения в каждом из них – k . В пункте на маршруте разгружается партия груза – g_i .

Требуется спроектировать кольцевой маршрут, чтобы суммарная длина была наименьшей, а загрузка автомобилей наибольшей. Математический вид задачи развозки:

$$\sum_{i=1}^m l_{ij} \rightarrow \min ; \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^k g_i \rightarrow \max, \quad (3.2)$$

где l_{ij} – расстояние между пунктами i и j ;

m – количество ветвей в кольцевой схеме передвижения.

В формула (3.1) представлена задача коммивояжера, когда в каждый пункт доставляется одинаковое количество груза. В этом случае в качестве ограничения может выступать количество пунктов на маршруте. Выражение (3.2) является ограничением по величине партий груза, перевозимого в кузове автомобиле на кольцевом маршруте.

В качестве целевой функции используется определение расстояния между пунктами. Решение задачи маршрутизации производится методом фиктивных узлов и ветвей. Он позволяет проходить по ветви несколько раз, в отличие от метода ветвей и границ. Метод ФУВ ведет поиск оптимального маршрута по всей транспортной сети.

Решение задачи маршрутизации транспорта методом фиктивных узлов и ветвей с ограничением состоит из нескольких этапов.

1 этап. Создается фиктивная матрица весов $[N]$. Для этого вводятся в вершину 3 фиктивный грузовой терминал – узел. Он соединяется со смежными вершинами (торговыми предприятиями) фиктивными хордами, равными по длине действительным расстояниям. При этом действительный и фиктивный грузовой терминал не взаимодействуют друг с другом, рисунок 3.1. Исходные расстояния между узлами приведены в таблице 3.1.

2 этап. Выполняется операция приведения $[N]^{np}$. В каждой строке матрицы весов $[N]$ находится минимальный элемент z_i и вычитается из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (3.3)$$

Затем в полученной матрице находится минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитается из всех остальных элементов t'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (3.4)$$

3 этап. Выполняется операция оценки нулевых элементов в таблице 3.2. Определяется оценочная матрица $[N]^0$. Осуществляется для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в $[N]^{np}$ оценка по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (3.5)$$

где t''_{ik} - наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} - наименьший элемент в столбце j ;

$$k \neq j, \quad s \neq i; \quad k, s = 1, 2, 3, \dots, h.$$

Находится пара $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h \quad (3.6)$$

4 этап. Происходит переход к новой матрице L_1 . Для этого вычеркивается из L^{np} строка k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируется ячейка на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущая к заикливлению цепи со звеном $k - s$.

5 этап. Создаются новые фиктивные матрицы Φ_k и Φ_s , путем ввода в L_1 фиктивных узлов k и s . Выполняются над полученными матрицами L_1 , Φ_k и Φ_s операции приведения и оценки, описанные в пунктах 2–4, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

6 этап. Устанавливается ограничение: максимальное количество фиктивных узлов равно разности между числом пунктов и количеством баз.

7 этап. Проверяется выполнение ограничения по количеству пунктов обслуживания на маршруте:

$$k \leq N_i, \quad (3.7)$$

где k – количество торговых предприятий на кольцевом маршруте;

N_i – допустимое число торговых предприятий на кольцевом маршруте, согласно поставленному ограничению.

Если условие (3.7) не выполняется, то блокируется выбранная ячейка с максимальной оценкой в рассматриваемой текущей оценочной матрице. Рассматривается пункт 2. Снова в матрице проводится операции приведения и оценки.

8 этап. Проверяется ограничение по массе груза на маршруте.

Условие не превышения массы перевозимого груза на кольцевом маршруте есть формула:

$$\sum_{i=1}^k g_i \leq E, \quad (3.8)$$

где E – допустимая партия груза (грузоподъемность) автомобиля.

Если ограничение не выполняется, то блокируется выбранная ветвь с максимальной оценкой в рассматриваемой матрице, а затем идем в пункт 2.

9 этап. После рассмотрения и блокировки всех ветвей с максимальной оценкой в рассматриваемой матрице идем назад в предыдущую матрицу, на дерево решений, в которой также запрещается перемещение по ветвям с максимальной оценкой, если любое ограничение (3.7) или (3.8) не выполняется.

10 этап. Оптимальный маршрут устанавливается путем сравнения вариантов.

Рассмотрим предложенный метод на численном примере транспортной сети из пяти пунктов (рисунок 3.1). Необходимо разработать маршруты с учетом ограничений 1) по количеству пунктов, 2) количество груза не должно превышать грузоподъемности подвижного состава.

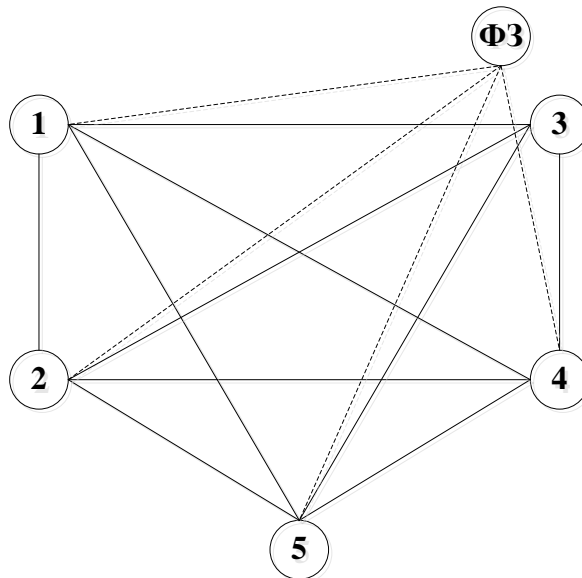


Рисунок 3.1 – Фиктивная транспортная сеть

Распределительный центр находится в вершине транспортного графа № 3. Из распределительного центра необходимо доставить в первый пункт – 4 тонны груза, во второй пункт – 2 тонны груза, в четвертый пункт – 3 тонны груза, пятый пункт – 2 тонны груза. Грузоподъемность автомобиля составляет 6 тонн. Количество маршрутов задается диспетчером и равно двум.

В данной задаче кольцевые маршруты должны содержать только два пункта торговых предприятий.

Вводим внешний фиктивный узел ФЗ, таблица 3.1.

Таблица 3.1– Исходная матрица весов

	1	2	3	4	5	ФЗ
1		3,5	2,1	1,4	10	2,1
2	3,5		4,3	5,7	4,6	4,3
3	2,1	4,3		8,2	18,2	
4	1,4	5,7	8,2		6,5	8,2
5	10	4,6	18,2	6,5		18,2
ФЗ	2,1	4,3		8,2	18,2	

Выполняем операции приведения и оценки. В рассматриваемом примере надо проверить по таблице 3.2 учитывая условие (3.8) три ветви: 2-5, 5-2 и 4-1. Как показали расчеты, оптимальный результат получается при наличии начала расчета с ветви 5-2. В этом случае количество груза в кузове будет 7 тонн. Оно превышает грузоподъемность подвижного состава 6 тонн. Следовательно, ограничение (3.8) не выполняется.

Таблица 3.2 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	5	ФЗ
1		2,1	$0^{0,1}$	$0^{1,9}$	7,5	$0^{0,1}$
2	0^0		0,1	2,2	0^4	0,1
3	$0^{2,2}$	2,2		6,1	15	
4	0^4	4,3	6,1		4	6,1
5	5,4	0^4	12,9	1,9		12,9
ФЗ	$0^{2,2}$	2,2		6,1	15	

Блокируем ячейку 5-2 с максимальной оценкой. Возвращаемся в пункт 2 алгоритма расчета. Оценочная матрица представлена в таблице 3.3. Ячейка 2-5 имеет наибольшую оценку – 4.

Однако проведенные исследования показали, что условие (3.8) не выполняется, так как суммарная масса в пунктах 4 и 1 составляет 7 тонн.

Таблица 3.3 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	5	ФЗ
1		$0^{0,1}$	$0^{0,1}$	0^0	7,5	$0^{0,1}$
2	0^0		0,1	2,2	0^4	0,1
3	0^0	0,1		6,1	15	
4	$0^{2,2}$	2,2	6,1		4	6,1
5	3,5	∞	11	$0^{3,5}$		11
ФЗ	$0^{0,1}$	0,1		6,1	15	

Блокируем ячейку 2-5 с максимальной оценкой. Оценочная матрица приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	5	ФЗ
1		$0^{0,1}$	$0^{0,1}$	0^0	3,5	$0^{0,1}$
2	$0^{0,1}$		0,1	2,2	∞	0,1
3	$0^{0,1}$	0,1		6,1	11	
4	0^0	2,2	6,1		$0^{3,5}$	6,1
5	3,5		11	$0^{3,5}$		11
ФЗ	$0^{0,1}$	0,1		6,1	11	

Наибольшая оценка 3,5 имеется в ячейке 5-4 и 4-5. Включаем в маршрут хорду 4-5. Блокируем ячейку 5-4 против зацикливания. Вводим фиктивный узел Ф4 в вершину 4. Получаем таблицу 3.5.

В таблице 3.5 удаляем хорду 5-Ф4 с наибольшей оценкой 3,5. Получаем таблицу 3.6.

Таблица 3.5 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	ФЗ	Ф4
1		$0^{0,1}$	$0^{0,1}$	$0^{2,2}$	$0^{0,1}$	0^0
2	$0^{0,1}$		0,1	2,2	0,1	2,2
3	$0^{0,1}$	0,1		6,1		6,1
5	3,5		11	∞	11	$0^{3,5}$
ФЗ	$0^{0,1}$	0,1		6,1		6,1
Ф4	$0^{2,2}$	2,2	6,1		6,1	

Таблица 3.6 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	ФЗ
1		$0^{0,1}$	$0^{0,1}$	∞	$0^{0,1}$
2	0^0		0,1	$0^{3,9}$	0,1
3	$0^{0,1}$	0,1		3,9	
ФЗ	$0^{0,1}$	0,1		3,9	
Ф4	$0^{2,2}$	2,2	6,1		6,1

В ней ячейки Ф4-1 и 1-4 нельзя включать в маршрут, так как не выполняется ограничение (3.8) по количеству пунктов на маршруте. В качестве примера заблокируем ячейку 1-4. Получается, что наибольшую оценку 3,9 получает ветвь 2-4. Ограничения не выполняются, и ее блокируем. Получаем таблицу 3.7.

Таблица 3.7– Оценочная матрица

	1	2	3	4	ФЗ
1		$0^{0,1}$	$0^{0,1}$		$0^{0,1}$
2	$0^{0,1}$		0,1	∞	0,1
3	0^0	0,1		0^0	
ФЗ	0^0	0,1		0^0	
Ф4	$0^{2,2}$	2,2	6,1		6,1

В таблице 3.8 блокируем ячейку Ф4-1.

Таблица 3.8 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	ФЗ
1		0^0	$0^{0,1}$		$0^{0,1}$
2	$0^{0,1}$		0,1		0,1
3	0^0	0,1		0^0	
ФЗ	0^0	0,1		0^0	
Ф4	∞	$0^{3,9}$	3,9		3,9

Переходим в таблицу 3.9.

В таблице 3.9 две ячейки 1-2 и 2-1 имеют одинаковую оценку 0,1. Удаляем ветвь 2-1. Проверяем выполнение ограничений. Они выполняются. Переходим к матрице 3.10 меньшего размера.

Таблица 3.9 – Оценочная матрица

	1	2	3	4	ФЗ
1		$0^{0,1}$	0^0		0^0
2	$0^{0,1}$		0,1		0,1
3	0^0	0,1		0^0	
ФЗ	0^0	0,1		0^0	
Ф4		∞	0^0		0^0

Таблица 3.10 – Оценочная матрица

	2	3	4	ФЗ
1	∞	0^0		0^0
3	0^0		0^0	
ФЗ	0^0		0^0	
Ф4		0^0		0^0

Здесь блокируем ячейку 1-2 против заикливания. Оценка всех ее элементов одинаковая и равна нулю. Включаем в маршрут хорду 1-3. Блокируем ячейку 3-2.

В таблице 3.11 удаляем хорду Ф4-ФЗ.

Таблица 3.11 - Оценочная матрица

	2	4	ФЗ
3	∞	0^0	
ФЗ	0^0	0^0	
Ф4			0^∞

Таблица 3.12 – Оценочная матрица

	2	4
3		0^∞
ФЗ	0^∞	

Включаем в маршрут ветви 3-4 и ФЗ-2. В процессе расчета были вычеркнуты ветви: 4-5, 5-Ф4, 2-1, 1-3, Ф4-ФЗ, 3-4 и ФЗ-2. Отбрасываем фиктивные узлы и получаем рациональную схему передвижения, показанную на

рисунке 3.2: 3-4-5-4-3-2-1-3, длиной 39,3 км. Она состоит из кольцевого 3-2-1-3, длиной 9,9 км и маятниковых маршрутов 3-4-5-4-3, длиной 29,4 км.

Отметим, что возможно движение в обратном направлении стрелок.

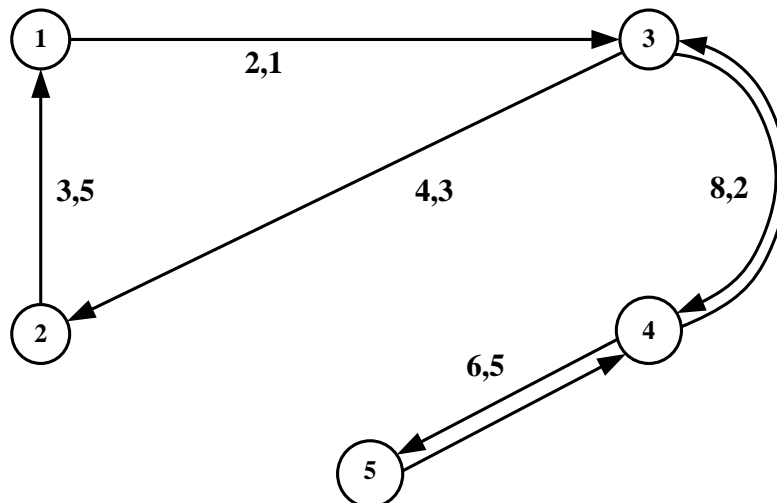


Рисунок 3.2 – Рациональные схемы передвижения

В пункт 2 доставлен груз – 2 тонны, а в пункт 1 – 4 тонны груза. На втором маршруте доставлено в пункт 4 – 3 тонны, в пункт 5 – 2 тонны.

Здесь представлены краткие результаты расчета одной рациональной ветви на дереве решений методом ФУВ. Расчеты, выполненные по другим ветвям дерева решений, не улучшили результат.

3.2. Решение задачи маршрутизации транспорта на основе разработанного метода с помощью программного обеспечения Logistics

На основе предложенного метода было разработано программное обеспечение Logistics. Рассмотрим эффективность применения разработанного метода. Для этого сравним результаты расчета методами ВИГ и ФУВ с ограничениями. В качестве ограничений выступают критерии – величина партии

перевозимого груза -19 паллет и количество пунктов на маршруте - 3. Решение задач будут приведены в приложении А. За основу исходных данных возьмем 39 путевых листов РЦ Пенза АО Тендер. При решении данной задачи получилось 20 маршрутов по 3 пункта на маршруте , 7 маршрутов по 4 пункта, 5 маршрутов по 2 пункта и один с 5 пунктами разгрузки на маршруте.

В качестве примера рассмотрим вариант № 1 (с экономией длины маршрута 1% и времени 2%) и № 2 (с экономией длины маршрута на 2% и времени движения 2%) и 3 (с экономией длины маршрута на 5% и времени движения 5%)

1) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Тортоса – ММ Ясенки – ММ Рассказ – РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-3-4-1 длиной 184 км (рисунок 3.3). Время на движение 3,06 ч.

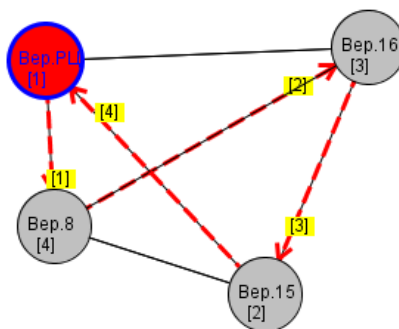


Рисунок 3.3 –Транспортный граф методом ВИГ

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-3-2-3-4-1 длиной 183 км (рисунок 3.4). Время на движение 3 ч. Экономия составляет 1 % длины маршрута и времени на движение 2%.

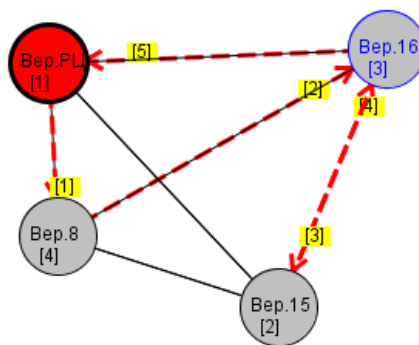


Рисунок 3.4 –Транспортный граф методом ФУВ

2) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Авторефрижератор – ММ Лобановская – ММ Десерт – РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-3-2-4-1 длиной 147 км (рисунок 3.5). Время на движение 2,44 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-3-2-3-4-1 длиной 144 км (рисунок 3.6). Время на движение 2,4 ч. Экономия составляет 2 % длины маршрута и времени на движение 2%.

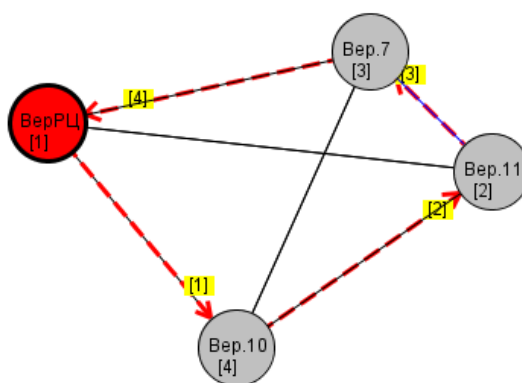


Рисунок 3.5 –Транспортный граф методом ВИГ

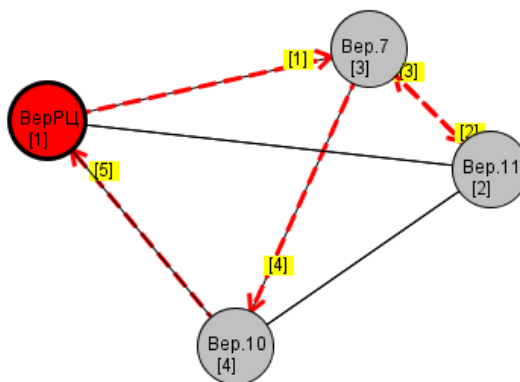


Рисунок 3.6 –Транспортный граф методом ФУВ

3) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Кундудо – ММ Завлекательный – ММ Удочка – РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-4-3-1 длиной 60 км (рисунок 3.7). Время на движение 1 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-4-3-2-1 длиной 57 км (рисунок 3.8). Время на движение 0,95 ч. Экономия составляет 5 % длины маршрута и 5% времени на движение.

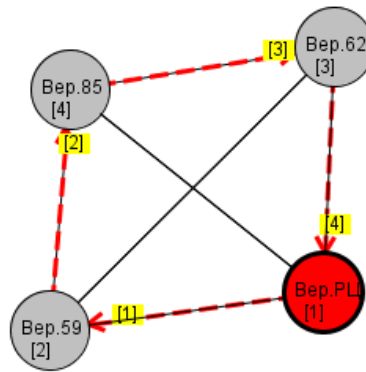


Рисунок 3.7 –Транспортный граф методом ВИГ

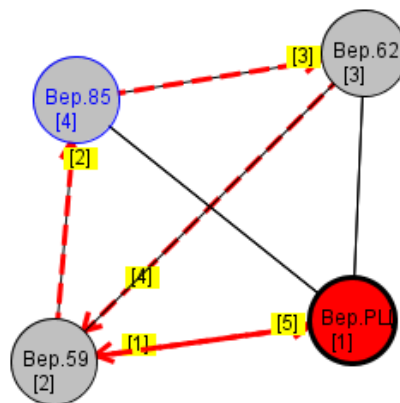


Рисунок 3.8–Транспортный граф методом ФУВ

Сравнение результатов расчета двумя методами по времени движения и длине маршрута приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты решения задач маршрутизации транспорта методами ВИГ и ФУВ с ограничениями.

Транспортная схема	Длина, км		Время на маршруте, мин	
	ВИГ	ФУВ с ограничением	ВиГ	ФУВ с ограничением
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	184	183	3,06	3
2	147	144	2,44	2,4
3	60	57	1	0,95
4	167	167	2,78	2,78
5	172	172	2,86	2,86
6	264	264	4,4	4,4
7	183	183	3,05	3,05

Продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5
8	263	263	4,38	4,38
9	187	187	4,1	4,1
10	323	323	5,3	5,3
11	212	116	3,4	1,8
12	88	80	1,4	1,3
13	83	83	1,3	1,3
14	59	59	0,9	0,9
15	75	75	1,25	1,25
16	66	66	1,1	1,1
17	63	63	1,05	1,05
18	60	60	1	1
19	67	67	1,11	1,11
20	60	60	1	1
21	66	66	1,1	1,1
22	53	53	0,88	0,88
23	57	57	0,95	0,95
24	48	48	0,79	0,79
25	56	56	0,93	0,93
26	60	60	1	1
27	77	77	1,28	1,28
28	43	39	0,71	0,64
29	60	60	1	1
30	63	63	1,05	1,05
31	59	58	0,98	0,96
32	68	68	1,13	1,13
33	54	54	0,89	0,89
Итого	3547	3431	59,57	57,63

Из таблицы 3.13 видно, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами, экономия по длине маршрута составит 4% и по времени движения 4%.

3.3. Метод маршрутизации транспорта с ограничением на обратный груз

В настоящее время широкое развитие получила информационная логистика. Применение мониторинга транспортных компаний позволяет снизить расходы за счет использования попутных перевозок. В общем случае ее можно разделить на два типа: «обратный груз» и «догруз». «Догруз» – перевозка товара, который был погружен в транспортное средство до момента разгрузки основного груза. Конечно, это возможно только в том случае, если в автомобиле для попутного груза есть свободное место по грузоподъемности или вместимости. При этом маршрут передвижения основного груза может быть изменен по договоренности сторон. В результате издержки на перевозку могут быть снижены.

«Обратный груз» – вид перевозки, когда при возвращении на базу в пустой кузов автомобиля укладывается новый дополнительный товар. Таким образом, образуется совместная единая схема передвижения основного и обратного грузов. В этом случае нет совместной развозки этих грузов в кузове транспортного средства.

Целью данного исследования заключается в выборе решения задачи маршрутизации с особенностями перевозки обратного груза.

При совместном маршруте схема передвижения автомобиля может изменяться по сравнению с таковой при отсутствии обратного груза.

Рассмотрим решение задачи маршрутизации транспорта на основе предложенного метода позволяющего определять параметры совместного маршрута при обратном грузе, находящемся на одном складе.

Отметим, что время работы на маршруте учитывает передвижение между пунктами, простой под разгрузкой или погрузкой, оформление документов, проверку сохранности груза и другие организационные мероприятия в зависимости от вида груза.

Время нахождения ТС на i -м маршруте определяем по формуле:

$$T_i = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обр}} t_{ij}^{обр} + t_i^{осн} + t_i^{обр}, \quad (3.9)$$

$$T_i = T_i^{\partial в} + T_i^{nproc}. \quad (3.10)$$

Время движения ТС

$$T_i^{\partial в} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обр}} t_{ij}^{обр}, \quad (3.11)$$

Время простоя ТС

$$T_i^{nпрост} = t_i^{осн} + t_i^{обр}, \quad (3.12)$$

где $\sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн}$ – время нахождения на i -ой ветви основного маршрута;

$\sum_{i=1}^{u^{обр}} t_{ij}^{обр}$ – время нахождения на i -ой ветви обратного маршрута;

$u^{осн}$ – количество ветвей на маршруте основного груза;

$u^{обр}$ – число ветвей на маршруте обратного груза;

$t_i^{осн}$ – время нахождения на i -ом пункте разгрузки основного груза;

$t_i^{обр}$ – время нахождения на i -ом пункте загрузки на складе обратного

груза.

Общее время на всех кольцевых маршрутах составит

$$T = \sum_{i=1}^m T_i. \quad (3.13)$$

Длина i -го маршрута составит

$$L_{ij} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обр}} l_{ij}^{обр} + l_{ij}^x \rightarrow \min, \quad (3.14)$$

где $l_{ij}^{осн}$ – длина ветви между узлами i и j основного груза;

$l_{ij}^{обр}$ – длина ветви между пунктами i и j обратного маршрута;

l_{ij}^x – длина ездки от конечного пункта основного груза до склада обратного

груза.

Длина всех маршрутов

$$L = \sum_{i=1}^u L_{ij}. \quad (3.15)$$

Количество груза, перевезенного автомобилем на i -ом совместном маршруте при количестве пунктов в нем равном O , находим по формуле:

$$K_i = \sum_{i=1}^{O^{осн}} q_i^{осн} + \sum_{i=1}^{O^{обп}} q_j^{обп} \rightarrow \max, \quad (3.16)$$

где $O^{осн}$ – количество пунктов на i -м маршруте с основным грузом;

$O^{обп}$ – число пунктов на j -ом маршруте с обратным грузом;

$q_i^{осн}$ – количество основного груза в i -ом пункте;

$q_j^{обп}$ – количество обратного груза в i -ом пункте.

$$K = \sum_{i=1}^m K_i. \quad (3.17)$$

В данной работе принимаем во внимание три типа ограничений.

1. Число кольцевых маршрутов может быть разным на исходной схеме дислокации. Оно зависит от грузоподъемности или вместительности транспортного средства, а также величины принятия заказа грузопотребителем. В общем случае количество колец определяем по формуле:

$$M_\alpha = m_1 + m_2 \dots + m_\alpha = \sum_{i=1}^{\alpha} m_i, \quad (3.18)$$

где m_α – число кольцевых маршрутов с одинаковым количеством пунктов в них – α .

Количество пунктов в кольцевом маршруте может быть разным, но ограниченным.

2. Количество пунктов на кольцевом маршруте при перевозке основного и обратного груза не должно превышать допустимых величин

$$k^{осн} \leq [k^{осн}], \quad (3.19)$$

$$k^{обп} \leq [k^{обп}], \quad (3.20)$$

где $[k^{осн}]$ – допустимое число пунктов основного груза;

$[k^{обп}]$ – допустимое число пунктов обратного груза.

3. Количество груза находящегося в кузове автомобиля на кольцевом маршруте в i -ветви не должно превышать допустимого его значения

$$q_i \leq [q], \quad (3.21)$$

где q_i – количество любого груза в автомобиле

Вычисляем функцию выгоды по расстоянию при организации совместного маршрута

$$\Delta L = (L^{осн} + L^{обп}) - L, \quad (3.22)$$

где L находим по формуле (3.15);

$L^{осн}$ – длина маршрутов без обратного груза (с холостым пробегом):

$$L^{осн} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн} \quad (3.23)$$

$L^{обп}$ – длина маршрутов при организации отдельной ездки за обратным грузом с базы

$$L^{обп} = \sum_{i=1}^{u^{обп}} l_{ij}^{обп}. \quad (3.24)$$

Аналогично можно рассчитать функцию выгоды по времени для совмещенного маршрута:

$$\Delta T = (T^{осн} + T^{обп}) - T_i \quad (3.25)$$

Здесь величина T_i находится по формуле (3.10).

$T^{осн}$ – суммарное время, затраченное на маршрутах без учета обратного груза:

$$T^{осн} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн}. \quad (3.26)$$

Суммарное время на маршруте при организации ездки отдельно за обратным грузом

$$T^{обp} = \sum_{i=1}^u t_{ij}^{обp}. \quad (3.27)$$

Рассмотрим применение предложенного метода на численном примере.

На рисунке 3.9 представлена схема дислокации пунктов транспортного графа, расстояние между ними приведены в таблице 3.14.

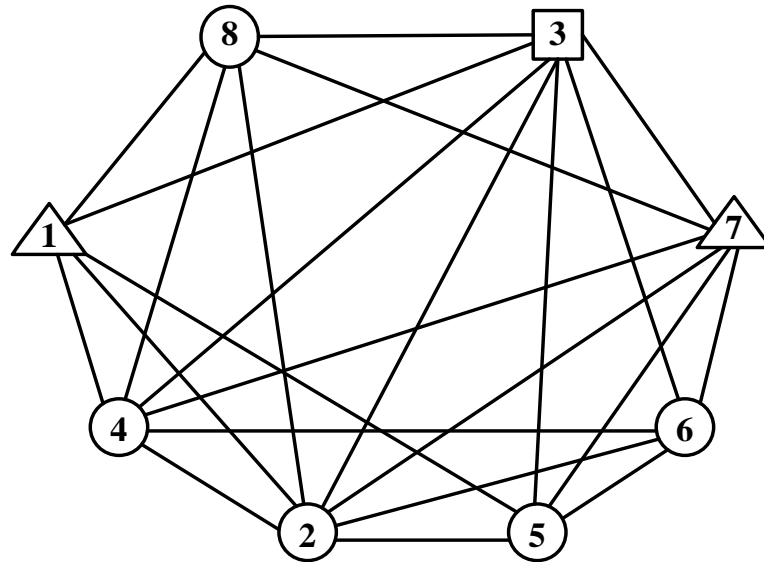


Рисунок 3.9 – Исходный транспортный граф

Таблица 3.14 – Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		14	10	8	13	16		6
2	14		18	1	11	14	13	15
3	10	18		12	25	8	15	4
4	8	1	12		6	9	16	18
5	13	11	25	6		8	12	
6	16	14	8	9	8		7	
7		13	15	16	12	7		25
8	6	15	4	18			25	

Необходимо доставить в пункты 2, 4, 5 и 6 основной груз по двум кольцевым маршрутам. В каждом из них два грузополучателя. Склады с обратным грузом расположены в вершинах 1 и 7 транспортного графа. Этот груз проходит по пунктам 8 и 6 и далее следует на разгрузку в базу 3. Количество основного груза составляет на вершинах графа № 2 – 2 тонны, № 4 - 4 тонны, № 5

– 3 тонны, № 6 – 3 тонны. Обратный груз перевозится в количестве: из склада № 7 – 6 тонн, из склада № 1 – 6 тонн. В пункте разгрузки № 8 необходимо доставить 8 – 4 тонны, в пункте № 6 – 5 тонн. На базу 3 доставляется 2 тонны с одного кольцевого маршрута и 1 тонна со второго маршрута. В автомобиль можно загрузить не более 6 тонн (партий) груза.

Необходимо определить рациональные маршруты совместного передвижения с обратным грузом.

Для решения задачи требуется разработать метод [1] учитывая особенности перевозки обратного груза. Они заключаются в том, что маршрут обратного груза от склада до базы является ориентированным на базу. Следовательно, кратчайшее расстояние между ними можно определить методом «метлы» [2]. Тогда проектирование схемы передвижения обратного груза между складами и базой 3 выполняется отдельно от расчета маршрутов основного груза. Сначала определяется маршрут с обратным грузом, а потом маршрут основного груза. Количество маршрутов и пунктов на нем даются диспетчером.

Решение задачи маршрутизации транспорта предложенным методом включает несколько этапов:

1 этап. Определение расстояния между складом и базой.

Из склада 1 наименьшее расстояние имеет цепь 1-8-3. Ее длина составляет 10 км. Из склада 7 до базы 3 она равна 15 км по цепи 7-6-3.

2 этап. Построение расчетной схемы.

Вершину 6 требуется посетить два раза. Вводим в нее один фиктивный узел – Ф6. В базу 3 также вводим дополнительный узел Ф3. Соединяем фиктивные узлы со смежными узлами дополнительными ветвями.

В вершины 1 и 7 будут входить четыре ориентированные ветви из каждого пункта доставки основного груза, а выходить по одной ориентированной ветви. Расчетная схема представлена на рисунке 3.10. Расчетная матрица приведена в таблице 3.15. В результате проведенных расчётов, получаем ориентированные ветви доставки обратного груза.

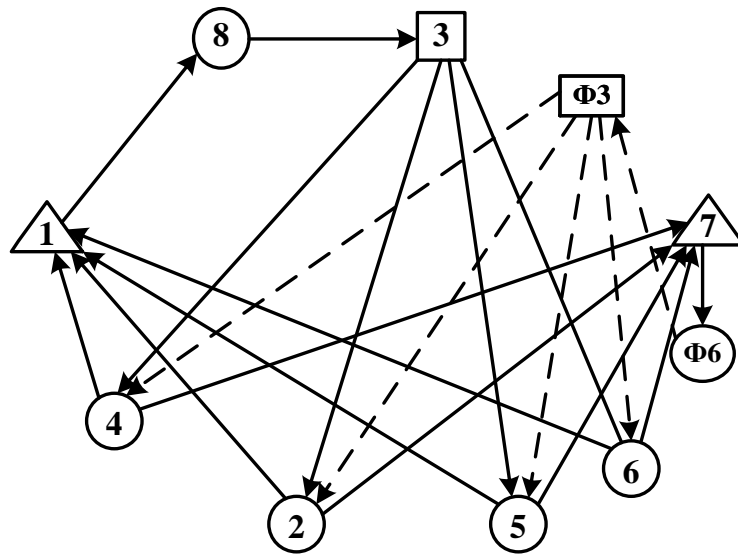


Рисунок 3.10 – Расчетная схема доставки основного груза с учетом обратного

Таблица 3.15 – Расчетная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8	Ф3	Ф6
1								6		
2	14			1	11	14	13			
3		18		12	25	8				
4	8	1			6	9	16			
5	13	11		6		8	12			
6	16	14		9	8		7			
7										7
8			4							
Ф3		18		12	20	8				
Ф6									8	

3 этап. Решение расчетной схемы. Дальнейший расчет выполняем методом ФУВ с ограничением по грузоподъемности. Методика учета ограничения представлена в пункте 3.1. Приводим краткие результаты исследования исходной расчетной матрицы.

В матрице 3.15 выполняем операцию приведения и оценки. Вычеркиваем ветви 1-8, 7-Ф6, 8-3, Ф6-Ф3, так как по ним будет доставляться обратный груз, и они не влияют на оценку элементов матрицы. Наибольшую оценку 9 имеет элемент 2-4, таблица 3.16. Проверяем выполнение ограничения по количеству

партий груза $4+2 = 6$ тонн, ограничение выполняется. Если оно не выполняется, используют механизм блокировки ветви с максимальной оценкой.

Таблица 3.16 – Оценочная матрица

	1	2	4	5	6	7
2	13		0^9	9	13	12
3		10	4	16	0^4	
4	0^0	0^5		4	8	15
5	0^0	5	0^0		2	6
6	2	7	2	0^4		0^6
Ф3		10	4	11	0^4	

Далее удаляем ветвь 2-4 из таблицы 3.21 и получаем таблицу 3.17. В ней блокируем ветвь 4-2 против заикливания и вводим фиктивный узел Ф4.

В таблице 3.17 удаляем, в качестве примера, ветвь 6-7 с максимальной оценкой – 6. Получаем последний пункт № 6 кольцевого маршрута. Далее автомобиль едет за обратным грузом на склад № 7.

Таблица 3.17 – Первый шаг преобразования матрицы

	1	2	5	6	7	Ф4
3		5	16	0^5		4
4	0^4	∞	4	8	15	
5	0^0	0^0		2	6	0^2
6	2	2	0^4		0^6	2
Ф3		5	11	0^4		4
Ф4	0^0	0^0	4	8	15	

Согласно изложенной методике, в процессе расчета будут вычеркнуты следующие ветви: 1-8, 7-Ф6, 8-3, Ф6-Ф3, 2-4, 6-7, 4-1, 5-6, Ф3-4, Ф3-2, Ф4-5.

Маршрут передвижения первого кольцевого маршрута: 3-4-5-6-7-6-3, длиной 48 км; второй маршрут 3-2-4-1-8-3, длиной 37 км. Общая длина двух кольцевых маршрутов составит 85 км. Схема передвижения приведена на рисунке 3.11. Все ограничения выполняются.

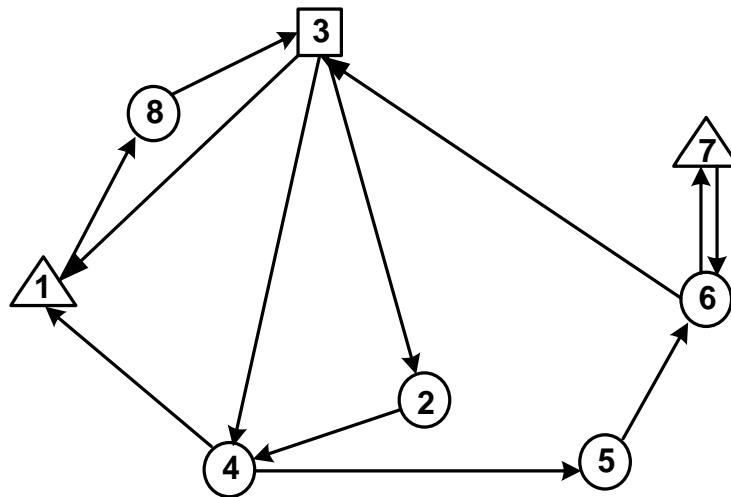


Рисунок 3.11 – Оптимальная схема передвижения по совместному маршруту

Переходим к вычислению функции выгоды по расстоянию при создании совместного маршрута. Из таблицы 3.19 при отдельной езде за обратным товаром по схеме 3-1-8-3 и 3-7-6-3 и находим длину передвижения 50 км. При этом длина основного маршрута 3- 6-5-6-3 и 3-4-2-4-3 составит 42 км. Суммарная длина всех схем передвижения равна 92 км. Функцию выгоды определяем по формуле (3.22):

$$\Delta L = (L^{осн} + L^{обп}) - L = 92 - 85 = 7 \text{ км.}$$

Таким образом, уменьшение расстояние составило 6,6 %.

Переходим к вычислению функции выгоды по времени (3.25) при создании совместного маршрута:

$$\Delta T = (T^{осн} + T^{обп}) - T .$$

Принимаем в качестве примера техническую скорость равную 50 км/ч. Время движения по двум кольцам длиной 85 км будем находить так:

$$T_i^{об} = \frac{85}{50} = 1,7 \text{ часа.}$$

Время простоя при погрузке и разгрузки товара из 6 партий принято 0,5 часа.

Итого:

$$t_i^{обп} = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ час,} \quad t_i^{осн} = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ час.}$$

Затраченное время простоя (3.12) составит:

$$T_i^{прост} = t_i^{осн} + t_i^{обр} = 1 + 1 = 2 \text{ часа.}$$

Общее время (3.13) равно:

$$T = \sum_{i=1}^m T_i = 1,7 + 2 = 3,7 \text{ часа.}$$

Рассмотрим затраты времени при раздельной развозке обратного груза. Оно при длине передвижения 92 км будем находить так:

$$T_i^{обс} = \frac{92}{50} = 1,84 \text{ часа.}$$

При простое затраты времени будут составлять 2 часа, как и в совмещенном маршруте. Следовательно, общее его значение равно 3,84 часа.

$$T = \sum_{i=1}^m T_i = 1,84 + 2 = 3,84 \text{ часа.}$$

Функция выгоды по времени составит 0,14 часа:

$$\Delta T = 3,84 - 3,7 = 0,14 \text{ часа.}$$

Таким образом, экономия времени равна 2,9 %.

3.4. Решение задач маршрутизации на основе разработанного метода с помощью программного обеспечения Logistics

Рассмотрим эффективность применения разработанного метода. Для этого сравним результаты расчета методами ВИГ и ФУВ, учитывая обратный груз и органичения. Решение задач будут приведены в приложении А диссертации.

За основу исходных данных возьмем 39 путевых листов РЦ Пенза АО Тендер за смену. Обратный груз, который необходимо доставить в распределительный центр, указывается в скобках на каждом маршруте.

В качестве примера рассмотрим вариант № 1 (с экономией длины маршрута и времени 20%) и № 2 (с экономией длины маршрута и времени движения 2%).

1) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Пристрой – ММ Бессоновка (4 пл./м) – РЦ Пенза).

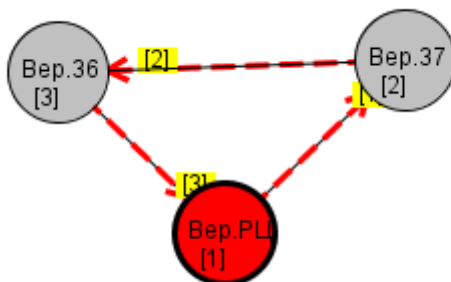


Рисунок 3.12 –Транспортный граф методом ВИГ

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-3-1 длиной 80 км (рисунок 3.12). Время на движение 1,33 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-3-2-1 длиной 64 км (рисунок 3.13). Время на движение 1,06 ч. Экономия составляет 20 % длины маршрута и 20% времени на движение.

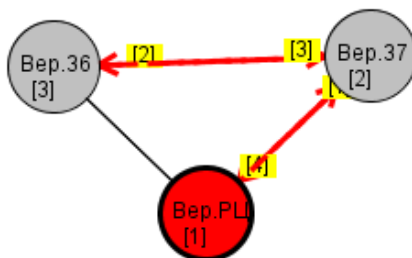


Рисунок 3.13 –Транспортный граф методом ФУВ

2) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Тивадар – ММ Ахуны (6 пл./м) – РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-3-2-1 длиной 59 км (рисунок 3.14). Время на движение 0,98 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-3-2-3-1 длиной 58 км (рисунок 3.15). Время на движение 0,96 ч. Экономия составляет 2 % длины маршрута и 2% времени на движение. Сравнение результатов расчета двумя методами по времени движения и длине маршрута приведены таблице 3.18.

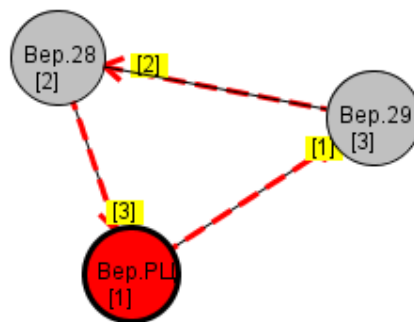


Рисунок 3.14 –Транспортный граф методом ВИГ

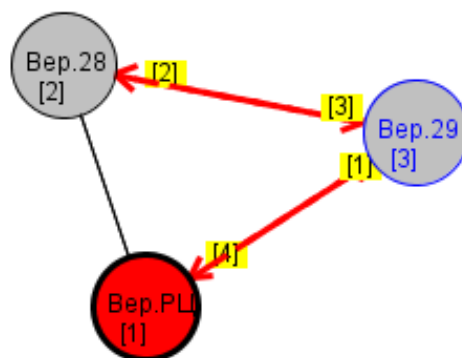


Рисунок 3.15–Транспортный граф методом ФУВ

Таблица 3.18 – Результаты решения задач маршрутизации транспорта
методами ВиГ и ФУВ с обратным грузом и ограничениями

Транспортная схема	Длина, км		Время расчёта, мин	
	ВиГ	ФУВ	ВиГ	ФУВ
1	2	3	4	5
1	80	64	1,33	1,06
2	59	58	0,98	0,96
3	78	78	1,3	1,3
4	92	92	1,53	1,53
5	158	158	2,63	2,63
6	174	174	2,9	2,9
7	186	186	3	3
8	142	142	2,3	2,3
9	245	235	3,9	3,9
10	179	179	2,9	2,9
11	138	138	2,3	2,3
12	315	315	5,05	5,05

Продолжение таблицы 3.18

1	2	3	4	5
13	74	74	1,23	1,23
14	60	60	1	1
15	64	64	1,06	1,06
16	75	75	1,25	1,25
17	329	56	5,48	0,93
18	72	72	1,2	1,2
19	61	61	1,01	1,01
20	52	49	0,86	0,81
Итого	2633	2330	43,21	38,32

Из таблицы 3.18 видно, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами, экономия по длине маршрута составит 12% и по времени движения 12% методом ФУВ.

Выводы по третьей главе

1. Разработан метод маршрутизации транспорта с учетом ограничений по величине партии груза и количеству пунктов на маршруте, позволяющий получить точное решение и сформировать рациональные маршруты на основе ввода внутренних и внешних фиктивных узлов.

2. Решена задача маршрутизации транспорта доставки груза в торговые точки с распределительного центра материальных потоков по кольцевым и маятниковым маршрутам с учетом ограничений по величине партии груза и количеству пунктов на маршруте на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей.

3. Разработано программное обеспечение по определению рациональных маршрутов доставки груза в торговые точки с распределительного центра с

учетом ограничений по величине партии груза и по количеству пунктов на маршруте.

4. Приведены результаты применения предложенного метода, решения задачи маршрутизации с ограничениями по величине партии груза и количеству пунктов на маршруте на примере компании ОАО «Магнит».

5. Разработан метод маршрутизации транспорта с учетом ограничения обратного груза на маршруте на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей, позволяющий включать совмещенные маршруты на основе использования функции выгоды.

6. Решена задача маршрутизации транспорта при доставке груза в торговые точки с распределительного центра по кольцевым и маятниковым маршрутам с учетом ограничения обратного груза на маршруте на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей.

7. Разработано программное обеспечение по определению оптимальных маршрутов доставки груза в торговые точки с распределительного центра материальных потоков с учетом ограничения обратного груза, разработанным методом.

8. Приведены результаты применения предложенным методом, решения задачи маршрутизации с ограничением обратного груза на примере компании ОАО «Магнит».

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРИ ДОСТАВКЕ ГРУЗА ПО КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ

4.1. Методические аспекты определения местоположения распределительного центра грузовых потоков

Расходы, связанные с транспортировкой товара, существенно зависят от местонахождения распределительного центра. Чем он ближе к потребителям, тем расходы меньше. Поэтому провайдеры логистических услуг выбирают крупные региональные центры и города с миллионным населением, где большой покупательский спрос и разветвленная информационная и транспортная сеть. Определение местоположения региональных центров, осуществляющих распределение материальных потоков в рассматриваемой территориальной зоне, является первостепенной задачей маршрутизации. Для ее решения привлекают различные эвристические, приближенные и точные методы, рассмотренные в главе 1. В настоящее время нет единого подхода для ее решения. Поэтому в работе используется точный метод фиктивных узлов и ветвей, позволяющий посещать пункты транспортной сети несколько раз, который имеет большое преимущество при сравнении с другими методами.

Реальные маршруты на карте представляют криволинейную траекторию. Недостатком всех исследований является не учет этого обстоятельства вообще или оно отражается в математической модели косвенно.

Рассмотрим методику определения местоположения ЦР, учитывая кривизну маршрута.

Для расчета координат распределительного центра на карте используем метод определения точки центра масс, известного из курса теоретической механики [1]:

$$x_c = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_i x_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i}, \quad (4.1)$$

$$y_c = \frac{f_1 y_1 + f_2 y_2 + \dots + f_i y_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i}. \quad (4.2)$$

где x_c и y_c – координаты расположения грузового центра тяжести;

x_i и y_i – координаты i -го пункта;

f_i – масса груза в пункте.

В качестве критерия исследователи выбирают транспортную работу, тариф, стоимость, длину, время, расход топлива и другие, а также их комбинации.

Следует отметить, что физическая природа процесса доставки груза состоит из двух этапов, которые не могут существовать отдельно друг от друга – движение по криволинейному маршруту и простои в пунктах разгрузки или погрузки.

В качестве основного параметра в формулах (4.1) и (4.2), адекватно описывающего процесс движения груженого автомобиля, включая холостые проходы, является полная работа. Она состоит из транспортной работы, затрачиваемой на перемещение груза и работы, которая тратится на движение автомобиля:

$$P_i = P_i^{zp} + P^{авт}, \quad (4.3)$$

где P_i^{zp} – транспортная работа на перемещение груза;

$P^{авт}$ – работа на перемещение автомобиля.

По определению работа есть произведение постоянной силы на путь [1]. Тогда формула (4.3) для ветви имеет вид:

$$P_i = (q_i + Q_i) l_i, \quad (4.4)$$

где q_i – масса груза в кузове автомобиля на ветви маршрута между соседними пунктами;

Q_i – собственная масса автомобиля;

l_i – длина ветви между соседними пунктами маршрута.

Учет собственного веса необходим, поскольку во многих перевозках масса автомобиля превышает массу груза в его кузове, а также, чтобы учесть во внимание холостой пробег.

Принимаем в качестве критерия транспортную работу. Из формул (4.1) и (4.2) получим координаты центра работы (ЦР):

$$x_c = \frac{P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_ix_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}, \quad (4.5)$$

$$y_c = \frac{P_1y_1 + P_2y_2 + \dots + P_iy_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}. \quad (4.6)$$

Здесь P_i – работа на i -ой ветви. Ее координаты на ветви обозначены через x_i и y_i .

По этим формулам можно находить их отдельно для каждого вида передвижения: маятникового, радиального и кольцевого, а также при их комбинации.

Чтобы найти работу, требуется сначала решить задачу маршрутизации при доставке груза через РЦ по критерию «минимальный пробег»:

$$L_i = \sum_{i=1}^m l_{ij} \rightarrow \min, \quad (4.7)$$

где m – число ветвей на маршруте.

Выберем в качестве критерия оптимизации кольцевого маршрута время T_i

$$T_i = \sum_{i=1}^m t_{ij} \rightarrow \min, \quad (4.8)$$

$$t_{ij} = t_{ij}^{\partial\phi} + t_j^{np} = \frac{l_{ij}}{v_{ij}} + t_j^{перем} q_j^{перем} + t_j^{\partial\phi}, \quad (4.9)$$

где t_{ij} – время нахождения на ветви,

$t_{ij}^{\partial\phi}$ – время движения от пункта i до вершины j ;

t_j^{np} – время простоя в пункте j по направлению движения;

$t_j^{перем}$ – время перемещения одной единицы массы;

$t_j^{\partial\phi}$ – время оформления документов на выезд из пункта;

$q_j^{перем}$ – масса груза, перемещающая в j -том пункте;

v_{ij} – скорость передвижения между пунктами на маршруте.

Таким образом, используется допущение, что время нахождения на ветви маршрута заканчивается при доставке товара в ее конечный пункт и начале движения из него в следующую за ним вершину.

Заменяем работу в формулах (4.5) и (4.6) на время и получаем координаты расположения временного центра (ВЦ)

$$X_c = \frac{t_1^{\partial\delta} x_1^{\partial\delta} + t_2^{\partial\delta} x_2^{\partial\delta} + \dots + t_i^{\partial\delta} x_i^{\partial\delta} + t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{\partial\delta} + t_2^{\partial\delta} + \dots + t_i^{\partial\delta} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}}, \quad (4.10)$$

$$Y_c = \frac{t_1^{\partial\delta} y_1^{\partial\delta} + t_2^{\partial\delta} y_2^{\partial\delta} + \dots + t_i^{\partial\delta} y_i^{\partial\delta} + t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{\partial\delta} + t_2^{\partial\delta} + \dots + t_i^{\partial\delta} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} \quad (4.11)$$

где $t_i^{\partial\delta}$ – время движения на участке маршрута;

t_i^{np} – время простоя в пункте на участке маршрута.

В работе исследуется плоская задача маршрутизации, и тогда маршрут представляет собой плоскую кривую. Заметим, что работа производится на участках только между пунктами разгрузки. Учет этого обстоятельства производится путем сосредоточения этой скалярной величины в точке центра масс линии ветви. Координаты однородной плоской кривой [1]:

$$x_c = \frac{\int_a^b x \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}, \quad (4.12)$$

$$y_c = \frac{\int_a^b y \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}. \quad (4.13)$$

Длина кривой находится по формуле:

$$l = \int_a^b \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx. \quad (4.14)$$

Выбор функции, описывающей траекторию маршрута происходит методом аппроксимации кривых [4]. В целях упрощения ее подбора маршрут можно

разбить на несколько участков со своими центрами масс, которые называются центрами транспортной работы.

При использовании кусочно-линейной аппроксимации центр масс будет находиться по середине прямой линии в точке C (рисунок 4.1). Ее можно рассматривать как первое приближение при решении задачи разбивки траектории маршрута.

Эпюра работы представляет собой прямоугольник высотой $q_i + Q$ и длиной l_i . Таким образом, учитывается кривизна маршрутов.

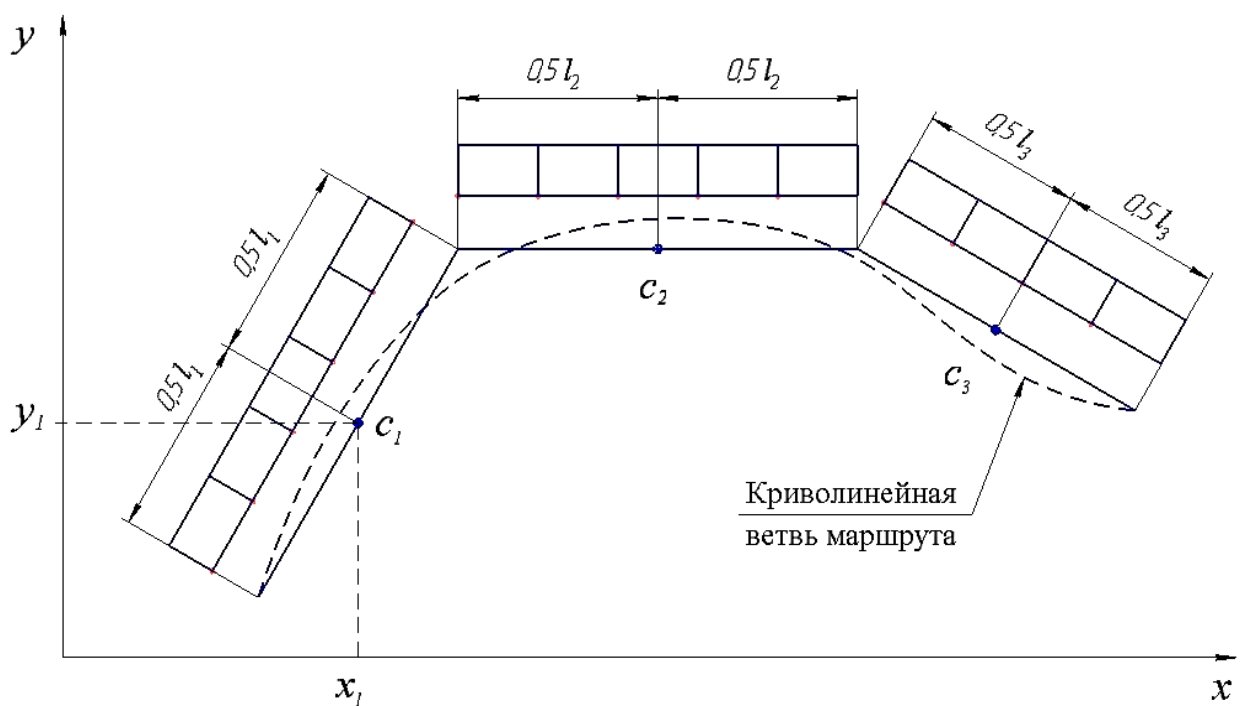


Рисунок 4.1 – Кусочно-линейная аппроксимация маршрута

Независимо от выбора критерия оптимизации сначала необходимо решить задачу маршрутизации, а для этого надо знать начало отсчета.

Для решения поставленной задачи используем эвристический подход. Ее алгоритм состоит из двух этапов. На первом определяется район местонахождения распределительного центра, где осуществляется координация грузовых потоков. Он находится вокруг грузового центра тяжести (ГЦТ), координаты которого вычисляется по формулам (4.1) и (4.2). Его граница проходит через расчетные узлы наиболее близко к нему расположенные на карте.

За узлы, принимаются грузовые пункты и перекрестки дорог, а также точки перелома прямых ее участков. Для учета особенностей транспортной сети по указанию эксперта транспортной логистики могут назначаться дополнительные расчетные узлы.

На втором этапе находим местоположение РЦ с помощью критерия «транспортная работа» на маршруте. Особенностью проектирования является тот факт, что дорог между ГЦТ и узлами, как правило, нет. Поэтому, за начало отсчета поочередно принимаются выбранные расчетные узлы, расположенные вокруг ГЦТ на дорогах. Если требуется рассчитать маятниковые или радиальные маршруты минимальной длины, то используем метод «Метлы», программа которого представлена в приложении Е диссертации.

Для нахождения кольцевых схем передвижения применяется метод ФУВ с ограничениями, который позволяет посещать вершины транспортного графа несколько раз.

Представим маршрут в виде плоской кривой на карте. Разбиваем его между узлами на отдельные участки и производим их аппроксимацию известными функциями из курса высшей математики. В первом приближении можно использовать кусочно-линейную аппроксимацию. Находим на каждом участке длину (4.14), а также координаты центра тяжести описанной кривой (4.12) и (4.13). Вычисляем на нем транспортную работу по формуле (4.4) и прикладываем ее в центре тяжести кривой. По формулам (4.5) и (4.6) рассчитываем координаты центра тяжести работы. Их количество в первом приближении должно быть не менее трех. Находим средние значения координат, которые фиксируют местонахождение распределительного центра.

РЦ может оказаться очень близко к дороге или достаточно далеко от нее. В первом случае затраты на новую подъездную дорогу будут незначительными. Во втором варианте, при отказе от проекта строительства новой дороги региональный центр переносим в узел с наименьшей транспортной работой. Если расстояние между двумя расчетными узлами велико, то вводим между ними дополнительные узлы.

Усовершенствованная методика решения состоит из нескольких этапов.

1 этап. Определяем район нахождения распределительного центра осуществляющий координацию товарных потоков.

- 1.1. Выбираем критерий целевой функции «масса» или «время».
- 1.2. По формулам (4.1) и (4.2) вычисляем координаты грузового или временного центра масс.
- 1.3. Находим по карте расчетные узлы, расположенные на дорогах

2 этап. Вычисляем местоположение РЦ с помощью критерия «транспортная работа» или «времени».

- 2.1 Ставим поочередно начало отсчета в расчетных узлах.
- 2.2 Проектируем методом «Метлы» оптимальные маятниковые и радиальные маршруты с помощью критерия «минимальная длина» или «время».
- 2.3 Рассчитываем кольцевые маршруты методом ФУВ с ограничениями грузоподъемности и количества пунктов с помощью критерия минимальной длины или времени.
- 2.4 Разбиваем маршрут между узлами на участки и выполняем аппроксимацию траектории передвижения.
- 2.5 Находим на каждом участке длину ветви по выражению (4.14) и координаты ее центра тяжести по формулам (4.12) и (4.13).
- 2.6 Вычисляем на каждом участке спроектированного маршрута транспортную работу по формуле (4.4) или время движения и простоя по формуле (4.9).
- 2.7 Полную работу и время рассчитываем при движениях по маршруту в прямом и обратном направлениях.
- 2.8 Используем в дальнейших расчетах их наименьшие значения.
- 2.9 По формулам (4.5) и (4.6) рассчитываем координаты общего центра тяжести транспортной работы (ЦР) или центра времени (ЦВ) по выражениям (4.10) и (4.11).

2.10 Рассчитываем среднее положение ЦР или ЦВ, найденное по расчетным узлам.

2.11 Ставим на карте среднюю точку и располагаем в ней РЦ.

Наличие кривизны маршрута соответствует физической природе перевозки и позволяет более точно определить местоположение распределительного центра, осуществляющего координацию материальных потоков, так как транспортная работа выполняется на ветви между пунктами, а не в них.

Доставка товара в магазины имеет свои особенности. Она осуществляется тремя видами маршрутов: развозочным, сборным и развозочно-сборным (рисунок 4.2). Известна дислокация пунктов транспортной сети и расстояния между ними l_i . Масса автомобиля в снаряженном состоянии равна Q^{abt} . Грузоподъемность автомобиля ограничена величиной E . Количество пунктов на маршруте не может быть более e .

Определение сборочного маршрута можно находить отдельно. Расчет маршрутизации развозочного и развозочно-сборного маршрутов производится совместно. Особенностью модели является ввод ориентированных ветвей между базой обратного груза и РЦ. Анализ схем передвижения с обратным грузом показывает, что в крупных населенных пунктах ездка за обратным товаром из мелких пунктов не практикуется. Обратный груз накапливается на базах и складах, а потом перевозится на РЦ специальными рейсами. Поэтому на рисунке 4.2 весь обратный груз сосредоточен на одной базе (рис.4.2).

Следует отметить, что решение задачи маршрутизации для развозочно-сборного маршрута аналогично, как и при развозочной схеме передвижения, но с ограничением. Оно означает, что на базу за обратным грузом можно ехать только после посещения последнего пункта разгрузки. Чтобы выполнить эти условия используется метод блокировки.

Транспортную работу при перемещении по маятниковым и радиальным маршрутам с баз, складов и других федеральных центров можно вычислить отдельно. При необходимости работа по кольцевым маршрутам дополняется

работой по передвижению этой части груза в РЦ. Для определения маршрута движения по маятниковому маршруту используется метод «Метлы».

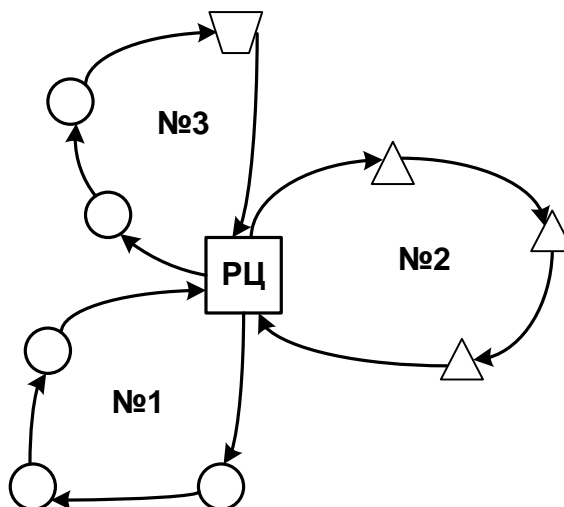


Рисунок 4.2 – Комбинированная схема перевозки товаров повседневного спроса:

№ 1 – развозочный маршрут по пунктам ○ ;

№ 2 – сборочный маршрут по пунктам △;

№ 3 – развозочно-сборный маршрут из базы обратного груза □

Целевой функцией задачи маршрутизации является минимизация длины всех маршрутов (4.7). Расстояние между пунктами устанавливается по карте.

Стоимость, тариф и транспортная работа не могут быть целевой функцией, так как они зависят от изменчивости количества товара в кузове автомобиля и длины l_{ij} . Однако маршрут неизвестен, и его надо еще найти. Это является целью данного исследования. Время нахождения на маршруте неограничено.

Переходим к математической формулировке поставленной задачи. Доставка товара повседневного спроса осуществляется при комбинированной схеме, которая включает маятниковые, радиальные и кольцевые схемы передвижения.

При маятниковой развозке груз с РЦ передвигается по α маршрутам в единицах массы:

$$F_M^{раз} = M_1^{раз} + M_2^{раз} + \dots + M_\alpha^{раз} = \sum_{i=0}^{\alpha} M_\alpha^{раз}. \quad (4.15)$$

Товар собирается на РЦ при маятниковой схеме передвижения по β маршрутам в единицах массы:

$$F_M^{сбор} = M_1^{сбор} + M_2^{сбор} + \dots + M_\beta^{сбор} = \sum_{i=0}^{\beta} M_\beta^{сбор}. \quad (4.16)$$

При радиальной схеме передвижения развозка товара с РЦ выполняется по γ маршрутам в единицах массы:

$$F_P^{раз} = P_1^{раз} + P_2^{раз} + \dots + P_\gamma^{раз} = \sum_{i=0}^{\gamma} M_\gamma. \quad (4.17)$$

Товар собирается на РЦ при радиальной схеме передвижения по σ маршрутам в единицах массы:

$$F_P^{сбор} = P_1^{сбор} + P_2^{сбор} + \dots + P_\sigma^{сбор} = \sum_{i=0}^{\sigma} M_\sigma^{сбор}. \quad (4.18)$$

Однородный товар развозится по m кольцевым маршрутам в количестве $Q_1, Q_2 \dots Q_m$ в единицах массы. Его общее количество находим по формуле:

$$F_Q^{раз} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m = \sum_{i=0}^m Q_m. \quad (4.19)$$

На i -ом кольцевом маршруте имеется $\kappa \leq e$ пунктов, в них последовательно развозится груз:

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k = \sum_{i=1}^k \mu_k \leq E. \quad (4.20)$$

В РЦ собирается груз на n маршрутах в количестве $G_1, G_2 \dots G_n$ в единицах массы.

Их общее количество находим по формуле:

$$F^{сбор} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{j=1}^n G_n. \quad (4.21)$$

На некотором i – том кольцевом маршруте существует $s \leq e$ пунктов, из которых происходит погрузка груза в автомобиль в количестве, которое рассчитывается по формуле:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_s = \sum_{i=1}^s g_s \leq E. \quad (4.22)$$

Обратный груз доставляется в РЦ по количеству маршрутов φ величиной $D_1, D_2, \dots, D_\varphi$ в единицах массы.

Общую массу находим по формуле:

$$F^{обрат} = D_1 + D_2 + \dots + D_\varphi = \sum_{i=1}^{\varphi} D_\varphi. \quad (4.23)$$

На некотором i -ом кольцевом маршруте погрузка обратного груза произведена в $\omega \leq e$ пунктах, определенных формулой:

$$\partial_1 + \partial_2 + \dots + \partial_\omega = \sum_{i=1}^{\omega} \partial_\omega \leq E. \quad (4.24)$$

Таким образом, вывоз груза из РЦ по маятниковой, радиальной и кольцевой схемам, согласно формулам (4.15), (4.17), (4.19) будет равен в единицах массы:

$$F^{раз} = F_M^{раз} + F_P^{раз} + F_Q^{раз}. \quad (4.25)$$

Сбор товара по формулам (4.12), (4.14), (4.17), (4.19) равен:

$$F^{сбор} = F_M^{сбор} + F_P^{сбор} + F^{сбор} + F^{обрат}. \quad (4.26)$$

Основным условием эффективности работы представленной модели доставки груза является обеспечение равенства объема завозимого и вывозимого грузов на РЦ по всем маршрутам:

$$F^{сбор} = F^{зав}. \quad (4.27)$$

Требуется составить маршруты доставки груза через РЦ.

4.2. Численный пример определения местоположения распределительного центра грузовых потоков для маятниковых маршрутов

Рассмотрим на численном примере более подробно методику определения координат РЦ. К нему по маятниковым маршрутам могут перемещаться грузы из федеральных центров, портов и других РЦ. Из рассматриваемого

распределительного центра груз может вывозиться в большие супермаркеты и на другие базы автомобилями большой грузоподъемности.

Для решения задачи маршрутизации используется метод «Метлы», используя который можно найти кратчайший маршрут передвижения от начального узла до потребителя. Автомобиль совершает обратный груженный пробег (методика решения представлен в разделе 4).

Кратко остановимся на его основных моментах. На первом этапе вычисляем координаты грузового центра тяжести по формулам теоретической механики. Принимаем гипотезу район местоположения распределительного центра находится вокруг грузового центра тяжести. Его граница проходит через узлы, наиболее близко расположенные к последнему.

На втором этапе находим рациональное местоположение распределительного центра. Для этого выстраиваем ход работы, которая представлена в виде прямоугольной эпюры на каждой ветви маршрута. Вычисляем координаты ее центра тяжести. Находим величину работы вокруг координатных осей на каждой хорде. Вычисляем по выражениям (4.5) и (4.6) координаты общего центра работы (ЦР) для каждого маршрута и наносим их на карту. Определяем средние координаты по всем ЦР. Показываем эту точку на карте и располагаем в ней РЦ.

Методику применения предложенного алгоритма рассмотрим на численном примере из 7 баз.

Дислокация транспортной сети представлена на рисунке 4.3 и в таблице 4.1.

Масса груза при сумме разгрузки и погрузки в пунктах одинаковая и в сумме равна П1 – 2000 т; П2 – 1000 т; П3 – 5000 т; П4 – 3000 т; П5 – 2000 т; П6 – 1000 т; П7 – 3000 г. Автомобиль совершает обратный груженный пробег.

Между потребителями П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7 ветви аппроксимированы - линейными функциями. В качестве критерия оптимизации транспортного процесса выбирается транспортная работа.

Требуется определить координаты местоположения распределительного центра.

Таблица 4.1 – Исходные данные

№ точки	X, км	Y, км	№ точки	X, км	Y, км
1	2	3	4	5	6
П1	0	1320	П4	680	1040
а	120	1240	н	440	800
б	200	1000	П5	80	200
в	400	1000	к	200	400
ж	520	875	л	400	400
8	713	875	и	520	600
П2	320	1200	з	520	680
П3	920	1320	П6	500	140
е	720	1320	П7	800	260
д	520	1160	м	840	440
г	600	1000			

Результаты расчета по разработанной методике представлены на рисунке 4.4 и в таблице 4.2. Транспортная работа записана только в одном направлении. При увеличении ее в два раза координаты не изменятся. При выполнении первого этапа определяется точка грузового центра тяжести по формулам (4.1) и (4.2) - вершина № 8. Ее координаты: $X_C = 713$ км, $Y_C = 875$ км.

На втором этапе вычисляем месторасположение РЦ с помощью критерия «транспортная работа». Находим расчетные узлы, расположенные вокруг центра тяжести: ж, н, з. Поочередно располагаем в них начало отсчета.

Рассмотрим в качестве примера узел № 8. Расчеты производим в табличной форме. Методом "Метлы" рассчитываем кратчайшие расстояния от узла № 8 до всех баз. Получаем маятниковые маршруты: П1-а-б-в-ж-8, П2-б-в-ж-8, П3-е-д-г-8, П4-2-8, П5-к-л-и-з-8, П6-л-и-з-8, П7-м-и-з-8.

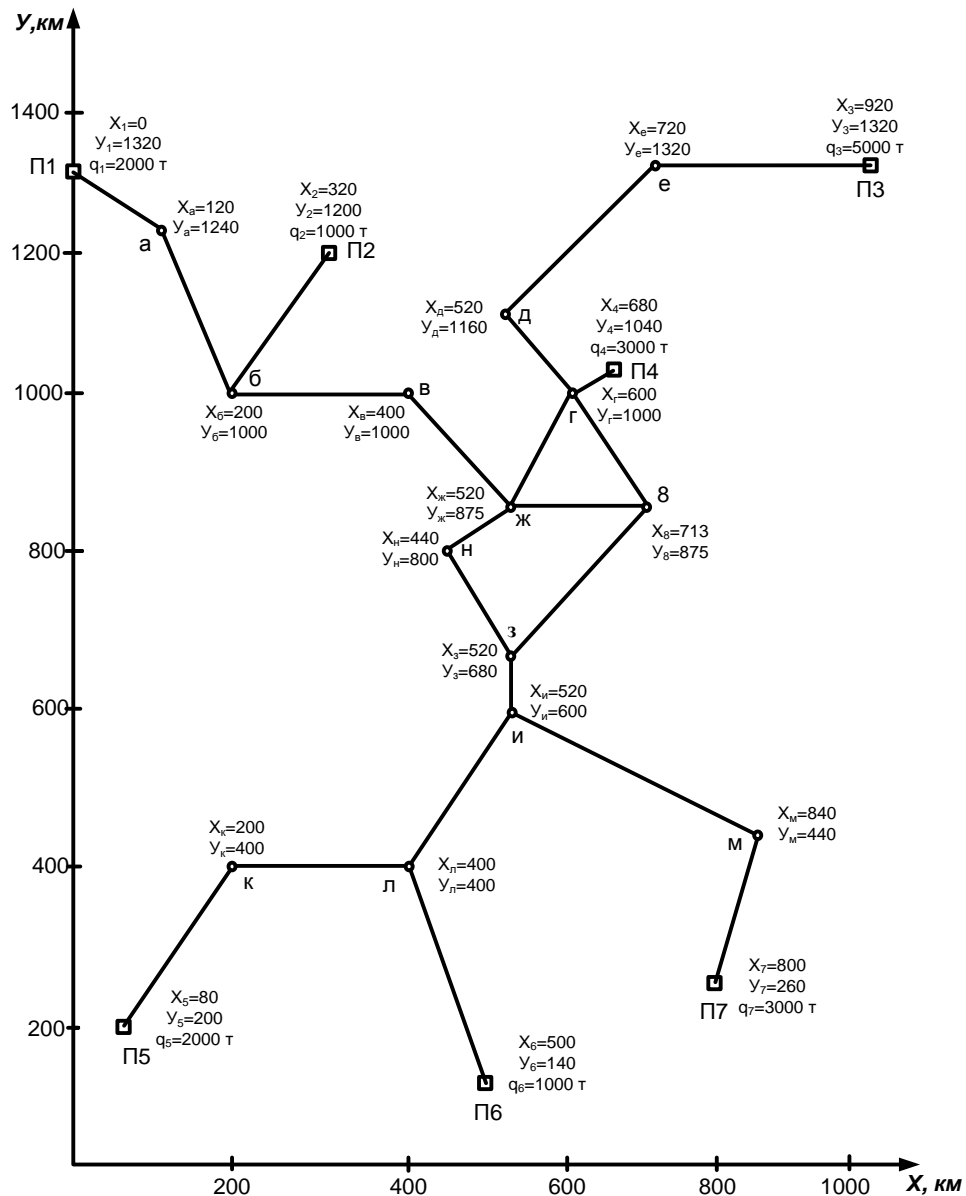


Рисунок 4.3 – Дислокация транспортной сети

Вычисляем длину каждой ветви и записываем в столбец 6. Определяем транспортную работу, которая представлена в виде прямоугольной эпюры на каждой ветви маршрута, показанную в столбце 7. Вычисляем по карте координаты ее центра тяжести, представленные в столбцах 3 и 4 таблицы 4.2. Находим величину транспортной работы вокруг координатных осей на каждой хорде, столбцы 8 и 9. Вычисляем координаты общего центра транспортной работы ($ЦР_8$) для всех маршрутов по формулам (4.5) и (4.6):

$$X_c^8 = \frac{7171432520}{13115300} = 546,8 \text{ км}, \quad Y_c^8 = \frac{10788623590}{13115300} = 822,6 \text{ км}.$$

Таблица 4.2 – Расчеты ЦР₈

№	участок	x, км	y, км	M _α , т	l, км	P=q·l, т км	Px, т км ²	Py, т км ²
П1	П1-а	60	1280	2000	144,2	288,400	1730400	369152000
	а-б	160,6	1118,1		253	506000	1263600	565758600
	б-в	300	1000		200	400000	120000000	400000000
	в-ж	460	937,3		173,3	346600	159436000	324868180
	ж-8	616	875		193	386000	237776000	337750000
П2	П2-б	260	1099,9	1000	233,2	233200	60655320	256496680
	б-в	300	1000		200	200000	60000000	200000000
	в-ж	460	937,3		173,3	173300	79718000	162434090
	ж-8	616	875		193	193000	118888000	168875000
П3	П3-е	820	1320	5000	200	1000000	820000000	1320000000
	е-д	620	1239,9		256,1	1280500	793910000	1587691950
	д-г	560	1079,4		178,9	894500	500920000	965523300
	г-8	656,2	937,5		168,5	842500	552848500	789843750
П4	П4-2	640,3	1019,4	3000	89,44	268200	171728460	271793880
	2-8	656,2	937,5		168,5	505500	331709100	473906250
П5	П5-к	139,9	299,9	2000	233,2	466,400	65249360	139873360
	к-л	300	400		200	400000	120000000	160000000
	л-и	460	499,9		233,2	466400	21454400	233153360
	и-з	520	640		80	160000	83200200	102400000
	з-8	616,6	777,4		274,4	548800	338390080	426637120
П6	П6-л	450	269,9	1000	278,6	278600	125370000	75194140
	л-и	460	499,9		233,2	233200	107272000	116576680
	и-з	520	640		80	80000	41600000	51200200
	з-8	616,6	777,4		274,4	274400	195040	213318560
П7	П7-м	820	350	3000	184,4	553200	453624000	193620000
	м-и	680,1	520		357,8	1073400	730019340	558168000
	и-з	520	640		80	240000	124800000	153600000
	з-8	616,6	777,4		274,4	823200	507585120	639955680

Наносим полученную точку на карту, рисунок 4.4. Для других узлов координаты ЦР_ж, ЦР_н, ЦР_з находятся аналогично, таблицы 4.3, 4.4, 4.5. Их

расположение показано на рисунке 4.4. Определяем средние координаты по ЦР₈, ЦР_ж, ЦР_н, ЦР_з. Показываем эту точку на карте и располагаем в ней РЦ.

Таблица 4.3 – Расчеты ЦРж

№	участок	х, км	у, км	Ма, т	l, км	$P=q \cdot l$, т км	Px , т км ²	$Pу$, т км ²
П1	П1-а	60	1280	2000	144,2	288400	17304000	369152000
	а-б	160,6	1118,1		253	506000	81263600	565758600
	б-в	300	1000		200	400000	120000000	400000000
	в-ж	460	937,3		173,3	346600	159436000	324868180
П2	П2-б	260,1	1099,9	1000	233,2	233200	60655320	256496680
	б-в	300	1000		200	200000	60000000	200000000
	в-ж	460	937,3		173,3	173300	79718000	162434090
П3	П3-е	820	1320	5000	200	1000000	820000000	1320000000
	е-д	620	1239,9		256,1	1280500	79391000	1587691950
	д-г	560	1079,4		178,9	894500	500920000	965523300
	г-ж	560	937,5		148,4	742000	415520000	695625000
П4	П4-2	640,3	1013,4	3000	89,4	268200	171728460	271793880
1	2	3	4		5	6	7	8
	2-ж	560	937,5		148,4	445200	249312000	417375000
П5	П5-к	139,9	299,9	2000	233,2	466400	65249360	139873360
	к-л	300	400		200	400000	120000000	160000000
	л-и	460	499,9		233,2	466400	214544000	233153360
	и-з	520	640		80	160000	83200200	102400000
	з-н	480	740		144,2	288400	138432000	213416000
	н-ж	480	837,5		109,7	219400	105312000	183747500
П6	П6-л	450	269,9	1000	278,6	278600	125370000	75194140
	л-и	460	499,9		233,2	233200	107272000	116576680
	и-з	520	640		80	144200	41600000	51200000
	з-н	480	740		144,2	109700	69216000	106708000
	н-ж	480	837,5		109,7	553200	51792000	91873750
П7	П7-м	820	350	3000	184,4	553200	453624000	193620000
	м-и	680	520		357,8	1073400	730019340	558168000
	и-з	520	640		80	240000	124800000	153600000
	з-н	480	740		144,2	432600	207648000	320124000
	н-ж	480	837,5		109,7	329100	157968000	275621250

Координаты ЦР_ж:

$$X_C^{\text{ж}} = \frac{5852198300}{12252500} = 477,63 \text{ км}, \quad Y_C^{\text{ж}} = \frac{9916249502}{12252500} = 809,3 \text{ км}$$

Таблица 4.4 – Расчеты ЦР_з

№	участок	х, км	у, км	М _а , т	l, км	P=q·l, т км	Px, т км ²	Py, т км ²
П1	П1-а	60	1280	2000	144,2	288400	1730400	369152000
	а-б	160,6	1118,1		253	506000	81263600	565758600
	б-в	300	1000		200	400000	120000000	400000000
	в-ж	460	937,3		173,3	349600	159436000	325868180
	ж-н	480	837,5		109,7	219400	105312000	183747500
	н-з	480	740		144,2	288400	138432000	213416000
П2	П2-б	260	1099,9	1000	233,2	233200	60655320	256496680
	б-в	300	1000		200	206000	60000000	200000000
	в-ж	460	937,3		173,3	173300	79718000	162434090
	ж-н	480	837,5		109,7	109700	51792000	91873750
	н-з	480	740		144,2	144200	69216000	106708000
П3	П3-е	820	1320	5000	200	1000000	820000000	1320000000
	е-д	620	1239,9		256,1	1280500	793910000	1587691950
	д-г	560	1079,4		178,9	894500	500920000	965523300
	г-ж	560	937		148,4	742000	415520000	696523300
	ж-н	480	837,5		109,7	548500	263280000	495368750
	н-з	480	740		144,2	721000	34608000	533540000
П4	П4-г	640,3	1013,4	3000	89,4	268200	171726460	271793880
	г-ж	560	937,5		148,4	445200	249312000	417315000
	ж-н	480	837,5		109,7	329100	157968000	275621250
	н-з	480	740		144,2	432600	207648000	320124000
П5	П5-к	139,9	299,9	2000	233,2	466400	65249360	139873360
	к-л	300	400		200	400000	120000000	160000000
	л-и	460	499,9		233,2	466400	214544000	233153360
	и-з	520	640		80	160000	83200200	102400000
П6	П6-л	450	269,9	1000	278,6	278600	125370000	75194140
	л-и	460	499,9		233,2	233200	107272000	116576680
	и-з	520	640		80	80000	41600000	51200000
П7	П7-м	820	350	3000	184,4	553200	453624000	193620000
	м-и	680,1	520		357,8	1073400	730019340	558168000
	и-з	520	640		80	240000	124800000	153600000

Координаты ЦР₃:

$$X_3 = \frac{6919600689}{13531100} = 511,4 \text{ км}, \quad Y_3 = \frac{11754259740}{13531100} = 868,7 \text{ км}.$$

Таблица 4.5 – Расчеты РЦн

№	участок	х, км	у, км	q, т	l, км	P=q·l, т км	Px, т км ²	Py, т км ²
П1	П1-а	60	1280	2000	142,2	288400	17304000	369152000
	а-б	160,6	1118,1		253	506000	81263600	565758600
	б-в	300	1000		200	400000	120000000	400000000
	в-ж	460	937,3		173,3	346600	15943600	324868180
	ж-н	480	837,5		109,7	219400	105312000	183745500
П2	П2-б	260,1	1099,1	1000	233,3	23320	60655320	256496680
	б-в	300	1000		200	200000	60000000	200000000
	в-ж	460	937,3		173,3	173300	79718000	162434090
	ж-н	480	837,5		109,7	109700	52656000	91837750
П3	П3-е	820	1320	5000	200	1000000	820000000	1320000000
	е-д	620	1239,9		256	1280500	793910000	1587691950
	д-г	560	1079,4		178,9	894500	500920000	965523300
	г-ж	560	937,5		148,4	742000	415520000	695625000
	ж-н	480	837,5		109,7	548500	263280000	459368750
П4	П4-г	430,3	1013,4	3000	89,4	268200	171728460	271793880
	г-ж	560	937,5		148,4	445200	249312000	417315000
	ж-н	480	837,5		109,7	329100	57968000	275621250
П5	ПК-5	139,9	299,9	2000	233,2	466400	65249360	134873360
	к-л	300	400		200	400000	120000000	160000000
	л-и	460	499,9		232,2	466400	214544000	233153300
	и-з	520	640		80	160000	83200200	102400000
	з-н	480	740		144,2	288400	138432000	213416000
П6	П6-л	450	269,9	1000	278,6	278600	125370000	75194140
	л-и	460	499,9		233,3	233200	107272000	116576680
	и-з	520	640		80	80000	41600000	51200000
	з-н	480	740		144,2	144200	69216000	106708000
П7	П7-м	820	350	3000	184,4	553200	453624000	193620000
	м-и	680,1	520		357,8	1073400	730019340	558168000
	и-з	520	640		80	240000	124800000	153600000
	з-н	480	740		144,2	423600	207648000	320124000

Координаты ЦР_н:

$$X_H = \frac{6437787080}{12801009} = 502,91 \text{ км}, \quad Y_H = \frac{10971303410}{12801009} = 857,1 \text{ км}.$$

Координаты представлены в таблице 4.6.

Вместе ЦР_ж, ЦР_н, ЦР_з, ЦР₈ образуют область, в которой находится региональный распределительный центр. Его местоположение можно уточнить, вычислив средние координаты, таблица 4.6. На рисунок 4.4 он обозначен как РЦ.

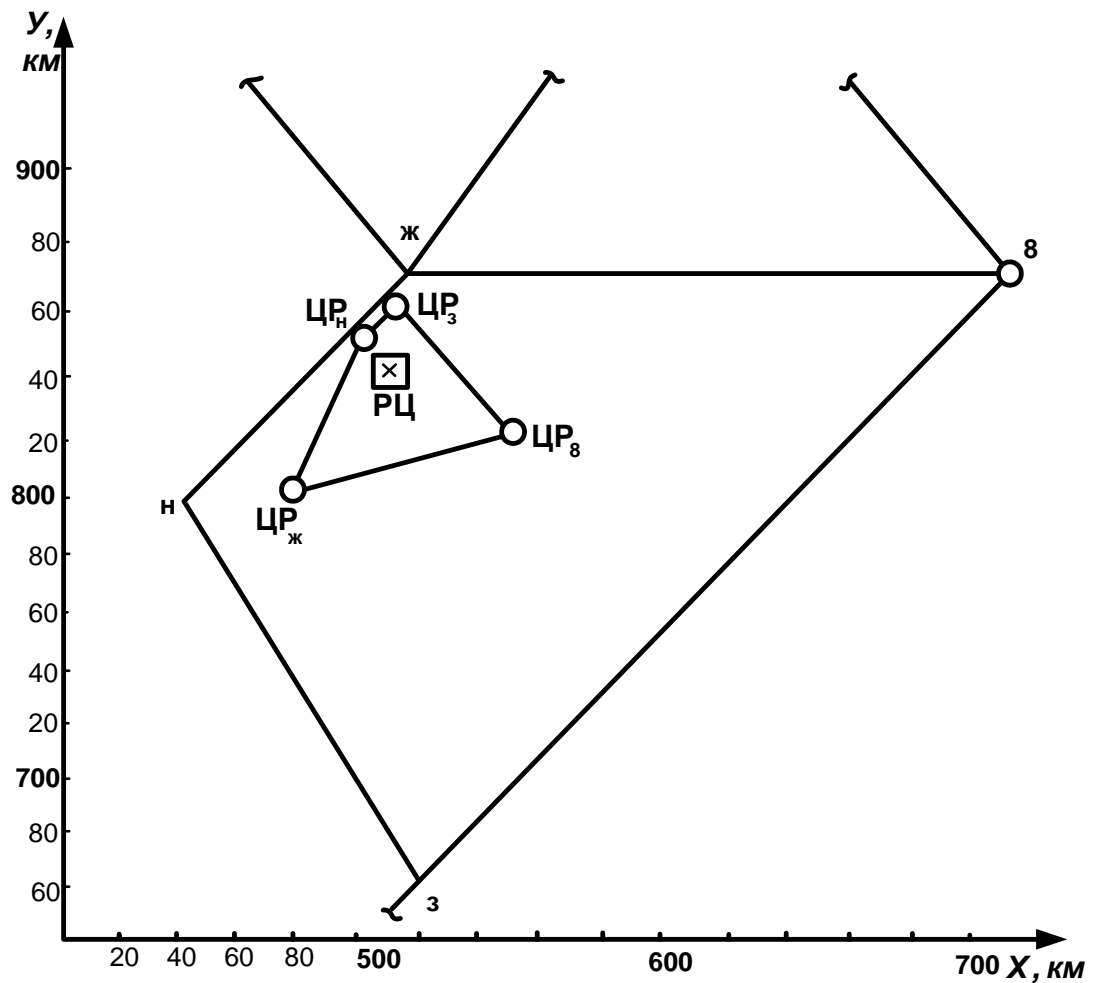


Рисунок 4.4 – Фрагмент транспортной сети

Сравним координаты узла 8 на рис 4.4, найденные по формулам (4.1) и (4.2) с координатами, представленными в таблице 4.6, найденные по формулам:

$$\Delta_X = \frac{713 - 501,7}{713} 100\% = 29,6\%, \quad \Delta_Y = \frac{875 - 839,4}{875} 100\% = 4,07\% .$$

Таблица 4.6 – Результаты расчета РЦ

№ узла	№ центра	x , км	y , км	$\sum P$, т км	$\sum Px$, т км ²	$\sum Py$, т км ²
8	ЦР8	546,8	822,6	13115300	7171432520	10788623590
ж	ЦРж	477,6	809,3	12252500	5852198300	9916249502
н	ЦРн	502,9	857,1	12801009	6437787080	10971303410
з	ЦРз	511,4	868,7	13531190	6919600689	11754259470
средние координаты		501,7	839,4			

Таким образом, отклонение – значительное. РЦ расположен ближе к узлу *ж*, чем вершина 8. Именно из узла *ж* выходят маршруты с наименьшей транспортной работой. Тогда можно утверждать, что достижение целевой функции в виде минимизации транспортной работы дает более точный результат по сравнению с критерием «масса груза».

4.3. Численный пример определения местоположения распределительного центра грузовых потоков для кольцевых маршрутов

Рассмотрим задачи маршрутизации для нескольких транспортных средств выходящих из одного распределительного центра. Введены ограничения по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности автомобиля. Доставки товара соответствует комбинированной схеме передвижения.

Для учета ограничений используется эвристический подход. Маршрут определяется с помощью метода фиктивных узлов и ветвей, приведенного в главе 2.

Рассмотрим два примера решения задачи по определению местонахождения РЦ, используя критерий работы и времени.

Пример 1.

Кратко перечислим его основные моменты. На первом этапе определяем район наиболее вероятного местонахождения распределительного центра. Вычисляем координаты грузового центра тяжести по формулам теоретической механики. В качестве массы возьмем количество груза в пунктах.

Район местоположения распределительного центра находится вокруг грузового центра тяжести. Его граница проходим через узлы, наиболее близко расположенные к нему.

За узлы принимаем грузовые пункты и перекрестки дорог, а также точки перелома направления прямолинейного движения.

Для учета особенностей транспортной сети по указанию эксперта транспортной логистики возьмем дополнительные расчетные узлы.

На втором этапе определяем рационального местоположение распределительного центра.

Дорог между центром тяжести и узлами нет. Поэтому рассчитываем кольцевые маршруты, выходящие из узловых точек.

Таким образом, задача маршрутизации сведена к нахождению одного кольца, проходящего через узловую точку несколько раз. Возможность ограничения находим эвристическим методом блокировки. Определяем транспортную работу, которая представлена в виде прямоугольной эпюры на каждой ветви маршрута.

Вычисляем координаты ее центра тяжести. Находим величину транспортной работы вокруг координатных осей на каждой хорде.

Вычисляем координаты общего центра транспортной работы (ЦТР) для каждого маршрута и наносим их на карту.

Определяем средние координаты по всем ЦТР. Показываем эту точку на карте и располагаем в ней РЦ.

Методику применения предложенного алгоритма рассмотрим на численном примере.

Транспортная сеть показана на рисунке 4.5. Расстояния между пунктами представлены кусочно-линейными отрезками. Она содержит в пунктах разгрузки товара: № 1 – 0,5 т; № 2 – 1 т; № 3 – 0,5 т; № 4 – 1,2 т; № 5 – 0,75 т; № 6 – 1 т. Грузоподъемность автомобиля ограничена 3 т. Его масса 3,7 т. Количество пунктов на маршруте ограничено тремя пунктами.

Требуется найти координаты рационального местоположения распределительного центра, используя критерий «транспортная работа». Имеются два варианта местоположения распределительного центра на федеральной трассе РЦ1 и РЦ2. Выбрать рациональный вариант расположения РЦ.

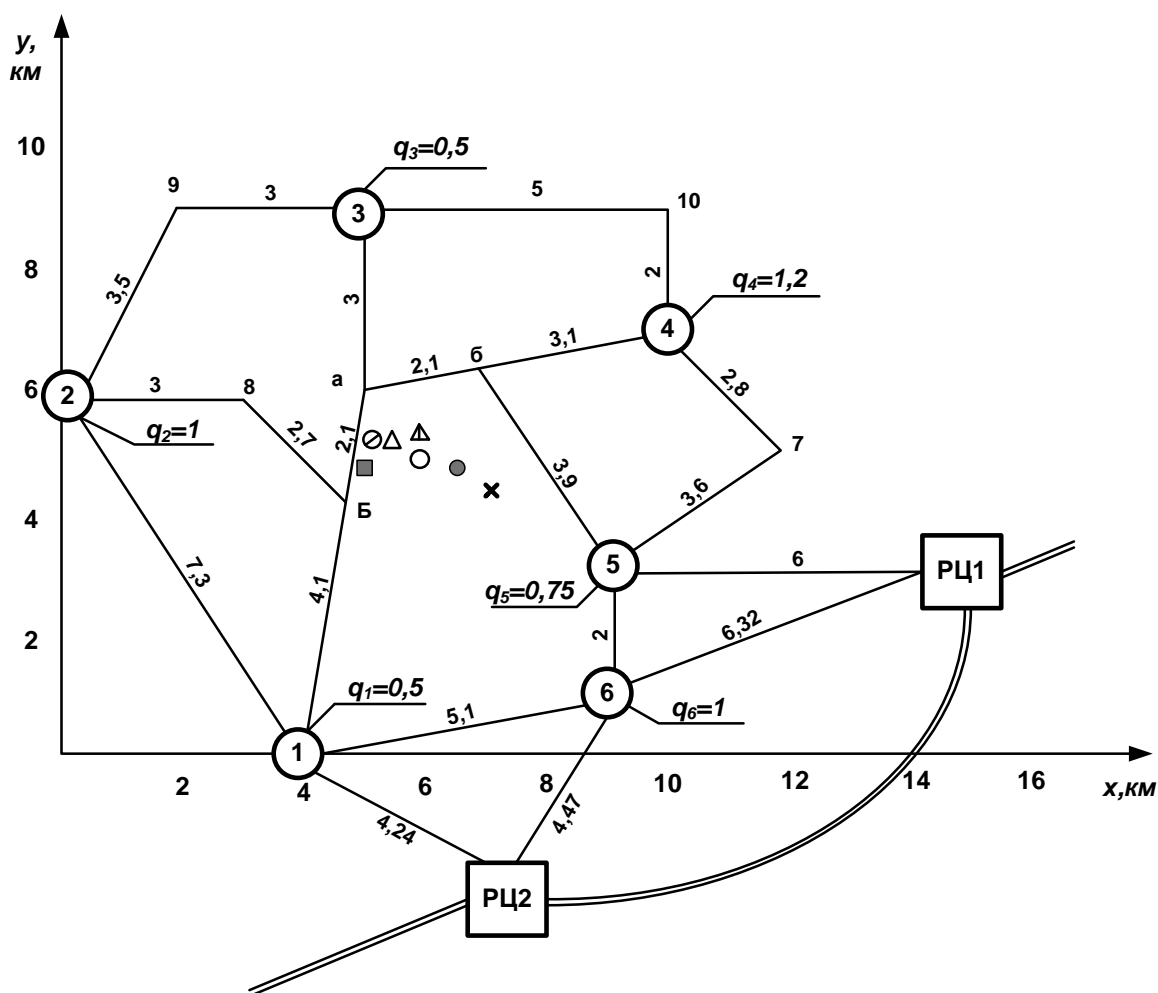


Рисунок 4.5 – Транспортная сеть:

- – РЦ из узла 1; ● – РЦ из узла 5; X – РЦ из узла 6; = – федеральная трасса;
- ⊙ – РЦ из пункта б; ○ – РЦ из узла Б; △ – средние координаты РЦ;
- – Центр тяжести; △ – РЦ из пункта а

Находим координаты грузового центра тяжести по формулам теоретической механики:

$$x_c = \frac{q_1 x_1 + q_2 x_2 + \dots + q_6 x_6}{q_1 + q_2 + \dots + q_6} = \frac{0,5 \cdot 4 + 0,5 \cdot 5 + 1,2 \cdot 10 + 0,75 \cdot 9 + 1 \cdot 9}{4,95} = 6,5 \text{ км},$$

$$y_c = \frac{q_1 y_1 + q_2 y_2 + \dots + q_6 y_6}{q_1 + q_2 + \dots + q_6} = \frac{0 + 1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 9 + 1,2 \cdot 7 + 0,75 \cdot 3 + 1}{4,95} = 4,5 \text{ км}.$$

Ставим на карте \square , рисунок 4.5.

Намечаем узлы вокруг центра тяжести, наиболее близко расположенные к нему. Например, в качестве узлов можно принять пункты разгрузки: 1, 5, 6, а, б. В них поочередно располагаем начало отсчета двух кольцевых маршрутов. В общем случае можно установить дополнительные точки начала отсчета по рекомендации эксперта по транспортной логистике. В качестве примера рассмотрим пункт № 1 расчетным путем, а пункт а, с помощью разработанной программы Transportation № 2023664020 (Приложение Е).

Составляем фиктивную матрицу, таблица 4.7. Чтобы создать два кольцевых маршрута, проходящих через пункт 1, необходимо ввести дополнительные внешние фиктивные узлы до начала расчета в пункт 1 и РЦ. При этом расстояние между ними равно нулю. Принципиальная схема ввода фиктивных узлов показана на рисунке 4.6.

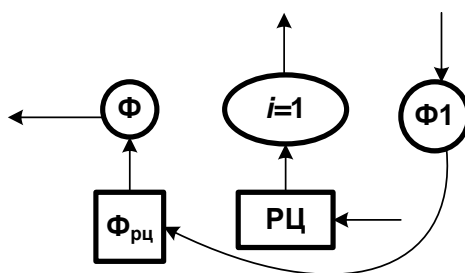


Рисунок 4.6 – Схема ввода фиктивных узлов

На самом первом шаге можно всегда удалить ориентированные ветви $\Phi 1 - \Phi_{рц}$, $РЦ - 1$, $\Phi_{рц} - \Phi$.

Выполняем операции приведения и оценку.

Таблица 4.7 – Исходная фиктивная матрица

	1	2	3	4	5	6	Ф1	Ф	РЦ	Ф _{РЦ}
1		7,3	9,2	11,4		5,1				
2			6,5	13	13,8	12,4	7,3		7,3	
3		6,5		7	9	15,4	9,2		9,2	
4		13	7		6,4	8,4	11,4		11,4	
5		13,9	9	6,4		2	7,1		7,1	
6		12,4	15,4	8,4	2		5,1		5,1	
Ф1										0
Ф		7,3	9,2	11,4	7,1	5,1				
РЦ	0									
Ф _{РЦ}								0		

Получаем таблицу 4.8. Наибольшая оценка 3,9 в ячейках 3-4 и 5-6. В качестве примера удаляем хорду 5-6 и вводим фиксированный узел Ф6.

Таблица 4.8 – Оценочная фиктивная матрица 1

	2	3	4	5	6	Ф1	РЦ
1	2,2	4,1	5,8		0 ^{2,2}		
2		0 ^{0,6}	6	7,3	5,9	0 ^{1,9}	01,9
3	0 ^{2,2}		03,9	2,5	8,9	1,9	1,9
4	6,6	0,6		0 ^{0,6}	2	4,2	4,2
5	11,8	7	3,9		0 ^{3,9}	4,3	4,3
6	10,4	13,4	5,9	0 ^{2,3}		2,3	2,3
Ф	2,2	4,1	5,8	2	0 ²		

Получаем таблицу 3, в которой блокируем ветвь 6-5. Выполняем операции приведения и оценку элементов таблицы 4.9. Удаляем ветвь 3-4, результат представлен в таблице 4.10. В ней блокируем ячейку 4-3 против зацикливания. Наибольшую оценку имеет ячейка 2-3.

Удаляем эту ветвь и получаем таблицу 4.11, а также цепочку из трех пунктов: 2-3-4. Проверяем ее на грузоподъемность

Общая масса доставки товара на этом маршруте составила 2,7 т. Ограничения выполняются.

Таблица 4.9 – Оценочная фиктивная матрица 2

	2	3	4	5	Ф1	РЦ	Ф6
1	2,2	4,1	5,8				$0^{2,2}$
2		$0^{0,6}$	6	7,3	0^0	0^0	5,9
3	$0^{2,2}$		$0^{3,6}$	2,5	1,9	1,9	8,9
4	6,6	0,6		$0^{0,6}$	4,2	4,2	2
6	8,1	11,1	3,6	∞	0^0	0^0	
Ф	2,2	4,1	5,8	2			0^2
Ф6	10,4	13,4	5,9	$0^{2,3}$	2,3	2,3	

Таблица 4.10 – Оценочная фиктивная матрица 3

	2	3	5	Ф1	РЦ	Ф6
1	0^0	4,1				0^0
2		$0^{4,1}$	7,3	0^0	0^0	5,9
4	4,4	∞	0	4,2	4,2	2
6	5,9	11,1		0^0	0^0	
Ф	0^0	4,1	2			0^0
Ф6	8,2	13,4	$0^{2,3}$	2,3	2,3	

Таблица 4.11 – Оценочная фиктивная матрица 4

	2	5	Ф1	РЦ	Ф6
1	0^0				0^0
4	∞	0^2	4,2	4,2	2
6	5,9		$0^{2,3}$	$0^{2,3}$	
Ф	0^0	2			0^0
Ф6	8,2	$0^{2,3}$	2,3	2,3	

В расчетах присоединение к узлам 2 и 4 дополнительных пунктов разгрузки должно блокироваться. Против создания на данном этапе цикла блокируем ячейку 4-2. В таблице 4.11 максимальная оценка 2,3 в клетке Ф6-5. Ее удаляем. Результат представлен в таблице 4.12.

Включаем в маршрут хорду Ф6-5. Анализ вычеркнутых ветвей показал, что пункт 1 можно включить только в цепочку Ф6-5-6, из-за ограничений, Таблица 4.13.

Таблица 4.12 – Оценочная фиктивная матрица 5

	2	Ф1	РЦ	Ф6
1	0^0			0^0
4		0^0	0^0	
6	5,9	0^0	0^0	
Ф	0^0			0^0

Таблица 4.13 – Оценочная фиктивная матрица 6

	2	Ф1	РЦ	Ф6
1	0^0			0^0
4		0^0	0^0	
6	5,9	0^0	0^0	
Ф	0^0			0^0

Включаем в маршрут хорду 1-Ф6, таблица 4.14. Блокируем в ней ячейку 6-РЦ против заикливания. Выполняем операции приведения и оценку. Получаем таблицу 4.15.

Таблица 4.14 – Оценочная фиктивная матрица 7

	2	Ф1	РЦ
4		0^0	0
6	5,9	0^0	∞
Ф	0^0		

Таблица 4.15 – Оценочная фиктивная матрица 8

	2	Ф1
6	5,9	0
Ф	0	

Включаем в маршрут ветви 6-Ф1 и Ф-2. Расчет закончен. В результате получаем две схемы передвижения выходящих из пункта 1, показанных на рисунке 4.7.

Первая – маятниковая схема: 1-6-5-6-1 массой 2,25 т и длиной 14,2 км.
Вторая - кольцевая схема передвижения: 1-2-3-4-1 массой 2,7 т и длиной 32,2 км.
Общая протяженность обоих маршрутов составила 46,4 км.

Вычисляем работу P_i с учетом собственной массы автомобиля и веса товара в кузове на каждой ветви маршрута по формулам:

$$P_i = r \cdot l_i \quad (4.28)$$

$$r_i = q_i + Q \quad (4.29)$$

Расчет производим в табличной форме. Определяем по карте координаты центра тяжести ветви и записываем их в таблицы 4.15, 4.16.

Рассчитываем работу вокруг осей x и y , соответственно

$$P_x = P_i \cdot y \quad (4.30)$$

$$P_y = P_i \cdot x \quad (4.31)$$

Таблица 4.15 – Работа на первом маршруте

Ветвь	x , км	y , км	l , км	r , т	P , т км	P_x , т км	P_y , т км
1	2	3	4	5	6	7	8
1-6	6,5	0,5	5,1	5,45	27,8	13,9	180,7
6-5	9	2	2	4,45	8,9	17,8	80,1
5-6	9	2	2	3,7	7,4	14,8	66,6
6-1	6,5	0,5	5,1	3,7	18,87	9,44	122,66
Итого					62,79	55,94	450,06

Таблица 4.16 – Работа на втором маршруте

Ветвь	x , км	y , км	l , км	r , т	P , т км	P_x , т км	P_y , т км
1	2	3	4	5	6	7	8
1-2	2	3	7,3	6,4	46,72	140,16	93,44
2-9	1	7,5	3,5	5,4	18,9	141,75	18,9
9-3	3,5	9	3	5,4	16,2	145,8	56,7
3-10	7,5	9	5	4,9	24,5	220,5	183,75
10-4	10	8	2	4,9	9,8	78,4	98,0
4-б	8,5	6,8	3,1	3,7	11,47	150,92	97,50
б-а	6,1	6,3	2,1	3,7	7,77	48,95	47,40
а-Б	4,8	5	2,1	3,7	7,77	38,85	37,30
Б-1	4,4	2	4,1	3,7	15,17	30,34	66,75
Итого					158,3	995,67	699,74

По формулам (4.5) и (4.6) находим координаты общего центра работы при расположении начала отсчета в узле 1:

$$X_c = \frac{P_y}{P} = \frac{450,06 + 699,4}{62,97 + 158,3} = \frac{1149,8}{221,27} = 5,20 \text{ км.},$$

$$Y_c = \frac{P_x}{P} = \frac{55,94 + 995,67}{62,97 + 158,3} = \frac{1051,61}{221,27} = 4,75 \text{ км.}$$

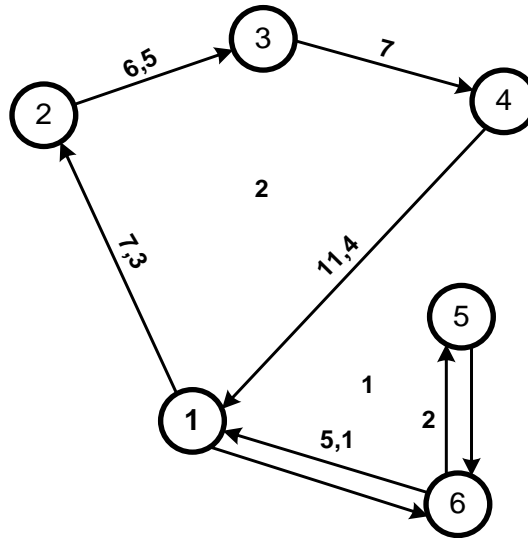


Рисунок 4.7 – Схема маршрутов из узла 1

Таблица 4.17 – Работа на втором маршруте в обратном направлении

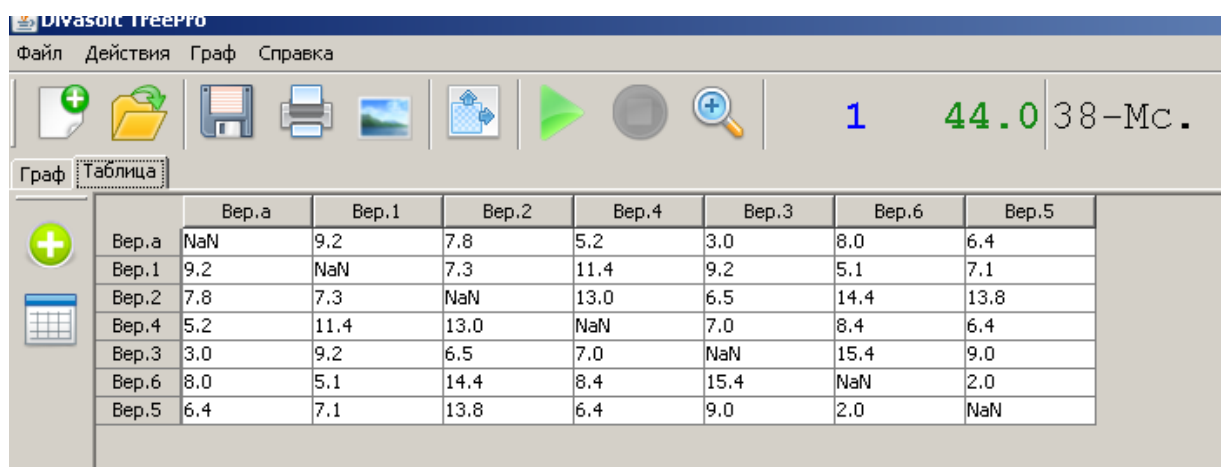
Ветвь	x , км	y , км	l , км	r , т	P , т км	Px , т км	Py , т км
1	2	3	4	5	6	7	8
1-Б	4,4	2,0	4,1	6,4	26,24	140,16	93,44
Б-а	4,8	5,0	2,1	6,4	13,44	141,75	18,9
а-б	6,1	6,3	2,1	6,4	13,44	145,8	56,7
б-4	8,5	6,8	3,1	6,4	19,84	56,7	171,5
4-10	10	8,0	2,0	5,2	10,4	58,8	107,8
10-3	7,5	9,0	5,0	5,2	26,0	150,92	97,50
3-9	3,5	9,0	3,0	4,7	14,1	48,95	47,40
9-2	1,0	7,5	3,5	4,7	16,45	38,85	37,30
2-1	2,0	3,0	7,3	3,7	27,01	30,34	66,75
Итого					166,92	1103,91	849,41

Вычисляем полную работу на обоих маршрутах по таблицам 4.15 и 4.17
 $P = 62,97 + 166,92 = 229,89$ т км.

Таким образом, рациональным будет движение в прямом направлении, согласно рисунку 4.7.

Далее рассмотрим решение для расчетного узла а, с помощью программного обеспечения (Приложение диссертации Д).

Составляем исходную матрицу, рисунок 4.8



	Вер.а	Вер.1	Вер.2	Вер.4	Вер.3	Вер.6	Вер.5
Вер.а	NaN	9.2	7.8	5.2	3.0	8.0	6.4
Вер.1	9.2	NaN	7.3	11.4	9.2	5.1	7.1
Вер.2	7.8	7.3	NaN	13.0	6.5	14.4	13.8
Вер.4	5.2	11.4	13.0	NaN	7.0	8.4	6.4
Вер.3	3.0	9.2	6.5	7.0	NaN	15.4	9.0
Вер.6	8.0	5.1	14.4	8.4	15.4	NaN	2.0
Вер.5	6.4	7.1	13.8	6.4	9.0	2.0	NaN

Рисунок 4.8 – Исходная матрица для расчётного узла а

Далее создаем фиктивную матрицу, таблица 4.18. Чтобы создать два кольцевых маршрута, проходящих через пункт а, необходимо ввести дополнительные внешние фиктивные узлы до начала расчета в пункт а и РЦ. При этом расстояние между ними равно нулю.

На самом первом шаге можно всегда удалить ориентированные ветви $\Phi 1$ - $\Phi_{\text{рц}}$, РЦ-1 , $\Phi_{\text{рц}}-\Phi$.

Выполняем операции приведения и оценку. Получаем таблицу 4.19.

Наибольшая оценка 3,5 в ячейке 6-5. Удаляем хорду 6-5 и блокируем ветвь 5-6 против зацикливания в таблице 4.20. Выполняем операции приведения и оценку элементов.

В таблице 4.20 удаляем ветвь 1-6 и получаем цепочку из 3 пунктов 1-6-5. Проверяем ее на грузоподъемность. Общая масса доставки товара на этом

маршруте составила 2,25 т. Ограничения выполняются. Поэтому в дальнейших расчетах присоединение к узлам 1 и 5 дополнительных пунктов разгрузки должно блокироваться.

Таблица 4.18 – Исходная фиктивна матрица

	a	1	2	3	4	5	6	Фа	Ф	РЦ	Ф _{РЦ}
a		9,2	7,8	3	5,2	6,4	8				
1			7,3	9,2	11,4	7,1	5,1	9,2		9,2	
2		7,3		6,5	13	13,8	12,4	7,8		7,8	
3		9,2	6,5		7	9	15,4	3		3	
4		11,4	13	7		6,4	8,4	5,2		5,2	
5		7,1	13,9	9	6,4		2	6,4		6,4	
6		5,1	12,4	15,4	8,4	2		8		8	
Фа											0
Ф		9,2	7,8	3	5,2	6,4	8				
РЦ	0										
Ф _{РЦ}									0		

Таблица 4.19 – Оценочная фиктивная матрица 1

	1	2	3	4	5	6	Фа	РЦ
a	5,4	2,6	0 ⁰	0 ⁰	3,4	5		
1		0 ^{1,3}	4,1	4,1	2	0 ⁰	4,1	4,1
2	0 ^{2,3}		0 ⁰	4,3	7,3	5,9	1,3	1,3
3	5,4	1,3		1,8	6	12,4	0 ⁰	0 ⁰
4	5,4	5,6	1,8		1,2	3,2	0 ⁰	0 ⁰
5	4,3	9,7	7	2,2		0 ^{2,2}	4,4	4,4
6	2,3	8,2	13,4	4,2	0 ^{3,5}		6	6
Ф	5,4	2,6	0 ⁰	0 ⁰	3,4	5		

Таблица 4.20 – Оценочная фиктивная матрица 2

	1	2	3	4	6	Фа	РЦ	
a	5,4	2,6	0 ⁰	0 ⁰	5			
1		0 ^{1,3}	4,1	4,1	0 ^{3,2}	4,1	4,1	
2	0 ^{2,1}		0 ⁰	4,3	5,9	1,3	1,3	
3	5,4	1,3		1,8	12,4	0 ⁰	0 ⁰	
4	5,4	5,6	1,8		3,2	0 ⁰	0 ⁰	
5	2,1	7,5	4,8	0 ^{2,1}	∞	2,2	2,2	2,2
Ф	5,4	2,6	0 ⁰	0 ⁰	5			

В матрице 3 после операций приведения и оценки получаем ячейки 2-1 и 5-4 с максимальными оценками 2,1. Данные ячейки блокируем, так как противоречат условию задачи по грузоподъёмности транспортного средства. После операций приведения вычеркиваем ветвь 2-3 с максимальной оценкой 1,3.

Таблица 4.21 – Оценочная фиктивная матрица 3

	1	2	3	4	Фа	РЦ	
а	5,4	1,3	0^0	0^0			
2	∞		$0^{1,3}$	4,3	1,3	1,3	
3	5,4	$0^{1,3}$		1,8	0^0	0^0	
4	5,4	4,3	1,8		0^0	0^0	
5	$0^{0,1}$	4,1	2,7	∞	0,1	0,1	2,1
Ф	5,4	1,3	0^0	0^0			
		1,3					

Далее в процессе решения будут удалены ветви а-1, 4-Фа, Ф-2, 3-4 и 5-РЦ, которые включаем в маршрут.

Расчет закончен. В результате получаем два маршрута, выходящих из пункта а, показанных на рисунке 4.9.

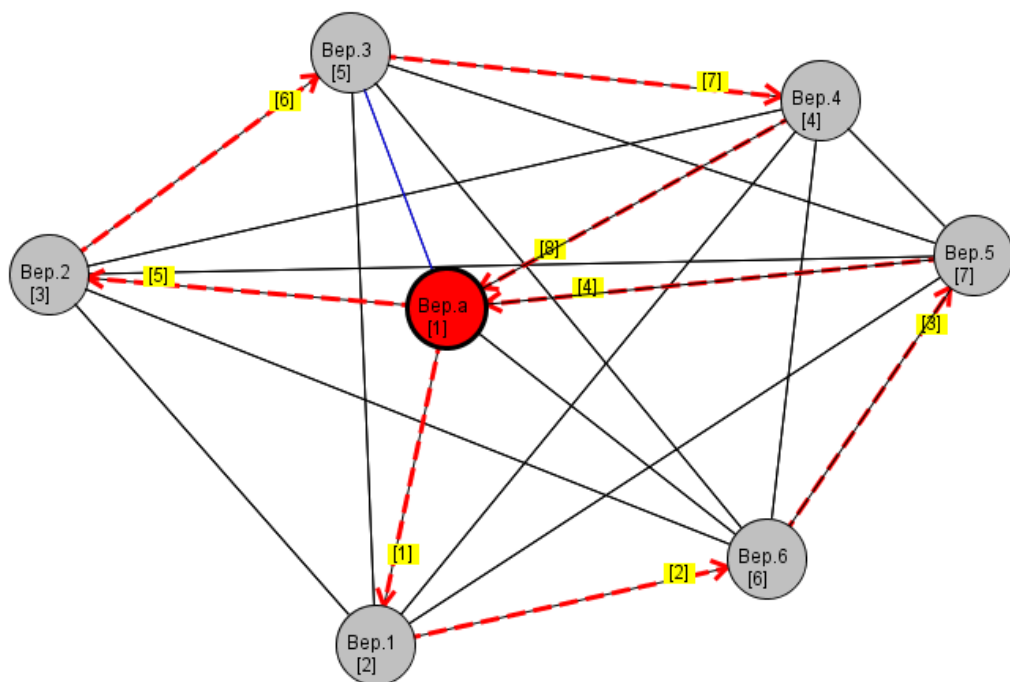


Рисунок 4.9 – Схема маршрутов из узла а

Первый кольцевой маршрут: а-1-6-5-а массой 2,25 т и длиной 19,3 км.
Вторая кольцевая схема передвижения: а-2-3-4-а массой 2,7 т и длиной 26,5 км.
Общая протяженность обоих маршрутов составила 45,8 км.

Вычисляем работу с учетом собственной массы автомобиля и веса товара в кузове на каждой ветви маршрута.

Расчет производим в табличной форме. Определяем по карте координаты центра тяжести ветви и записываем их в таблицы 4.22, 4.23

Таблица 4.22 – Работа на первом маршруте

Ветвь	х, км	у, км	l, км	г, т	P, т км	Px, т км	Py, т км
1	2	3	4	5	6	7	8
а - Б	4,8	5	2,1	5,9	12,39	61,95	59,47
Б-1	4,4	2	4,1	5,9	24,19	48,38	106,4
1-6	6,5	0,5	5,1	5,45	27,8	13,9	180,7
6-5	9	2	2	4,45	8,9	17,8	80,1
5-а	9	2	2	3,7	7,4	14,8	66,6
Итого					80,68	156,8	493,27

Таблица 4.23 – Работа на втором маршруте

Ветвь	х, км	у, км	l, км	г, т	P, т км	Px, т км	Py, т км
1	2	3	4	5	6	7	8
а-2	3,8	5	7,8	6,4	49,9	249,5	189,6
2-9	1	7,5	3,5	5,4	18,9	141,75	18,9
9-3	3,5	9	3	5,4	16,2	145,8	56,7
3-10	7,5	9	5	4,9	24,5	220,5	183,75
10-4	10	8	2	4,9	9,8	78,4	98,0
4-б	8,5	6,8	3,1	3,7	11,47	150,92	97,50
б-а	6,1	6,3	2,1	3,7	7,77	48,95	47,40
Итого					138,54	1035,82	691,85

По формулам (4.5) и (4.6) находим координаты общего центра работы при расположении начала отсчета в узле а:

$$X_c = \frac{P_y}{P} = \frac{493,27 + 691,85}{138,54 + 80,68} = \frac{1185,12}{219,22} = 5,41 \text{ км},$$

$$Y_c = \frac{P_x}{P} = \frac{156,8 + 1035,82}{138,54 + 80,68} = \frac{1192,62}{219,22} = 5,44 \text{ км.}$$

Аналогично выполнены расчеты при расположении начала отсчета в узлах 5, 6, б, Б. Результаты представлены в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	x, км	y, км	l, км	P, т.км
1	2	3	4	5	6
1	■	5,20	4,75	46,4	221,27
а	△	5,414	5,4	45,8	219,22
5	●	6,56	4,73	49,1	227,25
6	✕	6,93	4,38	48,5	225,18
б	○	5,9	4,85	44,7	218,52
Б	⊙	5,49	5,54	45,8	227,49
среднее	△	5,92	4,954		

Рациональное местоположение РЦ принимается по средним координатам:

$$X_C = 5,92 \text{ км, } Y_C = 4,954 \text{ км.}$$

Переходим к определению наиболее рационального местоположения РЦ за пределами населенного пункта. Предлагаем рассмотреть в качестве примера два варианта местонахождения РЦ 1 и РЦ 2 на федеральной трассе, рисунок 4.5. В качестве критерия оптимальности используем наименьшую работу.

Для варианта РЦ 1 наименьшую работу до пункта 5 находим по формуле:

$$P_{РЦ1}^5 = 6(2,25 + 3,7) + 6 \cdot 3,7 + 6(2,7 + 3,7) + 6 \cdot 3,7 = 118,5 \text{ км.}$$

Общая работа с учетом развозочных кольцевых маршрутов из таблицы 4.18:

$$P_{рц1} = 118,5 + 227,25 = 345,75 \text{ т.км.}$$

Минимальное ее значение от РЦ 2 до пункта 1 находим аналогично оно равно 88,19 т.км. С учетом работы на развозочных маршрутах полную работу находим по формуле:

$$P_{рц2} = 88,19 + 221,27 = 309,46 \text{ т. км.}$$

Таким образом, наименьшая транспортная работа будет иметь место при развозке груза из РЦ 2 через пункт №1.

Пример 2.

Кратко перечислим особенности методики решения задачи по критерию «время». На первом этапе алгоритма определяем район наиболее вероятного нахождения распределительного центра. Вычисляем координаты временного центра тяжести, используя формулы (4.1) и (4.2).

Вместо массы возьмем время нахождения автомобиля в пункте. Район местоположения распределительного центра находится вокруг временного центра тяжести. Его граница проходит через узлы, наиболее близко расположенные к нему.

На втором этапе определяем рациональное местоположение распределительного центра. Определяем время на каждой ветви по формуле (4.9) и устанавливаем методом ФУВ рациональный кольцевой маршрут с началом в выбранном узле. Разбиваем его на участки и находим координаты их центров тяжести по формулам (4.12) и (4.13).

Вычисляем координаты ВЦ для каждого маршрута по формулам (4.10) и (4.11) и наносим их на карту. Определяем средние координаты по всем ВЦ. Находим эту точку на карте и располагаем в ней РЦ. Количество временных центров равно числу расчетных принятых узлов.

Рассмотрим предложенную методику на численном примере 1. Дислокация транспортной сети показана на рисунке 4.8. Время простоя при разгрузке 1 т принимаем 0,5 часа. Время простоя в пунктах разгрузки для: № 1 – 0,25 часа; № 2 – 0,5 часа; № 3 – 0,25 часа; № 4 – 0,6 часа; № 5 – 0,375 часа; № 6 – 0,5 часа. Средняя техническая скорость 40 км/час.

В таблице 4.19 дано время движения на ветвях между пунктами. Координаты пунктов разгрузки определяем по карте № 1 – $x_1 = 4$ км и $y_1 = 0$ км, № 2 – $x_2 = 0$ км и $y_2 = 6$ км, № 3 – $x_3 = 5$ км и $y_3 = 9$ км, № 4 – $x_4 = 10$ км и $y_4 = 7$ км, № 5 – $x_5 = 9$ км и $y_5 = 3$ км, № 6 – $x_6 = 9$ км и $y_6 = 1$ км.

Выполняем первый этап расчета. Находим координаты временного центра тяжести по формулам:

$$X_c = \frac{t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{0,25 \cdot 4 + 0,5 \cdot 0 + 0,25 \cdot 5 + 0,6 \cdot 10 + 0,375 \cdot 9 + 0,5 \cdot 9}{0,25 + 0,5 + 0,25 + 0,6 + 0,375 + 0,5} = 6,51 \text{ км},$$

$$Y_c = \frac{t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{0,25 \cdot 0 + 0,5 \cdot 6 + 0,25 \cdot 9 + 0,6 \cdot 7 + 0,375 \cdot 3 + 0,5 \cdot 1}{0,25 + 0,5 + 0,25 + 0,6 + 0,375 + 0,5} = 4,5 \text{ км}.$$

Рассчитываем работу при движении в обратном направлении. На первом кольце она останется неизменной. Ее вычисление для второго кольца 1-Б-а-б-4-10-3-9-2-1 представлено в таблице 4.17.

Находим по карте расчетные узлы, расположенные вокруг временного центра тяжести на дорогах. Они такие же, как в примере 1.

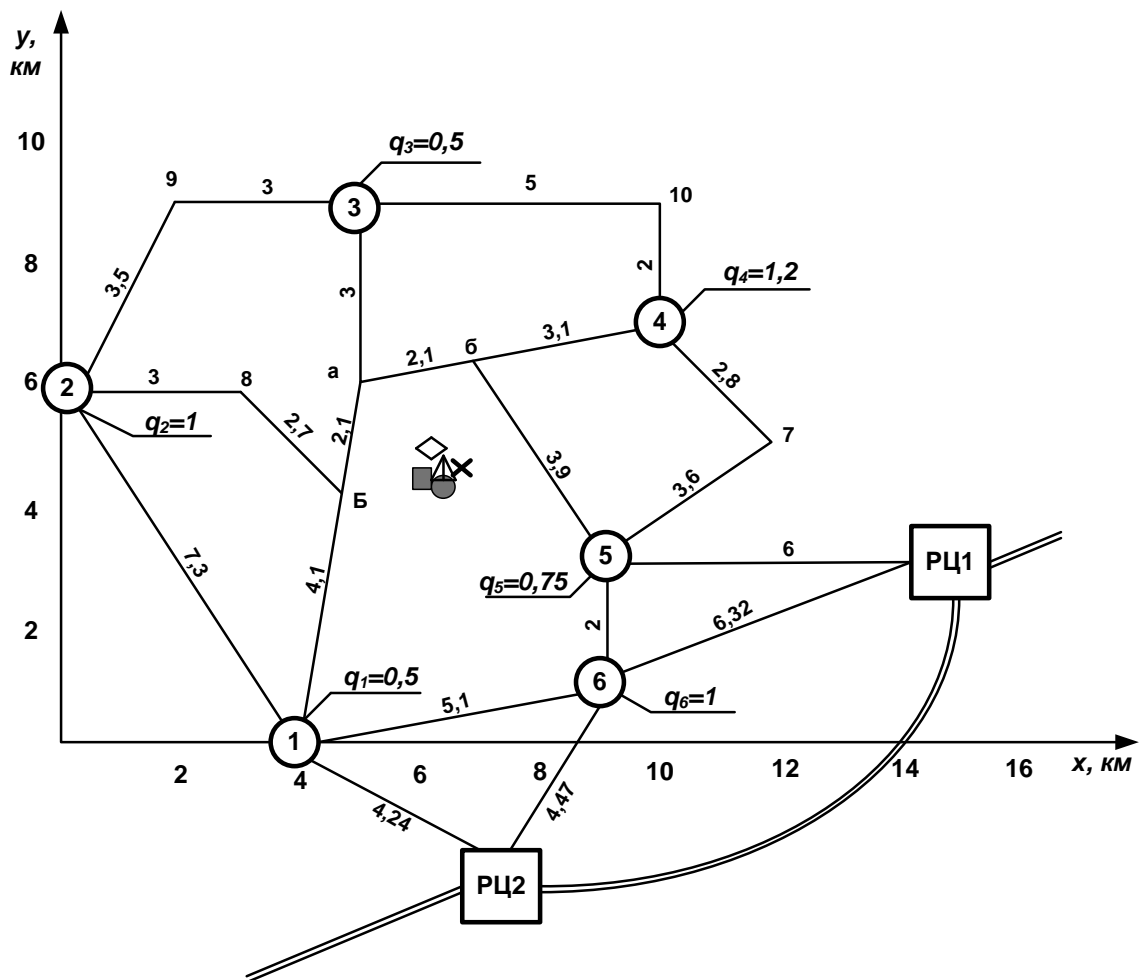


Рисунок 4.10 – Транспортная схема примера 2

На втором этапе вычисляем местоположение РЦ с помощью критерия времени. Исходная временная матрица ветвей представлена в таблице 4.25.

Таблица 4.25 – Первый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	Ф1	Ф	РЦ	Ф _{РЦ}
1		0,1825	0,230	0,285		0,1275				
2			0,1625	0,325	0,345	0,31	0,1825		0,1825	
3		0,1625		0,175	0,2195	0,3756	0,23		0,23	
4		0,325	0,175		0,16	0,21	0,285		0,285	
5		0,345	0,2195	0,16		0,05				
6		0,31	0,385	0,21	0,05		0,1275		0,1275	
Ф1										0
Ф		0,1825	0,23	0,285		0,1275				
РЦ	0									
Ф _{РЦ}								0		

На первом шаге можно всегда удалить ориентированные ветви Ф1-Ф_{РЦ}, РЦ-1, Ф_{РЦ}-Ф. Получаем таблицу 4.26.

Таблица 4.26 – Второй шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	Ф1	РЦ
1	0,1825	0,230	0,285		0,1275		
2		0,1625	0,325	0,345	0,31	0,1825	0,1825
3	0,1625		0,175	0,2195	0,3756	0,23	0,23
4	0,325	0,175		0,16	0,21	0,285	0,285
5	0,345	0,2195	0,16		0,05		
6	0,31	0,385	0,21	0,05		0,1275	0,1275
Ф	0,1825	0,23	0,285		0,1275		

Получаем расчетную временную матрицу, таблица 4.27, взяв во внимание времени разгрузки в пункте по направлению движения, формула (4.9).

Решаем задачу маршрутизации при двух кольцах. Выполняем операции приведения и оценку. Результат представлен в таблице 4.28. Максимальная оценка в ячейке 5-4. Вычеркиваем строку 5 и столбец 4.

Таблица 4.27– Третий шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	Ф1	РЦ
1	0,6825	0,480	0,885		0,6275		
2		0,4125	0,925	0,720	0,810	0,1825	0,1825
3	0,6625		0,775	0,5945	0,875	0,23	0,23
4	0,825	0,425		0,535	0,710	0,285	0,285
5	0,845	0,4695	0,760		0,55		
6	0,81	0,6256	0,810	0,425		0,1275	0,1275
Ф	0,6825	0,480	0,885		0,6275		

Таблица 4.28 – Четвертый шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	Ф1	РЦ
1	0 ⁰	0 ⁰	0,1145		0,067		
2		0,23	0,452	0,2885	0,547	0 ⁰	0 ⁰
3	0,23		0,2545	0,1156	0,5645	0 ⁰	0 ⁰
4	0,3365	0,139		0 ^{0,049}	0,3435	0 ⁰	0 ⁰
5	0,173	0 ⁰	0 ^{0,1145}		0 ^{0,067}		
6	0,48	0,4981	0,392	0 ^{0,049}		0 ⁰	0 ⁰
Ф	0 ⁰	0 ⁰	0,1145		0,067		

Далее расчеты выполняем аналогично, согласно методу ФУВ с ограничением грузоподъемности и количества пунктов на маршруте 3 штуки. В качестве примера приводим краткие результаты одного варианта маршрутизации. Кольцевые схемы передвижения, рисунок 4.11: первый вариант 1-2-3-1, второй вариант 1-6-5-4-1. Время на первом кольце равно 1,325 часа, а на втором маршруте оно составит 2,156 часа. Всего получаем расход времени 3,422 часа. Длина маршрута равна $23+24,9 = 47,9$ км. Для сравнения при расчете в примере 2 имеем длину 46,4 км, а время $1,73+2,156 = 3,88$ часа. Рассмотрение остальных вариантов на дереве решений не дает улучшения приведенного решения.

Переходим к определению координат временного центра по формулам (4.10) и (4.11) из узла 1. Расчет проводим в табличной форме, см. таблицы: 4.29, 4.30, 4.31.

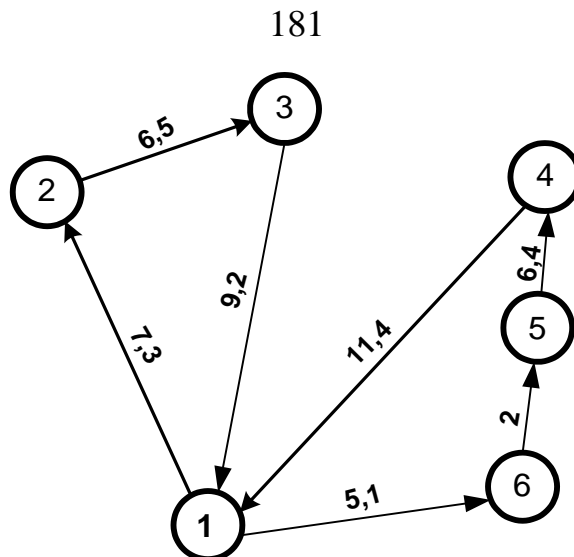


Рисунок 4.11 – Рациональная схема передвижения из узла 1 при временном критерии маршрутизации

Координаты временного центра находим по формуле :

$$X_c = \frac{16,3 + 4,683 + 1,825}{2,475 + 0,6245 + 0,576} = \frac{22,638}{3,6755} = 6,16 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{11,08 + 2,373 + 2,894}{3,6755} = \frac{16,347}{3,6755} = 4,45 \text{ км}.$$

Наносим точку на карту, рисунок 4.8.

Таблица 4.29– Исходная таблица

№ Пункта	t_i^{np} , час	х, км	у км	t_i^{np} у час км	t_i^{np} х час км
1	0,25	4	0	0	1
2	0,5	0	6	3	0
3	0,25	5	9	2,25	1,25
4	0,6	10	7	4,2	6
5	0,375	9	3	1,13	3,38
6	0,5	9	1	0,5	4,5
Итого	2,475			11,08	16,13

Рассмотрим определение координат для временного центра Б с помощью разработанной программы (Приложение Е).

Исходная временная матрица ветвей представлена в таблице 4.32.

На первом шаге можно всегда удалить ориентированные ветви $\Phi\text{Б}-\Phi_{\text{рц}}$, $\text{РЦ}-\text{Б}$, $\Phi_{\text{рц}}-\Phi$. Получаем таблицу 4.33.

Таблица 4.30 – Первое кольцо

№ Ветви	t_i^{np} , час	x , км	y , км	t_i^{np} y час км	t_i^{np} x час км
1-6	0,1275	6,5	0,5	0,064	0,829
6-5	0,05	9	2	0,1	0,45
5-7	0,09	10,5	4	0,36	0,945
7-4	0,07	11	6	0,42	0,77
4-6	0,078	8,5	8	0,624	0,663
6-а	0,053	6,1	6,3	0,334	0,323
а-Б	0,053	4,8	5	0,265	0,254
Б-1	0,103	4,4	2	0,206	0,453
Итого	0,6245			2,373	4,683

Таблица 4.31 – Второе кольцо

№ Ветви	t_i^{np} , час	x , км	y , км	t_i^{np} y час км	t_i^{np} x час км
1-2	0,1825	2,1	2,9	0,529	0,394
2-9	0,0875	1	7,5	0,656	0,087
9-3	0,075	3,5	9	0,675	0,262
3-а	0,075	5	7,5	0,563	0,375
а-Б	0,053	4,8	5	0,265	0,254
Б-1	0,103	4,4	2	0,206	0,453
Итого	0,576			2,894	1,825

Получаем расчетную временную матрицу, таблица 4.34, с учетом времени разгрузки.

Решаем задачу маршрутизации при двух кольцах. Выполняем операции приведения и оценки. Результат представлен в таблице 4.35. Максимальная оценка в ячейке 6-5. Вычеркиваем строку 6 и столбец 5.

Таблица 4.32 – Первый шаг преобразования матрицы

	Б	1	2	3	4	5	6	ФБ	Ф	РЦ	ФРЦ
Б		0,10	0,14	0,1275	0,1825	0,2025					
1			0,1825	0,230	0,285		0,1275	0,10		0,10	
2		0,1825		0,1625	0,325	0,345	0,31	0,14		0,14	
3		0,230	0,1625		0,175	0,2195	0,3756	0,1275		0,1275	
4		0,285	0,325	0,175		0,16	0,21	0,1825		0,1825	
5			0,345	0,2195	0,16		0,05	0,2025		0,2025	
6		0,1275	0,31	0,385	0,21	0,05					
ФБ											0
Ф		0,10	0,14	0,1275	0,1825	0,2025					
РЦ	0										
ФРЦ									0		

Таблица 4.33 – Второй шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	ФБ	РЦ
Б	0,10	0,14	0,1275	0,1825	0,2025			
1		0,1825	0,230	0,285		0,1275	0,10	0,10
2	0,1825		0,1625	0,325	0,345	0,31	0,14	0,14
3	0,230	0,1625		0,175	0,2195	0,3756	0,1275	0,1275
4	0,285	0,325	0,175		0,16	0,21	0,1825	0,1825
5		0,345	0,2195	0,16		0,05	0,2025	0,2025
6	0,1275	0,31	0,385	0,21	0,05			
Ф	0,10	0,14	0,1275	0,1825	0,2025			

Таблица 4.34 – Третий шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	ФБ	РЦ
Б	0,35	0,64	0,3775	0,7825	0,5775			
1		0,6825	0,48	0,885		0,6275	0,10	0,10
2	0,4325		0,4125	0,925	0,72	0,81	0,14	0,14
3	0,48	0,62		0,775	0,5945	0,8756	0,1275	0,1275
4	0,535	0,825	0,425		0,535	0,71	0,1825	0,1825
5		0,845	0,4695	0,76		0,55	0,2025	0,2025
6	0,3775	0,81	0,635	0,81	0,425			
Ф	0,35	0,64	0,3775	0,7825	0,5775			

Далее расчеты выполняются аналогично, согласно разработанной методике.

В качестве примера приводим результаты одного варианта маршрутизации.

Кольцевые схемы передвижения, рисунок 4.12: первый вариант Б-1-6-5-Б, второй вариант Б-2-3-4-Б. Время на первом кольце равно 1,605 часа, а на втором маршруте оно составит 2,01 часа. Получаем расход времени 3,615 часа. Длина маршрута равна $19,3+26,5 = 45,8$ км. Рассмотрение остальных вариантов на дереве решений не дает улучшения приведенного решения.

Переходим к определению координат временного центра Б. Все расчеты проводим в табличной форме, см. таблицы: 4.36, 4.37.

Таблица 4.35 – Четвертый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	ФБ	РЦ
Б	0^0	0^0	0^0	0^0	0,18			
1		0,2925	0,3525	0,3525		0,5275	0^0	0^0
2	0,2925		0,245	0,3525	0,5325	0,67	0^0	0^0
3	0,3525	0,2025		0,5675	0,4195	0,7481	0^0	0^0
4	0,3525	0,3525	0,5675		0,305	0,5275	0^0	0^0
5		0,3525	0,2395	0,125		0,3475	0^0	0^0
6	0^0	0,1425	0,23	0^0	$0^{0,18}$			
Ф	0^0	0^0	0^0	0^0	0,18			

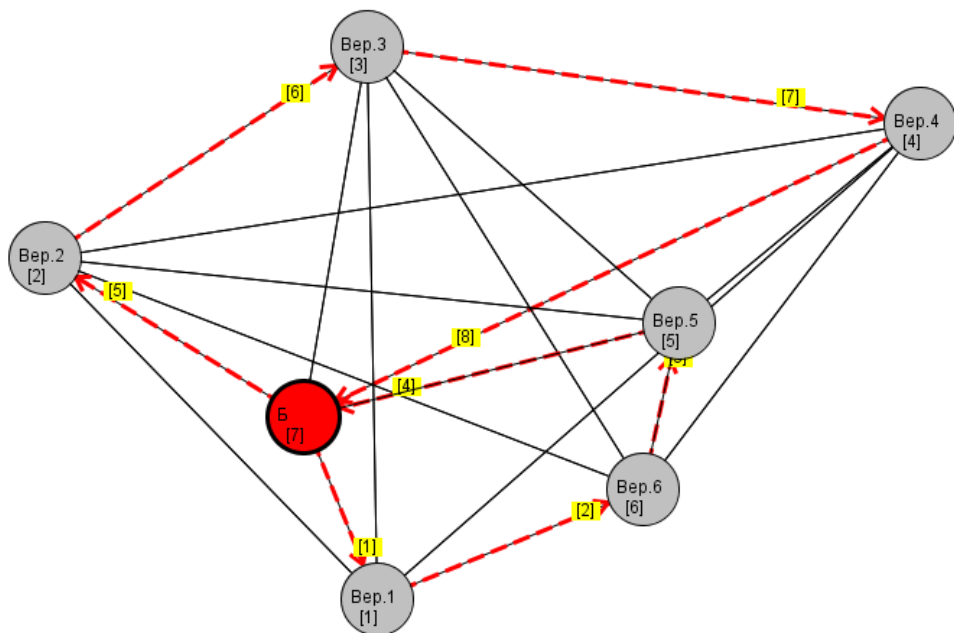


Рисунок 4.12 – Рациональная схема передвижения из узла Б при временном критерии маршрутизации

Таблица 4.36 – Первое кольцо

№ Ветви	t_i^{np} , час	х, км	у км	t_i^{np} у час км	t_i^{np} х час км
Б-1	0,103	4,4	2	0,206	0,453
1-6	0,1275	6,5	0,5	0,064	0,829
6-5	0,05	9	2	0,1	0,45
5-6	0,09	8	5	0,45	0,72
б-а	0,053	6,1	6,3	0,334	0,323
а-Б	0,053	4,8	5	0,265	0,254
4-б	0,078	8,5	8	0,624	0,663
б-а	0,053	6,1	6,3	0,334	0,323
Итого	0,6075			2,377	4,015

Таблица 4.37 – Второе кольцо

№ Ветви	t_i^{np} , час	х, км	у км	t_i^{np} у час км	t_i^{np} х час км
Б-8	0,06	3,6	5,6	0,336	0,216
8-2	0,07	2	6	0,42	0,14
2-9	0,0875	1	7,5	0,656	0,0875
9-3	0,075	3,5	9	0,675	0,2625
3-10	0,125	7	9	1,125	0,875
10-4	0,05	10	8,4	0,42	0,5
4-б	0,078	8,5	8	0,624	0,663
б-а	0,053	6,1	6,3	0,334	0,323
а-Б	0,053	4,8	5	0,265	0,254
Итого	0,6515			4,855	3,321

Координаты временного центра находим по формуле:

$$X_c = \frac{16,13 + 3,321 + 4,015}{2,475 + 0,6075 + 0,6515} = \frac{23,466}{3,734} = 6,2 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{11,08 + 4,855 + 2,321}{3,734} = \frac{23,466}{3,734} = 4,89 \text{ км}.$$

Наносим точку на карту, рисунок 4.8.

Результаты расчетов по определению координат временного центра относительно точек 1, а, 5, Б приведены в таблице 4.38 и на рисунке 4.10.

Проанализировав таблицы 4.38 можно увидеть, что наименьшее значение времени на доставку груза можно получить относительно вершины a .

На рисунке 4.10 приводятся следующие обозначения: \blacksquare – центр распределения в узле 1; \bullet – центр распределения в узле a ; \diamond – центр распределения в узле Б; \times – центр распределения в узле 5; \triangle – средний центр распределения.

Таблица 4.38 – Результаты расчета РЦ

Начало отсчета	Обозначение	x , км	y , км	l , км	T , час
1	\blacksquare	6,16	4,45	47,9	3,422
a	\bullet	6,37	4,28	41,7	3,407
5	\times	6,93	4,38	53,6	3,734
Б	\diamond	6,2	4,89	45,8	3,615
среднее	\triangle	6,41	4,5		

Выводы по четверной главе

1. Разработаны методики, позволяющие определить местоположение распределительного центра при комбинированной схеме доставки груза по времени и по транспортной работе учитывая формирование оптимальных маршрутов методом «фиктивных узлов и ветвей»

2. Разработана методика аналитического определения местоположения распределительного центра грузовых потоков с учетом кривизны движения подвижного состава.

3. Разработана математическая модель описания грузовых потоков при комбинированной схеме доставки грузов.

4. Усовершенствована математическая модель, позволяющая определить местоположение распределительного центра грузовых потоков при

комбинированной схеме доставки груза, учитывая критерий «транспортная работа».

5. Усовершенствована математическая модель, позволяющая определить местоположение распределительного центра грузовых потоков при комбинированной схеме доставки груза, учитывая критерий «времени».

6. Разработано программное обеспечение, позволяющее определять рациональное местоположение распределительного центра грузовых потоков при комбинированной схеме доставки груза с учетом времени и транспортной работы.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ЧЕРЕЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ПАО «МАГНИТ»)

Проведённые экспериментальные исследования на примере компании ПАО «Магнит» показали, что при доставке груза из распределительного центра, расположенного в Пензенской области АО «Тандер», в торговые точки используют автомобили большой и малой вместимости. Распределительный центр обслуживает Пензенскую и Саратовскую области и Республику Мордовия. Распределительный центр работает круглосуточно, обслуживая только свою зону. Доставка груза в 80% случаев осуществляется последовательно, на две торговые точки. Следует отметить, что пункты обслуживания устанавливаются логистом-диспетчером по заявке, поступающей от операторов торговых точек.

Следует отметить, что формирование маршрутов доставки груза в торговые точки осуществляется на основе использования эвристического метода «Свира». Полученные маршруты доставки груза за смену приведены в таблице 5.1

В процессе анализа работы распределительного центра были изучены технологические операции процесса доставки груза с распределительного центра в торговые предприятия компании «Магнит» по Пензенской области, рисунок 5.1

Проведенные экспериментальные исследования показали, что все величины, полученные в ходе исследований, носят случайный характер. Статистические характеристики приведены в таблице 5.1. Полученные гистограммы распределения рассматриваемых характеристик описываются нормальным законом, что подтверждает случайность исследуемых величин (рисунки 5.2-5.7).

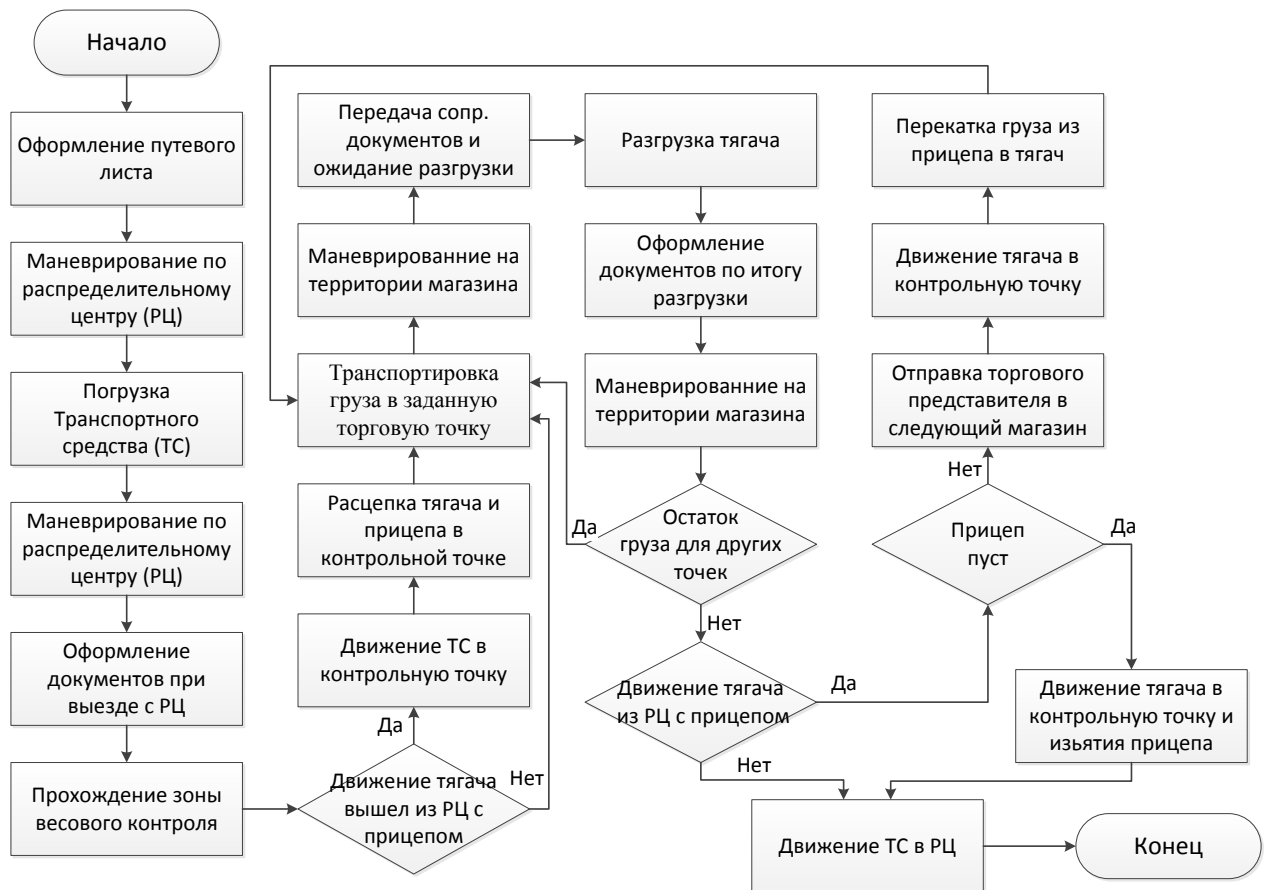


Рисунок 5.1 – Функциональная схема операций при доставке груза с распределительного центра в торговую сеть

Таблица 5.1 – Статистические характеристики исследуемых показателей

Исследуемая величина	Стандартное отклонение	Критерий Пирсона
Время погрузки t^n , мин/т	$S=8$	$\chi^2(t^n)=7,5$
Время разгрузки t^p , мин/т	$S=7,7$	$\chi^2(t^p)=5,3$
Время заезда в пункт обработки $t^{зоб}$, мин	$S=9,3$	$\chi^2(t^{зоб})=9,39$
Время выезда с пункта обработки $t^{взр}$, мин	$S=5,3$	$\chi^2(t^{взр})=6,6$
Техническая скорость в пригородном сообщении V_{T1}	$S=7,8$	$\chi^2(t^{взр})=8,0$
Техническая скорость в населенном пункте V_{T2}	$S=7,6$	$\chi^2(t^{взр})=6,3$

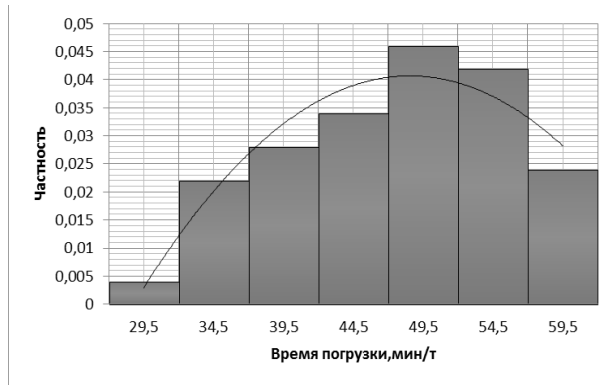


Рисунок 5.2 – Закономерность распределения времени погрузки груза

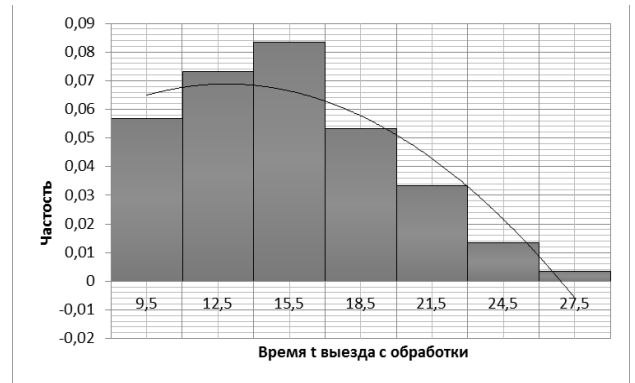


Рисунок 5.5 – Закономерность распределения времени выезда с обработки в распределительном центре

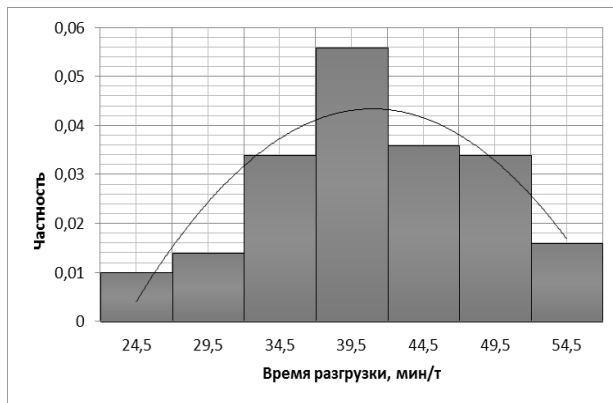


Рисунок 5.3 – Закономерность распределения пребывания автомобиля в пункте разгрузки

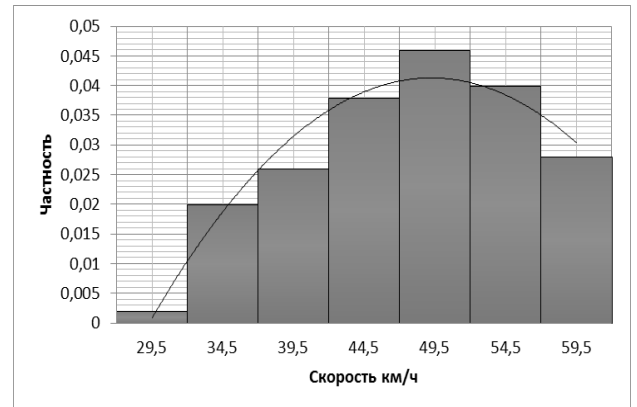


Рисунок 5.6 – Закономерность распределения технической скорости V_{T2} в населенном пункте

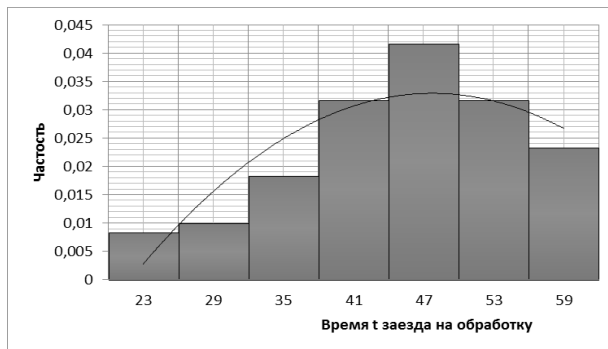


Рисунок 5.4 – Закономерность распределения времени заезда на обработку в распределительном центре

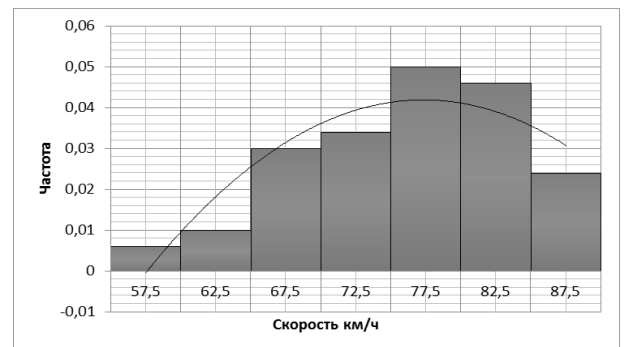


Рисунок 5.7 – Закономерность распределения технической скорости V_{T1} в пригодном сообщении

5.1. Определение местоположения распределительного центра с учетом формирования оптимальных схем доставки груза в торговые точки

Проведенные экспериментальные исследования показали, что распределительный центр в Пензенской области АО «Тандер» обслуживает 570 торговых точек, на балансе предприятия 110 транспортных средств. Центр использует транспортные средства номинальной грузоподъемностью от 7 до 26 т. За одну смену в работе находятся автомобили.

Все торговые точки имеют свое название и тип подъездного пути А, Б, В, Г, Д:

- для категории А используется полуприцеп вместимостью 33-36 п/м;
- для категорий Б/Г одиночное транспортное средство вместимостью 17-20 п/м;
- для категории В используются тягач в составе сцепки вместимостью – 36-39 п/м;
- для категории Д используются автомобили вместимостью 10тонн – (16 п/м) и 7 тонн (12-15 п/м).

В процессе анализа работы распределительного центра, были исследованы 39 маршрутов (114 торговых точек).

Для расчета транспортной работы, выполняемой автомобилями для доставки товара, устанавливались параметры:

Q_{ji} – вес товара, перевезенным j -ым транспортным средством по i -ому маршруту;

t_{ji} – время нахождения j -ого транспортного средства на i -м маршруте;

$\sum l_i^{FE}$ – суммарная длина грузовых звеньев на i -ом маршруте;

$\sum l_i^X$ – суммарная длина холостых пробегов на i -ом маршруте;

l_i – длина i -го маршрута;

q – вес груза на i -м маршруте в каждое торговое предприятие;

По этим исходным данным были определено следующее:

Транспортная работа, выполненная на i -ом маршруте:

$$P_{ij} = \sum_1^n M_{\zeta j} \times l_{\zeta j}^{\Gamma E}, \text{ Т} \cdot \text{км}, \quad (5.1)$$

где n – количество грузовых звеньев на i -ом маршруте;

$l_{\zeta j}^{\Gamma E}$ – длина грузового звена за одну езду;

$M_{\zeta j}$ – вес поставляемого груза в транспортном средстве на j -ом грузовом звене i -го маршрута.

Выработка j -го транспортного средства на i -м маршруте по формуле:

$$\text{а) } U_{ji} = Q_{ji} / t_{ji}, \text{ Т/час}, \quad (5.2)$$

$$\text{б) } W_{ji} = P_{ji} / t_{ji}, \text{ Т} \cdot \text{км/час}. \quad (5.3)$$

В результате проведенных исследований было выявлено, что доставка груза осуществляется в поддонах, тележках и термобоксах. Непроизводительные потери времени при доставке груза в торговые точки осуществляются при зачистке транспортного средства от оборотной тары в распорядительном центре. Формирование маршрутов осуществляется на основе использования эвристического метода «Свира».

Для повышения эффективности сетевой доставки груза с распределительного центра АО «Тандер» в торговые точки было предложено применить программное обеспечение (Logistics № 2023669755, Distribution Center № 2024614147 Приложение Е) на основе разработанных методик (п. 2., 2.3, 3.1 3.2 и 4.1.)

Фактические расстояния между пунктами и реализация торговых точек приведены в приложении Г.

Требуется найти координаты рационального местоположения распределительного центра, сравнить варианты доставки груза в торговые точки с существующего распределительного центра по предлагаемым критериям

«транспортная работа» и «временя». Сначала, рассмотрим процесс определения местоположения распределительного центра с учетом – массы.

Согласно разработанной методике, решение задачи разбиваем на несколько этапов:

1. Вычисляем координаты грузового центра тяжести (ГЦТ), наносим на карту полученную точку, рисунок 5.8

$$x_c = \frac{q_1 x_1 + q_2 x_2 + \dots q_i x_i}{q_1 + q_2 + \dots q_i} = \frac{28777,066}{541} = 53,192360 \text{ км};$$

$$y_c = \frac{q_1 y_1 + q_2 y_2 + \dots q_i y_i}{q_1 + q_2 + \dots q_i} = \frac{24313,703}{541} = 44,942150 \text{ км}.$$

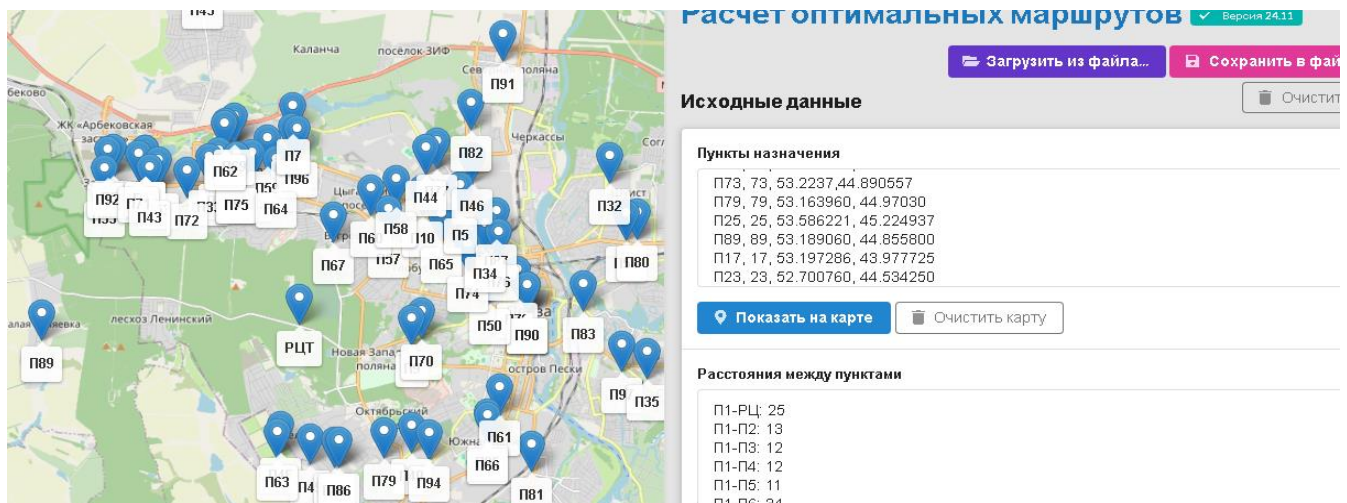


Рисунок 5.8 – Фрагмент расположения на карте грузового центра тяжести

2. Далее находим по карте расчетные узлы, расположенные наиболее близко вокруг грузового центра тяжести: П55, П72, П67, П9.

3. Проектируем рациональные кольцевые маршруты с учетом кривизны маршрутов, ограничений по вместимости (19 пл./м) и количеству пунктов на маршруте (3 пункта) с ближайших расчетных узлов.

Рассмотрим начало формирования маршрутов с расчетного узла – П55 с помощью программного обеспечения Distribution Center № 2024614147 и Logistics № 2023669755. Результаты работы программы приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные маршруты с расчетной точки П55.

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	Р т.км
1	2	3	4	5
1	1	Римесса	5	308
		Преследователь	5	
		Кроули	4	
		Плюшевый	5	
2	2	Беляевский	8	199,5
		Свисток	6,5	
		Грамотей	4,5	
3	3	Сальса	10	292,6
		Распоясывание	9	
4	4	Саранск 2 60 лет Октября	18,5	4069,8
		Арбеково	0,5	
5	5	Саранск 1 Севастопольская	14,5	3504,9
		Бинди	4,5	
6	6	Кувольсан	7	506,5
		Ахуны	1,5	
		Тыквенный	10,5	
7	7	Бессоновка	15,5	626,5
		Арбеково	3,5	
8	8	Сеута	7	1636,6
		Прокат	8	
		Запрудный	4	
9	9	Невесомость	4,5	1493,5
		Экипаж	5	
		Ватрушка	4	
		Отвертка	4	
		Голдак	1,5	
10	10	Коррида	3,5	1926,8
		Тортоса	6,5	
		Ясеньки	5,5	
		Ребекка	1,5	
		Кундудо	2	
11	11	Вязьма	5,5	1630,3
		Оплата	6	
		Рассказ	4	
		Арбеково	3,5	

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5
12	12	Авторефрижератор	6	1195,6
		Шемьшейский	3,5	
		Вайкики	5,5	
		Фефелово	2	
		Герольдмейстер	2	
13	13	Вьяс	6	1063,3
		Милявский	9	
		Хозтовары	4	
14	14	Пристрой	6,5	539
		Бессоновка	9,5	
		Хозтовары	3	
15	15	Арахисовый	8	339,5
		Бессоновка	6	
		Медик	5	
16	16	Сетубаль	5	482,3
		Теннеси	5,5	
		Завлекательный	8,5	
17	17	Тивадар	7	199,5
		Ахуны	6	
		Златоцвет	6	
18	18	Клинкерование	2,5	58,1
		Яковенко	7,5	
		Шнитке	8	
		Музицирование	1	
19	19	Герольдмейстер	10,5	157,5
		Целительность	7	
		Грейви	1,5	
20	20	Кубист	10,5	311,5
		Лобановская	6	
		Просветление	2,5	
21	21	Откочевывание	6,5	187,6
		Подотчетность	6	
		Ризотто	6,5	
22	22	Лимпач	8	175
		Деление	6	
		Авокадо	4	
		Грейви	1	
23	23	Вечнозеленый	6	147,7
		Центимос	6,5	
		Вероятность	6,5	

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5
24	24	Тарханы	7	147,7
		Бериллий	6	
		Земельный	6	
25	25	Рисан	9	135,8
		Коммунист	10	
26	26	Сфера	3,5	178,5
		Грейви	7	
		Версаль	8,5	
27	27	Луковица	7	198,8
		Десерт	7	
		Голдак	5	
28	28	Лендек	4,5	194,3
		Брага	9	
		Шарман	5,5	
29	29	Пукетовый	2	261,5
		Стоматоскоп	9,5	
		Тенор	7,5	
30	30	Бубнова	7,5	603,1
		Агизиппе	4,5	
		Удочка	4	
31	31	Бартал	5,5	220,3
		Пазл (4)	10,5	
32	32	Арбеково	7	335
		Кундудо	4,5	
		Серебряный	4,5	
		Ламбада	3	
33	33	Рубра	8,5	323,1
		Каража	7,5	
		Ламбада	3	
34	34	Агизиппе	3	255,2
		Пазл	3	
		Арбеково	3	
		Рубра	3	
		Каража	2	
		Ламбада	2,5	

Рассмотрим, как учитывается кривизна маршрута 31 с расчётной точки П55. На рисунках 5.9-5.11 приведена кусочно-линейная аппроксимация маршрута 31 с помощью программного обеспечения. Выполненная работа на маршруте 31

приведена в таблице 5.4. Расчеты остальных маршрутов выполнены аналогично по предложенной методике.



Рисунок 5.9 – Фрагмент кусочно-линейной аппроксимации оптимального маршрута № 31 с расчётной точки П55

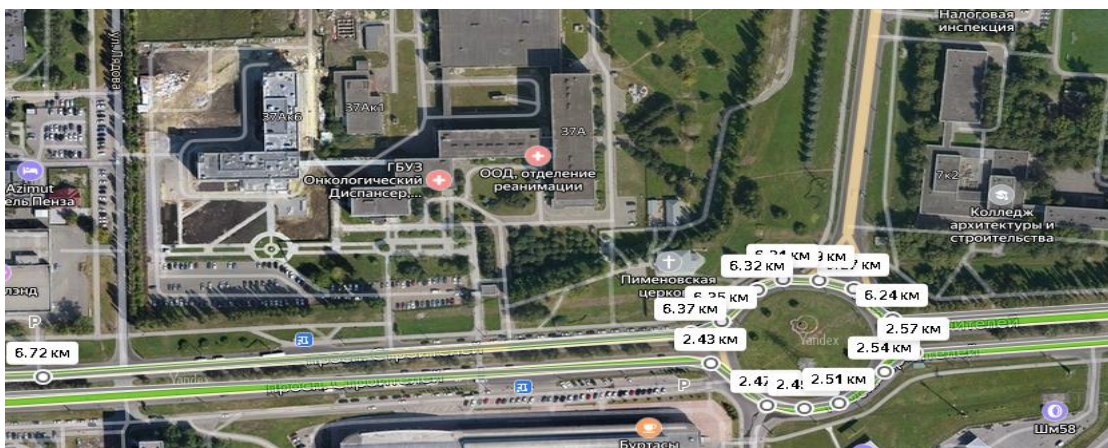


Рисунок 5.10 – Фрагмент кусочно-линейной аппроксимации оптимального маршрута № 31 с расчётной точки П55

Далее вычисляем работу P_i с учетом собственной массы автомобиля и веса товара в кузове на каждой ветви маршрута по формулам:

$$P_i = r \cdot l_i,$$

$$r_i = q_i + Q$$

Расчет производим в табличной форме. Определяем по карте координаты центра тяжести ветви и записываем их в таблицы 5.3.

Рассчитываем работу вокруг осей x и y , соответственно

$$P_x = P_i \cdot y,$$

$$P_y = P_i \cdot x$$

Дальнейшие расчеты для остальных расчетных узлов проводим согласно разработанной методике (Приложение Д).



Рисунок 5.11 – Фрагмент кусочно-линейной аппроксимации оптимального маршрута № 31 с расчётной точки П55

Таблица 5.3 – Работа на маршруте № 31

Ветвь	x, км	y, км	l, км	г, т	P, т км	P _x , т км	P _y , т км
1	2	3	4	5	6	7	8
2-3	53,212	44,878	0,052	30,8	1,60	85,1396	71,805
3-4	53,223	44,878	0,335	30,8	10,32	549,2685	463,141
4-5	53,224	44,888	0,340	30,8	10,20	542,8878	457,858
5-6	53,222	44,878	0,080	30,8	2,46	130,9268	110,400
6-7	53,222	44,879	0,021	30,8	0,65	34,5946	29,172
7-8	53,222	44,880	0,023	30,8	0,71	37,7879	31,865
8-9	53,222	44,880	0,023	30,8	0,71	37,7879	31,865
9-10	53,222	44,880	0,189	30,8	5,82	309,7537	261,205
10-11	53,2222	44,880	0,09	30,8	2,77	147,4254	124,320
11-12	53,222	44,881	0,27	30,8	8,32	442,8078	373,412
12-13	53,221	44,881	0,2	30,8	6,16	327,8462	276,472
13-14	53,221	44,882	0,86	26,4	22,70	1208,1326	1018,835
14-15	53,221	44,883	0,04	26,4	1,06	56,4147	47,577
15-16	53,221	44,884	0,02	26,4	0,53	28,2073	23,789

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
16-17	53,221	44,886	0,02	26,4	0,53	28,2073	23,790
17-18	53,221	44,888	0,03	26,4	0,79	42,0449	35,462
18-19	53,221	44,890	0,03	26,4	0,79	42,0450	35,463
19-20	53,221	44,891	0,98	26,4	25,87	1376,842	1161,348
20-21	53,221	44,897	0,06	26,4	1,58	84,09044	70,937
21-22	53,221	44,900	0,09	26,4	2,38	126,6681	106,862
22-23	53,222	44,904	0,1	26,4	2,64	140,5060	118,549
23-24	53,221	44,905	0,44	26,4	11,62	618,4373	521,801
24-25	53,222	44,906	0,03	26,4	0,79	42,0453	35,476
25-26	53,2222	44,9066	0,04	26,4	1,06	56,41553	47,601
26-27	53,2227	44,9161	0,06	26,4	1,58	84,0918	70,967
27-28	53,222	44,921	0,03	26,4	0,79	42,0460	35,488
28-29	53,222	44,922	0,03	26,4	0,79	42,0460	35,489
30-31	53,222	44,923	0,04	26,4	1,06	56,4160	47,618
31-32	53,222	44,923	0,04	26,4	1,06	56,4160	47,619
32-33	53,222	44,924	0,45	26,4	11,88	632,2844	533,699
33-34	53,222	44,924	0,1	26,4	2,64	140,5074	118,601
34-35	53,222	44,926	0,03	26,4	0,79	42,0456	35,492
35-36	53,221	44,9280	0,03	26,4	0,79	42,0453	35,493
36-37	53,221	44,930	0,14	21,2	2,97	158,0675	133,444
37-38	53,221	44,931	0,97	21,2	20,56	1094,223	923,796
38-39	53,223	44,923	0,03	21,2	0,64	34,0627	28,751
39-40	53,222	44,912	0,02	21,2	0,42	22,3535	18,863
41-42	53,222	44,909	0,02	21,2	0,42	22,3534	18,862
42-43	53,222	44,901	0,01	21,2	0,21	11,1766	9,429
43-44	53,222	44,895	0,03	21,2	0,64	34,0620	28,733
45-46	53,222	44,888	0,02	21,2	0,42	22,3532	18,853
46-47	53,221	44,883	0,35	21,2	7,42	394,9057	333,036
47-48	53,224	44,878	0,49	21,2	10,39	553,0025	466,289
48-49	53,227	44,877	0,2	21,2	4,24	225,6863	190,282
49-50	53,224	44,875	0,07	21,2	1,48	78,7725	66,416
50-51	53,224	44,874	0,2	21,2	4,24	225,6718	190,268
51-52	53,224	44,873	0,08	21,2	1,70	90,4813	76,285
52-53	53,224	44,873	0,17	21,2	3,60	191,6071	161,543
53-54	53,224	44,872	0,07	21,2	1,48	78,77166	66,412
54-55	53,224	44,872	0,06	21,2	1,27	67,5946	56,988

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
55-56	53,224	44,872	0,21	21,2	4,45	236,8490	199,681
56-57	53,2246	44,872	0,39	21,2	8,27	440,1677	371,093
57-1	53,224	44,872	0,05	21,2	1,06	56,41754	47,565
Итого					220,310	11725,4540	9890,484

4. Вычисляем на каждом участке спроектированного маршрута транспортную работу и рассчитываем координаты общего центра тяжести работы (ЦР), таблица 54 и 5.5.

Таблица 5.4 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	x, км	y, км	l, км	P, т.км
П55	ЦР55	53,206	44,904	2679,4	23880,6
П72	ЦР72	53,205	44,917	2660,6	23713
П67	ЦР67	53,203	44,935	3359,3	29941
П9	ЦР9	53,197	44,929	6833,1	60901,4

5. Рассчитываем средние их значения для всех ЦР и располагаем на карте РЦ, рисунок 5.12

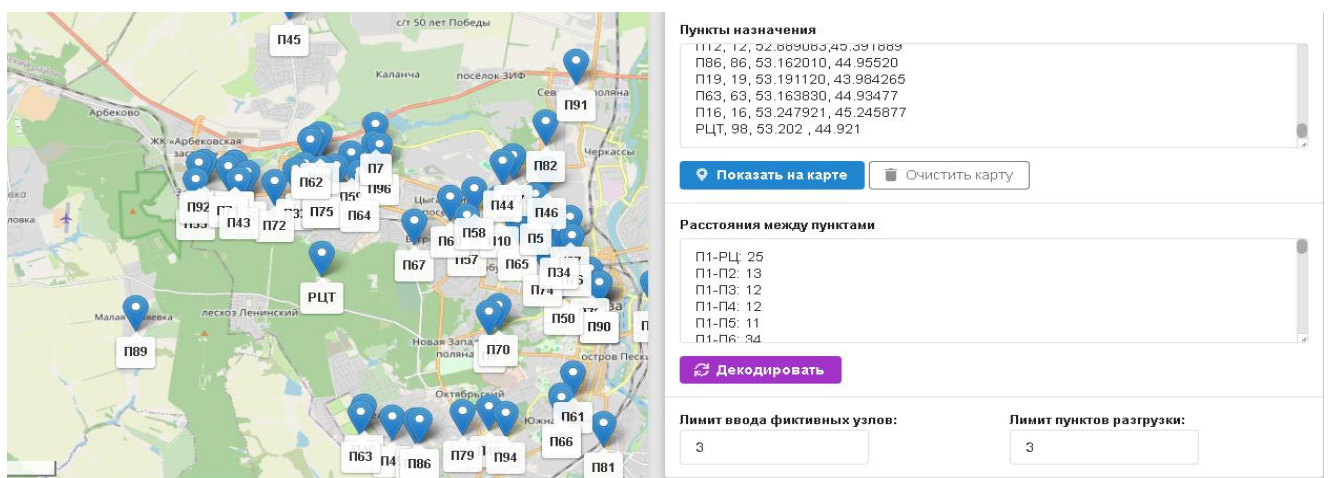


Рисунок 5.12 – Расположение на карте расчетного распределительного центра по критерию «транспортная работа»

Таблица 5.5 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	x, км	y, км	l, км	P, т.км
П55	ЦР55	53,206	44,904	2679,4	23880,6
П72	ЦР72	53,205	44,917	2660,6	23713
П67	ЦР67	53,203	44,935	3359,3	29941
П9	ЦР9	53,197	44,929	6833, 1	60901,4
среднее	РЦ	53,202	44,921		

Рассмотрим пример определения местонахождения распределительного центра по времени.

Согласно разработанной методике, решение разбиваем на несколько этапов:

1. Вычисляем координаты временного центра тяжести, наносим на карту полученную точку, рисунок 5.13.

$$X_c = \frac{t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{1199,066983}{22,54166} = 53,193 \text{ км};$$

$$Y_c = \frac{t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{1012,43863}{22,54166} = 44,914 \text{ км}.$$

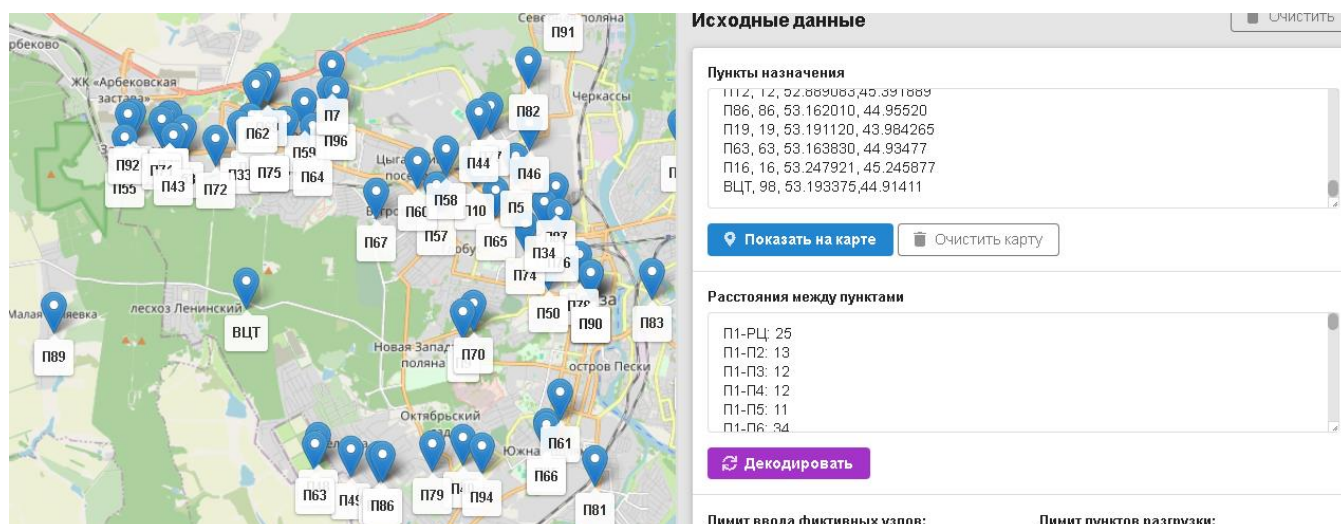


Рисунок 5.13 – Расположение на карте временного центра тяжести

2. Далее находим по карте расчетные узлы, расположенные около временного центра тяжести. Наиболее близко расположенные расчетные узлы – П55, П72, П67, П9.

3. Проектируем оптимальные маршруты с учетом ограничений по вместимости (19 пл./м) и количеству пунктов на маршруте (3 пункта) с ближайших расчетных узлов. Время движения между торговыми точками и распределительным центром приведено в приложении Г.

Результаты работы программного обеспечения по формированию рациональных маршрутов с учётом ограничений с расчетной точки П67 приведены в таблице 5.6.

Дальнейшие расчеты для остальных расчетных узлов проводим согласно разработанной методике. Результаты работы программы приведены в (Приложение Д).

Таблица 5.6 – Оптимальные маршруты с расчетной точки П67

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	Т, час
1	2	3	4	5
1	1	Римесса	5	2,22
		Преследователь	5	
		Кроули	4	
		Плюшевый	5	
2	2	Грамотей	4,5	1,55
		Свисток	6,5	
		Беляевский	8	
3	3	Сальса	10	3,65
		Распоясывание	9	
4	4	Саранск 2 60 лет Октября	18,5	11,2
		Арбеково	0,5	
5	5	Саранск 1 Севастопольская	14,5	10,28
		Бинди	4,5	
6	6	Бессоновка	15,5	2,43
		Арбеково	3,5	
7	7	Сеута	7	6,25
		Прокат	8	
		Запрудный	4	

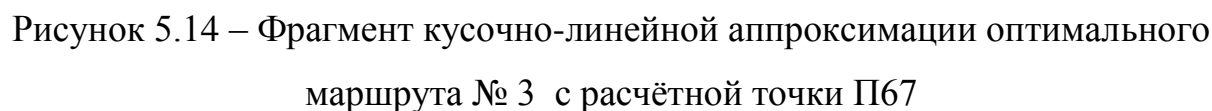
Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4	5
8	8	Невесомость	4,5	6
		Экипаж	5	
		Ватрушка	4	
		Отвертка	4	
		Голдак	1,5	
9	9	Коррида	3,5	8,75
		Тортоса	6,5	
		Ясеньки	5,5	
		Ребекка	1,5	
		Кундудо	2	
10	10	Вязьма	5,5	6,48
		Оплата	6	
		Рассказ	4	
		Арбеково	3,5	
11	11	Авторефрижератор	6	8,8
		Шемышейский	3,5	
		Вайкики	5,5	
		Фефелово	2	
		Герольдмейстер	2	
12	12	Вьяс	6	4,58
		Милявский	9	
		Хозтовары	4	
13	13	Пристрой	6,5	2,28
		Бессоновка	9,5	
		Хозтовары	3	
14	14	Арахисовый	8	2,20
		Бессоновка	6	
		Медик	5	
15	15	Сетубаль	5	2,58
		Теннеси	5,5	
		Завлекательный	8,5	
16	16	Тивадар	7	2,05
		Ахуны	6	
		Златоцвет	6	
17	17	Клинкерование	2,5	1,45
		Яковенко	7,5	
		Шнитке	8	
		Музицирование	1	
18	18	Герольдмейстер	10,5	1,53
		Целительность	7	
		Грейви	1,5	

Продолжение таблицы 5.6

19	19	Карамболь	10,5	2,35
		Ламбада	8,5	
20	20	Кубист	10,5	2,33
		Лобановская	6	
		Просветление	2,5	
21	21	Откочевывание	6,5	1,32
		Подотчетность	6	
		Ризотто	6,5	
22	22	Лимпач	8	2,28
		Деление	6	
		Авокадо	4	
		Грейви	1	
23	23	Вечнозеленый	6	2,15
		Центимос	6,5	
		Вероятность	6,5	
24	24	Тарханы	7	2,6
		Бериллий	6	
		Земельный	6	
25	25	Рисан	9	2,10
		Коммунист	10	
26	26	Сфера	3,5	1,55
		Грейви	7	
		Версаль	8,5	
27	27	Луковица	7	1,05
		Десерт	7	
		Голдак	5	
28	28	Лендек	4,5	2,20
		Брага	9	
		Шарман	5,5	
29	29	Пукетовый	2	1,25
		Стоматоскоп	9,5	
		Тенор	7,5	
30	30	Бубнова	7,5	2,40
		Агизиппе	4,5	
		Удочка	4	
		Тыквенный	3	
31	31	Бартал	5,5	2,15
		Пазл (4)	10,5	
		Тыквенный	3	

Рассмотрим, как учитывается кривизна маршрута на маршруте 3 с расчётной точки П67. На рисунках 5.14–5.15 приведена кусочно-линейная аппроксимация маршрута 3 с помощью программного обеспечения. Затраченное время при движении на маршруте 6 приведено в таблице 5.7. Расчеты остальных маршрутов выполнены аналогично предложенной методике.



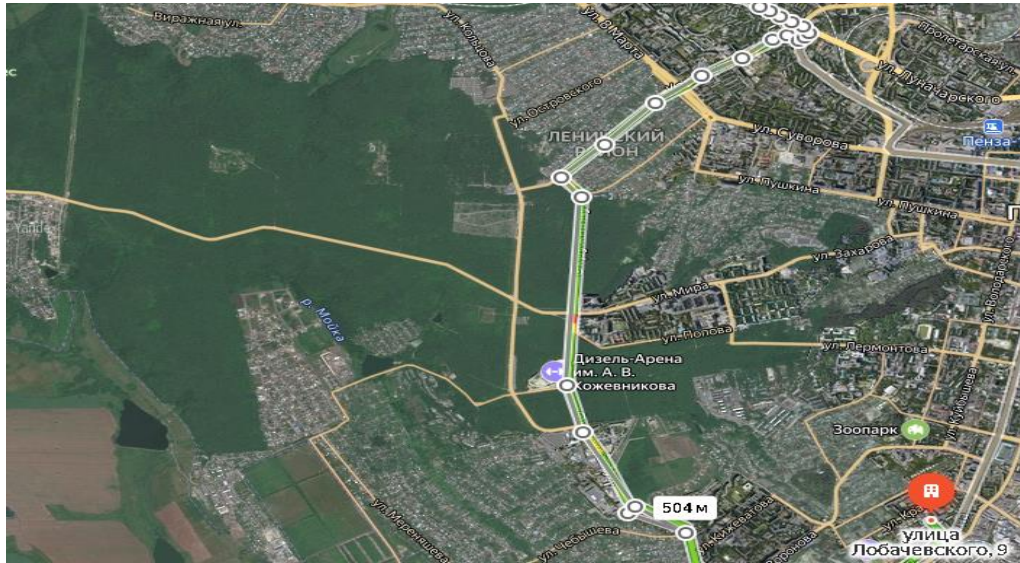


Рисунок 5.15 – Фрагмент кусочно-линейной аппроксимации оптимального маршрута № 3 с расчётной точки П67

Таблица 5.7 – Время на маршруте № 3

№ Ветви	t_i^{np} , час	х, км	у, км	t_i^{np} у час км	t_i^{np} х час км
1	2	3	4	5	6
1-2	0,001	53,166	45,007	0,053	0,045
2-3	0,005	53,175	45,006	0,266	0,225
3-4	0,006	53,192	45,012	0,319	0,270
4-5	0,01	53,195	45,014	0,532	0,450
5-6	0,03	53,197	44,999	1,596	1,350
6-7	0,03	53,198	44,993	1,596	1,350
7-8	0,04	53,199	44,980	2,128	1,799
8-9	0,05	53,200	44,976	2,660	2,249
9-10	0,07	53,207	44,974	3,724	3,148
10-11	0,08	53,210	44,970	4,257	3,598
11-12	0,08	53,211	44,969	4,257	3,598
12-13	0,08	53,213	44,967	4,257	3,597
13-14	0,1	53,217	44,960	5,322	4,496
14-15	0,1	53,217	44,956	5,322	4,496
15-16	0,1	53,217	44,955	5,322	4,496
16-17	0,1	53,217	44,950	5,322	4,495
17-18	0,08	53,219	44,941	4,258	3,595
18-19	0,1	53,220	44,934	5,322	4,493
19-20	0,08	53,220	44,931	4,258	3,594
20-21	0,1	53,221	44,931	5,322	4,493
21-22	0,08	53,221	44,931	4,258	3,594
22-23	0,1	53, 221	44,930	5,322	4,493

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5	6
23-24	0,08	53,221	44,929	4,258	3,594
24-25	0,03	53,221	44,928	1,597	1,348
25-26	0,03	53,221	44,928	1,597	1,348
26-27	0,02	53,222	44,926	1,064	0,899
27-28	0,01	53,222	44,926	0,532	0,449
28-29	0,03	53,228	44,906	1,597	1,347
29-30	0,3	53,230	44,906	15,969	13,472
30-31	0,01	53,230	44,907	0,532	0,449
31-32	0,01	53,223	44,906	0,532	0,449
33-34	0,02	53,222	44,904	1,064	0,898
35-36	0,3	53,221	44,894	15,966	13,468
36-37	0,01	53,223	44,905	0,532	0,449
37-38	0,1	53,230	44,907	5,323	4,491
38-39	0,1	53,231	44,912	5,323	4,491
39-40	0,3	53,228	44,923	15,968	13,477
40-41	0,08	53,226	44,928	4,258	3,594
41-42	0,1	53,227	44,938	5,323	4,494
42-43	0,3	53,226	44,947	15,968	13,484
43-44	0,08	53,210	44,970	4,257	3,598
44-45	0,08	53,211	44,969	4,257	3,598
45-46	0,07	53,200	44,976	3,724	3,148
46-47	0,05	53,207	44,974	2,660	2,249
47-48	0,04	53,199	44,980	2,128	1,799
48-49	0,03	53,198	44,993	1,596	1,350
49-50	0,03	53,197	44,999	1,596	1,350
50-51	0,01	53,195	45,014	0,532	0,450
51-52	0,006	53,192	45,012	0,319	0,270
52-53	0,005	53,175	45,006	0,266	0,225
53-1	0,001	53,166	45,007	0,053	0,045
Итого	3,6			194,464	164,207

4. Вычисляем на каждом участке спроектированного маршрута время движения, простоя и рассчитываем координаты общего центра времени (ЦВ), результаты расчетов в таблице 5.8.

Таблица 5.8 –Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	х, км	у, км	l, км	Т, час
П55	ЦВ55	53,207	44,648	3130	114,72
П72	ЦВ72	53,203	44,901	3097	113,5
П67	ЦВ67	53,200	44,931	2964	108,64
П9	ЦВ9	53,183	44,917	3338,4	122,36

5. Рассчитываем средние их значения для всех ЦВ. Результаты приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 –Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	х, км	у, км	l, км	Т, час
П55	ЦВ55	53,207	44,648	3130	114,72
П72	ЦВ72	53,203	44,901	3097	113,5
П67	ЦВ67	53,200	44,931	2964	108,64
П9	ЦВ9	53,183	44,917	3338,4	122,36
среднее	РЦ	53,198	44,840		

6. Ставим на карте среднюю точку и располагаем в ней РЦ, рисунок 5.16.

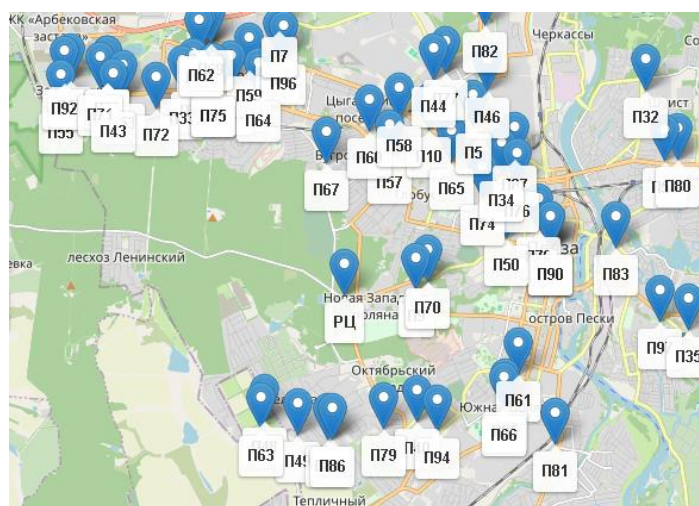


Рисунок 5.16 – Расположение на карте распределительного центра по критерию «времени»

Далее определяем транспортную работу подвижного состава с расчетного распределительного центра. Полученные результаты приведены в таблице 5.11. В таблицах обратный груз, который необходимо доставить в распределительный центр с торговых точек показываем в скобках.

При сравнении результатов расчета, представленных в таблицах 5.10 и 5.11, можно отметить следующее, что применение разработанных решений позволяет повысить эффективность организации транспортного процесса, которая

- При сравнении результатов расчета, представленных в таблицах 5.10 и 5.12, можно отметить следующее, что применение разработанных решений позволяет повысить эффективность организации транспортного процесса, которая выражается в следующем:

- Таблица 5.10 – Существующие показатели работы транспортных средств АТП «Сельта» компании ПАО «Магнит» в течение смены по Пензенской области

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол- во паллет	1 км	Т Час	1 ^{ге} км	Р т.км	U т/ч	W т.км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	Фефелово (Г)	2	81	5,05	76,2	1950,72	5,40	452,42
		Римесса (Г)	5						
		Кроули (Г)	4						
		Преследователь (Г)	5						
2	2	Откочевывание (Г)	6,5	104	6,37	70,7	1979,6	3,79	165,65
		Сетубаль (В)	5						
		Лобановская (Г)	6						
3	3	Рассказ (В)	1,5	218	4,15	134,4	3225,6	8,16	788,35
		Вероятность (Б)	6,5						
		Десерт (Г)	7						
4	4	Авторефрижератор (Г)	6	149	3,30	107,33	2572,92	5,74	504,22
		Шемышейский (В)	3,5						
		Вайкики (Г)	5,5						
5	5	Корида (Б)	3,5	251	4,44	98,6	2445,28	5,58	522,46
		Тортоса (Б)	6,5						
		Ясеньки (Б)	5,5						
6	6	Невесомость (В)	4,5	225	5,02	83	2191,2	6,42	488,99
		Сеута (Г)	7						
		Экипаж (В)	5						
		Оттенок (В)	1,5						

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	7	Ребекка (В)	1,5	252	6,30	130,38	3233,42	4,26	490,88
		Вязьма (Г)	5,5						
		Оплата (Г)	6						
		Рассказ (В)	2,5						
8	8	Вьяс (Г)	6	173	4,25	76,84	1844,16	5,33	403,92
		Милявский (Г)	9						
9	9	Ватрушка (В)	4	135	4,15	69,78	1786,36	7,21	480,59
		Прокат (В)	8						
		Отвертка (Г)	4						
10	10	Саранск 2 60 лет Октября (А)	18,5	340	15,45	162,6	8585,28	4,28	678,77
		Саранск 1 Севастопольская (А)	14,5						
11	11	Бартал (Г)	5,5	69	4,07	52,22	1545,71	5,00	382,62
		Бинди (Г)	4,5						
		Плюшевый (Г)	2						
		Хозтовары (Г)	4						
		Клинкерование (Г)	2,5						
12	12	Бессоновка (Г)	15,5	96	4,04	48	1190,4	7,75	372
13	13	Пристрой (Б)	6,5	150	3,05	64,1	1640,96	9,34	553,95
		Бессоновка (Г)	9,5						
14	14	Хозтовары (Г)	3	75	3,25	39,02	998,91	8,20	274,13
		Тивадар (Г)	7						
		Ахуны (В)	6						
15	15	Агизеппе (Г)	7,5	68	3,15	30,2	628,16	5,12	128,27
		Арбеково (Г)	7						
16	16	Брага (Г)	9	65	3,15	33,3	826,08	9,11	284,20
		Тенор (Г)	6,5						
17	17	Луковица (Г)	7	76	4,15	47,3	832,48	4,71	148,16
		Бубнова (В)	7,5						
		Грейви (Г)	1,5						
18	18	Тенор (Г)	1	82	3,30	46,2	1145,76	8,46	270,36
		Ламбада (Г)	8,5						
		Карамболь (Б)	6						
19	19	Тыквенный (Б)	10,5	57	2,47	23,94	574,56	9,39	222,12
		Карамболь (Б)	4,5						
20	20	Рисан (Д)	1,5	80	3,46	54,7	875,2	4,62	151,74
		Запрудный (Д)	4						
		Кубист (Д)	4,5						
21	21	Ахуны (Б)	1,5	81	3,52	46,14	1376,74	8,40	270,67
		Пазл (Г)(4)	13,5						
		Арбеково (Г)	3,5						
22	22	Кубист (Д)	6	77	3,25	39,9	638,4	5,21	185,12
		Грейви (Г)	1						
		Плюшевый (Г)	3						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	23	Арахисовый (В)	4	79	3,30	40,81	1012,08	7,67	247,37
		Версаль (В)	8,5						
		Кувольсан (Г)	3						
24	24	Кувольсан (Г)	4	66	3,34	43	1066,4	6,81	255,67
		Голдак (Г)	6,5						
		Шармаш (Б)	5,5						
		Кундудо (Г)	4,5						
25	25	Кундудо (Г)	2	69	3,32	46	1140,8	7,25	261,19
		Стоматоскоп (Г)	9,5						
		Авокадо (Б)	4						
26	26	Удочка (В)	4	94	3,40	58,1	1580,32	7,87	365,47
		Яковенко (Г)	7,5						
		Серебрянный (Г)	7,5						
27	27	Коммунист (Г)	10	78	2,47	30,7	785,92	10,36	293,70
		Деление (Г)	6						
28	28	Пукетовый (Д)	2	57	2,32	28,5	456	7,44	183,06
		Рисан (Д)	9						
29	29	Бериллий (Г)	6	64	3,32	40,2	1415,04	10,41	312,42
		Сальса (В)	10						
		Земельный (Г)	6						
30	30	Распоясывание (Г)	9	77	4,28	60,4	1497,92	6,07	291,66
		Подотчетность (В)	6						
		Аптека Арбеково (Г)	0,5						
31	31	Сфера (Б)	3,5	71	3,25	42,5	1088	8,25	255,12
		Садко (В)	8,5						
		Арахисовый (В)	8						
32	32	Свисток (Б)	6,5	73	3,06	35,1	1067,04	10,51	314,57
		Беляевский (Г)	8						
		Грамотей (Б)	4,5						
33	33	Медик (Г)	5	60	3,00	34,63	664,89	6,59	196,94
		Тенниси (Г)	5,5						
		Ризотто (Б)	1,5						
34	34	Теперское (Г)	7	78	5,30	44,8	1326,08	6,99	257,38
		Тарханы (Г)	7						
		Клатч (Б)	4,5						
35	35	Завлекательный (Г)	8,5	84	4,07	51	1550,4	7,69	135,69
		Шнитке (Г)	8						
		Просветление (Г)	2,5						
36	36	Целительность (Д)	7	71	3,15	36,4	582,4	4,95	169,36
		Музицирование (Д)	1						
		Пукетовый (Д)	2						
37	37	Ризотто (Б)	5	60	3,12	30,01	864,28	9,56	236,81
		Лимач (Г)	8						
		Голдак (Г)	5						

Таблица 5.11 – Показатели работы транспортных средств АТП в течение смены с
распределительного центра по критерию транспортной работы

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	L км	T час	I^{ce} км	L^{xol} км	P т.км	U т/ч	W т.км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	Римесса (Г)	5	46	2,15	37	9	371,7	7,06	172,88
		Кроули (Г)	4							
		Преследователь (Г)	5							
		Плюшевый (Г)	5							
2	2	Грамотей (Б)	4,5	25	1,25	15	10	182,35	12,16	145,88
		Свисток (Б)	6,5							
		Беляевский (Г)	8							
3	3	Сальса (В)	10	24	1,15	15	9	249,9	13,21	217,30
		Распоясывание (Г)	9							
4	4	Саранск 2 60 лет Октября (А)	18,5	300	11,20	288	12	3937,5	1,36	351,56
		Арбеково (Г)	0,5							
5	5	Саранск 1 Севастопольская (А)	14,5	310	11,45	161	149	2651,9	1,32	231,60
		Бинди (Г)	4,5							
6	6	Тыквенный (Б)	10,5	50	2,20	38	12	473,95	6,90	215,43
		Ахуны (В)	1,5							
		Кувольсан (Г)	7							
7	7	Бессоновка (Г)	15,5	52	2,52	40	12	615,7	6,03	244,32
		Арбеково (Г)	3,5							
8	8	Сеута (Г)	7	190	7,27	178	12	1636,6	2,09	225,11
		Прокат (В)	8							
		Запрудный (Д)	4							

Продолжение таблицы 5.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	9	Невесомость (В)	4,5	177	6,25	171	6	1679,3	2,43	268,68
		Экипаж (В)	5							
		Отвертка (Г)	4							
		Ватрушка (Г)	4							
		Голдак (Г)	1,5							
10	10	Коррида (В)	3,5	256	8,22	246	10	1898,8	1,84	230,99
		Тортоса (Б)	6,5							
		Ясеньки (Б)	5,5							
		Ребекка (В)	1,5							
		Кундудо (Г)	2							
11	11	Вязьма (Г)	5,5	171	5,62	159	12	1332,1	2,70	237,02
		Оплата (Г)	6							
		Рассказ (В)	4							
		Арбеково (Г)	3,5							
12	12	Авторефрижератор (Г)	2	161	6,25	150	11	1384,9	2,43	221,58
		Шемышейский (В)	6							
		Вайкики (Г)	3,5							
		Фефелово (Г)	5,5							
		Герольдмейстер (Г)	2							
13	13	Вьяс(Г)	6	127	5,02	118	9	1094,1	3,02	217,94
		Милявский (В)	9							
		Хозтовары (Г)	4							
14	14	Пристрой (Б)	6,5	62	2,24	53	9	556,9	6,78	248,61
		Бессоновка (Г)	9,5							
		Хозтовары (Г)	3							
15	15	Арахисовый (В)	8	51	2,14	38	13	499,8	7,10	233,55
		Бессоновка (Г)	6							
		Медик (Г)	5							
16	16	Сетубаль (В)	5	62	2,24	52	10	564,9	6,78	252,18
		Теннеси (Г)	5,5							
		Завлекательный (Г)	8,5							
17	17	Тивадар (Г)	7	33	1,30	29	4	304,5	11,69	234,23
		Ахуны (В)	6							
		Златоцвет (Г)	6							
18	18	МК Клинкерование (Г)	2,5	25	1,05	17	8	245,7	14,47	234
		Яковенко (Г)	7,5							
		Шнитке (Г)	8							
		Музицирование (Д)	1							
19	19	МК Герольмейстер	10,5	28	1,25	19	9	272,3	12,16	217,84
		Целительность (Д)	7							
		Грейви (Г)	1,5							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	20	Карамболь (Б)	10,5	35	1,47	25	10	322,7	10,34	219,52
		Ламбада (Г)	8,5							
21	21	Кубист (Д)	10,5	37	1,58	28	9	358,8	9,62	277,08
		Лобановская (Г)	6							
		Просветление (Г)	2,5							
22	22	Откочевывание (Г)	6,5	27	1,28	16	11	241,5	11,87	188,67
		Подотчетность (В)	6							
		Ризотто (Б)	6,5							
23	23	Лимпач (Г)	8	29	1,35	20	9	252,7	11,25	187,18
		Деление (Г)	6							
		Авокадо (Б)	4							
		Грейви (Г)	1							
24	24	Вечнозеленый (Г)	6	22	1,01	17	5	187,9	15,04	186,03
		Центимос (Г)	6,5							
		Вероятность (Б)	6,5							
25	25	Тарханы (Г)	7	28	1,10	23	5	275,2	13,8	233,81
		Бериллий (Г)	6							
		Земельный (Г)	6							
26	26	Рисан (Д)	9	17	0,7	9	8	156,1	21,7	223
		Коммунист (Г)	10							
27	27	Сфера (Б)	3,5	37	1,35	25	12	200,2	11,25	148,29
		Грейви (Г)	7							
		Версаль (В)	8,5							
28	28	Луковица (Г)	7	22	1,01	16	6	175	15,04	173,26
		Десерт (Г)	7							
		Голдак (Г)	5							
29	29	Лендек (Г)	4,5	23	1,08	15	8	179,2	14,07	165,92
		Брага (Г)	9							
		Шарман (Б)	5,5							
30	30	Пукетовый (Д)	2	25	1,12	13	12	211,4	13,57	188,75
		Стоматоскоп (Г)	9,5							
		Тенор (Г)	7,5							
31	31	Бубнова (В)	7,5	43	1,55	32	11	585,2	8,25	377,54
		Агизиппе (Г)	4,5							
		Удочка (В)	4							
32	32	Бартал (Г)	5,5	22	1,01	11	11	160,3	12,67	158,7
		Пазл (Г)(4)	10,5							
33	33	Арбеково (Г)	7	29	1,25	20	9	239,8	10,24	191,84
		Кундудо (Г)	4,5							
		Серебряный (Г)	4,5							

Таблица 5.12 – Показатели работы транспортных средств АТП в течение смены с
распределительного центра по критерию время

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	L км	T час	l^{ce} км	L^{xol} км	P т.км	U т/ч	W т.км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	Римесса (Г)	5	55	2,38	42	13	470,25	6,38	184,41
		Преследователь (Г)	5							
		Кроули (Г)	4							
		Плюшевый (Г)	5							
2	2	Грамотей (Б)	4,5	34	1,29	20	14	289	11,7	251,93
		Свисток (Б)	6,5							
		Беляевский (Г)	8							
3	3	Сальса (В)	10	33	1,19	20	13	280,5	12,7	375,88
		Распоясывание (Г)	9							
4	4	Саранск 260 лет Октября (А)	18,5	241	9,25	225	16	2048,5	1,34	314,25
		Арбеково (Г)	0,5							
5	5	Саранск 1 Севастопольская (А)	14,5	263	9,38	165	98	2235,5	1,34	233,29
		Бинди (Г)	4,5							
6	6	Тыквенный (Б)	10,5	57	2,13	44	13	484,5	7,13	240
		Ахуны (В)	1,5							
		Кувольсан (Г)	7							
7	7	Бессоновка (Г)	15,5	60	2,24	46	14	510	6,78	327,63
		Арбеково (Г)	3,5							
8	8	Сеута (Г)	7	191	6,34	176	15	1623,5	2,07	223,16
		Прокат (В)	8							
		Запрудный (Д)	4							

Продолжение таблицы 5.12

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
9	9	Невесомость (В)	4,5	181	5,54	170	11	1538,5	2,32	260
		Экипаж (В)	5							
		Ватрушка (В)	4							
		отвертка (Г)	4							
		Голдак (Г)	1,5							
10	10	Коррида (В)	3,5	233	7,47	220	13	1980,5	1,60	203,9
		Тортоса (Б)	6,5							
		Ясеньки (Б)	5,5							
		Ребекка (В)	1,5							
		Кундудо (Г)	2							
11	11	Вязьма (Г)	5,5	174	6,47	163	11	1479	2,34	221,25
		Оплата (Г)	6							
		Рассказ (В)	4							
		Арбеково (Г)	3,5							
12	12	Авторефрижератор (Г)	6	208	8,48	194	14	1768	1,61	209,22
		Шемышейский (В)	3,5							
		Вайкики (Г)	5,5							
		Фефелово (Г)	2							
		Герольдмейстер (Г)	2							
13	13	Вьяс(Г)	6	136	4,91	123	13	1156	3,09	237,37
		Милявский (В)	9							
		Хозтовары (Г)	4							
14	14	Пристрой (Б)	6,5	71	2,56	58	13	604	5,93	247,18
		Бессоновка (Г)	9,5							
		Хозтовары (Г)	3							
15	15	Арахисовый (В)	8	54	2,13	43	11	459	7,41	244,50
		Бессоновка (Г)	6							
		Медик (Г)	5							
16	16	Сетубаль (В)	5	55	2,56	40	15	468	6,17	248,28
		Теннеси (Г)	5,5							
		Завлекательный (Г)	8,5							
17	17	Тивадар (Г)	7	42	1,58	34	8	357	10,46	253,11
		Ахуны (В)	6							
		Златоцвет (Г)	6							
18	18	Клинкерование (Г)	2,5	29	1,22	18	11	246,5	12,95	274,91
		Яковенко (Г)	7,5							
		Шнитке (Г)	8							
		Музицирование (Д)	1							

Продолжение таблицы 5.12

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
19	19	Герольмейстер (Д)	10,5	30	1,38	20	10	255	11,87	272,40
		Целительность (Д)	7							
		Грейви (Г)	1,5							
20	20	Карамболь (Б)	10,5	36	1,59	25	11	306	9,93	259,55
		Ламбада (Г)	8,5							
21	21	Кубист (Д)	10,5	38	2,06	25	13	323	7,66	214,95
		Лобановская (Г)	6							
		Просветление (Г)	2,5							
22	22	Откочевывание (Г)	6,5	31	1,38	21	10	263,5	12,15	247,69
		Подотчетность (В)	6							
		Ризотто (Б)	6,5							
23	23	Лимпач (Г)	8	33	1,38	23	11	281	11,69	245,53
		Деление (Г)	6							
		Авокадо (Б)	4							
		Грейви (Г)	1							
24	24	Вечнозеленый (Г)	6	24	1,04	15	9	204	14,61	235,58
		Центимос (Г)	6,5							
		Вероятность (Б)	6,5							
25	25	Тарханы (Г)	7	29	1,38	20	9	246,5	11,69	274,61
		Бериллий (Г)	6							
		Земельный (Г)	6							
26	26	Рисан (Д)	9	21	0,9	11	10	179	16,8	261,55
		Коммунист (Г)	10							
27	27	Сфера (Б)	3,5	32	1,54	20	12	272	9,8	163,18
		Грейви (Г)	7							
		Версаль (В)	8,5							
28	28	Луковица (Г)	7	23	0,9	13	10	196	16,8	227,88
		Десерт (Г)	7							
		Голдак (Г)	5							
29	29	Лендек (Г)	4,5	20	1,12	8	12	170	13,57	233,125
		Брага (Г)	9							
		Шшарман (Б)	5,5							

Продолжение таблицы 5.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	30	Пукетовый (Д)	2	21	1,19	11	10	179	12,77	245,21
		Стоматоскоп (Г)	9,5							
		Тенор (Г)	7,5							
31	31	Бубнова (В)	7,5	34	1,77	24	10	289	8,58	247,17
		Агизиппе (Г)	4,5							
		Удочка (В)	4							
32	32	Баргал (Г)	5,5	24	1,08	14	10	173	14,61	243,65
		Пазл (Г)	10,5							
33	33	Арбеково (Г)	7	23	1,38	13	10	166	11,69	225,30
		Кундудо (Г)	4,5							
		Серебряный (Г)	4,5							
34	34	Рубра (В)	8,5	26	1,08	15	11	187	14,61	236,63
		Каража (Г)	7,5							
35	35	Агизиппе (Г)	3	36	1,55	25	11	260	9,8	255,61
		Пазл (Г)	3							
		Арбеково (Г)	3							
		Рубра (В)	3							
		Каража (Г)	2							
Итого				2591	99,84	2326	495	26301,1	311,95	8639,88

Для определения вероятностных параметров местоположения распределительного центра в математических моделях были использованы результаты исследования. Количество расчетных данных обеспечивает доверительную вероятность 0,95 и предельную ошибку выборки 0,1.

Рассмотрим процесс установления связи по результатам исследований между транспортной работой и временем на маршруте, в математической модели определения местоположения распределительного центра по критерию «транспортная работа». Определяем параметры линейной функции по методу наименьших квадратов, таблица 5.13:

$$y = a_0 + a_1 x$$

Таблица 5.13 – Параметры линейной функции

x	y	x ²	x · y
1	2	3	4
371,7	2,15	138160,89	799,155
182,35	1,25	33251,5225	227,9375
249,9	1,15	62450,01	287,385
3937,5	11,2	15503906,25	44100
2651,9	Σ11,45	7032573,61	30364,255
473,95	2,2	224628,6025	1042,69
615,7	2,52	379086,49	1551,564
1636,6	7,27	2678459,56	11898,082
1	2	3	4
1679,3	6,25	2820048,49	10495,625
1898,8	8,22	3605441,44	15608,136
1332,1	5,62	1774490,41	7486,402
1384,9	6,25	1917948,01	8655,625
1094,1	5,02	1197054,81	5492,382
556,9	2,24	310137,61	1247,456
499,8	2,14	249800,04	1069,572
564,9	2,24	319112,01	1265,376
304,5	2,24	92720,25	682,08
245,7	1,3	60368,49	319,41
272,3	1,05	74147,29	285,915
322,7	1,25	104135,29	403,375
358,8	1,47	128737,44	527,436
241,5	1,58	58322,25	381,57
252,7	1,28	63857,29	323,456
187,9	1,35	35306,41	253,665
275,2	1,01	75735,04	277,952
156,1	1,1	24367,21	171,71
200,2	0,7	40080,04	140,14
175	1,35	30625	236,25
179,2	1,01	32112,64	180,992
211,4	1,08	44689,96	228,312
585,2	1,12	342459,04	655,424
160,3	1,55	25696,09	248,465
239,8	1,01	57504,04	242,198
172,2	1,25	29652,84	215,25
Σ= 23981,9	Σ= 101,42	Σ= 39663663,01	Σ= 147846,982

Из системы уравнений:

$$na_0 + a_1 \sum_{i=1}^{35} x_i = \sum_{i=1}^{35} y_i;$$

$$a_0 \sum_{i=1}^{35} x_i = a_1 \sum_{i=1}^{35} x_i^2 = \sum_{i=1}^{35} x_i y_i.$$

где a_0 и a_1 – коэффициенты линейной функции.

Далее решаем систему линейных уравнений методом Крамера.

$$\begin{cases} 35 a_0 + a_1 23981,9 = 101 \\ 23981,9a_0 + 39663663a_1 = 147846,982 \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 35 & 23891 \\ 23981 & 39663663 \end{vmatrix} = 1388228205 - 575088361 = 813139844$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 101 & 23981 \\ 147846 & 39663663 \end{vmatrix} = 4006029963 - 3545494926 = 460535037$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 35 & 101 \\ 123981 & 147846 \end{vmatrix} = 5174610 - 2422081 = 4932529$$

$$a_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{460535037}{813139844} = 0,56,$$

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{4932529}{813139844} = 0,006.$$

Далее получаем искомую зависимость в следующем виде:

$$y = 0,56x + 0,006$$

Далее аналогично определяем параметры уравнений регрессионных зависимостей транспортной работы и выработки подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по времени, от длины маршрута, веса перевозимого груза (табл.5.14-5.15), при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 5.14 – Параметры уравнений регрессионных зависимостей влияния длины маршрута, времени на маршруте и веса перевозимого груза на транспортную работу и выработку подвижного состава при доставке груза с расчетного распределительного центра по критерию транспортная работа.

Параметры уравнений регрессионных зависимостей		
$P, \text{т} \cdot \text{км}$	$U, \text{т/ч}$	$W, \text{т} \cdot \text{км/ч}$
$P = 8,6 L + 0,096$	$U = 192,27 L - 266,65$	$W = 842 + 7,1L$
$P = 0,15T + 0,006$	$U = 7,11 T - 0,45$	$W = 5810 - 0,025 T$
$P = 0,13q - 115$	$U = 15,11 - 0,034q$	$W = 293 + 20,9q$

Таблица 5.15 – Параметры уравнений регрессионных зависимостей влияния длины маршрута, времени на маршруте и веса перевозимого груза на транспортную работу и выработку подвижного состава при доставке груза с расчетного распределительного центра по времени, при доверительной вероятности 0,95

Параметры уравнений регрессионных зависимостей		
$P, \text{т} \cdot \text{км}$	$U, \text{т/ч}$	$W, \text{т} \cdot \text{км/ч}$
$P = 0,11L - 0,51$	$U = 214,8 - 14L$	$W = 0,38L - 3,4$
$P = 0,2 + 2T$	$U = 14,2 - 0,45T$	$W = 4,8 - 0,008 T$
$P = 0,7 + 1,5q$	$U = 14,7 + 0q$	$W = 10,2 - 0,35q$

5.2. Оценка эколого-экономического эффекта внедрения разработанных решений

Оценка эколого-экономической эффективности разработанных моделей проводится по двум показателям:

- затрате на организацию маршрутов;
- расчету социально-экономического ущерба от воздействия вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферу.[79]

5.2.1. Затраты на организацию маршрутов при доставке груза

Затраты на организацию маршрутов включают следующее:

$$Z_i = Z_i^{\partial\theta} + Z_i^{np} + Z_i^3, \quad (5.3)$$

где $Z_i^{\partial\theta}$ – затраты на передвижение, руб;

Z_i^{np} – затраты на простой автомобиля, руб;

Z_i^3 – организационный простой на заезд в пункт, руб.

Отметим, что при движении энергия сжигаемого топлива затрачивается на работу по перемещению масс автомобиля и груза. Работу на перемещение груза считаем независимой от таковой для автомобиля. Поэтому затраты на маршруте при движении найдем по формуле:

$$Z_i^{\partial\theta} = Z_i^A + Z_i^{\Gamma}, \quad (5.4)$$

где Z_i^A – затраты на перемещение автомобиля без груза по всему маршруту, руб;

Z_i^{Γ} – затраты на перемещение груза, руб.

В формуле (5.3):

$$Z_i^A = c_i^1 L, \quad (5.5)$$

где c_i^1 – стоимость километра пробега рассматриваемой марки автомобиля, руб./км.;

L – длина ездки, км:

$$Z_i^{\Gamma} = c_i^{\Gamma} P_i \quad (5.6)$$

где c_i^{Γ} – стоимость единицы транспортной работы в т.км при перевозке груза, руб/ткм;

P_i – величина транспортной работы по перемещению груза, т км.

Работу по перемещению всего груза на i -ом маршруте представим в следующем виде:

$$P_i = \sum_{j=1}^N q_{ij} l_{ij}^{\Gamma}, \quad (5.7)$$

где q_{ij} – масса разгружаемого груза в пункте, т.;

l_{ij}^{Γ} – грузовое плечо от пункта погрузки до пункта его разгрузки, км;

N – количество пунктов разгрузки, шт.

Стоимость затрат времени на погрузочно-разгрузочные работы рассчитываем, используя почасовую оплату:

$$З_i^{np} = t_i^{np} C_i^{\text{ч}}, \quad (5.8)$$

где $C_i^{\text{ч}}$ – стоимость одного часа использования автомобиля, руб/ч;

t_i^{np} – время на погрузочно-разгрузочные операции, ч.

Стоимость затрат времени на организационный заезд в пункт разгрузки рассчитываем так:

$$З_i^{3p} = t_i^{3p} C_i^{\text{ч}}, \quad (5.9)$$

где t_i^{3p} – время заезда в пункт разгрузки, ч.

Стоимость затрат времени на организационный заезд в пункт погрузки на очистку от оборотной тары рассчитываем так:

$$З_i^{3n} = t_i^{3n} C_i^{\text{ч}}, \quad (5.10)$$

где t_i^{3n} – время заезда в пункт погрузки, для очистки от оборотной тары, ч.

К этим затратам необходимо добавить расходы связанные с зарплатой водителя которые находятся по формуле:

$$З_i^6 = t_i C_i^6, \quad (5.11)$$

где t_i – время ездки, ч.;

C_i^6 – стоимость одного часа работы водителя, руб/ч.

С учетом формул (5.3)-(5.10) затраты на организацию маршрута определяем по формуле:

$$Z_M = C^l L + C^q P + C^B t + C^q t^{ПРО}. \quad (5.12)$$

Стоимостные показатели C^l и C^q находим, в зависимости от марки автомобиля по формулам:

$$C^l = 0,01 H_S \Pi, \quad (5.13)$$

$$C^q = 0,01 H_W \Pi, \quad (5.14)$$

где H_S – норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км;

H_W – норма расхода топлива на перевозку полезного груза, л/100 т км;

Π – стоимость одного литра нефтепродукта, руб.

Стоимость одного часа эксплуатации автомобиля и зарплата водителя может отличаться в различных регионах и выбирается по месту расположения распределительного центра.

По данным компании ОАО «Магнит», $C^u = 357$ р/час и $C^s = 204$ р/час. Стоимость одного километра пробега автомобиля составляет $C^l = 28$ руб., а величина $C^q = 4,48$ руб.

Затраты на доставку груза с существующего распределительного центра в торговую сеть до применения предложенных решений, можно найти по формуле:

$$Z_M = C^l L + C^q P + C^B t + C^q t^{ПРО}.$$

$$Z_{M1} = 28 \cdot 4124 + 4,48 \cdot 60567,87 + 204 \cdot 157,47 + 357 \cdot 48 = 436072,04 \text{ руб.}$$

Затраты на доставку груза с распределительного центра по критерию «транспортная работа», в торговые точки находим по формуле:

$$Z_{M2} = 28 \cdot 2603 + 4,48 \cdot 23981,9 + 204 \cdot 100,08 + 357 \cdot 48 = 217875,23 \text{ руб.}$$

Затраты на доставку груза с распределительного центра по критерию «время», в торговые точки находим по формуле:

$$Z_{M3} = 28 \cdot 2951 + 4,48 \cdot 26301,1 + 204 \cdot 108,16 + 357 \cdot 48 = 239657,56 \text{ руб.}$$

5.2.2. Расчет социально-экономического ущерба от воздействия вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферу при сетевой доставке груза

Величину экологического от загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта определяем по следующей формуле:

$$Y_A = \gamma \sigma f M, \quad (5.14)$$

где γ – константа, численное значение которой равно 74,00 руб./усл.т (Для центрального федерального округа);

σ – показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха;

f – безразмерная величина, равная для автотранспортных средств 10;

M – приведенная масса годового выброса загрязнений автотранспортными средствами, усл.т/сут.

Приведенная масса годового выброса загрязнений автотранспортными средствами определяется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i, \quad (5.15)$$

где n – общее число вредных примесей, выбрасываемых автотранспортными средствами в атмосферу;

A_i – показатель относительной агрессивности примеси i -го вида, усл.т/т;

m_i – масса годового выброса примесей i -го вида в атмосферу, т/год [79].

Масса выброса (т) вредной примеси i -го вида в атмосферу автотранспортными средствами конкретной марки определена по формуле:

-за сутки одним автомобилем:

$$m_{i\text{сут}} = k_i Q_{\text{км}} \rho_m k_{\text{вл}} L_{\text{сс}} 10^{-3}, \quad (5.16)$$

где K_i – коэффициент, оценивающий удельный вес выброса i -го вида вредной примеси при сгорании 1 кг топлива;

$Q_{км}$ – расход топлива на 1 км пробега автотранспортного средства, л/км;

ρ_m – средняя плотность топлива, г/см³;

$L_{сс}$ – среднесуточный пробег автомобиля, км;

$k_{вл}$ – коэффициент влияния среднего возраста и технического состояния автомобиля;

5.2.2.1. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей-грузовиков категории N3

В работе расчеты произведены для категории автомобилей N3. Классификация АТС категории N3 приведена в таблице 5.13. Исходные данные в таблице 5.14.

Таблица 5.13 – Характеристики автотранспортных средств

Категория	Технически допустимая максимальная масса, т	Характеристика АТС	Примеры АТС массового производства
N ₃	Свыше 12	Для перевозки грузов. Специальное оборудование, устанавливаемое на АТС, рассматривают как эквивалент груза	MAN TGS 26.350 MAN TGM 18.250
O ₄	Свыше 10		Прицеп Schmitz ZKO18 (115747)

Таблица 5.14 – Исходные данные для расчета

Категория АТС	Марка автомобиля	Значение q_n , т	Расход топлива, л/100 км
N ₃	MAN TGS 26.350 + прицеп Schmitz ZKO18 (115747)	26,00+ 18,00	35,5
	MAN TGM 18.250	18,00	30,5
	MAN TGS 26.350	26,00	32,5

5.2.2.2. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей категории N3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобиля MAN TGS 26

Подставляя в формулу 5.17 исходные данные для расчета, определена масса выброса вредной примеси в атмосферу автомобиля MAN TGS 26.350 + прицеп Schmitz ZKO18 (115747) за сутки до применения предложенных решений:

$$m_{CO \text{ сут}} = 0,030 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,1 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 0,001567 \text{ т/сут}$$

$$m_{NO_2 \text{ сут}} = 0,040 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 0,001900 \text{ т/сут}$$

$$m_{CH \text{ сут}} = 0,001 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,2 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 0,000057 \text{ т/сут}$$

Определяем массу выброса вредной примеси в атмосферу автомобиля MAN TGS 26.350 за сутки после применения предложенных решений:

$$m_{CO \text{ сут}} = 0,030 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,1 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000664 \text{ т/сут}$$

$$m_{NO_2 \text{ сут}} = 0,040 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000804 \text{ т/сут}$$

$$m_{CH \text{ сут}} = 0,001 \cdot 0,325 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 1,2 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000024 \text{ т/сут}$$

Масса выбросов вредных веществ, отработанных газов двигателя 1 автомобиля в окружающую среду найдена по формуле 5.16 до применения предложенных решений:

$$M = 1 \cdot 0,001567 + 41 \cdot 0,001900 + 1,5 \cdot 0,000057 = 0,079552 \text{ усл. т./сут}$$

Масса выбросов вредных веществ отработанных газов двигателя 1 автомобиля в окружающую среду после применения предложенных решений найдена по формуле:

$$M = 1 \cdot 0,000664 + 41 \cdot 0,000804 + 1,5 \cdot 0,000024 = 0,033664 \text{ усл. т./сут}$$

5.2.2.3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобилей категории N3. Оценка экологической опасности при эксплуатации автомобиля MAN TGM 18.250

Подставляя в формулу 5.17 исходные данные для расчета, определяем массу выброса вредной примеси в атмосферу автомобиля MAN TGM 18.250 за сутки до применения предложенных решений:

$$m_{CO \text{ сут}} = 0,030 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,1 \cdot 99 \cdot 10^{-3} = 0,000913 \text{ т/сут}$$

$$m_{NO_2 \text{ сут}} = 0,040 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 99 \cdot 10^{-3} = 0,001106 \text{ т/сут}$$

$$m_{CH \text{ сут}} = 0,001 \cdot 0,325 \cdot 0,86 \cdot 1,2 \cdot 99 \cdot 10^{-3} = 0,000033 \text{ т/сут}$$

Определяем массу выброса вредной примеси в атмосферу автомобиля MAN TGM 18.250 за сутки после применения предложенных решений по формуле:

$$m_{CO \text{ сут}} = 0,030 \cdot 0,305 \cdot 0,86 \cdot 1,1 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000623 \text{ т/сут}$$

$$m_{NO_2 \text{ сут}} = 0,040 \cdot 0,305 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000755 \text{ т/сут}$$

$$m_{CH \text{ сут}} = 0,001 \cdot 0,305 \cdot 0,86 \cdot 1,2 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,000022 \text{ т/сут}$$

Масса выбросов вредных веществ, отработанных газов двигателя 1 автомобиля в окружающую среду найдена по формуле 5.15 до применения предложенных решений:

$$M = 1 \cdot 0,000913 + 41 \cdot 0,001106 + 1,5 \cdot 0,000033 = 0,046308 \text{ усл. т./сут}$$

Масса выбросов вредных веществ, отработанных газов двигателя 1 автомобиля в окружающую среду найдена по формуле 5.15 после применения предложенных решений:

$$M = 1 \cdot 0,000623 + 41 \cdot 0,000755 + 1,5 \cdot 0,000022 = 0,031611 \text{ усл. т./сут}$$

5.2.2.4. Расчет величины социально-экономического ущерба

По формуле 5.14. произведен расчет величины социально-экономического ущерба (Y_A , руб./сут.) от загрязнения атмосферы выбросами данных автомобилей.

Расчет выполнен для автомобилей до применения предложенных решений по формуле:

1. MAN TGS 26.350 + прицеп Schmitz ZKO18 (115747) - $Y_A = 74 \cdot 10 \cdot 0,07 = 51,8$ руб./сут.

2. MAN TGM 18.250 - $Y_A = 74 \cdot 10 \cdot 0,04 = 29,6$ руб./сут.

Расчет выполнен для автомобилей после применения предложенных решений по формуле:

1. MAN TGS 26.350 - $Y_A = 74 \cdot 10 \cdot 0,03 = 22,2$ руб./сут.

2. MAN TGM 18.250 - $Y_A = 74 \cdot 10 \cdot 0,03 = 22,2$ руб./сут.

Результаты расчета от социально-экономического ущерба автомобилей сведены в таблицу 5.15.

Таблица 5.15 – Социально-экономический ущерб автомобилей-грузовиков

Марка автомобилей	Социально-экономический ущерб, руб/сут до внедрения	Социально-экономический ущерб, руб/сут после внедрения
MAN TGS 26.350	51,8	22,2
MAN TGM 18.250	29,6	22,2

Выполнив расчеты, можно сделать выводы, что за смену затраты на развозку уменьшатся на 50%, величина социально-экономического ущерба на 25%.

Выводы по пятой главе

1. Проведены исследования по организации и управлению грузовыми потоками при доставке груза с распределительного центра в торговые точки в компании ПАО «Магнит» Пензенской области.

2. При проведении численного эксперимента апробирована усовершенствованная методика по определению координат местоположения распределительного центра при комбинированной схеме доставки груза.

3. Определены показатели работы подвижного состава при комбинированной схеме доставки груза с существующего распределительного центра и возможного распределительного центра по критерию «транспортная работа» и «время».

4. Определены рациональные кольцевые схемы передвижения из распределительного центра в торговые точки методом фиктивных узлов и ветвей с ограничениями и учетом кривизны траектории дорог.

5. Использование разработанных решений при доставке груза через распределительный центр позволило снизить затраты на транспортную работу на 57% – 61 % и величину социально-экологического ущерба от работы подвижного состава на – 25%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили решить научно-практическую проблему, имеющую техническую и технологическую обоснованность. Разработаны новые методы, усовершенствованы математические модели для управления цепями поставок через распределительный центр, внедрение которых имеет существенное значение в управлении процессами перевозок и вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны.

Основные научно-практические результаты:

1. Достигнуто снижение транспортных расходов при доставке партионных грузов на 35% от всей суммы затрат. Ключевым элементом в снижении затрат является оптимизация процессов управления цепями поставок. Существующие модели и методы управления цепями поставок имеют ряд недостатков:

- учитывается только масса груза при разгрузке или погрузке, но не учитывается процесс движения;
- происходит косвенный учет процесса движения через транспортную работу, совершаемую в вершинах транспортного графа;
- определение расстояния между пунктами транспортной сети по воздушной прямой;
- определение кривизны траектории движения автомобиля через коэффициент объезда, который находится при делении суммарной длины катетов на гипотенузу треугольника для каждого пункта транспортной сети.

2. Разработан метод маршрутизации транспорта по доставке груза с распределительного центра с учетом ограничений количества пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава. Его применение позволило сократить длину маршрута и время движения на маршруте автомобиля за смену более чем на 4% по сравнению с методом «ветвей и границ» при доставке груза в торговые сети компании ПАО «Магнит».

3. Разработаны метод маршрутизации транспорта и программное обеспечение по доставке груза с распределительного центра с учетом обратного груза и ограничений количества пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава. Их применение позволило сократить длину маршрута и время движения автомобиля за смену более чем на 12% по сравнению с методом «ветвей и границ» при доставке груза в торговые сети компании ПАО «Магнит».

4. Усовершенствована математическая модель, разработано программное обеспечение по определению местоположения распределительного центра по критерию «минимизация транспортной работы» с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля. Их применение позволило сократить длину маршрута и время на маршруте на 37%, увеличить выработку подвижного состава в (т/ч) на 37% и на 37% в (т·км/ч).

5. Усовершенствована математическая модель, разработано программное обеспечение по определению местоположения грузового распределительного центра по критерию «минимизация времени» с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля. Их применение позволило сократить длину маршрута на 37%, время на маршруте на 38%, увеличить выработку подвижного состава в (т/ч) на 37% и в (т·км/ч) на 43%.

6. Определены основные параметры процесса доставки груза с распределительного центра по критериям «транспортная работа» и «время», применение которых позволило повысить экономическую целесообразность на 50% и экологическую на 25%.

7. Определена степень зависимости выработки и транспортной работы подвижного состава с распределительного центра от длины маршрута, веса доставляемого груза и времени при доверительной вероятности 0,95, которая подтверждает дискретный характер транспортной работы. Установлено нормальное распределение времени погрузки, разгрузки, заезда в пункт обработки от оборотной тары, времени выезда с обработки от оборотной тары, скорости движения в населённом пункте и в пригородном сообщении.

8. Результаты научных, практических, экономических и экологических исследований реализованы в практической деятельности в ПАО «Магнит» (Пензенская область) и X5 Group (Пензенская область).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
2. Богданов А.И., Монгуш Б.С. Математическая модель оптимизации регионального размещения производств для предприятия легкой промышленности / А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Организатор производства. 2021.– Т. 29. № 2. – С. 77- 88.
3. Бродецкий Г. Л. Применение метода аналитической иерархии для оптимизации места расположения регионального распределительного центра / Г. Л. Бродецкий // Логистика и управление цепями поставок. 2005. № 6. С. 26–34.
4. Бродецкий Г. Л. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации: учебник / Г.Л.Бродецкий., Д.А.Гусев. 2-изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 288 с.
5. Вельможин, А.В. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов: монография / А.В. Вельможин, В. А. Гудков, Л.Б. Миротин. – Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2001. – 178 с.
6. Вельможин, А.В. Технология, организация и управление грузовыми автомобильными перевозками: учеб. для вузов / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – 2-е изд., доп. – Волгоград: Волгоград. гос. тех. ун-т, 2000. – 304 с.
7. Вельможин, А.В. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. для вузов / А.В. Вельможин [и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 560 с.
8. Витвицкий, Е.Е. Научные основы совершенствования теории мелкопартионных грузов автомобильных перевозок: дис. ... д-ра техн. наук /Е.Е. Витвицкий. – Тюмень, 2006.
9. Вольхин Е. Г. Модели размещения распределительных центров/ Е. Г. Вольхин // Управленец – 2018. Т. 9. №2. – С. 54-60.

10. Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки / А.И. Воркут. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986. – 447 с.
11. Воркут, А.И. Разработка теоретических основ и методов рациональной организации транспортного процесса при автомобильных перевозках партионных грузов: дис. ... д-ра техн. наук / А.И. Воркут. – Киев, 1986. – 442 с.
12. Гаджинский, А.М. Логистика: учебник / А.М. Гаджинский – 20-е изд. – М.: Дашков и К°, 2012. – 484 с.
13. Гаджинский А. М. Выбор места расположения склада / А. М. Гаджинский // Справочник экономиста. – 2004. № 8. – С. 33–37.
14. Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. Э. Горев. – 5-е изд., испр. – М.: Издат. Центр «Академия», 2008. – 288 с.
15. Громов, Н. Н. Управление на транспорте: учебник для вузов / Н. Н. Громов, В. А. Персианов. – М.: Транспорт, 1990. – 269 с.
16. Громов, Н.Н. Менеджмент на транспорте: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. Н. Громов [и др.]; под общ. ред. Н.Н.Громова, В.А.Персианова. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 528 с.
17. Гудков, В.А., Логистика: учебное пособие / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, С.А. Ширяев – Волгоград: РПК "Политехник", 2002. – 306 с.
18. Гудков, В.А. Основы логистики / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, С.А. Ширяев, Д.В. Гудков; под ред. В.А. Гудкова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 351 с.
19. Гусев С. А. Проблемы определения местоположения склада/ С. А. Гусев // Логистика. – 2011. №. 2. – С. 53-55.
20. Ельдештейн Ю. М. Управление цепями поставок в лесном комплексе/ Ю.М. Ельдештейн, З. Е. Шапорова // Крымский научный вестник. – 2016. –№1 (7). – С. 323 – 342.
21. Жесткова, С. А. Совершенствование организации перевозочного процесса автомобилями: на примере доставки нефтепродуктов на

автозаправочные станции: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 /Оренбург, 2013. — 16 с.

22. Жесткова, С.А. Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партий груза и количества пунктов/ А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2023. —№ 3—2 (83). — С. 61–70.

23. Жесткова, С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2023. —№ 4—1 (83). — С. 67–74.

24. Жесткова, С.А. Методические аспекты определения расположения распределительного центра на основе критерия времени методом фиктивных узлов и ветвей / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2024. —№ 2—1 (85). — С. 31–38

25. Жесткова, С.А. Методика проектирования кольцевых маршрутов с обратным грузом/ А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2024. —№ 1—3 (84). — С. 19–27

26. Жесткова, С.А. Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2024. —№ 1—1 (84). — С. 22–30.

27. Жесткова, С.А. Повышение эффективности управление процессами перевозок сетевой доставки груза автомобильным транспортом / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2024. —№ 3—3 (86). — С. 34–39

28. Жесткова, С.А. Совершенствование транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов автомобильным транспортом на примере компании ПАО «Магнит» // А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. — 2024. —№ 4—1 (87). — С. 134–142

29. Жесткова, С.А. DISTRIBUTION CENTER//Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024614147, 20.02.2024. Заявка от 14.02.2024.

30. Жесткова, С.А. TRANSPORTATION // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023664020, 29.06.2023. Заявка № 2023619641 от 15.05.2023.

31. Жесткова, С.А. LOGISTICS// Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023669755, 20.09.2023. Заявка № 2023669053 от 14.09.2023.

32. Жесткова, С.А. Определение расположения регионального центра при комбинированной схеме доставки товара по кольцевым маршрутам/ А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2025. – № 1(80). – С. 47–54.

33. Жесткова, С.А. Моделирование транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов автомобильным транспортом // С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. –№ 1–1 (88). – С. 36–42

34. Жесткова, С.А. Повышение эффективности сетевой доставки грузов на основе цифровой трансформации логистических процессов // С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин.. – 2025. –№ 1–3 (88). – С. 18–24.

35. Жесткова, С.А. Цифровизация управления транспортно-логистическими процессами сетевой доставки груза автомобильным транспортом // А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. –№ 1–3 (88). – С. 18–23

36. Жесткова, С.А. Методика определения оптимального расположения распределительных центров материальных потоков при комбинированной схеме доставки товара / С.А. Жесткова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Том 22 № 2. – С. 210–221.

37. Житков, В.А. Планирование автомобильных перевозок грузов мелкими партиями / В.А. Житков. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.

38. Житков, В.А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок / В.А. Житков, К.В. Ким. – М.: Транспорт, 1984. – 218 с.
39. Зарецкий, Л.С. Решение задачи коммивояжера и задач развозки методокоррекции функции состояния / Л.С. Зарецкий // Методы оптимизации перевозочного процесса на автотранспорте. – М.: 1976.– С. 70-83.
40. Зыков, А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Наука, 1987.– 380 с.
41. Зырянов, В. В. Методы формирования региональных транспортно-логистических систем / В. В. Зырянов, В. П. Миронюк, А. В. Шабанов. – Ростов н/Д : Изд-во РГСУ, 2004. – 173 с.
42. Конторович, Л.В. О некоторых математических проблемах экономики, промышленности, сельского хозяйства и транспорта / Л.В. Конторович. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1939.
43. Конторович, Л.В. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Л.В. Конторович, М.К. Гувурин // Проблемы повышения эффективности работы транспорта в СССР: сб. ст. – 1949. – С. 110-138
44. Ковалев, М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование) / М.М. Ковалев. – 2-е изд., стер. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192с
45. Кожин, А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками: учеб. для вузов / А.П. Кожин, В.Н. Мезенцев. – М.: Транспорт, 1994. – 124 с.
46. Константинов Р.В. Проектирование оптимальной складской сети/ Р.В. Константинов // Инженерный вестник Дона.– 2011. – №4.– С. 1-8.
47. Корчагин, В.А. Экономическая новая экономика: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 250 с.
48. Корчагин, В.А. Кластерный анализ на автомобильном транспорте / В.А. Корчагин, Д.И. Ушаков // Вестник МАНЭБ – СПб., 1997. – №6.

49. Корчагин, В.А. Методика определения себестоимости перевозок единицы транспортной продукции / В.А. Корчагин, Ю.Н. Евсеева, С.А. Ляпин // Экология ЦЧОРФ. – 2005. – №4.
50. Корчагин, В.А. Фундаментальные основы взаимодействия транспорта и окружающей среды / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин // Наука и техника – 2008. – №2.
51. Кофман А. Методы и модели исследования операций. Целочисленное программирование. А. Кофман, А. Анри-Лабурдер Перевод с французского Б.Т. Вавилова, Е.В. Бабичевой, Г.Г. Устинченко. Под редакцией Н.П. Бусленко. (Москва: Издательство «Мир»: Редакция литературы по новой технике, 1977).
52. Кофман, А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Кофман, Г. Дебазей. – М.: Прогресс, 1968. – 181 с.
53. Курганов, В.М. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров / В.М.Курганов – М.: Книжный мир, 2005. – 249 с.
54. Лейдерман, С.Р. Анализ влияния эксплуатационно-технических измерителей на производительность и себестоимость работы автомобилей / С.Р. Лейдерман // Сб. тр. / ЦНИИАТ. – М.: Коммунхоз, 1949. – Вып. 4.
55. Лейдерман, С.Р. Основные измерители и коэффициенты автомобилей / С.Р. Лейдерман // Мотор. – 1932. №6.
56. Литтл, Дж. Алгоритм решения задачи коммивояжера / Дж. Литтл [и др.] // Экономика и математические методы. – 1965. №1. – С. 94-107.
57. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: учебное пособие, 2-е изд. СПб.: Питер, 2008. – 448 с.
58. Меламед, И.И. Задача коммивояжера. Приближенные алгоритмы / И.И. Меламед, С.И. Сергеев, С.И. Сигал, И.Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. – 1989. № 11. – С. 3-26.
59. Меламед, И.И. К задаче нескольких коммивояжеров / И.И. Меламед // Межвуз. сб. – М.: МИИТ, 1981. – Вып. 647.

60. Мочалин, С.М. Развитие теории грузовых автомобильных перевозок по радиальным маршрутам: дис. ... д-ра техн. наук / С.М. Мочалин. – Тюмень, 2004. – 344 с.
61. Мудров, В.И. Задача о коммивояжере / В.И. Мудров. – М.: Знание.
62. Николин, В.И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В.И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 191 с.
63. Николин, В.И. Научные основы совершенствования теории грузовых автомобильных перевозок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Николин. – М., 2000. – 37 с.
64. Николин, В.И. Грузовые автомобильные перевозки: монография / В.И. Николин, Е.Е. Витвицкий, С.М. Мочалин. – Омск: Изд-во «Вариант-Сибирь», 2004. – С. 8-27.
65. Олещенко, Е.М. Основы грузоведения / Е.М. Олещенко, А.Э. Горев – М.: Издат. центр «Академия», – 2005. – 288с.
66. Панов, С.А. Модели маршрутизации на автомобильном транспорте / С.А. Панов. – М.: Транспорт, 1974. – 152 с.
67. Покровская, О. Д. Роботизация и автоматизация складской и транспортной логистики / О. Д. Покровская, Ю. А. Мороз // Техник транспорта: образование и практика. – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 170-175
68. Покровская, О. Д. О планировании работы сортировочной станции / О. Д. Покровская, В. В. Соляник // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 6. – С. 10-12.
69. Пожидаев, М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дис. ... канд. техн. наук / М.С. Пожидаев. – Томск, 2010. – 136 с.
70. Пожидаев, М. С. Сбалансированная эвристика для решения задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности / М. С. Пожидаев, Ю. Л. Костюк, // Вестник ТГУ. – 2010. № 3. – С. 56-60.

71. Прокофьева, О.С. Разработка методики оптимизации развозочных маршрутов: дис. ... канд. техн. наук / О.С. Прокофьева. – Иркутск, 2004. – 169 с.
72. Просов С.Н. Повышение эффективности планирования перевозок по сборно-развозочным маршрутам: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Просов. – М.: МАДИ –ТУ, 1985. – 125 с.
73. Просов С. Н. Проектирование автотранспортных систем доставки: учебное пособие / С.Н. Просов. – М.:, 2017. – 100 с.
74. Сергеев В. И. Управление цепями поставок: учебник для вузов / В.И. Сергеев. Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 480 с. – (Высшее образование).
75. Сигал, И.Х. Введение в дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы / И.Х.Сигал, А.П.Иванов // 2-е изд. – М.: Физмат, 2007. – 304 с.
76. Сигал, И.Х. Алгоритмы решения задач коммивояжера большой размерности. Комбинаторные методы и алгоритмы решения задач дискретной оптимизации большой размерности / И.Х. Сигал. – М.: Наука, 2000. – С. 295-317.
77. Серджвик, Р. Фундаментальные алгоритмы на графах: пер. с англ. / Роберт Серджвик. – СПб.: ООО «Диа Софт ЮП», 2003. – 480 с.
78. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
79. Трофименко, Ю.В. Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации / Ю. В. Трофименко, В. А. Гинзбург, А. Н. Якубович [и др.] // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 78-96.
80. Филиппова, Н. А. Информационные технологии управления транспортными системами в арктической зоне Российской Федерации для

обеспечения продовольственной безопасности / Н. А. Филиппова, С. Ф. Степанов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 3-9.

81. Фридман, А.А. Дискретные задачи и метод ветвей и границ / А.А. Фридман, А.А. Вотяков // Экономика и мат. методы – 1974. – том 10, вып. 3. – С. 611-621.

82. Черкесов А.Г. Экономика: практические задачи и решения: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ. – 2002. – С. 50 .

83. Юдин Д.Б... Экстремальные модели в экономике. / Д. Б. Юдин, А.Д.Юдин. Москва: Издательство «Экономика 1979 288 с.

84. Юдин Д.Б. Линейное программирование(теория, методы и приложения)/ Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн.– Москва: Издательство «Наука».– 1969 424 с.

85. Balas, E. A note on the branch-and-bound principle / E. Balas // Oper. Res., 16, N2, 1968.

86. Balinski, M. On an integer program for a delivery problem / M.Balinski, R. Quandt // Operational Research, – 1964. V. 12. №2. p. 300-304.

87. Ballou, R.H. Business Logistics Management. Third Edition. – Prentice Hall International, Inc., 1993.

88. Blanton, J., Wainwright R. Multiple Vehicle Routing with Time and Capacity Constraints Using Genetic Algorithms // Proc. of 5-th Int. Conf. on GA, Morgan Kaufmann Publ., San Mateo, 1993.

89. Bramel, J.B. A location based heuristic for general routing problems /J.B. Bramel, D. Simchi-Levi // Operations Research. – 1995. – № 43. – P. 649-660.

90. Bullnheimer, B. An improved ant system for the vehicle routing problem / B. Bullnheimer, R.F. Hartl, C. Strauss // Annals of Operations Research, 1998b. – forthcoming.

91. Clark, G., Wright J. Scheduling of vehicles central depot to an umber of delivery points. Operational Research Quarterly, – 1964. V. 12. № 4. p. 568-581.

92. Colorni, A. Ant system for job-shop scheduling / A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo, M. Trubian // *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*. – 1994. – № 34. – P. 39-53.
93. Costa, D. Ants can colour graphs / D. Costa, A. Hertz // *Journal of the Operational Research Society*. – 1997. – № 48. – P. 275-305.
94. Dorigo, M. Ant colony system: A cooperative learning approach for the traveling salesman problem / M. Dorigo, L.M. Gambardella // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 1997. – № 1. – P. 53-66.
95. Dorigo, M. Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents/ M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. – 1996. № 26. – Part B. – P. 29-41.
96. Dror, M. A vehicle routing improvement algorithm. Comparison of a 'Greedy' and 'Matching' implementation for inventory routing / M. Dror, L. Levy // *Computers k Operations Research*. – 1986. – № 13. – P. 33-45.
97. Durbin, R. An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method / R. Durbin, D. Willshaw // *Nature*. – 1987. – № 326. – P. 689-691.
98. Fisher, M.L. A generalized assignment heuristic for vehicle routing / M.L. Fisher, R. Jaikumar // *Networks*. – 1981. – № 11. – P. 109-124.
99. Gambardella, L.M. Ant colonies for the Quadratic Assignment Problem / L.M. Gambardella, E.D. Taillard, M. Dorigo // *Technical Report IDSIA / 4-97, IDSIA*. Lugano, Switzerland, 1997.
100. Gaskell, T.J. Bases for vehicle fleet scheduling // *Operational Research Quarterly*. – 1967. – № 18. – P. 281-295.
101. Ghaziri, H. Algorithmes connexionnistes pour Voptimisation combinatoire : These de doctorat, Ecole Polytechnique / H. Ghaziri. – Federate de Lausanne, Switzerland, – 1993.

102. Ghaziri, H. Supervision in the self-organizing feature map: Application to the vehicle routing problem. In I.H. Osman and J.R Kelly, editors // *Meta- Heuristics: Theory and Applications*. – Kluwer, Boston, 1996. – P. 651-660.
103. Gillett, B.E. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem / B.E. Gillett, L.R. Miller // *Operations Research*. – 1974. № 22. – P. 340-349.
104. Golden, B.L. Implementing vehicle routing algorithms / B.L. Golden, T.L. Magnanti, H.Q. Nguyen // *Networks*. – 1977. – № 7. – P. 113-148.
105. Hopfield, J.J. Neural computation of decisions in optimization problems / J.J. Hopfield, D.W. Tank // *Biological Cybernetics*. 1985. – № 52. – P. 141-152.
106. Johnson, D.S. The traveling salesman problem: A case study. In E.H.L. Aarts and J.K. Lenstra, editors / D.S. Johnson, L.A. McGeoch // *Local Search in Combinatorial Optimization*. – Wiley, Chichester, 1997. – P. 215-310.
107. Kawamura, H. Cooperative search on pheromone communication for vehicle routing problems / H. Kawamura, M. Yamamoto, T. Mitamura, K. Suzuki, A. Ohuchi // *IEEE Transactions on Fundamentals*, E81-A. 1998. – P. 1089-1096.
108. Kinderwater, G.A.P. Vehicle routing: Handling edge exchanges. In E.H.L. Aarts, J.K. Lenstra, editors / G.A.P. Kinderwater and M.W.P. Savelsbergh // *Local Search in Combinatorial Optimization*. – Wiley, Chichester, 1997. – P. 337-360.
109. Kohonen, T. // *Self-Organization and Associative Memory*. – Springer, Berlin, 1988.
110. Laporte, G. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem / G. Laporte, F. Semet // *Les Cahiers du GERAD*, G98-54, Group for Research in Decision Analysis. – Montreal, Canada, 1998.
111. Lin, S. Computer solutions of the traveling salesman problem // *Bell System Technical Journal*. – 1965. № 44. – P. 245-269.
112. Lin, S. An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem / S. Lin and B. Kernighan // *Operations Research*. – 1973. – № 21. – P. 498-516.

113. Miller, C.E., Tucker A.W., Zemlin R.A. Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Computer Machinery*, – 1960. V. 27. №2. – p. 503-511.
114. Mitten, L. Branch-and-bound methods: general formulation and properties. *Oper. Res.*, 18, N 1, 1970.
115. Or, I. Traveling salesman-type combinatorial optimization problems and their relation to the logistics of regional blood banking. Ph.D. dissertation. – Northwestern University, Evanston, IL, 1976.
116. Osman, I.H. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem // *Annals of Operations Research*. – 1993. – № 41. – P. 421-521.
117. Osman, I. H. A comparison of heuristics for the generalised assignment problem // Working paper, University of Kent, Canterbury, UK, 1990.
118. Paessens, H. The savings algorithm for the vehicle routing problem // *European Journal of Operational Research*. – 1988. – № 34. – P. 336-344.
119. Pisinger, D. A general heuristic for vehicle routing problems / D. Pisinger, S. Ropke // *Computers & Operations Research*, Volume: 34, Issue: 8 (2007).
120. Potvin, J.-Y. Genetic algorithms for the traveling salesman problem // *Annals of Operations Research*. 1996. – № 63. – P. 339-370.
121. Potvin, J.-Y. A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling / J.Y. Potvin, C. Duhamel, F. Guertin // *Applied Intelligence*. – 1996. № 6. – P. 345-355.
122. Potvin, J.Y. The vehicle routing problem with time windows / J.Y. Potvin and S. Bengio // *INFORMS Journal on Computing*. – Part II: Genetic search. 1996. – № 8. – P. 165-172.
123. Renaud, J. An improved petal heuristic for the vehicle routing problem / J. Renaud, F. F. Bostor, G. Laporte // *Journal of Operational Research Society* 1996. – № 47. – P. 329-336.

124. Taillard, E.D. Parallel iterative search methods for vehicle routing problems // *Networks*. – 1993. – № 23. – P. 661-673.
125. Thangiah, S.R. Vehicle routing with time windows using genetic algorithms // Technical report SRU- CpSc-TR-93-23. – Slippery Rock University, Slippery Rock, PA, 1993.
126. Thangiah S.R. An adaptive clustering method using a geometric shape for vehicle routing problems with time windows. In L.J. Eshelman, editor // *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithm*. — Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1995. — P. 536–543
127. Thangiah, S.R. Algorithms for the vehicle routing problem with time deadlines / S.R. Thangiah, I.H. Osman, R. Vinayagamoorthy, T. Sun // *American Journal of Mathematical and Management Sciences*. – 1993. – № 13. – P. 323-355.
128. Thompson, P.M. Cyclic transfer algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems / P.M. Thompson, H.N. Psaraftis // *Operations Research*. – 1993. – № 41. P. 935-946.
129. Van Breedam, A. An analysis of the behavior of heuristics for the vehicle routing problem for a selection of problems with vehicle-related, customer-related, and time-related constraints. Ph.D. dissertation. – University of Antwerp, 1994.
130. Vigo, D. A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem // *European Journal of Operational Research*. – 1996. – № 89. – P. 108-126.
131. Volgenant, A. The symmetric traveling salesman problem and edge exchange in minimal 1-trees / A. Volgenant, R. Jonker // *European Journal of Operational Research*. – 1983. – № 12. – P. 394-403.
132. Whitley, D. Scheduling Problems and Traveling Salesman: the Genetic Edge Recombination Operator Text. : Proc. of 3d Int. Conf. on GA / D. Whitley, D., T. Starkweather, D. Fuduyay. 1989. - ISBN 3-540-66413-0.
133. Yellow, P. A computational modification to the savings method of vehicle scheduling // *Operational Research Quarterly*. – 1970. – № 21. – P. 281-283.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры обработки путевых листов РЦ Пенза АО Тендер за смену разработанным программным обеспечением Transportation и Logistics

1. ПО Transportation

1.1) Маршрутный лист RT№ 26913646 (РЦ Пенза - ММ Откочевывание - ММ Сетубаль - ММ Лобановская - РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 4-3-1-2-4 длиной 105,93 км (рисунок А.1). Время движения 1 час 48 минут.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 4-3-1-2-1-4 длиной 94,33 км (рисунок А.2). Это на 11,6 км меньше, чем при расчете в первом варианте. Время движения 1 час 36 минут. Экономия составляет 11 % длины маршрута и времени движения. Экономия времени 12%.

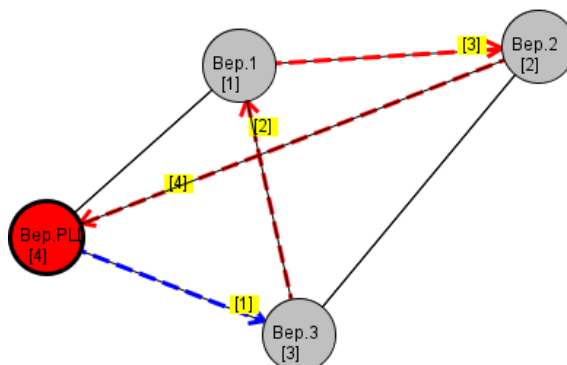


Рисунок А.1 – Транспортный граф методом ВИГ

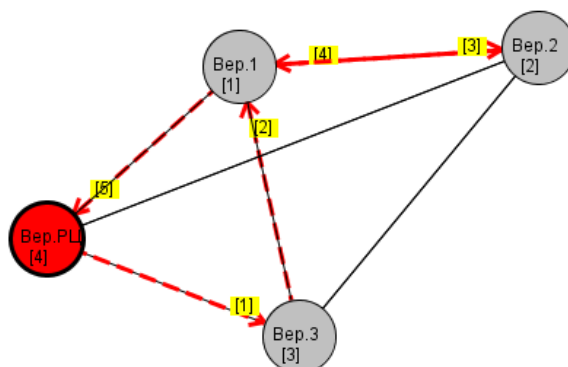


Рисунок А.2 – Транспортный граф методом ФУВ

1.2) Маршрутный лист RT№ 26916845 (РЦ Пенза - ММ Рассказ - ММ Вероятность - ММ Десерт - РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-4-3-2-1 длиной 202 км (рисунок А.3). Время на движение 3ч 24мин.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-4-1-3-2-1 длиной 199 км (рисунок А.4). Время на движение 3ч 18мин. Это на 3 км меньше, чем при расчете в первом варианте. Экономия составляет 1,5 % длины маршрута, времени 3 % .

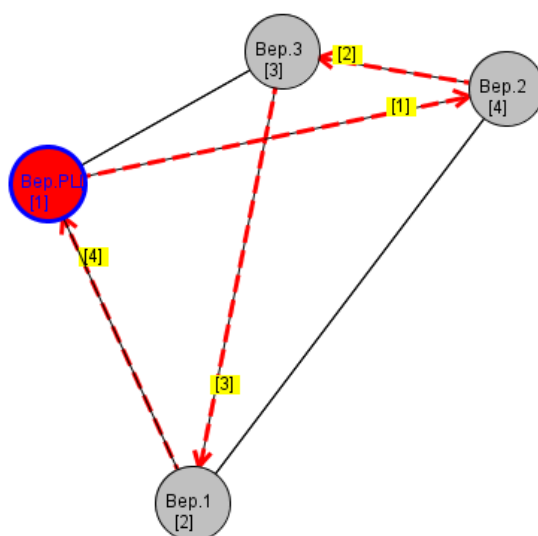


Рисунок А.3 – Транспортный граф методом ВИГ

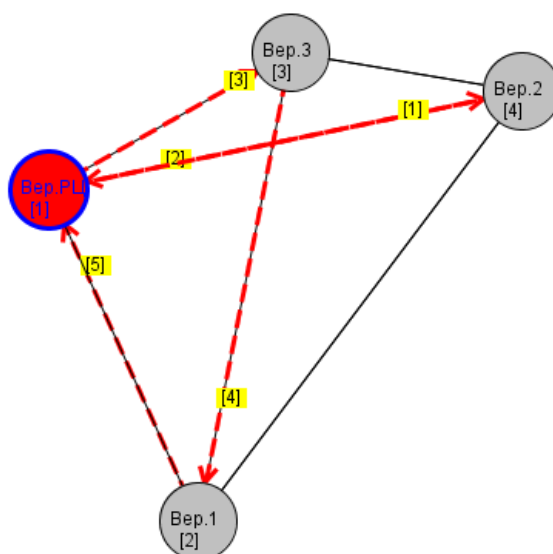


Рисунок А.4 – Транспортный граф методом ФУВ

1.3) Маршрутный лист RT№ 26916850 (РЦ Пенза - ММ Невесомость - ММ Сеута - ММ Экипаж - ММ Оттенек - РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-4-5-3-2-1 длиной 138 км (рисунок А.5). Время на движение 2 часа 18 минут.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-3-5-4-3-2-1 длиной 137 км (рисунок А.6). Время на движение 2 часа 12 минут. Экономия составляет 1 % длины маршрута и времени на 4%.

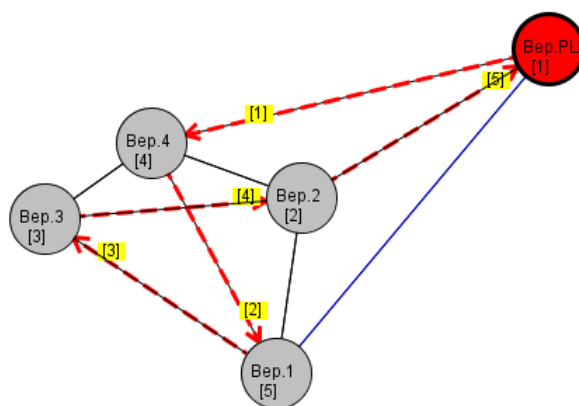


Рисунок А.5 – Транспортный граф методом ВИГ

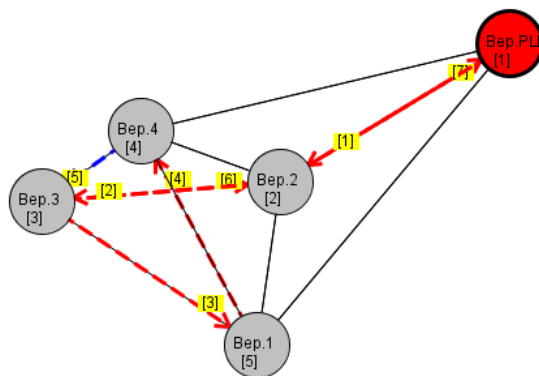


Рисунок А.6 – Транспортный граф методом ФУВ

1.4) Маршрутный лист RT№ 26916842 (РЦ Пенза - ММ Луковица - ММ Бубнова - ММ Грейви - РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 4-3-1-2-4 длиной 64,1 км (рисунок А.7). Время на движение 1 час.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 4-1-2 -1-3-4 длиной 55,1 км (рисунок А.8). Это на 9 км меньше, чем при расчете в первом варианте.

Экономия составляет 14,1 % длины маршрута. Время на движение 54 минуты.
Экономия составляет 10%.

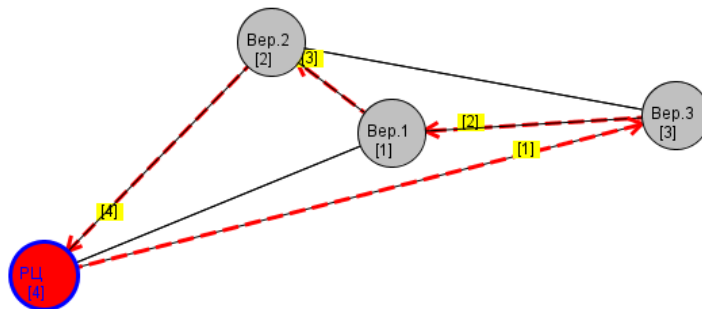


Рисунок А.7 – Транспортный граф методом ВИГ

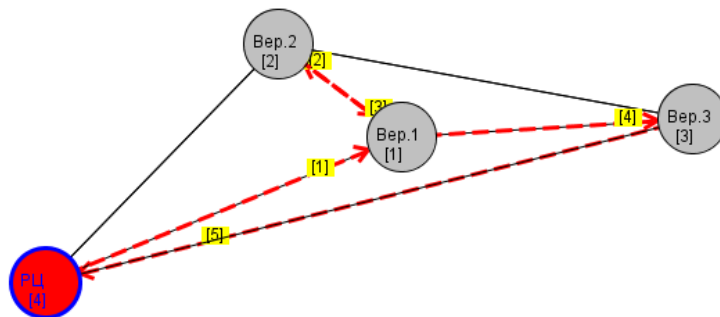


Рисунок А.8 – Транспортный граф методом ФУВ

1.5) Маршрутный лист RT№ 26916843 (РЦ Пенза-ММ Теннор - ММ Ламбада - ММ Карамболь - РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 4-1-2 -3-4 длиной 55 км (рисунок А.9). Время на движение 55 минут.

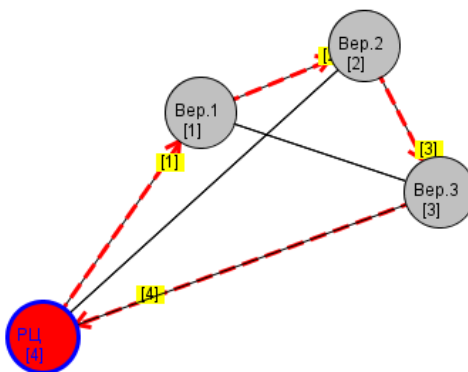


Рисунок А.9 – Транспортный граф методом ВИГ

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 4-3-1-2-3-4 длиной 51 км (рисунок А.10). Это на 4 км меньше, чем при расчете в первом варианте. Экономия составляет 7,3 % длины маршрута. Время на движение 51 минута, экономия составляет 7 %.

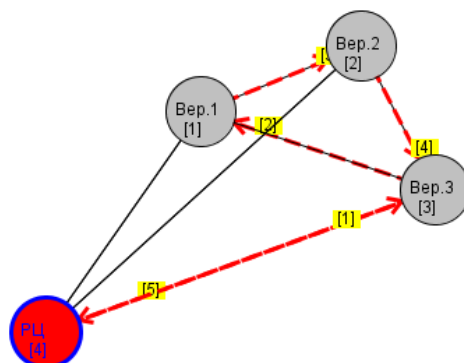


Рисунок А.10– Транспортный граф методом ФУВ

2. ПО Logistics с учетом ограничений по количеству пунктов (по 3 пункта) и вместимости подвижного состава (19п/м)

2.1) Маршрут (РЦ Пенза – ГМ Саранск 1 Севастопольская –МК Лендек – РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-3-1 длиной 212 км (рисунок А.11). Время на движение 3,4 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-3-2-1 длиной 116 км (рисунок А.12). Время на движение 1,8 ч. Экономия составляет 45 % длины маршрута и 47% времени на движение.

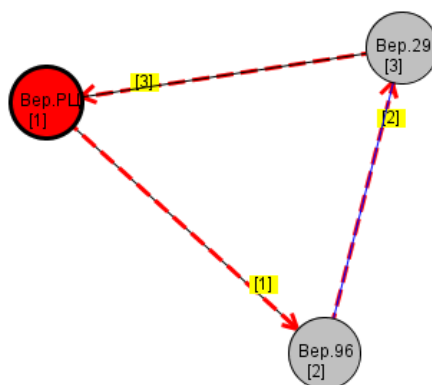


Рисунок А.11 –Транспортный граф метод ВИГ

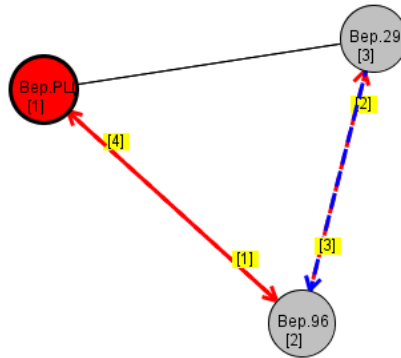


Рисунок А.12 – Транспортный граф метод ФУВ

2.2) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Бинди – ММ Карамболь – ММ Яковенко – МК Клинкерование – РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-3-5-4-1 длиной 59 км (рисунок А.13). Время на движение 0,98 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-5-4-5-3-1 длиной 58 км (рисунок А.14). Экономия составляет 2% длины маршрута и 2% времени на движение.

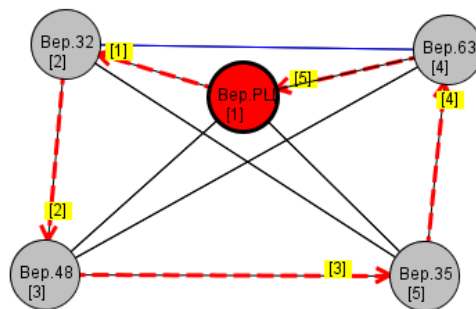


Рисунок А.13 – Транспортный граф метод ВИГ

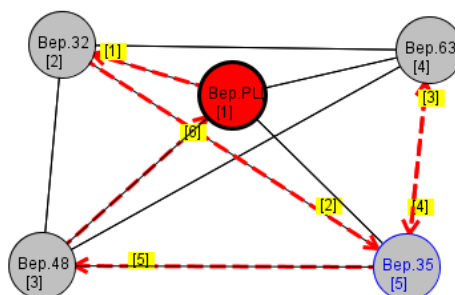


Рисунок А.14– Транспортный граф метод ВИГ ФУВ

2.3) Маршрут (РЦ Пенза–ММ Вайкики–ММ Фефелово–ММ Вероятность – ММ Римесса–РЦ Пенза)

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-4-3-5-2-1 длиной 167 км (рисунок А.15). Время на движение 2,78 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-4-3-5-2-1 длиной 167 км (рисунок А.16). Время на движение 2,78ч. Экономия составляет 0 % длины маршрута и времени на движение.

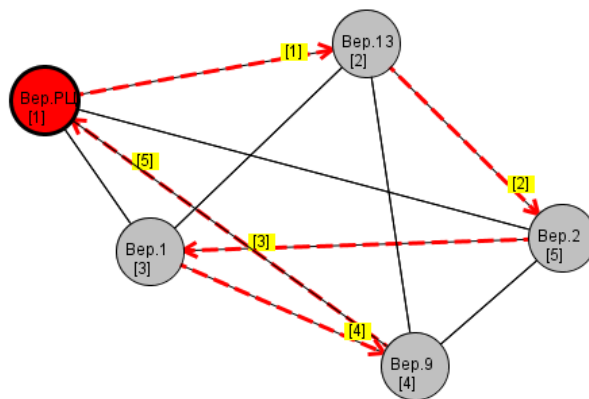


Рисунок А.15 –Транспортный граф методом ВИГ

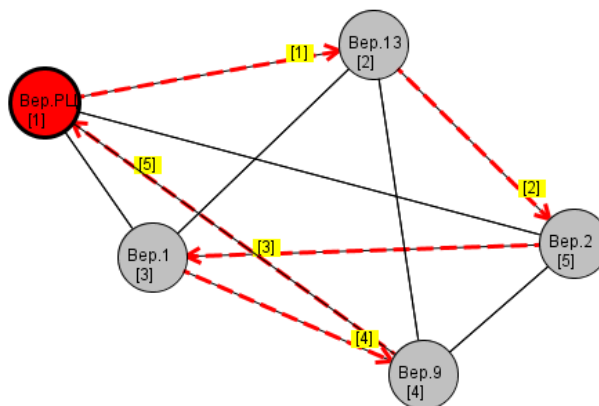


Рисунок А.16 – Транспортный граф методом ФУВ

3. ПО Logistics с учетом обратного груза

3.1) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Ламбада (6пл/м) – ММ Плюшевый – РЦ Пенза). В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-3-2-1 длиной 329 км (рисунок А.17). Время на движение 5,48 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-3-2-1 длиной 56 км (рисунок А.18). Время на движение 0,93 ч. Экономия составляет 83 % длины маршрута и 83% времени на движение.

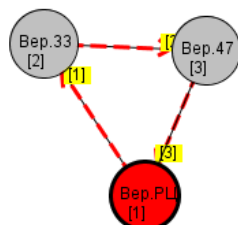


Рисунок А.17 – Транспортный граф методом ВИГ

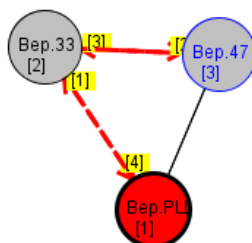


Рисунок А.18– Транспортный граф методом ФУВ

3.2) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Кубист – ММ Лимач – ММ Грейви (2пл/м) – РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-4-3-1 длиной 52 км (рисунок А.19). Время на движение 0,86 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-4-3-2-1 длиной 49 км (рисунок А.20). Время на движение 0,81 ч. Экономия составляет 6 % длины маршрута и 6% времени на движение.

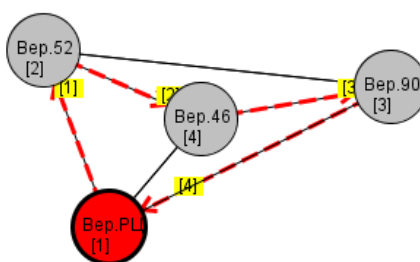


Рисунок А.19 – Транспортный граф методом ВИГ

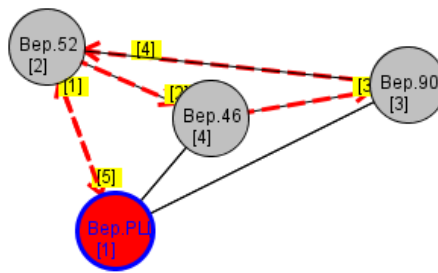


Рисунок А.20– Транспортный граф методом ФУВ

3.3) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Фефелово – ММ Десерт – ММ Преследователь (5 пл/м) – РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-4-3-1 длиной 78 км (рисунок А.21). Время на движение 1,3 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-4-3-1 длиной 78 км (рисунок А.22). Время на движение 1,3 ч. Экономия составляет 0 % длины маршрута и времени на движение.

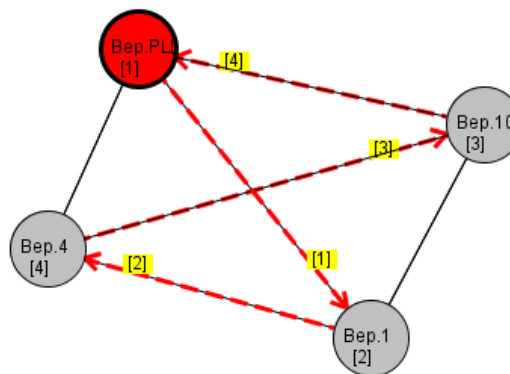


Рисунок А.21 – Транспортный граф методом ВИГ

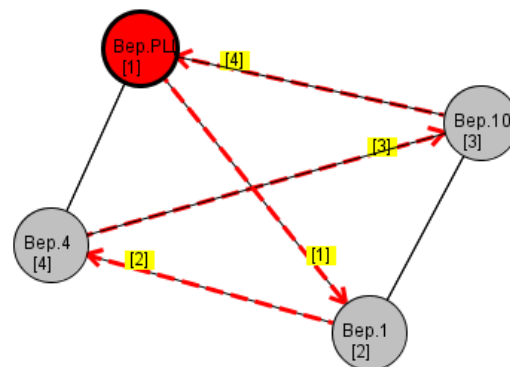


Рисунок А.22– Транспортный граф методом ФУВ

3.4) Маршрут (РЦ Пенза – ММ Откочевывание – ММ Сетубаль– ММ Лобановская(4 пл/м) – РЦ Пенза).

В результате расчета методом ВИГ получаем маршрут 1-2-3-4-1 длиной 92 км (рисунок А.23). Время на движение 1,53 ч.

В результате расчета методом ФУВ получаем маршрут 1-2-3-4-1 длиной 92 км (рисунок А.24). Время на движение 1,53 ч. Экономия составляет 0 % длины маршрута и времени на движение.

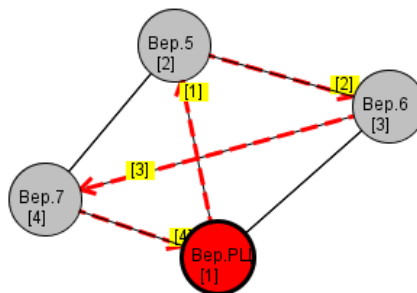


Рисунок А.23 – Транспортный граф методом ВИГ

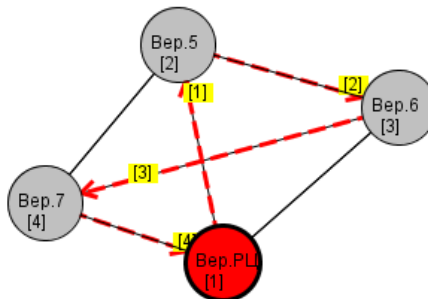


Рисунок А.24– Транспортный граф методом ФУВ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример 1

Рассмотрим решение задачи маршрутизации транспорта с использованием усовершенствованной методики метода «ветвей и границ», основываясь на начальных данных, изложенных на графе транспортной сети (рисунок Б.1) и в исходной матрице весов (таблица Б.1). Путём вычитания минимального элемента в каждой строке и столбце формируется приведённая матрица с минимальной границей множества (таблица Б.2).

Рассчитываем оценки нулевых элементов в этой приведённой матрице в соответствии с методом ветвей и границ и формируем оценочную матрицу (таблица 3.3). Далее определяем оценки нулевых элементов в приведенной матрице в соответствии с методом «ветвей и границ» и получаем матрицу 3.61, в которой удаляем ветвь 6-4 с наибольшей оценкой 3.

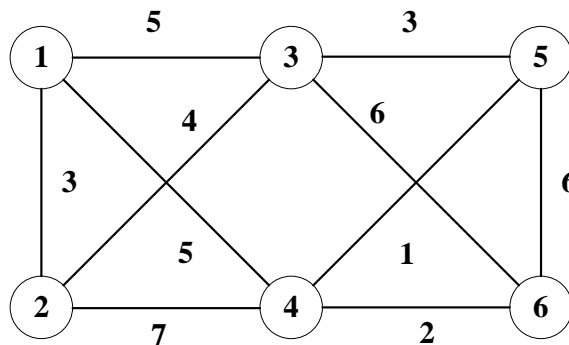


Рисунок Б.1 Граф транспортной сети

Таблица Б.1 – Исходная матрица весов

№	1	2	3	4	5	6
1		3	5	5		
2	3		4	7		
3	5	4			3	6
4	5	7			1	2
5			3	1		6
6			6	2	6	

Таблица Б.2 – Первый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	
1		0	1	2			3
2	0		0	4			3
3	2	1			0	2	3
4	4	6			0	0	1
5			1	0		4	1
6			3	0	4		2
				1		1	15

Таблица Б.3 – Второй шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6
1		0^2	1	2		
2	0^2		0^1	4		
3	2	1			0^1	2
4	4	6			0^0	0^2
5			1	0^1		4
6			3	0^3	4	

Это действие ведет к созданию матрицы меньшего размера (таблица Б.4), где для предотвращения закливания блокируется ячейка 4-6.

На основе этой модифицированной матрицы формируется новая оценочная матрица (таблица Б.5).

Таблица Б.4 – Третий шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5	6	
1		0	1			
2	0		0			
3	2	1		0	2	
4	4	6		0		1
5			0		3	

Далее исключается ячейка 4-5, обладающая максимальной оценкой, равной 4, что приводит к созданию новой матрицы (таблица Б.6).

Таблица Б.5 – Четвертый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5	6
1		0^1	1		
2	0^2		0^0		
3	2	1		0^0	0^1
4	4	6		0^4	
5			0^1		1

Таблица Б.6 – Пятый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	6
1		0	1	
2	0		0	
3	2	1		0^∞
5			0^∞	

В этой матрице для предотвращения возможного заикливания блокируется ветвь 5-6.

После удаления ячейки 3-6, которая имеет наивысшую оценку бесконечности, получаем таблицу Б.7, где необходимо заблокировать ячейку 5-3 против заикливания.

Таблица Б.7 – Шестой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3
1		0	1
2	0		0
5			

Из этого следует, что выхода из узла 5 нет, и он зависит (рисунок Б.2).

Если в таблице Б.7 вычеркнуть ячейку 5-3, то зависит узел 6, в который нельзя войти (рисунок Б.3).

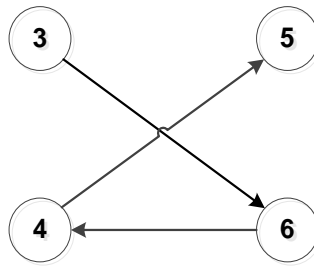


Рисунок Б.2. Зависание узла 5

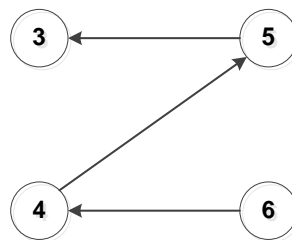


Рисунок Б.3. Зависание узла 6

Следовательно, доказано, что метод ветвей и границ может привести к образованию подмножества, не имеющего гамильтонового контура. Несмотря на это, в анализируемом примере гамильтонов контур существует, например, маршрут 1-2-4-6-5-3-1 с длиной в 26 единиц. Это указывает на то, что метод ветвей и границ может не всегда обеспечивать точность и может вести к вырождению решений задач маршрутизации транспорта.

Чтобы избежать зависания узла и обеспечить получение точного решения задачи, требуется модификация используемой методики.

Это включает возврат к таблице, в которой был вычеркнут зависший узел и исключение не ячейки с максимальной оценкой, а ветви, включающей номер зависшего узла. Учитывая, что может существовать несколько ветвей с участием зависшего узла, оптимальная ветвь для исключения определяется методом перебора всех возможных комбинаций, что гарантирует наличие входа и выхода в каждом узле.

В рассматриваемом примере, согласно разработанной методике, возвращаемся к таблице 2.5 и выбираем для исключения ячейку 5-6 вместо ячейки 4-5, имеющей наибольшую оценку 4. Это приводит к созданию таблицы Б.8, где впоследствии блокируется ячейка 4-5. В результате формируется оценочная матрица (таблица В.9), в которой наибольшую оценку имеет ячейка 3-5. Далее, включая ее в маршрут, получаем новую таблицу Б.10.

Таблица Б.8 – Седьмой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5	6
1		0	1		
2	0		0		
3	2	1		0	0
4	4	6		0	
5			0		1

Таблица Б.9 – Восьмой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5
1		0^2	1	
2	0^0		0^1	
3	2	1		0^∞
4	0^2	2		

Таблица Б.10 – Девятый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3
1		0^3	1
2	0^0		0^1
4	0^2	2	

В таблице Б.10 происходит исключение ветви 1-2, имеющей наибольшую оценку равную 3.

Это действие ведет к формированию таблицы Б.11, где уже однозначно вычеркиваются дуги 2-3 и 4-1.

Следует отметить, что аналогичный итог получаем из таблицы Б.11, если вместо ветви 5-6 исключить дугу 3-5, где узел 5 оказался зависшим.

Таблица Б.11 – Десятый шаг преобразования матрицы

№	1	3
2		0
4	0	

В результате применения разработанной методики через проведенные итерации установлен оптимальный гамильтонов контур 1-2-3-5-6-4-1 с общей длиной в 23 единицы, который приведен на рисунке Б.4.

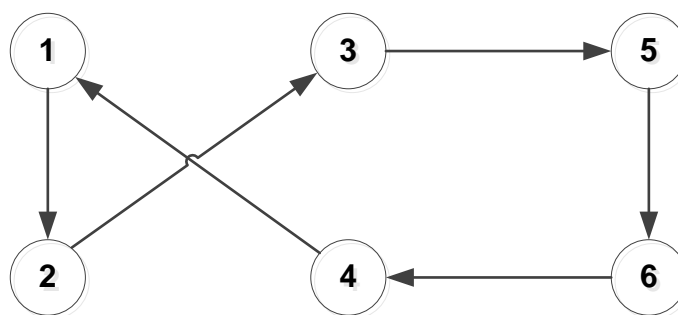


Рисунок Б.4. Граф оптимального маршрута

Пример 2.

Для подтверждения неточности метода ВиГ рассмотрим второй пример, транспортный граф и матрица расстояний которого представлена в таблице Б.12 и на рисунке Б.8.

Поставим длину ветви 1-2 величиной 101 км.

Решение задачи осуществляется согласно методике ВиГ.

В таблице Б.13 представлена оценочная матрица. Удаляем ветвь 6 – 1 с максимальной оценкой 98. Получаем матрицу, представленную в таблице Б.14, где блокируем ячейку 1 – 6.

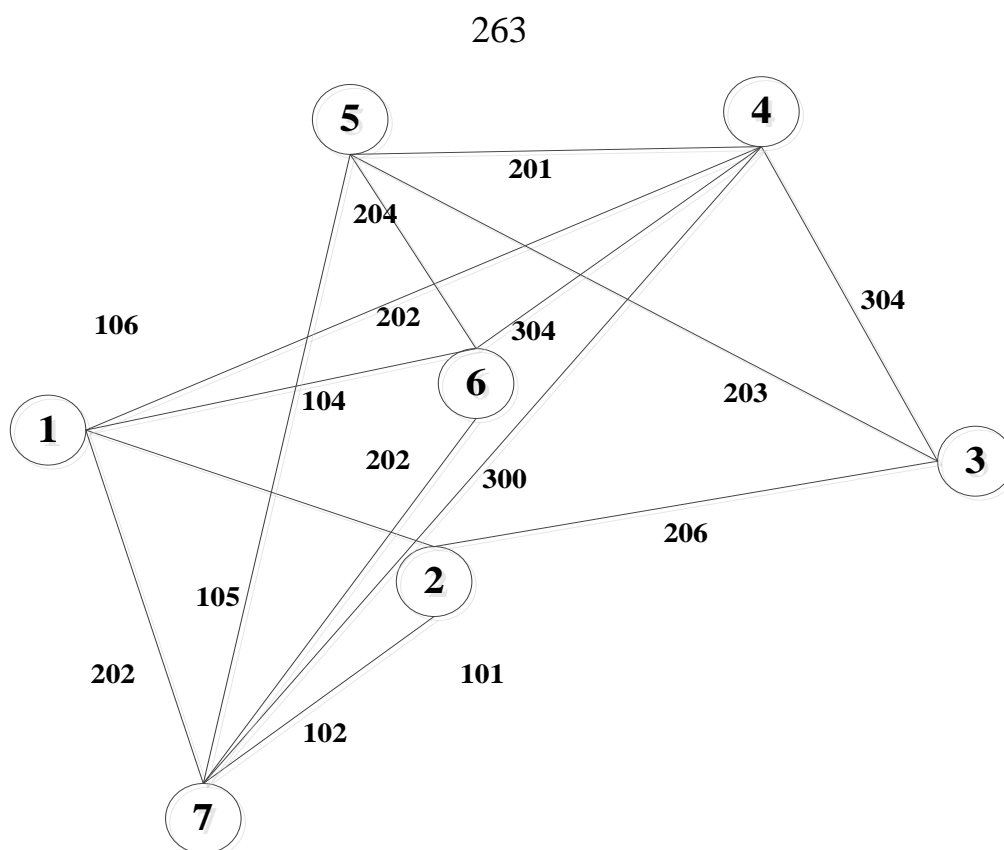


Рисунок Б.8 – Исходный транспортный граф в примере 2

Таблица Б.12 – исходная матрица весов

	1	2	3	4	5	6	7
1		101		202	106	104	202
2	101		206				102
3		206		304	203		
4	202		304		201	304	300
5	106		203	201		204	105
6	104			304	204		202
7	202	102		300	105	202	

Таблица Б.13 – первый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7
1		0^0		5	5	0^{96}	101
2	0^1		7				1
3		3		5	0^3		
4	1		5		0^1	100	99
5	1		0^5	0^5		96	0^1
6	0^{98}			104	100		98
7	100	0^3		102	3	97	

Таблица Б.14 – второй шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6	7
1	0^5		5	5	∞	101
2		6				0^6
3	3		5	0^3		
4		5		0^4	4	99
5		0^5	0^5		0^1	0^0
7	0^1		102	3	1	

Выполняем операции приведения и оценки нулевых элементов, после чего вычеркиваем ветвь 2-7 с наибольшей оценкой 6. Получаем матрицу меньших размеров, в которой блокируем ячейку 7-2 (таблица Б.15). Затем проводим операции приведения в седьмой строке и производим оценку элементов матрицы. Здесь максимальную оценку 8 имеет элемент 1-2.

Таблица Б.15 – третий шаг преобразования матрицы

	2	3	4	5	6
1	0^8		5	5	
3	3		5	0^3	
4		5		0^4	4
5		0^5	0^5		0^0
7	∞		101	2	0^2

Удаляем ветвь 1-2 и получаем таблица Б.16.

Таблица Б.16 – четвертый шаг преобразования матрицы

	3	4	5	6
3		5	0^5	
4	5		0^4	4
5	0^5	0^5		0^4
7		99	0^{99}	∞

В таблице Б.16 блокируем ячейку 7-6 для предотвращения цикличности, после чего осуществляем процедуры приведения и оценки нулевых элементов.

Самую высокую оценку 99 имеет ячейка 7-5, которую включаем в маршрут. После удаления ветви 7-5 остается матрица, в которой блокируем ячейку 5-6 и продолжаем операции приведения.

Таблица Б.17 – пятый шаг преобразования матрицы

	3	4	6
3		0^∞	
4	1		0^∞
5	0^1	0^0	∞

В таблице Б.17 получены две ячейки, 3-4 и 4-6, с одинаковыми наивысшими оценками ∞ . В качестве примера удаляем ветвь 3-4. Это приводит к обновлению матрицы, в которой блокируем ячейку 4-3 и удаляем ветви 4-6 и 5-3, как показано в таблице Б.18.

Таблица Б.18–шестой шаг преобразования матрицы

	3	6
4	∞	0^∞
5	0^∞	

В результате выполненных итераций получаем маршрут 6-1-2-7-5-3-4-6 длиной 1223 км (рисунок Б.9).

Удаление ветви 4-6 в таблице Б.18 не вносит изменений в окончательный результат.

Далее рассмотрим пример изменения методики решения задачи, где нулевой элемент не удаляется с максимальной оценкой, а с оценкой, меньшей на один шаг назад.

Рассмотрим варианты удаления ветвей в таблице Б.14. Вместо удаления ветви 2-7 с максимальной оценкой 6 рассмотрим варианты удаления ветвей 5-3, 5-4 и 1-2 с оценкой 5. Для примера рассмотрим удаление ветви 5-3.

Проводим операцию приведения и оценки. Затем, согласно методу ВиГ, удаляем ветвь 2-7 с оценкой ∞ в таблице Б.19, что приводит к получению оценочной матрицы 3.20. В этой матрице блокируем ячейку 7-2.

Получаем, что два элемента имеют одинаковую максимальную оценку 6: 4-5 и 7-6. Для примера выберем вариант удаления ветви 4-5.

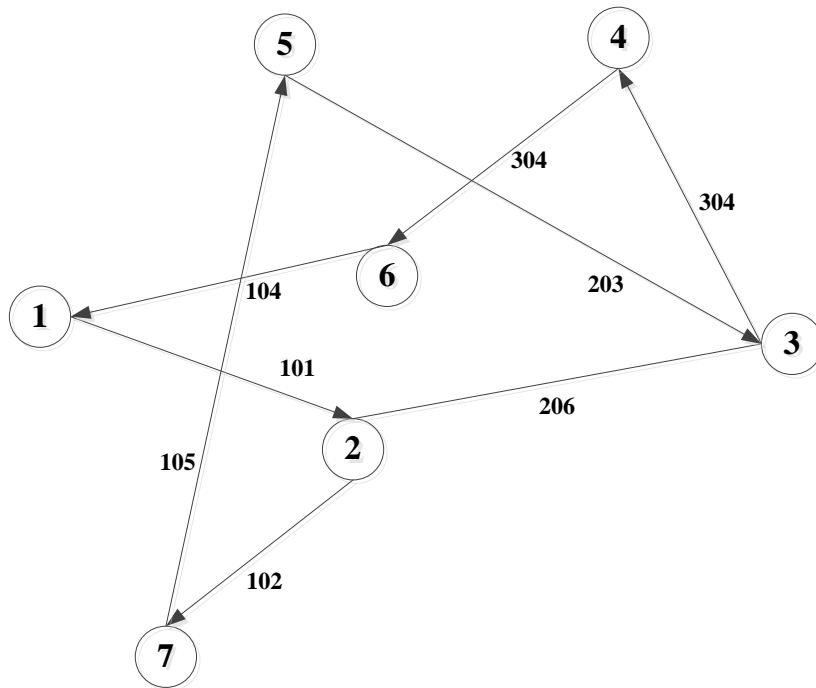


Рисунок Б.9 – Неточный маршрут в примере 2

Таблица Б.19 – седьмой шаг преобразования матрицы

	2	4	5	6	7
1	0^3	3	5		101
2					0^∞
3	0^0	0^3	∞		
4			0^6	3	99
7	0^0	100	3	0^3	

Таблица Б.20 – восьмой шаг преобразования матрицы

	2	4	5	6
1	0^3	3	5	
3	0^0	0^3		
4			0^6	3
7	∞	100	3	0^6

После блокировки ячейки 3-4 и выполнения операции оценки получаем таблицу Б.21, где две ячейки содержат максимальную оценку ∞ : 3-2 и 7-6. Принимаем решение об удалении ветви 7-6.

Таблица Б.21 – девятый шаг преобразования матрицы

	2	4	6
1	0^0	0^{97}	
3	0^∞	∞	
7		97	0^∞

В таблице Б.22 блокируется ячейка 1-2, и ветви 1-4 и 3-2 удаляются. Это приводит к получению оптимального маршрута 6-1-4-5-3-2-7-6 длиной 1218 км (рисунок Б.10).

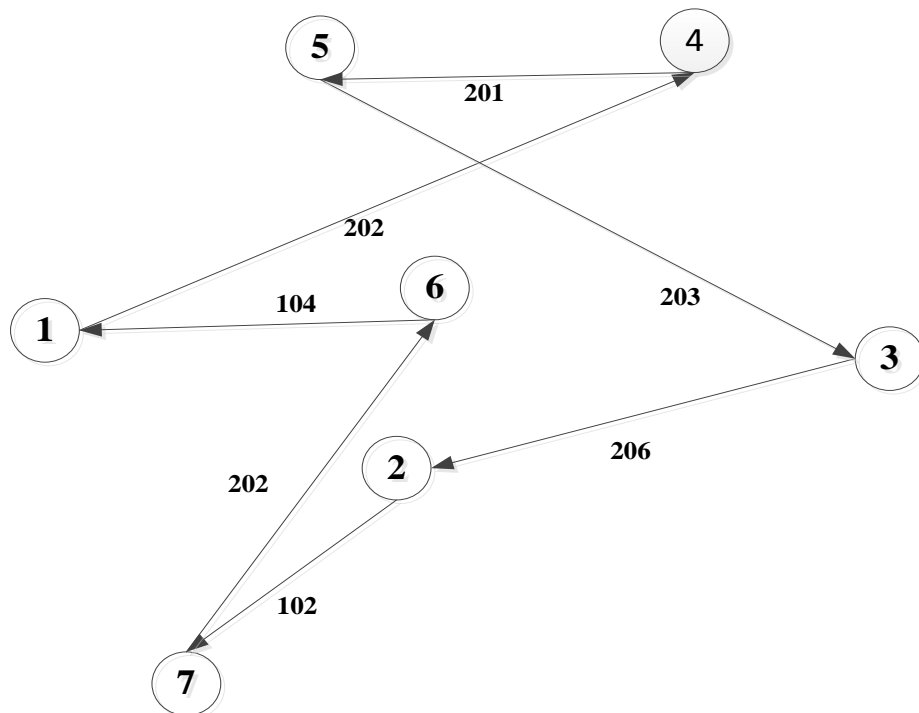


Рисунок Б.10. – Оптимальный маршрут в примере 2

Удаление ветви 7-6 в таблице Б.21 или ветви 3-2 не влияет на окончательный результат. Другие варианты удаления в таблице Б.16, такие как ветви 5-4 и 1-2 с оценкой 5, были также рассмотрены. Однако при удалении ветви

5-4 получается маршрут 6-1-5-4-3-2-7-6 длиной 1225 км, который больше оптимального.

Таблица Б.22 – десятый шаг преобразования матрицы

	2	4
1	0^0	0^∞
3	0^∞	

Если в таблице Б.16 удалить ветвь 1-2, то результатом будет также неточный маршрут 6-1-2-7-5-3-4-6 длиной 1223 км.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Пример 1

Рассмотрим возможность решения открытой задачи маршрутизации транспорта на основе разработанной методики, при исходных данных, представленных на графе транспортной сети (рисунок В.1). Для обеспечения последовательности объезда вершин из: № 6 в № 9, № 7 в 11, № 8 в № 10 ведены три фиктивных узла 11Ф, 12Ф, 13Ф, соответственно. При этом длину действительной ветви делим пополам.

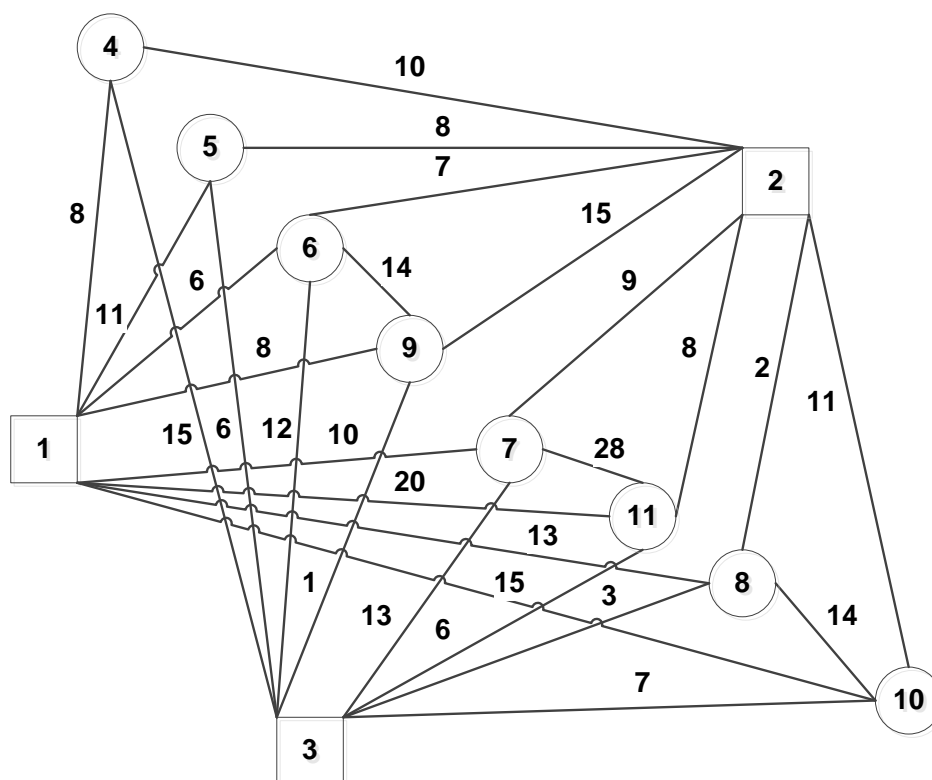


Рисунок В.1 – Исходный транспортный граф

В квадратах расположены пункты погрузки (базы, терминалы, центры и т.д.), а кругом обозначены торговые предприятия.

Согласно методике, минимальный элемент вычитается из каждой строки и столбца. В результате получается приведенная матрица (см. таблицу В.2). Затем в ней вычисляются оценки нулевых элементов, и составляется оценочная матрица (см. таблицу Г.3). В данной матрице две ячейки имеют одинаковую оценку 6:

13Ф-10 и 1-4. Рассматривается в качестве примера удаление ветви 13Ф-10, имеющей наивысшую оценку 6. В результате получается матрица меньшего размера (см. таблицу В.4), в которой блокируется ячейка 10-13Ф.

Таблица В.1 – Исходная матрица весов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11Ф	12Ф	13Ф
1				8	11	6	10	13	8	15	20			
2				10	8	7	9	2	15	11	8			
3				15	6	12	13	3	1	7	6			
4	8	10	15											
5	11	8	6											
6	6	7	12									7		
7	10	9	13										14	
8	13	2	3											7
9	8	15	1									7		
10	15	11	7											7
11	20	8	6										14	
11Ф						7			7					
12Ф							14				14			
13Ф								7		7				

Таблица В.2– Первый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11Ф	12Ф	13Ф
1				0	0	0	4	7	2	9	14			
2				6	1	5	7	0	13	9	6			
3				12	0	11	12	2	0	6	5			
4	0	2	7											
5	5	2	0											
6	0	1	6									0		
7	1	0	4										0	
8	11	0	1											5
9	7	14	0									5		
10	8	4	0											0
11	14	2	0										3	
11Ф						0			0					
12Ф							0				0			
13Ф								0		0				

Таблица В.3 – Второй шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11Ф	12Ф	13Ф
1				0 ⁶	0 ⁰	0 ⁰	4	7	2	9	14			
2				6	1	5	7	0 ¹	13	9	6			
3				12	0 ⁰	11	12	2	0 ⁰	6	5			
4	0 ²	2	7											
5	5	2	0 ²											
6	0 ⁰	1	6									0 ⁵		
7	1	0 ⁰	4										0 ³	
8	11	0 ¹	1											5
9	7	14	0 ⁵									5		
10	8	4	0 ⁰											0 ⁵
11	14	2	0 ²										3	
11Ф						0 ⁰			0 ⁰					
12Ф							0 ⁴				0 ⁵			
13Ф								0 ⁰		0 ⁶				

Таблица В.4 – Третий шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11Ф	12Ф	13Ф
1				0 ⁶	0 ⁰	0 ⁰	4	7	2	14			
2				6	1	5	7	0 ³	13	6			
3				12	0 ⁰	11	12	2	0 ⁰	5			
4	0 ²	2	7										
5	5	2	0 ²										
6	0 ⁰	1	6								0 ⁵		
7	1	0 ⁰	4									0 ³	
8	11	0 ⁰	1										0 [∞]
9	7	14	0 ⁵								5		
10	8	4	0 ⁴										∞
11	14	2	0 ²									3	
11Ф						0 ⁰			0 ⁰				
12Ф							0 ⁴			0 ⁵			

Из полученной матрицы формируется новая оценочная матрица (см. таблицу В.5). Затем, после проведения расчетов, создается фиктивная матрица путем введения в вершину 1 фиктивного узла 1001 (см. таблицу В.6).

Таблица В.5 – Четвертый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11Ф	12Ф
1				0^6	0^0	0^0	4	7	2	14		
2				6	1	5	7	0^3	13	6		
3				12	0^0	11	12	2	0^0	5		
4	0^2	2	7									
5	5	2	0^2									
6	0^0	1	6								0^5	
7	1	0^1	4									0^3
9	7	14	0^5								5	
10	8	4	0^4									
11	14	2	0^2									3
11Ф						0^0			0^0			
12Ф							0^4			0^5		

Таблица В.6 – Пятый шаг преобразования матрицы

	1	2	3	5	6	7	8	9	11	11Ф	12Ф	1001
2				1	5	7	0^3	13	6			
3				0^0	11	12	2	0^0	5			
4	∞	2	7									0^2
5	5	2	0^2									5
6	0^1	1	6							0^5		0^0
7	1	0^0	4								0^3	1
9	7	14	0^5							5		7
10	8	4	0^4									8
11	14	2	0^2								3	14
11Ф					0^0			0^0				
12Ф						0^4			0^5			
1001				0^0	0^0	4	7	2	14			

Здесь блокируется ячейка 4-1, и ветвь 12Ф-11 вычеркивается. Далее в процессе решения в маршрут включаются следующие ветви: 7-12Ф, 6-1, 9-11Ф, 11Ф-6, 4-1001.. В таблице В.7 блокируется ячейка 1001-9, и в вершину 1 вводится фиктивный узел 1002. Затем звено 2-8 вычеркивается, что приводит к формированию новой матрицы, показанной в таблице В.8. В этой матрице блокируется ветвь 10-2, чтобы избежать заикливания, и в маршрут включается

звено 5-1002. Далее последовательно удаляются следующие ветви: 10-3, 11-2, 3-9, 1001-3 и 1002-7.

Таблица В.7 – Шестой шаг преобразования матрицы

	2	3	5	7	8	9	1002
2			1	3	0^3	13	
3			0^0	8	2	0^2	
5	0^0	0^0					0^3
10	2	0^2					3
11	0^0	0^0					9
1001			0^0	0^3	7	∞	
1002			0^0	0^0	7	2	

Таблица В.8 – Седьмой шаг преобразования матрицы

	2	3	5	7	9	1002
3			0^0	8	0^2	
5	0^0	0^0				0^3
10	∞	0^3				3
11	0^0	0^0				9
1001			0^0	0^0		
1002			0^0	0^0	2	

В результате проведенных расчетов из исходной матрицы расстояний были удалены следующие ветви: 13Ф-10, 8-13Ф, 1-4, 12Ф-11, 7-12Ф, 6-1, 9-11Ф, 11Ф-6, 4-1001, 2-8, 5-1002, 10-3, 11-2, 3-9, 1001-5, 1002-7. Отбрасывая фиктивные узлы, находим оптимальный маршрут длиной 100 единиц (см. рисунок В.2).

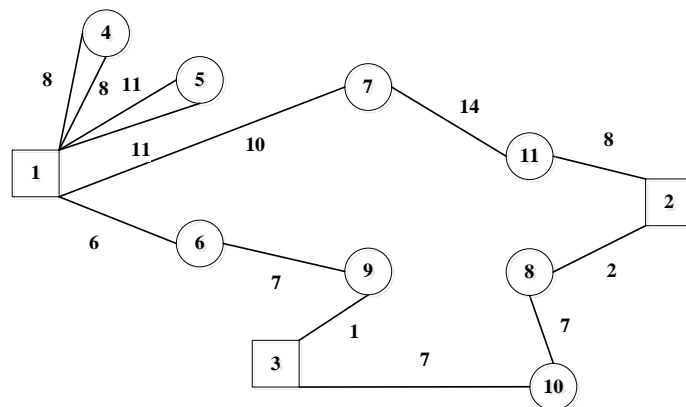


Рисунок В.2 – Оптимальная схема передвижения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 - Матрица расстояний между торговыми точками

	1Б	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1Б		25	22	22	22	21	57	22	54	21	25	74	75	47	90
2	25		13	12	12	11	34	13	77	18	21	53	54	77	145
3	22	13		19	2	3	27	1	78	11	14	43	44	68	146
4	22	12	19		18	16	26	18	80	8	7	60	62	73	145
5	22	12	2	18		24	27	27	94	19	16	44	46	68	145
6	21	11	3	16	24		24	3	75	8	11	44	45	68	144
7	57	34	27	26	27	24		25	94	21	20	68	68	86	131
8	22	13	1	18	27	3	25		78	10	13	42	44	68	146
9	54	77	78	80	94	75	94	78		74	78	75	77	47	37
10	21	18	11	8	19	8	21	19	74		6	74	53	68	111
11	25	21	14	7	16	11	20	13	78	6		58	60	71	147
12	74	53	43	60	44	44	68	42	75	74	58		2	33	147
13	75	54	44	62	46	45	68	44	77	53	60	2		32	146
14	47	77	68	73	68	68	86	68	47	68	71	33	32		116
15	90	145	146	145	145	144	131	146	37	111	147	147	146	116	
16	92	147	150	147	149	149	146	150	39	113	145	149	147	118	5
17	87	142	152	143	151	151	128	152	34	109	141	145	134	114	4
18	68	87	83	87	82	82	101	83	118	81	85	126	139	110	118
19	65	84	79	83	79	78	97	79	80	78	82	123	122	107	115
20	69	86	83	86	82	82	101	83	83	81	85	127	126	109	102
21	69	86	83	86	82	82	101	83	83	81	85	127	126	109	102
22	90	116	113	116	112	112	131	113	37	111	115	114	113	116	1
23	54	80	76	80	76	75	94	76	2	75	78	78	77	47	38
24	54	80	76	80	76	75	94	76	0	75	79	79	78	47	38
25	88	74	66	63	64	63	63	67	165	57	53	108	107	127	172
26	89	75	67	60	65	64	65	66	138	58	55	110	109	129	174
27	64	81	78	81	77	76	96	78	113	77	80	122	121	104	113
28	69	86	83	86	82	81	99	82	83	81	85	126	125	109	102
29	68	86	82	87	82	81	99	83	83	81	85	126	125	109	102
30	154	172	169	144	168	167	164	169	203	151	143	209	208	195	240
31	149	167	163	139	162	151	159	156	198	146	141	204	203	189	234
32	29	24	17	3	16	15	26	20	86	8	6	63	62	72	116
33	26	23	13	12	13	12	17	14	80	9	7	57	56	72	117
34	30	26	19	3	19	18	26	18	85	9	7	63	62	72	116
35	26	22	12	9	11	10	18	12	78	5	2	56	55	72	116
36	24	22	10	12	11	10	17	11	77	6	7	54	53	68	113
37	48	33	24	18	24	23	23	24	96	17	14	68	67	82	132

Продолжение таблицы Г.1

38	25	21	12	9	11	10	18	12	78	5	4	56	55	72	116
39	30	27	16	19	15	14	23	16	83	13	15	60	59	75	119
40	28	26	13	16	13	12	21	14	81	11	12	58	57	72	117
41	17	18	10	11	9	8	24	10	70	5	8	54	53	63	106
42	30	27	20	5	19	18	28	18	82	11	9	66	65	69	121
43	29	26	17	6	16	15	24	17	85	9	6	60	59	76	121
44	30	28	20	7	19	18	28	18	83	11	9	66	65	74	121
45	27	24	14	8	14	13	21	15	79	8	4	59	58	73	115
46	33	31	23	9	14	13	28	23	87	15	12	66	65	77	121
47	30	28	20	7	19	18	28	20	83	11	9	66	65	74	120
48	30	26	18	3	17	16	25	17	81	8	7	64	63	73	114
49	24	21	11	14	10	9	18	10	77	7	9	54	53	70	113
50	24	21	11	13	10	9	18	10	77	7	9	54	53	70	113
51	23	19	10	8	9	8	19	10	76	4	4	54	53	69	119
52	29	28	20	9	19	18	28	23	83	11	9	66	65	69	117
53	29	26	14	16	13	12	21	14	81	10	12	58	57	72	117
54	30	26	19	3	18	17	26	18	80	8	8	63	62	73	118
55	27	21	12	13	12	11	16	13	80	6	6	56	55	70	115
56	30	28	21	7	20	19	28	21	78	12	10	67	66	69	114
57	31	30	22	8	21	20	28	22	83	11	10	66	65	68	114
58	26	23	14	5	13	12	22	14	77	6	3	61	60	70	113
59	27	23	14	8	13	12	20	14	78	7	2	58	57	71	114
60	27	25	17	4	18	17	26	18	83	9	7	62	61	74	119
61	26	23	14	5	12	11	21	14	77	6	2	58	57	71	113
62	19	17	7	13	6	5	21	7	72	4	7	51	50	65	109
63	31	25	18	4	18	17	25	18	83	9	7	65	64	74	119
64	24	22	10	14	9	8	17	11	77	6	9	54	53	70	114
65	28	24	16	3	16	15	24	16	80	8	5	63	62	73	115
66	24	22	13	7	12	11	20	13	77	81	85	126	125	110	113
67	18	16	7	12	7	6	21	7	71	5	10	51	50	65	108
68	22	19	10	8	9	8	19	10	77	5	4	54	53	69	113
69	24	20	10	8	10	9	21	11	76	2	4	53	52	69	112
70	30	26	18	5	17	16	24	18	83	10	6	62	61	74	112
71	23	20	10	9	10	9	22	11	75	1	6	54	53	67	119
72	30	27	20	5	19	18	27	19	82	11	9	66	65	69	111
73	22	19	4	14	4	3	22	6	74	6	9	49	48	68	120
74	30	27	20	5	19	18	27	19	82	11	9	66	65	69	111
75	25	22	12	8	11	10	21	12	78	5	2	56	55	71	120
76	25	21	12	13	12	11	16	13	79	9	6	54	53	70	120
77	25	22	11	9	11	10	18	13	79	5	2	59	58	71	115
78	27	24	14	9	14	13	21	15	79	7	3	55	54	72	116
79	22	19	10	9	9	8	18	10	76	4	5	57	56	69	115
80	26	24	13	12	12	11	15	13	80	9	6	57	56	72	112

Продолжение таблицы Г.1

81	26	24	13	12	12	11	14	14	81	9	8	49	48	72	117
82	22	15	5	14	5	4	21	5	74	6	8	57	56	67	117
83	26	23	13	9	13	12	19	13	80	6	3	54	53	72	110
84	23	20	9	10	9	8	17	10	77	6	5	65	64	70	115
85	30	27	20	5	19	18	28	23	82	11	8	65	64	69	113
86	34	26	18	4	18	17	26	18	81	9	7	54	53	74	114
87	24	22	12	13	11	10	18	11	78	8	8	57	56	71	119
88	26	22	11	9	12	11	18	12	79	6	3	54	53	73	114
89	24	21	10	13	11	10	17	11	77	6	9	53	52	70	115
90	19	18	5	14	5	4	21	5	74	6	8	51	50	67	114
91	25	23	14	5	13	12	22	14	77	6	3	57	56	70	109
92	19	20	12	7	12	11	24	13	73	2	5	64	63	65	113
93	27	25	16	3	17	16	24	20	80	9	7	63	62	73	109
94	27	25	16	3	17	16	25	17	80	8	7	63	62	73	116
95	16	16	9	11	9	8	23	10	70	5	8	54	53	63	117
96	18	19	7	12	6	5	22	8	72	5	7	51	50	65	106
97	29	25	16	6	16	15	23	17	85	9	6	60	59	76	121
98	23	20	10	12	9	8	20	11	77	6	7	54	53	69	113

Таблица Г.2 – Продолжение матрицы расстояний между торговыми точками

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
92	87	68	65	69	69	90	54	54	88	89	64	69	68	154	149
147	142	87	84	86	86	116	80	80	74	75	81	86	86	172	167
150	152	83	79	83	83	113	76	76	66	67	78	83	82	169	163
147	143	87	83	86	86	116	80	80	63	60	81	86	87	144	139
149	151	82	79	82	82	112	76	76	64	65	77	82	82	168	162
149	151	82	78	82	82	112	75	75	63	64	76	81	81	167	151
146	128	101	97	101	101	131	94	94	63	65	96	99	99	164	159
150	152	83	79	83	83	113	76	76	67	66	78	82	83	169	156
39	34	118	80	83	83	37	2	0	165	138	113	83	83	203	198
113	109	81	78	81	81	111	75	75	57	58	77	81	81	151	146
145	141	85	82	85	85	115	78	79	53	55	80	85	85	143	141
149	145	126	123	127	127	114	78	79	108	110	122	126	126	209	204
147	134	139	122	126	126	113	77	78	107	109	121	125	125	208	203
118	114	110	107	109	109	116	47	47	127	129	104	109	109	195	189
5	4	118	115	102	102	1	38	38	172	174	113	102	102	240	234
	4	106	103	106	106	5	40	40	174	176	101	106	106	238	236
4		108	104	108	108	4	35	35	170	171	104	108	108	234	232
106	108		7	1	1	101	117	116	143	144	6	1	1	184	181
103	104	7		7	7	98	100	101	140	141	2	6	6	185	183
106	108	1	7		0	101	99	100	143	144	6	1	1	186	181
106	108	1	7	0		101	99	100	143	144	6	1	1	186	181

Продолжение таблицы Г.2

5	4	101	98	101	101		38	38	172	174	113	102	102	240	234
40	35	117	100	99	99	38		1	135	137	113	117	117	203	198
40	35	116	101	100	100	38	1		135	137	113	117	117	203	198
174	170	143	140	143	143	172	135	135		2	138	142	142	110	104
176	171	144	141	144	144	174	137	137	2		140	144	144	112	106
101	104	6	2	6	6	113	113	113	138	140		5	6	206	200
106	108	1	6	1	1	102	117	117	142	144	5		1	211	205
106	108	1	6	1	1	102	117	117	142	144	6	1		187	181
238	234	184	185	186	186	240	203	203	110	112	206	211	187		12
236	232	181	183	181	181	234	198	198	104	106	200	205	181	12	
119	114	110	84	87	87	116	81	81	57	59	82	87	87	142	139
120	114	117	83	87	87	117	81	81	53	55	83	88	87	149	146
119	114	110	84	87	87	116	81	81	57	59	82	87	87	142	139
117	114	113	82	85	85	116	107	107	54	56	80	85	85	144	142
116	111	118	81	84	84	113	78	78	59	61	79	84	84	150	147
134	130	103	100	103	103	132	96	96	40	42	98	103	103	147	132
117	114	113	82	85	85	116	79	79	54	56	81	86	86	144	142
121	117	90	87	90	90	119	84	84	65	67	85	90	90	156	153
119	115	88	85	88	88	117	82	82	62	64	83	88	88	154	151
110	106	77	74	77	77	106	70	70	61	63	72	77	77	161	147
116	112	85	82	87	87	121	80	80	57	59	82	87	87	142	139
123	119	92	89	92	92	121	85	85	55	57	83	88	88	141	138
116	112	85	82	87	87	121	80	80	57	59	82	87	87	142	139
118	113	86	83	86	86	115	80	80	52	54	81	86	86	143	140
123	119	92	89	92	92	121	85	85	58	60	87	92	92	141	138
116	112	85	82	87	87	120	80	80	57	59	82	87	87	142	139
118	112	85	82	87	87	114	80	80	57	59	82	87	87	142	139
116	111	85	81	84	84	113	79	79	59	61	80	85	85	150	148
116	111	85	81	84	84	113	79	79	59	61	82	87	87	150	148
116	111	83	80	82	82	119	76	76	55	57	77	82	82	146	143
115	111	84	81	84	84	117	77	77	58	60	79	84	84	141	138
119	115	89	85	88	88	117	82	82	62	64	83	88	88	154	151
116	112	85	82	87	87	118	80	80	57	59	82	97	97	142	139
117	113	87	82	86	86	115	79	79	55	57	80	85	85	147	144
116	111	85	81	84	84	114	77	77	58	69	80	85	85	143	137
115	111	85	81	84	84	114	77	77	58	60	80	85	85	143	137
117	111	84	81	84	84	113	77	77	55	57	79	84	84	144	141
116	112	85	82	85	85	114	78	78	54	56	80	85	85	145	140
121	116	90	86	89	89	119	83	83	55	57	83	88	88	140	136
116	111	84	81	84	84	113	77	77	55	57	79	84	84	144	141
110	106	79	76	79	79	109	73	73	58	60	75	80	80	149	147
121	116	89	86	89	89	119	83	83	55	57	83	88	88	140	136
115	111	85	81	84	84	114	78	78	58	60	79	84	84	150	147

Продолжение таблицы Г.2

117	114	85	82	87	87	115	80	80	57	59	82	87	87	142	139
97	99	1	81	84	84	113	77	77	53	55	80	85	85	184	181
109	105	79	75	78	78	108	71	71	59	61	74	79	79	152	148
116	112	83	79	82	82	113	76	76	55	57	77	82	82	146	143
114	110	83	80	83	83	112	76	76	55	57	79	84	84	146	143
121	116	90	86	89	89	112	83	83	56	58	83	88	88	140	138
114	109	82	79	82	82	119	75	75	56	58	77	82	82	147	144
116	112	85	82	87	87	111	80	80	57	59	82	87	87	142	139
112	108	82	78	81	81	120	75	75	60	62	76	81	81	152	149
116	112	85	82	87	87	111	80	80	57	59	82	87	87	142	139
117	114	85	82	85	85	120	79	79	55	57	81	86	86	144	142
117	113	87	81	84	84	120	80	80	53	55	80	85	85	147	144
118	112	85	82	85	85	115	80	80	54	56	80	85	85	144	142
117	113	86	83	86	86	116	79	79	52	54	81	86	86	143	140
114	109	83	80	82	82	115	77	77	56	58	78	83	83	146	143
118	114	88	84	87	87	112	79	79	54	56	82	87	87	148	146
118	114	86	84	87	87	117	79	79	55	57	82	87	87	149	146
112	108	81	78	81	81	117	74	74	60	62	76	81	81	155	149
118	113	86	83	87	87	110	79	79	53	55	81	86	86	145	142
115	110	84	80	83	83	115	80	80	56	58	79	84	84	148	145
116	112	85	82	87	87	113	83	83	57	59	82	87	87	142	139
121	116	90	86	89	89	114	79	79	55	57	85	90	90	138	136
116	112	85	82	85	85	119	78	78	59	61	80	85	85	151	148
116	113	86	83	86	86	114	78	78	53	55	81	86	86	145	142
115	111	84	81	84	84	115	75	75	58	60	79	84	84	150	147
113	108	81	78	81	81	114	73	73	60	62	77	82	82	156	152
116	111	84	81	84	84	109	73	73	54	56	79	84	84	144	141
111	107	80	77	80	80	113	80	80	56	58	77	82	82	147	144
116	118	85	82	87	87	109	80	80	57	59	82	87	87	142	139
116	118	85	82	87	87	116	80	80	57	59	82	87	87	142	139
108	104	77	74	77	77	117	70	70	59	61	72	77	77	153	148
110	106	79	76	79	79	106	72	72	58	60	74	79	79	152	147
123	119	92	85	92	92	121	85	85	55	57	83	88	88	140	136
115	111	84	81	84	84	113	77	77	58	60	79	84	84	150	147

Таблица Г.3 – Продолжение матрицы расстояний между торговыми точками

32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
29	26	30	26	24	48	25	30	28	17	30	29	30	27	33	30
24	23	26	22	22	33	21	27	26	18	27	26	28	24	31	28
17	13	19	12	10	24	12	16	13	10	20	17	20	14	23	20
3	12	3	9	12	18	9	19	16	11	5	6	7	8	9	7
16	13	19	11	11	24	11	15	13	9	19	16	19	14	14	19

Продолжение таблицы Г.3

15	12	18	10	10	23	10	14	12	8	18	15	18	13	13	18
26	17	26	18	17	23	18	23	21	24	28	24	28	21	28	28
20	14	18	12	11	24	12	16	14	10	18	17	18	15	23	20
86	80	85	78	77	96	78	83	81	70	82	85	83	79	87	83
8	9	9	5	6	17	5	13	11	5	11	9	11	8	15	11
6	7	7	2	7	14	4	15	12	8	9	6	9	4	12	9
63	57	63	56	54	68	56	60	58	54	66	60	66	59	66	66
62	56	62	55	53	67	55	59	57	53	65	59	65	58	65	65
72	72	72	72	68	82	72	75	72	63	69	76	74	73	77	74
116	117	116	116	113	132	116	119	117	106	121	121	121	115	121	120
119	120	119	117	116	134	117	121	119	110	116	123	116	118	123	116
114	114	114	114	111	130	114	117	115	106	112	119	112	113	119	112
110	117	110	113	118	103	113	90	88	77	85	92	85	86	92	85
84	83	84	82	81	100	82	87	85	74	82	89	82	83	89	82
87	87	87	85	84	103	85	90	88	77	87	92	87	86	92	87
87	87	87	85	84	103	85	90	88	77	87	92	87	86	92	87
116	117	116	116	113	132	116	119	117	106	121	121	121	115	121	120
81	81	81	107	78	96	79	84	82	70	80	85	80	80	85	80
81	81	81	107	78	96	79	84	82	70	80	85	80	80	85	80
57	53	57	54	59	40	54	65	62	61	57	55	57	52	58	57
59	55	59	56	61	42	56	67	64	63	59	57	59	54	60	59
82	83	82	80	79	98	81	85	83	72	82	83	82	81	87	82
87	88	87	85	84	103	86	90	88	77	87	88	87	86	92	87
87	87	87	85	84	103	86	90	88	77	87	88	87	86	92	87
142	149	142	144	150	147	144	156	154	161	142	141	142	143	141	142
139	146	139	142	147	132	142	153	151	147	139	138	139	140	138	139
	12	1	8	12	15	8	18	16	11	3	3	3	6	6	3
12		12	5	7	17	5	12	11	13	13	11	13	8	16	13
1	12		8	12	15	8	18	16	11	3	3	3	6	6	3
8	5	8		7	13	0	12	11	9	10	5	10	4	12	9
12	7	12	7		18	7	4	4	9	14	11	14	9	17	14
15	17	15	13	18		13	24	22	20	17	14	17	13	18	17
8	5	8	0	7	13		12	11	9	10	5	10	4	12	9
18	12	18	12	4	24	12		1	12	18	16	18	13	21	18
16	11	16	11	4	22	11	1		12	18	16	18	13	21	18
11	13	11	9	9	20	9	12	12		13	12	13	11	17	13
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13		5	1	8	8	1
3	11	3	5	11	14	5	16	16	12	5		5	4	6	5
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13	1	5		8	8	1
6	8	6	4	9	13	4	13	13	11	8	4	8		10	8
6	16	6	12	17	18	12	21	21	17	8	6	8	10		8
3	13	3	9	14	17	9	18	18	13	1	5	1	8	8	
3	12	3	9	14	17	9	18	18	13	3	5	3	8	6	3

Продолжение таблицы Г.3

12	7	12	7	1	19	7	5	5	9	15	12	15	10	18	15
12	7	12	7	1	19	7	5	5	9	15	12	15	10	18	15
8	6	8	4	6	15	4	9	9	7	10	8	10	5	13	10
3	14	3	10	5	18	10	19	19	13	1	5	1	9	8	1
16	13	16	9	4	22	9	1	1	13	10	17	10	13	21	10
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13	1	5	1	8	8	1
13	14	13	3	6	13	3	10	10	13	12	10	12	6	17	12
4	3	4	11	15	18	11	19	19	14	3	6	3	9	8	3
4	3	4	11	15	18	11	19	19	14	3	6	3	9	8	3
5	8	5	4	9	15	4	12	12	8	7	5	7	5	10	7
5	7	5	3	8	14	3	12	12	9	9	4	9	2	9	9
1	11	1	8	13	15	8	17	17	11	4	1	4	6	5	4
5	8	5	4	9	15	4	12	12	8	7	5	7	5	10	7
11	8	11	6	6	18	6	10	10	4	13	11	13	9	16	13
1	11	1	7	13	15	7	17	17	11	4	2	4	6	5	4
12	8	12	6	0	18	6	5	5	8	14	12	14	9	17	14
2	10	2	6	11	17	6	15	15	10	4	3	4	6	8	4
87	7	87	4	7	15	4	11	11	8	9	7	9	3	11	9
12	9	12	7	6	19	7	10	10	3	14	14	14	9	17	14
7	6	7	4	5	15	4	9	9	7	10	7	10	5	13	10
8	7	8	4	6	15	4	10	10	7	10	8	10	6	13	10
2	10	2	8	12	14	8	16	16	12	4	1	4	5	5	4
9	10	9	6	6	18	6	11	11	6	11	8	11	6	14	11
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13	1	5	1	6	8	1
13	10	13	9	8	21	9	11	11	7	16	13	16	11	19	16
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13	1	5	1	6	8	1
7	7	7	4	7	15	4	11	11	9	10	6	10	4	13	10
13	13	13	3	6	13	3	10	10	13	12	10	12	6	16	12
7	13	7	1	7	14	1	10	10	9	10	6	10	4	12	10
6	3	6	4	9	13	4	13	13	11	8	4	8	1	10	8
8	5	8	3	5	15	3	9	9	7	10	8	10	6	13	10
12	7	12	4	6	18	4	10	10	13	14	10	14	7	19	14
12	5	12	5	7	15	5	10	10	13	14	10	14	8	16	14
13	2	13	7	7	20	7	11	11	6	17	13	17	11	18	17
8	4	8	2	8	13	2	12	12	10	10	8	10	4	12	10
10	9	10	4	3	16	4	6	6	8	14	9	14	7	16	14
3	6	3	10	14	17	10	18	18	13	0	5	0	8	8	0
2	6	2	8	12	15	8	17	17	11	4	2	4	6	5	4
13	13	13	8	1	19	8	5	5	10	14	14	14	10	18	14
8	10	8	1	6	13	1	12	12	10	10	9	10	4	12	10
12	8	12	6	1	18	6	5	5	8	14	13	14	9	17	14
13	6	13	8	7	20	8	11	11	6	15	13	15	11	18	15
5	9	5	4	9	16	4	13	13	8	7	4	7	6	11	7

Продолжение таблицы Г.3

8	8	8	5	6	15	5	11	11	6	10	8	10	7	14	10
1	13	1	10	12	17	10	16	16	11	4	3	4	6	8	4
3	13	3	10	14	17	10	18	18	13	3	4	3	8	8	3
11	10	11	9	8	20	9	12	12	2	13	12	13	11	18	13
13	9	13	7	6	19	7	12	12	3	14	13	14	9	17	14
3	9	3	8	13	14	8	16	16	12	4	2	4	5	5	4
12	9	12	6	1	18	6	5	5	8	14	14	14	9	17	14

Таблица Г.4 – Продолжение матрицы расстояний между торговыми точками

48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
30	24	24	23	29	29	30	27	30	31	26	27	27	26	19	31
26	21	21	19	28	26	26	21	28	30	23	23	25	23	17	25
18	11	11	10	20	14	19	12	21	22	14	14	17	14	7	18
3	14	13	8	9	16	3	13	7	8	5	8	4	5	13	4
17	10	10	9	19	13	18	12	20	21	13	13	18	12	6	18
16	9	9	8	18	12	17	11	19	20	12	12	17	11	5	17
25	18	18	19	28	21	26	16	28	28	22	20	26	21	21	25
17	10	10	10	23	14	18	13	21	22	14	14	18	14	7	18
81	77	77	76	83	81	80	80	78	83	77	78	83	77	72	83
8	7	7	4	11	10	8	6	12	11	6	7	9	6	4	9
7	9	9	4	9	12	8	6	10	10	3	2	7	2	7	7
64	54	54	54	66	58	63	56	67	66	61	58	62	58	51	65
63	53	53	53	65	57	62	55	66	65	60	57	61	57	50	64
73	70	70	69	69	72	73	70	69	68	70	71	74	71	65	74
114	113	113	119	117	117	118	115	114	114	113	114	119	113	109	119
118	116	116	116	115	119	116	117	116	115	117	116	121	116	110	121
112	111	111	111	111	115	112	113	111	111	111	112	116	111	106	116
85	85	85	83	84	89	85	87	85	85	84	85	90	84	79	89
82	81	81	80	81	85	82	82	81	81	81	82	86	81	76	86
87	84	84	82	84	88	87	86	84	84	84	85	89	84	79	89
87	84	84	82	84	88	87	86	84	84	84	85	89	84	79	89
114	113	113	119	117	117	118	115	114	114	113	114	119	113	109	119
80	79	79	76	77	82	80	79	77	77	77	78	83	77	73	83
80	79	79	76	77	82	80	79	77	77	77	78	83	77	73	83
57	59	59	55	58	62	57	55	58	58	55	54	55	55	58	55
59	61	61	57	60	64	59	57	69	60	57	56	57	57	60	57
82	80	82	77	79	83	82	80	80	80	79	80	83	79	75	83
87	85	87	82	84	88	97	85	85	85	84	85	88	84	80	88
87	85	87	82	84	88	97	85	85	85	84	85	88	84	80	88
142	150	150	146	141	154	142	147	143	143	144	145	140	144	149	140
139	148	148	143	138	151	139	144	137	137	141	140	136	141	147	136
3	12	12	8	3	16	3	13	4	4	5	5	1	5	11	1

Продолжение таблицы Г.4

12	7	7	6	14	13	13	14	3	3	8	7	11	8	8	11
3	12	12	8	3	16	3	13	4	4	5	5	1	5	11	1
9	7	7	4	10	9	10	3	11	11	4	3	8	4	6	7
14	1	1	6	5	4	14	6	15	15	9	8	13	9	6	13
17	19	19	15	18	22	17	13	18	18	15	14	15	15	18	15
9	7	7	4	10	9	10	3	11	11	4	3	8	4	6	7
18	5	5	9	19	1	18	10	19	19	12	12	17	12	10	17
18	5	5	9	19	1	18	10	19	19	12	12	17	12	10	17
13	9	9	7	13	13	13	13	14	14	8	9	11	8	4	11
3	15	15	10	1	10	1	12	3	3	7	9	4	7	13	4
5	12	12	8	5	17	5	10	6	6	5	4	1	5	11	2
3	15	15	10	1	10	1	12	3	3	7	9	4	7	13	4
8	10	10	5	9	13	8	6	9	9	5	2	6	5	9	6
6	18	18	13	8	21	8	17	8	8	10	9	5	10	16	5
3	15	15	10	1	10	1	12	3	3	7	9	4	7	13	4
	13	13	8	3	8	3	9	13	4	4	7	3	3	6	6
13		0	5	14	6	14	6	15	15	9	13	13	9	6	13
13	0		5	14	6	14	6	15	15	9	13	13	9	6	13
8	5	5		12	10	8	8	12	12	4	4	8	4	4	8
3	14	14	12		21	4	13	3	3	8	9	6	8	18	4
8	6	6	10	21		18	10	19	19	12	12	17	12	10	16
3	14	14	8	4	18		12	3	3	7	9	4	7	13	4
9	6	6	8	13	10	12		13	13	7	5	10	6	7	10
13	15	15	12	3	19	3	13		2	7	8	3	7	13	14
4	15	15	12	3	19	3	13	2		7	8	3	7	13	14
4	9	9	4	8	12	7	7	7	7		5	4	1	8	4
7	13	13	4	9	12	9	5	8	8	5		5	3	7	6
3	13	13	8	6	17	4	10	3	3	4	5		5	12	1
3	9	9	4	8	12	7	6	7	7	1	3	5		8	4
6	6	6	4	18	10	13	7	13	13	8	7	12	8		11
6	13	13	8	4	16	4	10	14	14	4	6	1	4	11	
12	3	3	5	16	5	14	5	4	4	8	8	12	8	5	12
2	11	11	6	6	17	4	8	9	9	2	5	3	2	9	3
7	7	7	2	10	10	9	6	15	15	3	2	6	3	5	6
13	7	7	5	16	10	14	8	7	7	9	8	13	9	1	13
8	5	5	0	10	9	10	5	10	10	4	5	8	4	4	8
14	6	6	1	12	10	10	6	4	4	5	4	8	5	4	8
6	12	12	8	5	16	4	9	11	11	5	5	4	5	11	4
9	7	7	2	12	10	11	7	1	1	6	5	10	6	4	10
9	14	14	10	3	18	1	12	16	16	6	8	3	6	13	3
3	8	8	7	18	12	16	8	1	1	10	10	15	10	3	15
9	14	14	10	3	18	1	12	10	10	6	8	3	6	13	3
2	7	7	2	10	11	10	6	1	1	4	3	7	4	5	7

Продолжение таблицы Г.4

2	6	6	8	13	10	12	0	10	10	7	5	10	7	7	10
9	7	7	3	11	10	10	3	8	8	5	3	8	5	6	8
7	9	9	5	9	13	8	6	10	10	5	2	5	5	12	5
9	5	5	1	12	9	10	4	14	14	6	4	9	6	4	9
12	6	6	5	16	10	14	3	14	14	8	6	11	8	8	11
12	7	7	6	15	10	14	3	15	15	8	7	13	8	9	13
14	7	7	6	17	10	17	7	10	10	9	9	14	9	3	14
9	8	8	4	11	12	10	4	12	12	4	3	7	4	6	7
10	3	3	3	14	6	14	3	1	1	6	6	12	6	5	12
2	14	14	10	3	18	0	12	4	4	5	8	3	5	13	3
2	13	13	8	4	17	4	10	15	15	4	5	1	4	11	1
14	2	2	7	17	5	14	6	11	11	9	9	14	9	6	14
9	6	6	4	12	10	10	4	14	14	5	4	8	5	6	8
14	3	3	6	16	5	14	5	12	12	9	8	12	9	5	12
14	7	7	6	17	11	15	7	15	15	9	9	14	9	3	14
5	9	9	4	7	12	7	7	7	7	1	3	5	1	7	5
8	6	6	2	12	10	10	7	10	10	5	5	10	5	6	10
3	12	12	8	5	15	4	12	1	1	6	7	3	6	11	3
2	14	14	10	5	17	3	12	1	1	6	8	3	6	13	3
12	8	8	6	14	12	13	9	13	13	8	9	12	8	3	12
14	7	7	5	16	10	14	7	15	15	5	8	12	5	1	12
3	13	13	8	4	16	4	9	4	4	10	5	1	10	11	1
13	3	3	6	16	5	14	5	14	14	8	8	12	8	5	12

Таблица Г.5 – Продолжение матрицы расстояний между торговыми точками

64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
24	28	24	18	22	24	30	23	30	22	30	25	25	25	27	22
22	24	22	16	19	20	26	20	27	19	27	22	21	22	24	19
10	16	13	7	10	10	18	10	20	4	20	12	12	11	14	10
14	3	7	12	8	8	5	9	5	14	5	8	13	9	9	9
9	16	12	7	9	10	17	10	19	4	19	11	12	11	14	9
8	15	11	6	8	9	16	9	18	3	18	10	11	10	13	8
17	24	20	21	19	21	24	22	27	22	27	21	16	18	21	18
11	16	13	7	10	11	18	11	19	6	19	12	13	13	15	10
77	80	77	71	77	76	83	75	82	74	82	78	79	79	79	76
6	8	81	5	5	2	10	1	11	6	11	5	9	5	7	4
9	5	85	10	4	4	6	6	9	9	9	2	6	2	3	5
54	63	126	51	54	53	62	54	66	49	66	56	54	59	55	57
53	62	125	50	53	52	61	53	65	48	65	55	53	58	54	56
70	73	110	65	69	69	74	67	69	68	69	71	70	71	72	69
114	115	113	108	113	112	112	119	111	120	111	120	120	115	116	115
115	117	97	109	116	114	121	114	116	112	116	117	117	118	117	114

Продолжение таблицы Г.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
85	85	1	79	83	83	90	82	85	82	85	85	87	85	86	83
81	82	81	75	79	80	86	79	82	78	82	82	81	82	83	80
84	87	84	78	82	83	89	82	87	81	87	85	84	85	86	82
84	87	84	78	82	83	89	82	87	81	87	85	84	85	86	82
114	115	113	108	113	112	112	119	111	120	111	120	120	115	116	115
78	80	77	71	76	76	83	75	80	75	80	79	80	80	79	77
78	80	77	71	76	76	83	75	80	75	80	79	80	80	79	77
58	57	53	59	55	55	56	56	57	60	57	55	53	54	52	56
60	59	55	61	57	57	58	58	59	62	59	57	55	56	54	58
79	82	80	74	77	79	83	77	82	76	82	81	80	80	81	78
84	87	85	79	82	84	88	82	87	81	87	86	85	85	86	83
84	87	85	79	82	84	88	82	87	81	87	86	85	85	86	83
150	142	184	152	146	146	140	147	142	152	142	144	147	144	143	146
147	139	181	148	143	143	138	144	139	149	139	142	144	142	140	143
12	2	87	12	7	8	2	9	3	13	3	7	13	7	6	8
8	10	7	9	6	7	10	10	13	10	13	7	13	13	3	5
12	2	87	12	7	8	2	9	3	13	3	7	13	7	6	8
6	6	4	7	4	4	8	6	10	9	10	4	3	1	4	3
0	11	7	6	5	6	12	6	14	8	14	7	6	7	9	5
18	17	15	19	15	15	14	18	17	21	17	15	13	14	13	15
6	6	4	7	4	4	8	6	10	9	10	4	3	1	4	3
5	15	11	10	9	10	16	11	18	11	18	11	10	10	13	9
5	15	11	10	9	10	16	11	18	11	18	11	10	10	13	9
8	10	8	3	7	7	12	6	13	7	13	9	13	9	11	7
14	4	9	14	10	10	4	11	1	16	1	10	12	10	8	10
12	3	7	14	7	8	1	8	5	13	5	6	10	6	4	8
14	4	9	14	10	10	4	11	1	16	1	10	12	10	8	10
9	6	3	9	5	6	5	6	6	11	6	4	6	4	1	6
17	8	11	17	13	13	5	14	8	19	8	13	16	12	10	13
14	4	9	14	10	10	4	11	1	16	1	10	12	10	8	10
12	2	7	13	8	14	6	9	9	3	9	2	2	9	7	9
3	11	7	7	5	6	12	7	14	8	14	7	6	7	9	5
3	11	7	7	5	6	12	7	14	8	14	7	6	7	9	5
5	6	2	5	0	1	8	2	10	7	10	2	8	3	5	1
16	6	10	16	10	12	5	12	3	18	3	10	13	11	9	12
5	17	10	10	9	10	16	10	18	12	18	11	10	10	13	9
14	4	9	14	10	10	4	11	1	16	1	10	12	10	8	10
5	8	6	8	5	6	9	7	12	8	12	6	0	3	6	4
4	9	15	7	10	4	11	1	16	1	10	1	10	8	10	14
4	9	15	7	10	4	11	1	16	1	10	1	10	8	10	14
8	2	3	9	4	5	5	6	6	10	6	4	7	5	5	6
8	5	2	8	5	4	5	5	8	10	8	3	5	3	2	4

Продолжение таблицы Г.5

12	3	6	13	8	8	4	10	3	15	3	7	10	8	5	9
8	2	3	9	4	5	5	6	6	10	6	4	7	5	5	6
5	9	5	1	4	4	11	4	13	3	13	5	7	6	12	4
12	3	6	13	8	8	4	10	3	15	3	7	10	8	5	9
	11	7	7	5	6	12	7	14	8	14	6	6	7	9	5
11		6	12	7	7	3	8	3	13	3	6	9	7	6	8
7	6		7	3	3	6	4	9	8	9	1	6	3	3	3
7	12	7		5	5	12	5	15	4	15	6	9	7	9	5
5	7	3	5		2	8	2	10	7	10	2	8	3	5	2
6	7	3	5	2		9	3	10	6	10	2	7	3	5	2
12	3	6	12	8	9		9	4	14	4	6	9	7	5	8
7	8	4	5	2	3	9		11	7	11	4	7	5	8	4
14	3	9	15	10	10	4	11		15	1	10	12	10	8	10
8	13	8	4	7	6	14	7	15		15	8	7	8	10	6
14	3	9	15	10	10	4	11	1	15		10	12	10	8	10
6	6	1	6	2	2	6	4	10	8	10		7	2	4	2
6	9	6	9	8	7	9	7	12	7	12	7		3	6	4
7	7	3	7	3	3	7	5	10	8	10	2	3		4	3
9	6	3	9	5	5	5	8	8	10	8	4	6	4		5
5	8	3	5	2	2	8	4	10	6	10	2	4	3	5	
6	11	7	8	6	7	10	8	13	9	13	6	3	4	8	6
8	12	7	9	7	6	11	8	13	9	13	6	3	4	8	6
7	12	8	3	6	5	13	6	15	1	15	7	7	7	10	5
8	7	3	8	4	4	7	5	10	9	10	3	4	3	1	5
3	9	5	6	4	4	10	5	11	6	11	4	3	3	4	3
14	3	10	12	10	10	4	10	1	15	0	10	12	10	7	11
13	1	7	13	8	8	2	9	4	14	4	7	10	8	8	9
1	12	8	7	6	5	13	7	15	7	15	7	6	7	6	6
6	7	3	7	3	4	7	5	10	9	10	3	3	2	10	4
1	11	7	6	5	5	12	6	14	6	14	6	5	6	4	5
7	12	8	3	6	5	13	6	15	1	15	7	7	7	6	5
9	4	4	8	4	4	6	6	7	9	7	3	8	6	8	5
6	8	7	6	2	2	8	2	11	7	11	3	7	5	6	5
12	1	6	12	7	9	3	9	4	12	4	6	9	7	6	8
14	2	8	12	9	10	4	9	3	13	3	7	10	8	5	9
8	10	7	2	6	5	12	6	13	5	13	6	9	10	10	5
6	12	6	1	5	4	12	5	15	3	15	5	7	6	9	4
13	3	8	12	8	9	1	10	4	14	4	8	9	7	5	9
1	11	7	6	5	5	12	6	14	6	14	6	5	6	9	5

Таблица Г.6 – Продолжение матрицы расстояний между торговыми точками

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
26	26	22	26	23	30	34	24	26	24	19	25	19	27	27	16
24	24	15	23	20	27	26	22	22	21	18	23	20	25	25	16
13	13	5	13	9	20	18	12	11	10	5	14	12	16	16	9
12	12	14	9	10	5	4	13	9	13	14	5	7	3	3	11
12	12	5	13	9	19	18	11	12	11	5	13	12	17	17	9
11	11	4	12	8	18	17	10	11	10	4	12	11	16	16	8
15	14	21	19	17	28	26	18	18	17	21	22	24	24	25	23
13	14	5	13	10	23	18	11	12	11	5	14	13	20	17	10
80	81	74	80	77	82	81	78	79	77	74	77	73	80	80	70
9	9	6	6	6	11	9	8	6	6	6	6	2	9	8	5
6	8	8	3	5	8	7	8	3	9	8	3	5	7	7	8
57	49	57	54	65	65	54	57	54	53	51	57	64	63	63	54
56	48	56	53	64	64	53	56	53	52	50	56	63	62	62	53
72	72	67	72	70	69	74	71	73	70	67	70	65	73	73	63
112	117	117	110	115	113	114	119	114	115	114	109	113	109	116	117
118	118	112	118	115	116	121	116	116	115	113	116	111	116	116	108
114	114	108	113	110	112	116	112	113	111	108	111	107	118	118	104
88	86	81	86	84	85	90	85	86	84	81	84	80	85	85	77
84	84	78	83	80	82	86	82	83	81	78	81	77	82	82	74
87	87	81	87	83	87	89	85	86	84	81	84	80	87	87	77
87	87	81	87	83	87	89	85	86	84	81	84	80	87	87	77
112	117	117	110	115	113	114	119	114	115	114	109	113	109	116	117
79	79	74	79	80	83	79	78	78	75	73	73	80	80	80	70
79	79	74	79	80	83	79	78	78	75	73	73	80	80	80	70
54	55	60	53	56	57	55	59	53	58	60	54	56	57	57	59
56	57	62	55	58	59	57	61	55	60	62	56	58	59	59	61
82	82	76	81	79	82	85	80	81	79	77	79	77	82	82	72
87	87	81	86	84	87	90	85	86	84	82	84	82	87	87	77
87	87	81	86	84	87	90	85	86	84	82	84	82	87	87	77
148	149	155	145	148	142	138	151	145	150	156	144	147	142	142	153
146	146	149	142	145	139	136	148	142	147	152	141	144	139	139	148
12	12	13	8	10	3	2	13	8	12	13	5	8	1	3	11
7	5	2	4	9	6	6	13	10	8	6	9	8	13	13	10
12	12	13	8	10	3	2	13	8	12	13	5	8	1	3	11
4	5	7	2	4	10	8	8	1	6	8	4	5	10	10	9
6	7	7	8	3	14	12	1	6	1	7	9	6	12	14	8
18	15	20	13	16	17	15	19	13	18	20	16	15	17	17	20
4	5	7	2	4	10	8	8	1	6	8	4	5	10	10	9
10	10	11	12	6	18	17	5	12	5	11	13	11	16	18	12
10	10	11	12	6	18	17	5	12	5	11	13	11	16	18	12
13	13	6	10	8	13	11	10	10	8	6	8	6	11	13	2
14	14	17	10	14	0	4	14	10	14	15	7	10	4	3	13

Продолжение таблицы Г.6

10	10	13	8	9	5	2	14	9	13	13	4	8	3	4	12
14	14	17	10	14	0	4	14	10	14	15	7	10	4	3	13
7	8	11	4	7	8	6	10	4	9	11	6	7	6	8	11
19	16	18	12	16	8	5	18	12	17	18	11	14	8	8	18
14	14	17	10	14	0	4	14	10	14	15	7	10	4	3	13
12	12	14	9	10	2	2	14	9	14	14	5	8	3	2	12
6	7	7	8	3	14	13	2	6	3	7	9	6	12	14	8
6	7	7	8	3	14	13	2	6	3	7	9	6	12	14	8
5	6	6	4	3	10	8	7	4	6	6	4	2	8	10	6
16	15	17	11	14	3	4	17	12	16	17	7	12	5	5	14
10	10	10	12	6	18	17	5	10	5	11	12	10	15	17	12
14	14	17	10	14	0	4	14	10	14	15	7	10	4	3	13
3	3	7	4	3	12	10	6	4	5	7	7	7	12	12	9
14	15	10	12	1	4	15	11	14	12	15	7	10	1	1	13
14	15	10	12	1	4	15	11	14	12	15	7	10	1	1	13
8	8	9	4	6	5	4	9	5	9	9	1	5	6	6	8
6	7	9	3	6	8	5	9	4	8	9	3	5	7	8	9
11	13	14	7	12	3	1	14	8	12	14	5	10	3	3	12
8	8	9	4	6	5	4	9	5	9	9	1	5	6	6	8
8	9	3	6	5	13	11	6	6	5	3	7	6	11	13	3
11	13	14	7	12	3	1	14	8	12	14	5	10	3	3	12
6	8	7	8	3	14	13	1	6	1	7	9	6	12	14	8
11	12	12	7	9	3	1	12	7	11	12	4	8	1	2	10
7	7	8	3	5	10	7	8	3	7	8	4	7	6	8	7
8	9	3	8	6	12	13	7	7	6	3	8	6	12	12	2
6	7	6	4	4	10	8	6	3	5	6	4	2	7	9	6
7	6	5	4	4	10	8	5	4	5	5	4	2	9	10	5
10	11	13	7	10	4	2	13	7	12	13	6	8	3	4	12
8	8	6	5	5	10	9	7	5	6	6	6	2	9	9	6
13	13	15	10	11	1	4	15	10	14	15	7	11	4	3	13
9	9	1	9	6	15	14	7	9	6	1	9	7	12	13	5
13	13	15	10	11	0	4	15	10	14	15	7	11	4	3	13
6	6	7	3	4	10	7	7	3	6	7	3	3	6	7	6
3	3	7	4	3	12	10	6	3	5	7	8	7	9	10	9
4	4	7	3	3	10	8	7	2	6	7	6	5	7	8	10
8	8	10	1	4	7	8	6	10	4	6	8	6	6	5	10
6	6	5	5	3	11	9	6	4	5	5	5	5	8	9	5
	1	9	6	5	13	11	8	5	7	9	8	8	11	11	10
1		8	6	4	13	11	7	4	6	8	9	8	10	11	10
9	8		10	6	15	13	7	8	6	0	9	6	12	14	5
6	6	10		6	10	8	9	3	8	9	6	8	7	8	9
5	4	6	6		11	10	4	5	2	6	6	5	9	10	7
13	13	15	10	11		4	15	10	14	15	7	10	3	3	13

Продолжение таблицы Г.6

11	11	13	8	10	4		14	8	12	14	5	10	3	2	12
8	7	7	9	4	15	14		7	2	7	9	8	12	13	8
5	4	8	3	5	10	8	7		6	7	4	6	7	8	10
7	6	6	8	2	14	12	2	6		7	8	8	12	12	8
9	8	0	9	6	15	14	7	7	7		10	8	12	13	5
8	9	9	6	6	7	5	9	4	8	10		5	3	4	8
8	8	6	8	5	10	10	8	6	8	8	5		7	7	7
11	10	12	7	9	3	3	12	7	12	12	3	7		1	11
11	11	14	8	10	3	2	13	8	12	13	4	7	1		11
10	10	5	9	7	13	12	8	10	8	5	8	7	11	11	
9	8	3	7	5	15	14	5	6	6	3	10	6	13	12	2
10	10	13	8	9	5	1	13	7	12	14	5	9	2	3	13
7	6	6	8	3	14	13	2	9	1	6	9	8	12	12	7

Таблица Г.7 – Матрица по времени

	1Б	1	2	3	4	5	6	7
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
1Б		0,416667	0,366667	0,366667	0,366667	0,35	0,95	0,366667
1	0,42	0	0,216667	0,2	0,2	0,183333	0,566667	0,216667
2	0,37	0,216667	0	0,316667	0,033333	0,05	0,45	0,016667
3	0,37	0,2	0,316667	0	0,3	0,266667	0,433333	0,3
4	0,37	0,2	0,033333	0,3	0	0,4	0,45	0,45
5	0,35	0,183333	0,05	0,266667	0,4	0	0,4	0,05
6	0,95	0,566667	0,45	0,433333	0,45	0,4	0	0,416667
7	0,37	0,216667	0,016667	0,3	0,45	0,05	0,416667	0
8	0,90	1,283333	1,3	1,333333	1,566667	1,25	1,566667	1,3
9	0,35	0,3	0,183333	0,133333	0,316667	0,133333	0,35	0,316667
10	0,42	0,35	0,233333	0,116667	0,266667	0,183333	0,333333	0,216667
11	1,23	0,883333	0,716667	1	0,733333	0,733333	1,133333	0,7
12	1,25	0,9	0,733333	1,033333	0,766667	0,75	1,133333	0,733333
13	0,78	1,283333	1,133333	1,216667	1,133333	1,133333	1,433333	1,133333
14	1,50	2,416667	2,433333	2,416667	2,416667	2,4	2,183333	2,433333
15	1,53	2,45	2,5	2,45	2,483333	2,483333	2,433333	2,5
16	1,45	2,366667	2,533333	2,383333	2,516667	2,516667	2,133333	2,533333
17	1,13	1,45	1,383333	1,45	1,366667	1,366667	1,683333	1,383333
18	1,08	1,4	1,316667	1,383333	1,316667	1,3	1,616667	1,316667
19	1,15	1,433333	1,383333	1,433333	1,366667	1,366667	1,683333	1,383333
20	1,15	1,433333	1,383333	1,433333	1,366667	1,366667	1,683333	1,383333
21	1,50	1,933333	1,883333	1,933333	1,866667	1,866667	2,183333	1,883333
22	0,90	1,333333	1,266667	1,333333	1,266667	1,25	1,566667	1,266667
23	0,90	1,333333	1,266667	1,333333	1,266667	1,25	1,566667	1,266667
24	1,47	1,233333	1,1	1,05	1,066667	1,05	1,05	1,116667

Продолжение таблицы Г.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	1,48	1,25	1,116667	1	1,083333	1,066667	1,083333	1,1
26	1,07	1,35	1,3	1,35	1,283333	1,266667	1,6	1,3
27	1,15	1,433333	1,383333	1,433333	1,366667	1,35	1,65	1,366667
28	1,13	1,433333	1,366667	1,45	1,366667	1,35	1,65	1,383333
29	2,57	2,866667	2,816667	2,4	2,8	2,783333	2,733333	2,816667
30	2,48	2,783333	2,716667	2,316667	2,7	2,516667	2,65	2,6
31	0,48	0,4	0,283333	0,05	0,266667	0,25	0,433333	0,333333
32	0,43	0,383333	0,216667	0,2	0,216667	0,2	0,283333	0,233333
33	0,50	0,433333	0,316667	0,05	0,316667	0,3	0,433333	0,3
34	0,43	0,366667	0,2	0,15	0,183333	0,166667	0,3	0,2
35	0,40	0,366667	0,166667	0,2	0,183333	0,166667	0,283333	0,183333
36	0,80	0,55	0,4	0,3	0,4	0,383333	0,383333	0,4
37	0,42	0,35	0,2	0,15	0,183333	0,166667	0,3	0,2
38	0,50	0,45	0,266667	0,316667	0,25	0,233333	0,383333	0,266667
39	0,47	0,433333	0,216667	0,266667	0,216667	0,2	0,35	0,233333
40	0,28	0,3	0,166667	0,183333	0,15	0,133333	0,4	0,166667
41	0,50	0,45	0,333333	0,083333	0,316667	0,3	0,466667	0,3
42	0,48	0,433333	0,283333	0,1	0,266667	0,25	0,4	0,283333
43	0,50	0,466667	0,333333	0,116667	0,316667	0,3	0,466667	0,3
44	0,45	0,4	0,233333	0,133333	0,233333	0,216667	0,35	0,25
45	0,55	0,516667	0,383333	0,15	0,233333	0,216667	0,466667	0,383333
46	0,50	0,466667	0,333333	0,116667	0,316667	0,3	0,466667	0,333333
47	0,50	0,433333	0,3	0,05	0,283333	0,266667	0,416667	0,283333
48	0,40	0,35	0,183333	0,233333	0,166667	0,15	0,3	0,166667
49	0,40	0,35	0,183333	0,216667	0,166667	0,15	0,3	0,166667
50	0,38	0,316667	0,166667	0,133333	0,15	0,133333	0,316667	0,166667
51	0,48	0,466667	0,333333	0,15	0,316667	0,3	0,466667	0,383333
52	0,48	0,433333	0,233333	0,266667	0,216667	0,2	0,35	0,233333
53	0,50	0,433333	0,316667	0,05	0,3	0,283333	0,433333	0,3
54	0,45	0,35	0,2	0,216667	0,2	0,183333	0,266667	0,216667
55	0,50	0,466667	0,35	0,116667	0,333333	0,316667	0,466667	0,35
56	0,52	0,5	0,366667	0,133333	0,35	0,333333	0,466667	0,366667
57	0,43	0,383333	0,233333	0,083333	0,216667	0,2	0,366667	0,233333
58	0,45	0,383333	0,233333	0,133333	0,216667	0,2	0,333333	0,233333
59	0,45	0,416667	0,283333	0,066667	0,3	0,283333	0,433333	0,3
60	0,43	0,383333	0,233333	0,083333	0,2	0,183333	0,35	0,233333
61	0,32	0,283333	0,116667	0,216667	0,1	0,083333	0,35	0,116667
62	0,52	0,416667	0,3	0,066667	0,3	0,283333	0,416667	0,3
63	0,40	0,366667	0,166667	0,233333	0,15	0,133333	0,283333	0,183333
64	0,47	0,4	0,266667	0,05	0,266667	0,25	0,4	0,266667
65	0,40	0,366667	0,216667	0,116667	0,2	0,183333	0,333333	0,216667
66	0,30	0,266667	0,116667	0,2	0,116667	0,1	0,35	0,116667
67	0,37	0,316667	0,166667	0,133333	0,15	0,133333	0,316667	0,166667

Продолжение таблицы Г.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
68	0,40	0,333333	0,166667	0,133333	0,166667	0,15	0,35	0,183333
69	0,50	0,433333	0,3	0,083333	0,283333	0,266667	0,4	0,3
70	0,38	0,333333	0,166667	0,15	0,166667	0,15	0,366667	0,183333
71	0,50	0,45	0,333333	0,083333	0,316667	0,3	0,45	0,316667
72	0,37	0,316667	0,066667	0,233333	0,066667	0,05	0,366667	0,1
73	0,50	0,45	0,333333	0,083333	0,316667	0,3	0,45	0,316667
74	0,42	0,366667	0,2	0,133333	0,183333	0,166667	0,35	0,2
75	0,42	0,35	0,2	0,216667	0,2	0,183333	0,266667	0,216667
76	0,42	0,366667	0,183333	0,15	0,183333	0,166667	0,3	0,216667
77	0,45	0,4	0,233333	0,15	0,233333	0,216667	0,35	0,25
78	0,37	0,316667	0,166667	0,15	0,15	0,133333	0,3	0,166667
79	0,43	0,4	0,216667	0,2	0,2	0,183333	0,25	0,216667
80	0,43	0,4	0,216667	0,2	0,2	0,183333	0,233333	0,233333
81	0,37	0,25	0,083333	0,233333	0,083333	0,066667	0,35	0,083333
82	0,43	0,383333	0,216667	0,15	0,216667	0,2	0,316667	0,216667
83	0,38	0,333333	0,15	0,166667	0,15	0,133333	0,283333	0,166667
84	0,50	0,45	0,333333	0,083333	0,316667	0,3	0,466667	0,383333
85	0,57	0,433333	0,3	0,066667	0,3	0,283333	0,433333	0,3
86	0,40	0,366667	0,2	0,216667	0,183333	0,166667	0,3	0,183333
1	2	3	4	5	6	7	8	9
87	0,43	0,366667	0,183333	0,15	0,2	0,183333	0,3	0,2
88	0,40	0,35	0,166667	0,216667	0,183333	0,166667	0,283333	0,183333
89	0,32	0,3	0,083333	0,233333	0,083333	0,066667	0,35	0,083333
90	0,42	0,383333	0,233333	0,083333	0,216667	0,2	0,366667	0,233333
91	0,32	0,333333	0,2	0,116667	0,2	0,183333	0,4	0,216667
92	0,45	0,416667	0,266667	0,05	0,283333	0,266667	0,4	0,333333
92	0,45	0,416667	0,266667	0,05	0,283333	0,266667	0,416667	0,283333
94	0,27	0,266667	0,15	0,183333	0,15	0,133333	0,383333	0,166667
95	0,30	0,316667	0,116667	0,2	0,1	0,083333	0,366667	0,133333
96	0,48	0,416667	0,266667	0,1	0,266667	0,25	0,383333	0,283333
97	0,38	0,333333	0,166667	0,2	0,15	0,133333	0,333333	0,183333

Таблица Г.8 – Продолжение матрицы по времени

8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,9	0,35	0,416667	1,233333	1,25	0,783333	1,5	1,533333	1,45
1,283333	0,3	0,35	0,883333	0,9	1,283333	2,416667	2,45	2,366667
1,3	0,183333	0,233333	0,716667	0,733333	1,133333	2,433333	2,5	2,533333
1,333333	0,133333	0,116667	1	1,033333	1,216667	2,416667	2,45	2,383333
1,566667	0,316667	0,266667	0,733333	0,766667	1,133333	2,416667	2,483333	2,516667
1,25	0,133333	0,183333	0,733333	0,75	1,133333	2,4	2,483333	2,516667
1,566667	0,35	0,333333	1,133333	1,133333	1,433333	2,183333	2,433333	2,133333
1,3	0,166667	0,216667	0,7	0,733333	1,133333	2,433333	2,5	2,533333

Продолжение таблицы Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,233333	1,3	1,25	1,283333	0,783333	0,616667	0,65	0,566667
1,233333	0	0,1	1,233333	0,883333	1,133333	1,85	1,883333	1,816667
1,3	0,1	0	0,966667	1	1,183333	2,45	2,416667	2,35
1,25	1,233333	0,966667	0	0,033333	0,55	2,45	2,483333	2,416667
1,283333	0,883333	1	0,033333	0	0,533333	2,433333	2,45	2,233333
0,783333	1,133333	1,183333	0,55	0,533333	0	1,933333	1,966667	1,9
0,616667	1,85	2,45	2,45	2,433333	1,933333	0	0,083333	0,066667
0,65	1,883333	2,416667	2,483333	2,45	1,966667	0,083333	0	0,066667
0,566667	1,816667	2,35	2,416667	2,233333	1,9	0,066667	0,066667	0
1,966667	1,35	1,416667	2,1	2,316667	1,833333	1,966667	1,766667	1,8
1,333333	1,3	1,366667	2,05	2,033333	1,783333	1,916667	1,716667	1,733333
1,383333	1,35	1,416667	2,116667	2,1	1,816667	1,7	1,766667	1,8
1,383333	1,35	1,416667	2,116667	2,1	1,816667	1,7	1,766667	1,8
0,616667	1,85	1,916667	1,9	1,883333	1,933333	0,016667	0,083333	0,066667
0	1,25	1,316667	1,316667	1,3	0,783333	0,633333	0,666667	0,583333
2,75	0,95	0,883333	1,8	1,783333	2,116667	2,866667	2,9	2,833333
2,3	0,966667	0,916667	1,833333	1,816667	2,15	2,9	2,933333	2,85
1,883333	1,283333	1,333333	2,033333	2,016667	1,733333	1,883333	1,683333	1,733333
1,383333	1,35	1,416667	2,1	2,083333	1,816667	1,7	1,766667	1,8
1,383333	1,35	1,416667	2,1	2,083333	1,816667	1,7	1,766667	1,8
3,383333	2,516667	2,383333	3,483333	3,466667	3,25	4	3,966667	3,9
3,3	2,433333	2,35	3,4	3,383333	3,15	3,9	3,933333	3,866667
1,433333	0,133333	0,1	1,05	1,033333	1,2	1,933333	1,983333	1,9
1,333333	0,15	0,116667	0,95	0,933333	1,2	1,95	2	1,9
1,416667	0,15	0,116667	1,05	1,033333	1,2	1,933333	1,983333	1,9
1,3	0,083333	0,033333	0,933333	0,916667	1,2	1,933333	1,95	1,9
1,283333	0,1	0,116667	0,9	0,883333	1,133333	1,883333	1,933333	1,85
1,6	0,283333	0,233333	1,133333	1,116667	1,366667	2,2	2,233333	2,166667
1,3	0,083333	0,066667	0,933333	0,916667	1,2	1,933333	1,95	1,9
1,383333	0,216667	0,25	1	0,983333	1,25	1,983333	2,016667	1,95
1,35	0,183333	0,2	0,966667	0,95	1,2	1,95	1,983333	1,916667
1,166667	0,083333	0,133333	0,9	0,883333	1,05	1,766667	1,833333	1,766667
1,366667	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,15	2,016667	1,933333	1,866667
1,416667	0,15	0,1	1	0,983333	1,266667	2,016667	2,05	1,983333
1,383333	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,233333	2,016667	1,933333	1,866667
1,316667	0,133333	0,066667	0,983333	0,966667	1,216667	1,916667	1,966667	1,883333
1,45	0,25	0,2	1,1	1,083333	1,283333	2,016667	2,05	1,983333
1,383333	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,233333	2	1,933333	1,866667
1,35	0,133333	0,116667	1,066667	1,05	1,216667	1,9	1,966667	1,866667
1,283333	0,116667	0,15	0,9	0,883333	1,166667	1,883333	1,933333	1,85
1,283333	0,116667	0,15	0,9	0,883333	1,166667	1,883333	1,933333	1,85
1,266667	0,066667	0,066667	0,9	0,883333	1,15	1,983333	1,933333	1,85
1,383333	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,15	1,95	1,916667	1,85
1,35	0,166667	0,2	0,966667	0,95	1,2	1,95	1,983333	1,916667
1,333333	0,133333	0,133333	1,05	1,033333	1,216667	1,966667	1,933333	1,866667

Продолжение таблицы Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,333333	0,1	0,1	0,933333	0,916667	1,166667	1,916667	1,95	1,883333
1,3	0,2	0,166667	1,116667	1,1	1,15	1,9	1,933333	1,85
1,383333	0,183333	0,166667	1,1	1,083333	1,133333	1,9	1,916667	1,85
1,283333	0,1	0,05	1,016667	1	1,166667	1,883333	1,95	1,85
1,3	0,116667	0,033333	0,966667	0,95	1,183333	1,9	1,933333	1,866667
1,383333	0,15	0,116667	1,033333	1,016667	1,233333	1,983333	2,016667	1,933333
1,283333	0,1	0,033333	0,966667	0,95	1,183333	1,883333	1,933333	1,85
1,2	0,066667	0,116667	0,85	0,833333	1,083333	1,816667	1,833333	1,766667
1,383333	0,15	0,116667	1,083333	1,066667	1,233333	1,983333	2,016667	1,933333
1,283333	0,1	0,15	0,9	0,883333	1,166667	1,9	1,916667	1,85
1,333333	0,133333	0,083333	1,05	1,033333	1,216667	1,916667	1,95	1,9
1,283333	1,35	1,416667	2,1	2,083333	1,833333	1,883333	1,616667	1,65
1,183333	0,083333	0,166667	0,85	0,833333	1,083333	1,8	1,816667	1,75
1,283333	0,083333	0,066667	0,9	0,883333	1,15	1,883333	1,933333	1,866667
1,266667	0,033333	0,066667	0,883333	0,866667	1,15	1,866667	1,9	1,833333
1,383333	0,166667	0,1	1,033333	1,016667	1,233333	1,866667	2,016667	1,933333
1,25	0,016667	0,1	0,9	0,883333	1,116667	1,983333	1,9	1,816667
1,366667	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,15	1,85	1,933333	1,866667
1,233333	0,1	0,15	0,816667	0,8	1,133333	2	1,866667	1,8
1,366667	0,183333	0,15	1,1	1,083333	1,15	1,85	1,933333	1,866667
1,3	0,083333	0,033333	0,933333	0,916667	1,183333	2	1,95	1,9
1,316667	0,15	0,1	0,9	0,883333	1,166667	2	1,95	1,883333
1,316667	0,083333	0,033333	0,983333	0,966667	1,183333	1,916667	1,966667	1,866667
1,316667	0,116667	0,05	0,916667	0,9	1,2	1,933333	1,95	1,883333
1,266667	0,066667	0,083333	0,95	0,933333	1,15	1,916667	1,9	1,816667
1,333333	0,15	0,1	0,95	0,933333	1,2	1,866667	1,966667	1,9
1,35	0,15	0,133333	0,816667	0,8	1,2	1,95	1,966667	1,9
1,233333	0,1	0,133333	0,95	0,933333	1,116667	1,95	1,866667	1,8
1,333333	0,1	0,05	0,9	0,883333	1,2	1,833333	1,966667	1,883333
1,283333	0,1	0,083333	1,083333	1,066667	1,166667	1,916667	1,916667	1,833333
1,366667	0,183333	0,133333	1,083333	1,066667	1,15	1,883333	1,933333	1,866667
1,35	0,15	0,116667	0,9	0,883333	1,233333	1,9	2,016667	1,933333
1,3	0,133333	0,133333	0,95	0,933333	1,183333	1,983333	1,933333	1,866667
1,316667	0,1	0,05	0,9	0,883333	1,216667	1,9	1,933333	1,883333
1,283333	0,1	0,15	0,883333	0,866667	1,166667	1,916667	1,916667	1,85
1,233333	0,1	0,133333	0,85	0,833333	1,116667	1,9	1,883333	1,8
1,283333	0,1	0,05	0,95	0,933333	1,166667	1,816667	1,933333	1,85
1,216667	0,033333	0,083333	1,066667	1,05	1,083333	1,883333	1,85	1,783333
1,333333	0,15	0,116667	1,05	1,033333	1,216667	1,816667	1,933333	1,966667
1,333333	0,133333	0,116667	1,05	1,033333	1,216667	1,933333	1,933333	1,966667
1,166667	0,083333	0,133333	0,9	0,883333	1,05	1,95	1,8	1,733333
1,2	0,083333	0,116667	0,85	0,833333	1,083333	1,766667	1,833333	1,766667
1,416667	0,15	0,1	1	0,983333	1,266667	2,016667	2,05	1,983333
1,283333	0,1	0,116667	0,9	0,883333	1,15	1,883333	1,916667	1,85

Таблица Г.9 – Продолжение матрицы по времени

17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,133333	1,083333	1,15	1,15	1,5	0,9	0,9	1,466667	1,483333
1,45	1,4	1,433333	1,433333	1,933333	1,333333	1,333333	1,233333	1,25
1,383333	1,316667	1,383333	1,383333	1,883333	1,266667	1,266667	1,1	1,116667
1,45	1,383333	1,433333	1,433333	1,933333	1,333333	1,333333	1,05	1
1,366667	1,316667	1,366667	1,366667	1,866667	1,266667	1,266667	1,066667	1,083333
1,683333	1,616667	1,683333	1,683333	2,183333	1,566667	1,566667	1,05	1,083333
1,383333	1,316667	1,383333	1,383333	1,883333	1,266667	1,266667	1,116667	1,1
1,966667	1,333333	1,383333	1,383333	0,616667	0,033333	0	2,75	2,3
1,35	1,3	1,35	1,35	1,85	1,25	1,25	0,95	0,966667
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	1,916667	1,3	1,316667	0,883333	0,916667
2,1	2,05	2,116667	2,116667	1,9	1,3	1,316667	1,8	1,833333
2,316667	2,033333	2,1	2,1	1,883333	1,283333	1,3	1,783333	1,816667
1,833333	1,783333	1,816667	1,816667	1,933333	0,783333	0,783333	2,116667	2,15
1,966667	1,916667	1,7	1,7	0,016667	0,633333	0,633333	2,866667	2,9
1,766667	1,716667	1,766667	1,766667	0,083333	0,666667	0,666667	2,9	2,933333
1,8	1,733333	1,8	1,8	0,066667	0,583333	0,583333	2,833333	2,85
0	0,116667	0,016667	0,016667	1,683333	1,95	1,933333	2,383333	2,4
0,116667	0	0,116667	0,116667	1,633333	1,666667	1,683333	2,333333	2,35
0,016667	0,116667	0	0,016667	1,683333	1,65	1,666667	2,383333	2,4
0,016667	0,116667	0,016667	0	1,683333	1,65	1,666667	2,383333	2,4
1,683333	1,633333	1,683333	1,683333	0	0,633333	0,633333	2,866667	2,9
1,95	1,666667	1,65	1,65	0,633333	0	0,016667	2,25	2,283333
1,933333	1,683333	1,666667	1,666667	0,633333	0,016667	0	2,25	2,283333
2,383333	2,333333	2,383333	2,383333	2,866667	2,25	2,25	0	0,033333
2,4	2,35	2,4	2,4	2,9	2,283333	2,283333	0,033333	0
0,1	0,033333	0,1	0,1	1,883333	1,883333	1,883333	2,3	2,333333
0,016667	0,1	0,016667	0,016667	1,7	1,95	1,95	2,366667	2,4
0,016667	0,1	0,016667	0,016667	1,7	1,95	1,95	2,366667	2,4
3,066667	3,083333	3,1	3,1	4	3,383333	3,383333	1,833333	1,866667
3,016667	3,05	3,016667	3,016667	3,9	3,3	3,3	1,733333	1,766667
1,833333	1,4	1,45	1,45	1,933333	1,35	1,35	0,95	0,983333
1,95	1,383333	1,45	1,45	1,95	1,35	1,35	0,883333	0,916667
1,833333	1,4	1,45	1,45	1,933333	1,35	1,35	0,95	0,983333
1,883333	1,366667	1,416667	1,416667	1,933333	1,783333	1,783333	0,9	0,933333
1,966667	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,3	1,3	0,983333	1,016667
1,716667	1,666667	1,716667	1,716667	2,2	1,6	1,6	0,666667	0,7
1,883333	1,366667	1,416667	1,416667	1,933333	1,316667	1,316667	0,9	0,933333
1,5	1,45	1,5	1,5	1,983333	1,4	1,4	1,083333	1,116667
1,466667	1,416667	1,466667	1,466667	1,95	1,366667	1,366667	1,033333	1,066667
1,283333	1,233333	1,283333	1,283333	1,766667	1,166667	1,166667	1,016667	1,05
1,416667	1,366667	1,45	1,45	2,016667	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,533333	1,483333	1,533333	1,533333	2,016667	1,416667	1,416667	0,916667	0,95
1,416667	1,366667	1,45	1,45	2,016667	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,433333	1,383333	1,433333	1,433333	1,916667	1,333333	1,333333	0,866667	0,9

Продолжение таблицы Г.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,533333	1,483333	1,533333	1,533333	2,016667	1,416667	1,416667	0,966667	1
1,416667	1,366667	1,45	1,45	2	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,9	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,416667	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,316667	1,316667	0,983333	1,016667
1,416667	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,316667	1,316667	0,983333	1,016667
1,383333	1,333333	1,366667	1,366667	1,983333	1,266667	1,266667	0,916667	0,95
1,4	1,35	1,4	1,4	1,95	1,283333	1,283333	0,966667	1
1,483333	1,416667	1,466667	1,466667	1,95	1,366667	1,366667	1,033333	1,066667
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,966667	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,45	1,366667	1,433333	1,433333	1,916667	1,316667	1,316667	0,916667	0,95
1,416667	1,35	1,4	1,4	1,9	1,283333	1,283333	0,966667	1,15
1,416667	1,35	1,4	1,4	1,9	1,283333	1,283333	0,966667	1
1,4	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,283333	1,283333	0,916667	0,95
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	1,9	1,3	1,3	0,9	0,933333
1,5	1,433333	1,483333	1,483333	1,983333	1,383333	1,383333	0,916667	0,95
1,4	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,283333	1,283333	0,916667	0,95
1,316667	1,266667	1,316667	1,316667	1,816667	1,216667	1,216667	0,966667	1
1,483333	1,433333	1,483333	1,483333	1,983333	1,383333	1,383333	0,916667	0,95
1,416667	1,35	1,4	1,4	1,9	1,3	1,3	0,966667	1
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,916667	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
0,016667	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,283333	1,283333	0,883333	0,916667
1,316667	1,25	1,3	1,3	1,8	1,183333	1,183333	0,983333	1,016667
1,383333	1,316667	1,366667	1,366667	1,883333	1,266667	1,266667	0,916667	0,95
1,383333	1,333333	1,383333	1,383333	1,866667	1,266667	1,266667	0,916667	0,95
1,5	1,433333	1,483333	1,483333	1,866667	1,383333	1,383333	0,933333	0,966667
1,366667	1,316667	1,366667	1,366667	1,983333	1,25	1,25	0,933333	0,966667
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,85	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,366667	1,3	1,35	1,35	2	1,25	1,25	1	1,033333
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,85	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	2	1,316667	1,316667	0,916667	0,95
1,45	1,35	1,4	1,4	2	1,333333	1,333333	0,883333	0,916667
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	1,916667	1,333333	1,333333	0,9	0,933333
1,433333	1,383333	1,433333	1,433333	1,933333	1,316667	1,316667	0,866667	0,9
1,383333	1,333333	1,366667	1,366667	1,916667	1,283333	1,283333	0,933333	0,966667
1,466667	1,4	1,45	1,45	1,866667	1,316667	1,316667	0,9	0,933333
1,433333	1,4	1,45	1,45	1,95	1,316667	1,316667	0,916667	0,95
1,35	1,3	1,35	1,35	1,95	1,233333	1,233333	1	1,033333
1,433333	1,383333	1,45	1,45	1,833333	1,316667	1,316667	0,883333	0,916667
1,4	1,333333	1,383333	1,383333	1,916667	1,333333	1,333333	0,933333	0,966667
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,883333	1,383333	1,383333	0,95	0,983333
1,5	1,433333	1,483333	1,483333	1,9	1,316667	1,316667	0,916667	0,95
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	1,983333	1,3	1,3	0,983333	1,016667
1,433333	1,383333	1,433333	1,433333	1,9	1,3	1,3	0,883333	0,916667

Продолжение таблицы Г.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,4	1,35	1,4	1,4	1,916667	1,25	1,25	0,966667	1
1,35	1,3	1,35	1,35	1,9	1,216667	1,216667	1	1,033333
1,4	1,35	1,4	1,4	1,816667	1,216667	1,216667	0,9	0,933333
1,333333	1,283333	1,333333	1,333333	1,883333	1,333333	1,333333	0,933333	0,966667
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,816667	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,416667	1,366667	1,45	1,45	1,933333	1,333333	1,333333	0,95	0,983333
1,283333	1,233333	1,283333	1,283333	1,95	1,166667	1,166667	0,983333	1,016667
1,316667	1,266667	1,316667	1,316667	1,766667	1,2	1,2	0,966667	1
1,533333	1,416667	1,533333	1,533333	2,016667	1,416667	1,416667	0,916667	0,95
1,4	1,35	1,4	1,4	1,883333	1,283333	1,283333	0,966667	1

Таблица Г.10 – Продолжение матрицы по времени

26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,066667	1,15	1,133333	2,566667	2,483333	0,483333	0,433333	0,5	0,433333
1,35	1,433333	1,433333	2,866667	2,783333	0,4	0,383333	0,433333	0,366667
1,3	1,383333	1,366667	2,816667	2,716667	0,283333	0,216667	0,316667	0,2
1,35	1,433333	1,45	2,4	2,316667	0,05	0,2	0,05	0,15
1,283333	1,366667	1,366667	2,8	2,7	0,266667	0,216667	0,316667	0,183333
1,266667	1,35	1,35	2,783333	2,516667	0,25	0,2	0,3	0,166667
1,6	1,65	1,65	2,733333	2,65	0,433333	0,283333	0,433333	0,3
1,3	1,366667	1,383333	2,816667	2,6	0,333333	0,233333	0,3	0,2
1,883333	1,383333	1,383333	3,383333	3,3	1,433333	1,333333	1,416667	1,3
1,283333	1,35	1,35	2,516667	2,433333	0,133333	0,15	0,15	0,083333
1,333333	1,416667	1,416667	2,383333	2,35	0,1	0,116667	0,116667	0,033333
2,033333	2,1	2,1	3,483333	3,4	1,05	0,95	1,05	0,933333
2,016667	2,083333	2,083333	3,466667	3,383333	1,033333	0,933333	1,033333	0,916667
1,733333	1,816667	1,816667	3,25	3,15	1,2	1,2	1,2	1,2
1,883333	1,7	1,7	4	3,9	1,933333	1,95	1,933333	1,933333
1,683333	1,766667	1,766667	3,966667	3,933333	1,983333	2	1,983333	1,95
1,733333	1,8	1,8	3,9	3,866667	1,9	1,9	1,9	1,9
0,1	0,016667	0,016667	3,066667	3,016667	1,833333	1,95	1,833333	1,883333
0,033333	0,1	0,1	3,083333	3,05	1,4	1,383333	1,4	1,366667
0,1	0,016667	0,016667	3,1	3,016667	1,45	1,45	1,45	1,416667
0,1	0,016667	0,016667	3,1	3,016667	1,45	1,45	1,45	1,416667
1,883333	1,7	1,7	4	3,9	1,933333	1,95	1,933333	1,933333
1,883333	1,95	1,95	3,383333	3,3	1,35	1,35	1,35	1,783333
1,883333	1,95	1,95	3,383333	3,3	1,35	1,35	1,35	1,783333
2,3	2,366667	2,366667	1,833333	1,733333	0,95	0,883333	0,95	0,9
2,333333	2,4	2,4	1,866667	1,766667	0,983333	0,916667	0,983333	0,933333
0	0,083333	0,1	3,433333	3,333333	1,366667	1,383333	1,366667	1,333333
0,083333	0	0,016667	3,516667	3,416667	1,45	1,466667	1,45	1,416667
0,1	0,016667	0	3,116667	3,016667	1,45	1,45	1,45	1,416667
3,433333	3,516667	3,116667	0	0,2	2,366667	2,483333	2,366667	2,4

Продолжение таблицы Г.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,333333	3,416667	3,016667	0,2	0	2,316667	2,433333	2,316667	2,366667
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0	0,2	0,016667	0,133333
1,383333	1,466667	1,45	2,483333	2,433333	0,2	0	0,2	0,083333
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,016667	0,2	0	0,133333
1,333333	1,416667	1,416667	2,4	2,366667	0,133333	0,083333	0,133333	0
1,316667	1,4	1,4	2,5	2,45	0,2	0,116667	0,2	0,116667
1,633333	1,716667	1,716667	2,45	2,2	0,25	0,283333	0,25	0,216667
1,35	1,433333	1,433333	2,4	2,366667	0,133333	0,083333	0,133333	0
1,416667	1,5	1,5	2,6	2,55	0,3	0,2	0,3	0,2
1,383333	1,466667	1,466667	2,566667	2,516667	0,266667	0,183333	0,266667	0,183333
1,2	1,283333	1,283333	2,683333	2,45	0,183333	0,216667	0,183333	0,15
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667
1,383333	1,466667	1,466667	2,35	2,3	0,05	0,183333	0,05	0,083333
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667
1,35	1,433333	1,433333	2,383333	2,333333	0,1	0,133333	0,1	0,066667
1,45	1,533333	1,533333	2,35	2,3	0,1	0,266667	0,1	0,2
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,15
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,2	0,05	0,15
1,333333	1,416667	1,416667	2,5	2,466667	0,2	0,116667	0,2	0,116667
1,366667	1,45	1,45	2,5	2,466667	0,2	0,116667	0,2	0,116667
1,283333	1,366667	1,366667	2,433333	2,383333	0,133333	0,1	0,133333	0,066667
1,316667	1,4	1,4	2,35	2,3	0,05	0,233333	0,05	0,166667
1,383333	1,466667	1,466667	2,566667	2,516667	0,266667	0,216667	0,266667	0,15
1,366667	1,616667	1,616667	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667
1,333333	1,416667	1,416667	2,45	2,4	0,216667	0,233333	0,216667	0,05
1,333333	1,416667	1,416667	2,383333	2,283333	0,066667	0,05	0,066667	0,183333
1,333333	1,416667	1,416667	2,383333	2,283333	0,066667	0,05	0,066667	0,183333
1,316667	1,4	1,4	2,4	2,35	0,083333	0,133333	0,083333	0,066667
1,333333	1,416667	1,416667	2,416667	2,333333	0,083333	0,116667	0,083333	0,05
1,383333	1,466667	1,466667	2,333333	2,266667	0,016667	0,183333	0,016667	0,133333
1,316667	1,4	1,4	2,4	2,35	0,083333	0,133333	0,083333	0,066667
1,25	1,333333	1,333333	2,483333	2,45	0,183333	0,133333	0,183333	0,1
1,383333	1,466667	1,466667	2,333333	2,266667	0,016667	0,183333	0,016667	0,116667
1,316667	1,4	1,4	2,5	2,45	0,2	0,133333	0,2	0,1
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,033333	0,166667	0,033333	0,1
1,333333	1,416667	1,416667	3,066667	3,016667	1,45	0,116667	1,45	0,066667
1,233333	1,316667	1,316667	2,533333	2,466667	0,2	0,15	0,2	0,116667
1,283333	1,366667	1,366667	2,433333	2,383333	0,116667	0,1	0,116667	0,066667
1,316667	1,4	1,4	2,433333	2,383333	0,133333	0,116667	0,133333	0,066667
1,383333	1,466667	1,466667	2,333333	2,3	0,033333	0,166667	0,033333	0,133333
1,283333	1,366667	1,366667	2,45	2,4	0,15	0,166667	0,15	0,1
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667

Продолжение таблицы Г.10

1	2	3	4	5	5	7	8	9
1,266667	1,35	1,35	2,533333	2,483333	0,216667	0,166667	0,216667	0,15
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667
1,35	1,433333	1,433333	2,4	2,366667	0,116667	0,116667	0,116667	0,066667
1,333333	1,416667	1,416667	2,45	2,4	0,216667	0,216667	0,216667	0,05
1,333333	1,416667	1,416667	2,4	2,366667	0,116667	0,216667	0,116667	0,016667
1,35	1,433333	1,433333	2,383333	2,333333	0,1	0,05	0,1	0,066667
1,3	1,383333	1,383333	2,433333	2,383333	0,133333	0,083333	0,133333	0,05
1,366667	1,45	1,45	2,466667	2,433333	0,2	0,116667	0,2	0,066667
1,366667	1,45	1,45	2,483333	2,433333	0,2	0,083333	0,2	0,083333
1,266667	1,35	1,35	2,583333	2,483333	0,216667	0,033333	0,216667	0,116667
1,35	1,433333	1,433333	2,416667	2,366667	0,133333	0,066667	0,133333	0,033333
1,316667	1,4	1,4	2,466667	2,416667	0,166667	0,15	0,166667	0,066667
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,1	0,05	0,166667
1,416667	1,5	1,5	2,3	2,266667	0,033333	0,1	0,033333	0,133333
1,333333	1,416667	1,416667	2,516667	2,466667	0,216667	0,216667	0,216667	0,133333
1,35	1,433333	1,433333	2,416667	2,366667	0,133333	0,166667	0,133333	0,016667
1,316667	1,4	1,4	2,5	2,45	0,2	0,133333	0,2	0,1
1,283333	1,366667	1,366667	2,6	2,533333	0,216667	0,1	0,216667	0,133333
1,316667	1,4	1,4	2,4	2,35	0,083333	0,15	0,083333	0,066667
1,283333	1,366667	1,366667	2,45	2,4	0,133333	0,133333	0,133333	0,083333
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,016667	0,216667	0,016667	0,166667
1,366667	1,45	1,45	2,366667	2,316667	0,05	0,216667	0,05	0,166667
1,2	1,283333	1,283333	2,55	2,466667	0,183333	0,166667	0,183333	0,15
1,233333	1,316667	1,316667	2,533333	2,45	0,216667	0,15	0,216667	0,116667
1,383333	1,466667	1,466667	2,333333	2,266667	0,05	0,15	0,05	0,133333
1,316667	1,4	1,4	2,5	2,45	0,2	0,15	0,2	0,1

Таблица Г.11 – Продолжение матрицы по времени

35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,4	0,8	0,416667	0,5	0,466667	0,283333	0,5	0,483333	0,5
0,366667	0,55	0,35	0,45	0,433333	0,3	0,45	0,433333	0,466667
0,166667	0,4	0,2	0,266667	0,216667	0,166667	0,333333	0,283333	0,333333
0,2	0,3	0,15	0,316667	0,266667	0,183333	0,083333	0,1	0,116667
0,183333	0,4	0,183333	0,25	0,216667	0,15	0,316667	0,266667	0,316667
0,166667	0,383333	0,166667	0,233333	0,2	0,133333	0,3	0,25	0,3
0,283333	0,383333	0,3	0,383333	0,35	0,4	0,466667	0,4	0,466667
0,183333	0,4	0,2	0,266667	0,233333	0,166667	0,3	0,283333	0,3
1,283333	1,6	1,3	1,383333	1,35	1,166667	1,366667	1,416667	1,383333
0,1	0,283333	0,083333	0,216667	0,183333	0,083333	0,183333	0,15	0,183333
0,116667	0,233333	0,066667	0,25	0,2	0,133333	0,15	0,1	0,15
0,9	1,133333	0,933333	1	0,966667	0,9	1,1	1	1,1
0,883333	1,116667	0,916667	0,983333	0,95	0,883333	1,083333	0,983333	1,083333

Продолжение таблицы Г.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,133333	1,366667	1,2	1,25	1,2	1,05	1,15	1,266667	1,233333
1,883333	2,2	1,933333	1,983333	1,95	1,766667	2,016667	2,016667	2,016667
1,933333	2,233333	1,95	2,016667	1,983333	1,833333	1,933333	2,05	1,933333
1,85	2,166667	1,9	1,95	1,916667	1,766667	1,866667	1,983333	1,866667
1,966667	1,716667	1,883333	1,5	1,466667	1,283333	1,416667	1,533333	1,416667
1,35	1,666667	1,366667	1,45	1,416667	1,233333	1,366667	1,483333	1,366667
1,4	1,716667	1,416667	1,5	1,466667	1,283333	1,45	1,533333	1,45
1,4	1,716667	1,416667	1,5	1,466667	1,283333	1,45	1,533333	1,45
1,883333	2,2	1,933333	1,983333	1,95	1,766667	2,016667	2,016667	2,016667
1,3	1,6	1,316667	1,4	1,366667	1,166667	1,333333	1,416667	1,333333
1,3	1,6	1,316667	1,4	1,366667	1,166667	1,333333	1,416667	1,333333
0,983333	0,666667	0,9	1,083333	1,033333	1,016667	0,95	0,916667	0,95
1,016667	0,7	0,933333	1,116667	1,066667	1,05	0,983333	0,95	0,983333
1,316667	1,633333	1,35	1,416667	1,383333	1,2	1,366667	1,383333	1,366667
1,4	1,716667	1,433333	1,5	1,466667	1,283333	1,45	1,466667	1,45
1,4	1,716667	1,433333	1,5	1,466667	1,283333	1,45	1,466667	1,45
2,5	2,45	2,4	2,6	2,566667	2,683333	2,366667	2,35	2,366667
2,45	2,2	2,366667	2,55	2,516667	2,45	2,316667	2,3	2,316667
0,2	0,25	0,133333	0,3	0,266667	0,183333	0,05	0,05	0,05
0,116667	0,283333	0,083333	0,2	0,183333	0,216667	0,216667	0,183333	0,216667
0,2	0,25	0,133333	0,3	0,266667	0,183333	0,05	0,05	0,05
0,116667	0,216667	0	0,2	0,183333	0,15	0,166667	0,083333	0,166667
0	0,3	0,116667	0,066667	0,066667	0,15	0,233333	0,183333	0,233333
0,3	0	0,216667	0,4	0,366667	0,333333	0,283333	0,233333	0,283333
0,116667	0,216667	0	0,2	0,183333	0,15	0,166667	0,083333	0,166667
0,066667	0,4	0,2	0	0,016667	0,2	0,3	0,266667	0,3
0,066667	0,366667	0,183333	0,016667	0	0,2	0,3	0,266667	0,3
0,15	0,333333	0,15	0,2	0,2	0	0,216667	0,2	0,216667
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0	0,083333	0,016667
0,183333	0,233333	0,083333	0,266667	0,266667	0,2	0,083333	0	0,083333
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0,016667	0,083333	0
0,15	0,216667	0,066667	0,216667	0,216667	0,183333	0,133333	0,066667	0,133333
0,283333	0,3	0,2	0,35	0,35	0,283333	0,133333	0,1	0,133333
0,233333	0,283333	0,15	0,3	0,3	0,216667	0,016667	0,083333	0,016667
0,233333	0,283333	0,15	0,3	0,3	0,216667	0,05	0,083333	0,05
0,016667	0,316667	0,116667	0,083333	0,083333	0,15	0,25	0,2	0,25
0,016667	0,316667	0,116667	0,083333	0,083333	0,15	0,25	0,2	0,25
0,1	0,25	0,066667	0,15	0,15	0,116667	0,166667	0,133333	0,166667
0,083333	0,3	0,166667	0,316667	0,316667	0,216667	0,016667	0,083333	0,016667
0,066667	0,366667	0,15	0,016667	0,016667	0,216667	0,166667	0,283333	0,166667
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0,016667	0,083333	0,016667
0,1	0,216667	0,05	0,166667	0,166667	0,216667	0,2	0,166667	0,2
0,25	0,3	0,183333	0,316667	0,316667	0,233333	0,05	0,1	0,05
0,25	0,3	0,183333	0,316667	0,316667	0,233333	0,05	0,1	0,05
0,15	0,25	0,066667	0,2	0,2	0,133333	0,116667	0,083333	0,116667

Продолжение таблицы Г.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,133333	0,233333	0,05	0,2	0,2	0,15	0,15	0,066667	0,15
0,216667	0,25	0,133333	0,283333	0,283333	0,183333	0,066667	0,016667	0,066667
0,15	0,25	0,066667	0,2	0,2	0,133333	0,116667	0,083333	0,116667
0,1	0,3	0,1	0,166667	0,166667	0,066667	0,216667	0,183333	0,216667
0,216667	0,25	0,116667	0,283333	0,283333	0,183333	0,066667	0,033333	0,066667
0,016667	0,3	0,1	0,083333	0,083333	0,133333	0,233333	0,2	0,233333
0,183333	0,283333	0,1	0,25	0,25	0,166667	0,066667	0,05	0,066667
0,116667	0,25	0,066667	0,183333	0,183333	0,133333	0,15	0,116667	0,15
0,1	0,316667	0,116667	0,166667	0,166667	0,05	0,233333	0,233333	0,233333
0,083333	0,25	0,066667	0,15	0,15	0,116667	0,166667	0,116667	0,166667
0,1	0,25	0,066667	0,166667	0,166667	0,116667	0,166667	0,133333	0,166667
0,2	0,233333	0,133333	0,266667	0,266667	0,2	0,066667	0,016667	0,066667
0,1	0,3	0,1	0,183333	0,183333	0,1	0,183333	0,133333	0,183333
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0,016667	0,083333	0,016667
0,133333	0,35	0,15	0,183333	0,183333	0,116667	0,266667	0,216667	0,266667
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0,016667	0,083333	0,016667
0,116667	0,25	0,066667	0,183333	0,183333	0,15	0,166667	0,1	0,166667
0,1	0,216667	0,05	0,166667	0,166667	0,216667	0,2	0,166667	0,2
0,116667	0,233333	0,016667	0,166667	0,166667	0,15	0,166667	0,1	0,166667
0,15	0,216667	0,066667	0,216667	0,216667	0,183333	0,133333	0,066667	0,133333
0,083333	0,25	0,05	0,15	0,15	0,116667	0,166667	0,133333	0,166667
0,1	0,3	0,066667	0,166667	0,166667	0,216667	0,233333	0,166667	0,233333
0,116667	0,25	0,083333	0,166667	0,166667	0,216667	0,233333	0,166667	0,233333
0,116667	0,333333	0,116667	0,183333	0,183333	0,1	0,283333	0,216667	0,283333
0,133333	0,216667	0,033333	0,2	0,2	0,166667	0,166667	0,133333	0,166667
0,05	0,266667	0,066667	0,1	0,1	0,133333	0,233333	0,15	0,233333
0,233333	0,283333	0,166667	0,3	0,3	0,216667	0	0,083333	0
0,2	0,25	0,133333	0,283333	0,283333	0,183333	0,066667	0,033333	0,066667
0,016667	0,316667	0,133333	0,083333	0,083333	0,166667	0,233333	0,233333	0,233333
0,1	0,216667	0,016667	0,2	0,2	0,166667	0,166667	0,15	0,166667
0,016667	0,3	0,1	0,083333	0,083333	0,133333	0,233333	0,216667	0,233333
0,116667	0,333333	0,133333	0,183333	0,183333	0,1	0,25	0,216667	0,25
0,15	0,266667	0,066667	0,216667	0,216667	0,133333	0,116667	0,066667	0,116667
0,1	0,25	0,083333	0,183333	0,183333	0,1	0,166667	0,133333	0,166667
0,2	0,283333	0,166667	0,266667	0,266667	0,183333	0,066667	0,05	0,066667
0,1	0,316667	0,116667	0,2	0,2	0,05	0,233333	0,216667	0,233333
0,216667	0,233333	0,133333	0,266667	0,266667	0,2	0,066667	0,033333	0,066667
0,016667	0,3	0,1	0,083333	0,083333	0,133333	0,233333	0,233333	0,233333

Таблица Г.12 – Продолжение матрицы по времени

44	45	46	47	48	49	50	51	52
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,45	0,55	0,5	0,5	0,4	0,4	0,383333	0,483333	0,483333

Продолжение таблицы Г.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,4	0,516667	0,466667	0,433333	0,35	0,35	0,316667	0,466667	0,433333
0,233333	0,383333	0,333333	0,3	0,183333	0,183333	0,166667	0,333333	0,233333
0,133333	0,15	0,116667	0,05	0,233333	0,216667	0,133333	0,15	0,266667
0,233333	0,233333	0,316667	0,283333	0,166667	0,166667	0,15	0,316667	0,216667
0,216667	0,216667	0,3	0,266667	0,15	0,15	0,133333	0,3	0,2
0,35	0,466667	0,466667	0,416667	0,3	0,3	0,316667	0,466667	0,35
0,25	0,383333	0,333333	0,283333	0,166667	0,166667	0,166667	0,383333	0,233333
1,316667	1,45	1,383333	1,35	1,283333	1,283333	1,266667	1,383333	1,35
0,133333	0,25	0,183333	0,133333	0,116667	0,116667	0,066667	0,183333	0,166667
0,066667	0,2	0,15	0,116667	0,15	0,15	0,066667	0,15	0,2
0,983333	1,1	1,1	1,066667	0,9	0,9	0,9	1,1	0,966667
0,966667	1,083333	1,083333	1,05	0,883333	0,883333	0,883333	1,083333	0,95
1,216667	1,283333	1,233333	1,216667	1,166667	1,166667	1,15	1,15	1,2
1,916667	2,016667	2	1,9	1,883333	1,883333	1,983333	1,95	1,95
1,966667	2,05	1,933333	1,966667	1,933333	1,933333	1,933333	1,916667	1,983333
1,883333	1,983333	1,866667	1,866667	1,85	1,85	1,85	1,85	1,916667
1,433333	1,533333	1,416667	1,416667	1,416667	1,416667	1,383333	1,4	1,483333
1,383333	1,483333	1,366667	1,366667	1,35	1,35	1,333333	1,35	1,416667
1,433333	1,533333	1,45	1,45	1,4	1,4	1,366667	1,4	1,466667
1,433333	1,533333	1,45	1,45	1,4	1,4	1,366667	1,4	1,466667
1,916667	2,016667	2	1,9	1,883333	1,883333	1,983333	1,95	1,95
1,333333	1,416667	1,333333	1,333333	1,316667	1,316667	1,266667	1,283333	1,366667
1,333333	1,416667	1,333333	1,333333	1,316667	1,316667	1,266667	1,283333	1,366667
0,866667	0,966667	0,95	0,95	0,983333	0,983333	0,916667	0,966667	1,033333
0,9	1	0,983333	0,983333	1,016667	1,016667	0,95	1	1,066667
1,35	1,45	1,366667	1,366667	1,333333	1,366667	1,283333	1,316667	1,383333
1,433333	1,533333	1,45	1,45	1,416667	1,45	1,366667	1,4	1,466667
1,433333	1,533333	1,45	1,45	1,416667	1,45	1,366667	1,4	1,466667
2,383333	2,35	2,366667	2,366667	2,5	2,5	2,433333	2,35	2,566667
2,333333	2,3	2,316667	2,316667	2,466667	2,466667	2,383333	2,3	2,516667
0,1	0,1	0,05	0,05	0,2	0,2	0,133333	0,05	0,266667
0,133333	0,266667	0,216667	0,2	0,116667	0,116667	0,1	0,233333	0,216667
0,1	0,1	0,05	0,05	0,2	0,2	0,133333	0,05	0,266667
0,066667	0,2	0,15	0,15	0,116667	0,116667	0,066667	0,166667	0,15
0,15	0,283333	0,233333	0,233333	0,016667	0,016667	0,1	0,083333	0,066667
0,216667	0,3	0,283333	0,283333	0,316667	0,316667	0,25	0,3	0,366667
0,066667	0,2	0,15	0,15	0,116667	0,116667	0,066667	0,166667	0,15
0,216667	0,35	0,3	0,3	0,083333	0,083333	0,15	0,316667	0,016667
0,216667	0,35	0,3	0,3	0,083333	0,083333	0,15	0,316667	0,016667
0,183333	0,283333	0,216667	0,216667	0,15	0,15	0,116667	0,216667	0,216667
0,133333	0,133333	0,016667	0,05	0,25	0,25	0,166667	0,016667	0,166667
0,066667	0,1	0,083333	0,083333	0,2	0,2	0,133333	0,083333	0,283333
0,133333	0,133333	0,016667	0,05	0,25	0,25	0,166667	0,016667	0,166667
0	0,166667	0,133333	0,133333	0,166667	0,166667	0,083333	0,15	0,216667
0,166667	0	0,133333	0,1	0,3	0,3	0,216667	0,133333	0,35
0,133333	0,133333	0	0,05	0,25	0,25	0,166667	0,016667	0,166667

Продолжение таблицы Г.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,133333	0,1	0,05	0	0,216667	0,216667	0,133333	0,05	0,133333
0,166667	0,3	0,25	0,216667	0	0	0,083333	0,233333	0,1
0,166667	0,3	0,25	0,216667	0	0	0,083333	0,233333	0,1
0,083333	0,216667	0,166667	0,133333	0,083333	0,083333	0	0,2	0,166667
0,15	0,133333	0,016667	0,05	0,233333	0,233333	0,2	0	0,35
0,216667	0,35	0,166667	0,133333	0,1	0,1	0,166667	0,35	0
0,133333	0,133333	0,016667	0,05	0,233333	0,233333	0,133333	0,066667	0,3
0,1	0,283333	0,2	0,15	0,1	0,1	0,133333	0,216667	0,166667
0,15	0,133333	0,05	0,216667	0,25	0,25	0,2	0,05	0,316667
0,15	0,133333	0,05	0,066667	0,25	0,25	0,2	0,05	0,316667
0,083333	0,166667	0,116667	0,066667	0,15	0,15	0,066667	0,133333	0,2
0,033333	0,15	0,15	0,116667	0,216667	0,216667	0,066667	0,15	0,2
0,1	0,083333	0,066667	0,05	0,216667	0,216667	0,133333	0,1	0,283333
0,083333	0,166667	0,116667	0,05	0,15	0,15	0,066667	0,133333	0,2
0,15	0,266667	0,216667	0,1	0,1	0,1	0,066667	0,3	0,166667
0,1	0,083333	0,066667	0,1	0,216667	0,216667	0,133333	0,066667	0,266667
0,15	0,283333	0,233333	0,2	0,05	0,05	0,083333	0,266667	0,083333
0,1	0,133333	0,066667	0,033333	0,183333	0,183333	0,1	0,1	0,283333
0,05	0,183333	0,15	0,116667	0,116667	0,116667	0,033333	0,166667	0,166667
0,15	0,283333	0,233333	0,216667	0,116667	0,116667	0,083333	0,266667	0,166667
0,083333	0,216667	0,166667	0,133333	0,083333	0,083333	0	0,166667	0,15
0,1	0,216667	0,166667	0,233333	0,1	0,1	0,016667	0,2	0,166667
0,083333	0,083333	0,066667	0,1	0,2	0,2	0,133333	0,083333	0,266667
0,1	0,233333	0,183333	0,15	0,116667	0,116667	0,033333	0,2	0,166667
0,1	0,133333	0,016667	0,15	0,233333	0,233333	0,166667	0,05	0,3
0,183333	0,316667	0,266667	0,05	0,133333	0,133333	0,116667	0,3	0,2
0,1	0,133333	0,016667	0,15	0,233333	0,233333	0,166667	0,05	0,3
0,066667	0,216667	0,166667	0,033333	0,116667	0,116667	0,033333	0,166667	0,183333
0,1	0,266667	0,2	0,033333	0,1	0,1	0,133333	0,216667	0,166667
0,066667	0,2	0,166667	0,15	0,116667	0,116667	0,05	0,183333	0,166667
0,016667	0,166667	0,133333	0,116667	0,15	0,15	0,083333	0,15	0,216667
0,1	0,216667	0,166667	0,15	0,083333	0,083333	0,016667	0,2	0,15
0,116667	0,316667	0,233333	0,2	0,1	0,1	0,083333	0,266667	0,166667
0,133333	0,266667	0,233333	0,2	0,116667	0,116667	0,1	0,25	0,166667
0,183333	0,3	0,283333	0,233333	0,116667	0,116667	0,1	0,283333	0,166667
0,066667	0,2	0,166667	0,15	0,133333	0,133333	0,066667	0,183333	0,2
0,116667	0,266667	0,233333	0,166667	0,05	0,05	0,05	0,233333	0,1
0,133333	0,133333	0	0,033333	0,233333	0,233333	0,166667	0,05	0,3
0,1	0,083333	0,066667	0,033333	0,216667	0,216667	0,133333	0,066667	0,283333
0,166667	0,3	0,233333	0,233333	0,033333	0,033333	0,116667	0,283333	0,083333
0,066667	0,2	0,166667	0,15	0,1	0,1	0,066667	0,2	0,166667
0,15	0,283333	0,233333	0,233333	0,05	0,05	0,1	0,266667	0,083333
0,183333	0,3	0,25	0,233333	0,116667	0,116667	0,1	0,283333	0,183333
0,1	0,183333	0,116667	0,083333	0,15	0,15	0,066667	0,116667	0,2
0,116667	0,233333	0,166667	0,133333	0,1	0,1	0,033333	0,2	0,166667

Продолжение таблицы Г.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,133333	0,066667	0,05	0,2	0,2	0,133333	0,083333	0,25
0,133333	0,133333	0,05	0,033333	0,233333	0,233333	0,166667	0,083333	0,283333
0,183333	0,3	0,216667	0,2	0,133333	0,133333	0,1	0,233333	0,2
0,15	0,283333	0,233333	0,233333	0,116667	0,116667	0,083333	0,266667	0,166667
0,083333	0,083333	0,066667	0,05	0,216667	0,216667	0,133333	0,066667	0,266667
0,15	0,283333	0,233333	0,216667	0,05	0,05	0,1	0,266667	0,083333

Таблица Г.13 – Продолжение матрицы по времени

53	54	55	56	57	58	59	60	61
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,45	0,5	0,516667	0,433333	0,45	0,45	0,433333	0,316667
0,433333	0,35	0,466667	0,5	0,383333	0,383333	0,416667	0,383333	0,283333
0,316667	0,2	0,35	0,366667	0,233333	0,233333	0,283333	0,233333	0,116667
0,05	0,216667	0,116667	0,133333	0,083333	0,133333	0,066667	0,083333	0,216667
0,3	0,2	0,333333	0,35	0,216667	0,216667	0,3	0,2	0,1
0,283333	0,183333	0,316667	0,333333	0,2	0,2	0,283333	0,183333	0,083333
0,433333	0,266667	0,466667	0,466667	0,366667	0,333333	0,433333	0,35	0,35
0,3	0,216667	0,35	0,366667	0,233333	0,233333	0,3	0,233333	0,116667
1,333333	1,333333	1,3	1,383333	1,283333	1,3	1,383333	1,283333	1,2
0,133333	0,1	0,2	0,183333	0,1	0,116667	0,15	0,1	0,066667
0,133333	0,1	0,166667	0,166667	0,05	0,033333	0,116667	0,033333	0,116667
1,05	0,933333	1,116667	1,1	1,016667	0,966667	1,033333	0,966667	0,85
1,033333	0,916667	1,1	1,083333	1	0,95	1,016667	0,95	0,833333
1,216667	1,166667	1,15	1,133333	1,166667	1,183333	1,233333	1,183333	1,083333
1,966667	1,916667	1,9	1,9	1,883333	1,9	1,983333	1,883333	1,816667
1,933333	1,95	1,933333	1,916667	1,95	1,933333	2,016667	1,933333	1,833333
1,866667	1,883333	1,85	1,85	1,85	1,866667	1,933333	1,85	1,766667
1,416667	1,45	1,416667	1,416667	1,4	1,416667	1,5	1,4	1,316667
1,366667	1,366667	1,35	1,35	1,35	1,366667	1,433333	1,35	1,266667
1,45	1,433333	1,4	1,4	1,4	1,416667	1,483333	1,4	1,316667
1,45	1,433333	1,4	1,4	1,4	1,416667	1,483333	1,4	1,316667
1,966667	1,916667	1,9	1,9	1,883333	1,9	1,983333	1,883333	1,816667
1,333333	1,316667	1,283333	1,283333	1,283333	1,3	1,383333	1,283333	1,216667
1,333333	1,316667	1,283333	1,283333	1,283333	1,3	1,383333	1,283333	1,216667
0,95	0,916667	0,966667	0,966667	0,916667	0,9	0,916667	0,916667	0,966667
0,983333	0,95	1,15	1	0,95	0,933333	0,95	0,95	1
1,366667	1,333333	1,333333	1,333333	1,316667	1,333333	1,383333	1,316667	1,25
1,616667	1,416667	1,416667	1,416667	1,4	1,416667	1,466667	1,4	1,333333
1,616667	1,416667	1,416667	1,416667	1,4	1,416667	1,466667	1,4	1,333333
2,366667	2,45	2,383333	2,383333	2,4	2,416667	2,333333	2,4	2,483333
2,316667	2,4	2,283333	2,283333	2,35	2,333333	2,266667	2,35	2,45
0,05	0,216667	0,066667	0,066667	0,083333	0,083333	0,016667	0,083333	0,183333
0,216667	0,233333	0,05	0,05	0,133333	0,116667	0,183333	0,133333	0,133333

Продолжение таблицы Г.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,05	0,216667	0,066667	0,066667	0,083333	0,083333	0,016667	0,083333	0,183333
0,166667	0,05	0,183333	0,183333	0,066667	0,05	0,133333	0,066667	0,1
0,233333	0,1	0,25	0,25	0,15	0,133333	0,216667	0,15	0,1
0,283333	0,216667	0,3	0,3	0,25	0,233333	0,25	0,25	0,3
0,166667	0,05	0,183333	0,183333	0,066667	0,05	0,133333	0,066667	0,1
0,3	0,166667	0,316667	0,316667	0,2	0,2	0,283333	0,2	0,166667
0,3	0,166667	0,316667	0,316667	0,2	0,2	0,283333	0,2	0,166667
0,216667	0,216667	0,233333	0,233333	0,133333	0,15	0,183333	0,133333	0,066667
0,016667	0,2	0,05	0,05	0,116667	0,15	0,066667	0,116667	0,216667
0,083333	0,166667	0,1	0,1	0,083333	0,066667	0,016667	0,083333	0,183333
0,016667	0,2	0,05	0,05	0,116667	0,15	0,066667	0,116667	0,216667
0,133333	0,1	0,15	0,15	0,083333	0,033333	0,1	0,083333	0,15
0,133333	0,283333	0,133333	0,133333	0,166667	0,15	0,083333	0,166667	0,266667
0,016667	0,2	0,05	0,05	0,116667	0,15	0,066667	0,116667	0,216667
0,05	0,15	0,216667	0,066667	0,066667	0,116667	0,05	0,05	0,1
0,233333	0,1	0,25	0,25	0,15	0,216667	0,216667	0,15	0,1
0,233333	0,1	0,25	0,25	0,15	0,216667	0,216667	0,15	0,1
0,133333	0,133333	0,2	0,2	0,066667	0,066667	0,133333	0,066667	0,066667
0,066667	0,216667	0,05	0,05	0,133333	0,15	0,1	0,133333	0,3
0,3	0,166667	0,316667	0,316667	0,2	0,2	0,283333	0,2	0,166667
0	0,2	0,05	0,05	0,116667	0,15	0,066667	0,116667	0,216667
0,2	0	0,216667	0,216667	0,116667	0,083333	0,166667	0,1	0,116667
0,05	0,216667	0	0,033333	0,116667	0,133333	0,05	0,116667	0,216667
0,05	0,216667	0,033333	0	0,116667	0,133333	0,05	0,116667	0,216667
0,116667	0,116667	0,116667	0,116667	0	0,083333	0,066667	0,016667	0,133333
0,15	0,083333	0,133333	0,133333	0,083333	0	0,083333	0,05	0,116667
0,066667	0,166667	0,05	0,05	0,066667	0,083333	0	0,083333	0,2
0,116667	0,1	0,116667	0,116667	0,016667	0,05	0,083333	0	0,133333
0,216667	0,116667	0,216667	0,216667	0,133333	0,116667	0,2	0,133333	0
0,066667	0,166667	0,233333	0,233333	0,066667	0,1	0,016667	0,066667	0,183333
0,233333	0,083333	0,066667	0,066667	0,133333	0,133333	0,2	0,133333	0,083333
0,066667	0,133333	0,15	0,15	0,033333	0,083333	0,05	0,033333	0,15
0,15	0,1	0,25	0,25	0,05	0,033333	0,1	0,05	0,083333
0,233333	0,133333	0,116667	0,116667	0,15	0,133333	0,216667	0,15	0,016667
0,166667	0,083333	0,166667	0,166667	0,066667	0,083333	0,133333	0,066667	0,066667
0,166667	0,1	0,066667	0,066667	0,083333	0,066667	0,133333	0,083333	0,066667
0,066667	0,15	0,183333	0,183333	0,083333	0,083333	0,066667	0,083333	0,183333
0,183333	0,116667	0,016667	0,016667	0,1	0,083333	0,166667	0,1	0,066667
0,016667	0,2	0,266667	0,266667	0,1	0,133333	0,05	0,1	0,216667
0,266667	0,133333	0,016667	0,016667	0,166667	0,166667	0,25	0,166667	0,05
0,016667	0,2	0,166667	0,166667	0,1	0,133333	0,05	0,1	0,216667
0,166667	0,1	0,016667	0,016667	0,066667	0,05	0,116667	0,066667	0,083333
0,2	0	0,166667	0,166667	0,116667	0,083333	0,166667	0,116667	0,116667
0,166667	0,05	0,133333	0,133333	0,083333	0,05	0,133333	0,083333	0,1
0,133333	0,1	0,166667	0,166667	0,083333	0,033333	0,083333	0,083333	0,2

Продолжение таблицы Г.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,166667	0,066667	0,233333	0,233333	0,1	0,066667	0,15	0,1	0,066667
0,233333	0,05	0,233333	0,233333	0,133333	0,1	0,183333	0,133333	0,133333
0,233333	0,05	0,25	0,25	0,133333	0,116667	0,216667	0,133333	0,15
0,283333	0,116667	0,166667	0,166667	0,15	0,15	0,233333	0,15	0,05
0,166667	0,066667	0,2	0,2	0,066667	0,05	0,116667	0,066667	0,1
0,233333	0,05	0,016667	0,016667	0,1	0,1	0,2	0,1	0,083333
0	0,2	0,066667	0,066667	0,083333	0,133333	0,05	0,083333	0,216667
0,066667	0,166667	0,25	0,25	0,066667	0,083333	0,016667	0,066667	0,183333
0,233333	0,1	0,183333	0,183333	0,15	0,15	0,233333	0,15	0,1
0,166667	0,066667	0,233333	0,233333	0,083333	0,066667	0,133333	0,083333	0,1
0,233333	0,083333	0,2	0,2	0,15	0,133333	0,2	0,15	0,083333
0,25	0,116667	0,25	0,25	0,15	0,15	0,233333	0,15	0,05
0,116667	0,116667	0,116667	0,116667	0,016667	0,05	0,083333	0,016667	0,116667
0,166667	0,116667	0,166667	0,166667	0,083333	0,083333	0,166667	0,083333	0,1
0,066667	0,2	0,016667	0,016667	0,1	0,116667	0,05	0,1	0,183333
0,05	0,2	0,016667	0,016667	0,1	0,133333	0,05	0,1	0,216667
0,216667	0,15	0,216667	0,216667	0,133333	0,15	0,2	0,133333	0,05
0,233333	0,116667	0,25	0,25	0,083333	0,133333	0,2	0,083333	0,016667
0,066667	0,15	0,066667	0,066667	0,166667	0,083333	0,016667	0,166667	0,183333

Таблица Г.14 – Продолжение матрицы по времени

62	63	64	65	66	67	68	69	70
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,516667	0,4	0,466667	0,4	0,3	0,366667	0,4	0,5	0,383333
0,416667	0,366667	0,4	0,366667	0,266667	0,316667	0,333333	0,433333	0,333333
0,3	0,166667	0,266667	0,216667	0,116667	0,166667	0,166667	0,3	0,166667
0,066667	0,233333	0,05	0,116667	0,2	0,133333	0,133333	0,083333	0,15
0,3	0,15	0,266667	0,2	0,116667	0,15	0,166667	0,283333	0,166667
0,283333	0,133333	0,25	0,183333	0,1	0,133333	0,15	0,266667	0,15
0,416667	0,283333	0,4	0,333333	0,35	0,316667	0,35	0,4	0,366667
0,3	0,183333	0,266667	0,216667	0,116667	0,166667	0,183333	0,3	0,183333
1,383333	1,283333	1,333333	1,283333	1,183333	1,283333	1,266667	1,383333	1,25
0,15	0,1	0,133333	1,35	0,083333	0,083333	0,033333	0,166667	0,016667
0,116667	0,15	0,083333	1,416667	0,166667	0,066667	0,066667	0,1	0,1
1,083333	0,9	1,05	2,1	0,85	0,9	0,883333	1,033333	0,9
1,066667	0,883333	1,033333	2,083333	0,833333	0,883333	0,866667	1,016667	0,883333
1,233333	1,166667	1,216667	1,833333	1,083333	1,15	1,15	1,233333	1,116667
1,983333	1,9	1,916667	1,883333	1,8	1,883333	1,866667	1,866667	1,983333
2,016667	1,916667	1,95	1,616667	1,816667	1,933333	1,9	2,016667	1,9
1,933333	1,85	1,9	1,65	1,75	1,866667	1,833333	1,933333	1,816667
1,483333	1,416667	1,416667	0,016667	1,316667	1,383333	1,383333	1,5	1,366667
1,433333	1,35	1,366667	1,35	1,25	1,316667	1,333333	1,433333	1,316667
1,483333	1,4	1,45	1,4	1,3	1,366667	1,383333	1,483333	1,366667

Продолжение таблицы Г.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,483333	1,4	1,45	1,4	1,3	1,366667	1,383333	1,483333	1,366667
1,983333	1,9	1,916667	1,883333	1,8	1,883333	1,866667	1,866667	1,983333
1,383333	1,3	1,333333	1,283333	1,183333	1,266667	1,266667	1,383333	1,25
1,383333	1,3	1,333333	1,283333	1,183333	1,266667	1,266667	1,383333	1,25
0,916667	0,966667	0,95	0,883333	0,983333	0,916667	0,916667	0,933333	0,933333
0,95	1	0,983333	0,916667	1,016667	0,95	0,95	0,966667	0,966667
1,383333	1,316667	1,366667	1,333333	1,233333	1,283333	1,316667	1,383333	1,283333
1,466667	1,4	1,45	1,416667	1,316667	1,366667	1,4	1,466667	1,366667
1,466667	1,4	1,45	1,416667	1,316667	1,366667	1,4	1,466667	1,366667
2,333333	2,5	2,366667	3,066667	2,533333	2,433333	2,433333	2,333333	2,45
2,266667	2,45	2,316667	3,016667	2,466667	2,383333	2,383333	2,3	2,4
0,016667	0,2	0,033333	1,45	0,2	0,116667	0,133333	0,033333	0,15
0,183333	0,133333	0,166667	0,116667	0,15	0,1	0,116667	0,166667	0,166667
0,016667	0,2	0,033333	1,45	0,2	0,116667	0,133333	0,033333	0,15
0,116667	0,1	0,1	0,066667	0,116667	0,066667	0,066667	0,133333	0,1
0,216667	0	0,183333	0,116667	0,1	0,083333	0,1	0,2	0,1
0,25	0,3	0,283333	0,25	0,316667	0,25	0,25	0,233333	0,3
0,116667	0,1	0,1	0,066667	0,116667	0,066667	0,066667	0,133333	0,1
0,283333	0,083333	0,25	0,183333	0,166667	0,15	0,166667	0,266667	0,183333
0,283333	0,083333	0,25	0,183333	0,166667	0,15	0,166667	0,266667	0,183333
0,183333	0,133333	0,166667	0,133333	0,05	0,116667	0,116667	0,2	0,1
0,066667	0,233333	0,066667	0,15	0,233333	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,033333	0,2	0,05	0,116667	0,233333	0,116667	0,133333	0,016667	0,133333
0,066667	0,233333	0,066667	0,15	0,233333	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,1	0,15	0,1	0,05	0,15	0,083333	0,1	0,083333	0,1
0,083333	0,283333	0,133333	0,183333	0,283333	0,216667	0,216667	0,083333	0,233333
0,066667	0,233333	0,066667	0,15	0,233333	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,1	0,2	0,033333	0,116667	0,216667	0,133333	0,233333	0,1	0,15
0,216667	0,05	0,183333	0,116667	0,116667	0,083333	0,1	0,2	0,116667
0,216667	0,05	0,183333	0,116667	0,116667	0,083333	0,1	0,2	0,116667
0,133333	0,083333	0,1	0,033333	0,083333	0	0,016667	0,133333	0,033333
0,066667	0,266667	0,1	0,166667	0,266667	0,166667	0,2	0,083333	0,2
0,266667	0,083333	0,283333	0,166667	0,166667	0,15	0,166667	0,266667	0,166667
0,066667	0,233333	0,066667	0,15	0,233333	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,166667	0,083333	0,133333	0,1	0,133333	0,083333	0,1	0,15	0,116667
0,233333	0,066667	0,15	0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,183333	0,016667
0,233333	0,066667	0,15	0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,183333	0,016667
0,066667	0,133333	0,033333	0,05	0,15	0,066667	0,083333	0,083333	0,1
0,1	0,133333	0,083333	0,033333	0,133333	0,083333	0,066667	0,083333	0,083333
0,016667	0,2	0,05	0,1	0,216667	0,133333	0,133333	0,066667	0,166667
0,066667	0,133333	0,033333	0,05	0,15	0,066667	0,083333	0,083333	0,1
0,183333	0,083333	0,15	0,083333	0,016667	0,066667	0,066667	0,183333	0,066667
0	0,2	0,05	0,1	0,216667	0,133333	0,133333	0,066667	0,166667
0,2	0	0,183333	0,116667	0,116667	0,083333	0,1	0,2	0,116667
0,05	0,183333	0	0,1	0,2	0,116667	0,116667	0,05	0,133333

Продолжение таблицы Г.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,116667	0,1	0	0,116667	0,05	0,05	0,1	0,066667
0,216667	0,116667	0,2	0,116667	0	0,083333	0,083333	0,2	0,083333
0,133333	0,083333	0,116667	0,05	0,083333	0	0,033333	0,133333	0,033333
0,133333	0,1	0,116667	0,05	0,083333	0,033333	0	0,15	0,05
0,066667	0,2	0,05	0,1	0,2	0,133333	0,15	0	0,15
0,166667	0,116667	0,133333	0,066667	0,083333	0,033333	0,05	0,15	0
0,05	0,233333	0,05	0,15	0,25	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,25	0,133333	0,216667	0,133333	0,066667	0,116667	0,1	0,233333	0,116667
0,05	0,233333	0,05	0,15	0,25	0,166667	0,166667	0,066667	0,183333
0,116667	0,1	0,1	0,016667	0,1	0,033333	0,033333	0,1	0,066667
0,166667	0,1	0,15	0,1	0,15	0,133333	0,116667	0,15	0,116667
0,133333	0,116667	0,116667	0,05	0,116667	0,05	0,05	0,116667	0,083333
0,083333	0,15	0,1	0,05	0,15	0,083333	0,083333	0,083333	0,133333
0,15	0,083333	0,133333	0,05	0,083333	0,033333	0,033333	0,133333	0,066667
0,183333	0,1	0,183333	0,116667	0,133333	0,1	0,116667	0,166667	0,133333
0,216667	0,133333	0,2	0,116667	0,15	0,116667	0,1	0,183333	0,133333
0,233333	0,116667	0,2	0,133333	0,05	0,1	0,083333	0,216667	0,1
0,116667	0,133333	0,116667	0,05	0,133333	0,066667	0,066667	0,116667	0,083333
0,2	0,05	0,15	0,083333	0,1	0,066667	0,066667	0,166667	0,083333
0,05	0,233333	0,05	0,166667	0,2	0,166667	0,166667	0,066667	0,166667
0,016667	0,216667	0,016667	0,116667	0,216667	0,133333	0,133333	0,033333	0,15
0,233333	0,016667	0,2	0,133333	0,116667	0,1	0,083333	0,216667	0,116667
0,133333	0,1	0,116667	0,05	0,116667	0,05	0,066667	0,116667	0,083333
0,2	0,016667	0,183333	0,116667	0,1	0,083333	0,083333	0,2	0,1
0,233333	0,116667	0,2	0,133333	0,05	0,1	0,083333	0,216667	0,1
0,083333	0,15	0,066667	0,066667	0,133333	0,066667	0,066667	0,1	0,1
0,166667	0,1	0,133333	0,116667	0,1	0,033333	0,033333	0,133333	0,033333
0,05	0,2	0,016667	0,1	0,2	0,116667	0,15	0,05	0,15
0,05	0,233333	0,033333	0,133333	0,2	0,15	0,166667	0,066667	0,15
0,2	0,133333	0,166667	0,116667	0,033333	0,1	0,083333	0,2	0,1
0,2	0,1	0,2	0,1	0,016667	0,083333	0,066667	0,2	0,083333
0,016667	0,216667	0,05	0,133333	0,2	0,133333	0,15	0,016667	0,166667
0,2	0,016667	0,183333	0,116667	0,1	0,083333	0,083333	0,2	0,1

Таблица Г.15 – Продолжение матрицы по времени

71	72	73	74	75	76	77	78	79
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,366667	0,5	0,416667	0,416667	0,416667	0,45	0,366667	0,433333
0,45	0,316667	0,45	0,366667	0,35	0,366667	0,4	0,316667	0,4
0,333333	0,066667	0,333333	0,2	0,2	0,183333	0,233333	0,166667	0,216667
0,083333	0,233333	0,083333	0,133333	0,216667	0,15	0,15	0,15	0,2
0,316667	0,066667	0,316667	0,183333	0,2	0,183333	0,233333	0,15	0,2
0,3	0,05	0,3	0,166667	0,183333	0,166667	0,216667	0,133333	0,183333
0,45	0,366667	0,45	0,35	0,266667	0,3	0,35	0,3	0,25

Продолжение таблицы Г.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,316667	0,1	0,316667	0,2	0,216667	0,216667	0,25	0,166667	0,216667
1,366667	1,233333	1,366667	1,3	1,316667	1,316667	1,316667	1,266667	1,333333
0,183333	0,1	0,183333	0,083333	0,15	0,083333	0,116667	0,066667	0,15
0,15	0,15	0,15	0,033333	0,1	0,033333	0,05	0,083333	0,1
1,1	0,816667	1,1	0,933333	0,9	0,983333	0,916667	0,95	0,95
1,083333	0,8	1,083333	0,916667	0,883333	0,966667	0,9	0,933333	0,933333
1,15	1,133333	1,15	1,183333	1,166667	1,183333	1,2	1,15	1,2
1,85	2	1,85	2	2	1,916667	1,933333	1,916667	1,866667
1,933333	1,866667	1,933333	1,95	1,95	1,966667	1,95	1,9	1,966667
1,866667	1,8	1,866667	1,9	1,883333	1,866667	1,883333	1,816667	1,9
1,416667	1,366667	1,416667	1,416667	1,45	1,416667	1,433333	1,383333	1,466667
1,366667	1,3	1,366667	1,366667	1,35	1,366667	1,383333	1,333333	1,4
1,45	1,35	1,45	1,416667	1,4	1,416667	1,433333	1,366667	1,45
1,45	1,35	1,45	1,416667	1,4	1,416667	1,433333	1,366667	1,45
1,85	2	1,85	2	2	1,916667	1,933333	1,916667	1,866667
1,333333	1,25	1,333333	1,316667	1,333333	1,333333	1,316667	1,283333	1,316667
1,333333	1,25	1,333333	1,316667	1,333333	1,333333	1,316667	1,283333	1,316667
0,95	1	0,95	0,916667	0,883333	0,9	0,866667	0,933333	0,9
0,983333	1,033333	0,983333	0,95	0,916667	0,933333	0,9	0,966667	0,933333
1,366667	1,266667	1,366667	1,35	1,333333	1,333333	1,35	1,3	1,366667
1,45	1,35	1,45	1,433333	1,416667	1,416667	1,433333	1,383333	1,45
1,45	1,35	1,45	1,433333	1,416667	1,416667	1,433333	1,383333	1,45
2,366667	2,533333	2,366667	2,4	2,45	2,4	2,383333	2,433333	2,466667
2,316667	2,483333	2,316667	2,366667	2,4	2,366667	2,333333	2,383333	2,433333
0,05	0,216667	0,05	0,116667	0,216667	0,116667	0,1	0,133333	0,2
0,216667	0,166667	0,216667	0,116667	0,216667	0,216667	0,05	0,083333	0,116667
0,05	0,216667	0,05	0,116667	0,216667	0,116667	0,1	0,133333	0,2
0,166667	0,15	0,166667	0,066667	0,05	0,016667	0,066667	0,05	0,066667
0,233333	0,133333	0,233333	0,116667	0,1	0,116667	0,15	0,083333	0,1
0,283333	0,35	0,283333	0,25	0,216667	0,233333	0,216667	0,25	0,3
0,166667	0,15	0,166667	0,066667	0,05	0,016667	0,066667	0,05	0,066667
0,3	0,183333	0,3	0,183333	0,166667	0,166667	0,216667	0,15	0,166667
0,3	0,183333	0,3	0,183333	0,166667	0,166667	0,216667	0,15	0,166667
0,216667	0,116667	0,216667	0,15	0,216667	0,15	0,183333	0,116667	0,216667
0,016667	0,266667	0,016667	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333
0,083333	0,216667	0,083333	0,1	0,166667	0,1	0,066667	0,133333	0,166667
0,016667	0,266667	0,016667	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333
0,1	0,183333	0,1	0,066667	0,1	0,066667	0,016667	0,1	0,116667
0,133333	0,316667	0,133333	0,216667	0,266667	0,2	0,166667	0,216667	0,316667
0,016667	0,266667	0,016667	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333
0,15	0,05	0,15	0,033333	0,033333	0,15	0,116667	0,15	0,2
0,233333	0,133333	0,233333	0,116667	0,1	0,116667	0,15	0,083333	0,1
0,233333	0,133333	0,233333	0,116667	0,1	0,116667	0,15	0,083333	0,1
0,166667	0,116667	0,166667	0,033333	0,133333	0,05	0,083333	0,016667	0,083333

Продолжение таблицы Г.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,05	0,3	0,05	0,166667	0,216667	0,183333	0,15	0,2	0,266667
0,3	0,2	0,3	0,183333	0,166667	0,166667	0,216667	0,15	0,166667
0,016667	0,266667	0,016667	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333
0,2	0,133333	0,2	0,1	0	0,05	0,1	0,066667	0,05
0,266667	0,016667	0,166667	0,016667	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333	0,233333
0,266667	0,016667	0,166667	0,016667	0,166667	0,133333	0,166667	0,233333	0,233333
0,1	0,166667	0,1	0,066667	0,116667	0,083333	0,083333	0,1	0,133333
0,133333	0,166667	0,133333	0,05	0,083333	0,05	0,033333	0,066667	0,1
0,05	0,25	0,05	0,116667	0,166667	0,133333	0,083333	0,15	0,183333
0,1	0,166667	0,1	0,066667	0,116667	0,083333	0,083333	0,1	0,133333
0,216667	0,05	0,216667	0,083333	0,116667	0,1	0,2	0,066667	0,133333
0,05	0,25	0,05	0,116667	0,166667	0,133333	0,083333	0,15	0,183333
0,233333	0,133333	0,233333	0,1	0,1	0,116667	0,15	0,083333	0,1
0,05	0,216667	0,05	0,1	0,15	0,116667	0,1	0,133333	0,183333
0,15	0,133333	0,15	0,016667	0,1	0,05	0,05	0,05	0,116667
0,25	0,066667	0,25	0,1	0,15	0,116667	0,15	0,083333	0,133333
0,166667	0,116667	0,166667	0,033333	0,133333	0,05	0,083333	0,033333	0,1
0,166667	0,1	0,166667	0,033333	0,116667	0,05	0,083333	0,033333	0,116667
0,066667	0,233333	0,066667	0,1	0,15	0,116667	0,083333	0,133333	0,166667
0,183333	0,116667	0,183333	0,066667	0,116667	0,083333	0,133333	0,066667	0,133333
0	0,25	0,016667	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,216667
0,25	0	0,25	0,133333	0,116667	0,133333	0,166667	0,1	0,15
0,016667	0,25	0	0,166667	0,2	0,166667	0,133333	0,166667	0,216667
0,166667	0,133333	0,166667	0	0,116667	0,033333	0,066667	0,033333	0,1
0,2	0,116667	0,2	0,116667	0	0,05	0,1	0,066667	0,05
0,166667	0,133333	0,166667	0,033333	0,05	0	0,066667	0,05	0,066667
0,133333	0,166667	0,133333	0,066667	0,1	0,066667	0	0,083333	0,133333
0,166667	0,1	0,166667	0,033333	0,066667	0,05	0,083333	0	0,1
0,216667	0,15	0,216667	0,1	0,05	0,066667	0,133333	0,1	0
0,216667	0,15	0,216667	0,1	0,05	0,066667	0,133333	0,1	0,016667
0,25	0,016667	0,25	0,116667	0,116667	0,116667	0,166667	0,083333	0,15
0,166667	0,15	0,166667	0,05	0,066667	0,05	0,016667	0,083333	0,1
0,183333	0,1	0,183333	0,066667	0,05	0,05	0,066667	0,05	0,083333
0,016667	0,25	0	0,166667	0,2	0,166667	0,116667	0,183333	0,216667
0,066667	0,233333	0,066667	0,116667	0,166667	0,133333	0,133333	0,15	0,183333
0,25	0,116667	0,25	0,116667	0,1	0,116667	0,1	0,1	0,133333
0,166667	0,15	0,166667	0,05	0,05	0,033333	0,166667	0,066667	0,083333
0,233333	0,1	0,233333	0,1	0,083333	0,1	0,066667	0,083333	0,116667
0,25	0,016667	0,25	0,116667	0,116667	0,116667	0,1	0,083333	0,15
0,116667	0,15	0,116667	0,05	0,133333	0,1	0,133333	0,083333	0,133333
0,183333	0,116667	0,183333	0,05	0,116667	0,083333	0,1	0,083333	0,133333
0,066667	0,2	0,066667	0,1	0,15	0,116667	0,1	0,133333	0,183333
0,05	0,216667	0,05	0,116667	0,166667	0,133333	0,083333	0,15	0,183333
0,216667	0,083333	0,216667	0,1	0,15	0,166667	0,166667	0,083333	0,166667

Таблица Г.16 – Продолжение матрицы по времени

80	81	82	83	84	85	86	87	88
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,433333	0,366667	0,433333	0,383333	0,5	0,566667	0,4	0,433333	0,4
0,4	0,25	0,383333	0,333333	0,45	0,433333	0,366667	0,366667	0,35
0,216667	0,083333	0,216667	0,15	0,333333	0,3	0,2	0,183333	0,166667
0,2	0,233333	0,15	0,166667	0,083333	0,066667	0,216667	0,15	0,216667
0,2	0,083333	0,216667	0,15	0,316667	0,3	0,183333	0,2	0,183333
0,183333	0,066667	0,2	0,133333	0,3	0,283333	0,166667	0,183333	0,166667
0,133333	0,133333	0,05	0,083333	0,133333	0,116667	0,133333	0,05	0,15
0,816667	0,95	0,9	1,083333	1,083333	0,9	0,95	0,9	0,883333
0,8	0,933333	0,883333	1,066667	1,066667	0,883333	0,933333	0,883333	0,866667
1,2	1,116667	1,2	1,166667	1,15	1,233333	1,183333	1,216667	1,166667
1,95	1,95	1,833333	1,916667	1,883333	1,9	1,983333	1,9	1,916667
1,966667	1,866667	1,966667	1,916667	1,933333	2,016667	1,933333	1,933333	1,916667
1,9	1,8	1,883333	1,833333	1,866667	1,933333	1,866667	1,883333	1,85
1,433333	1,35	1,433333	1,4	1,416667	1,5	1,416667	1,433333	1,4
1,4	1,3	1,383333	1,333333	1,366667	1,433333	1,366667	1,383333	1,35
1,45	1,35	1,45	1,383333	1,45	1,483333	1,416667	1,433333	1,4
1,45	1,35	1,45	1,383333	1,45	1,483333	1,416667	1,433333	1,4
1,95	1,95	1,833333	1,916667	1,883333	1,9	1,983333	1,9	1,916667
1,316667	1,233333	1,316667	1,333333	1,383333	1,316667	1,3	1,3	1,25
1,316667	1,233333	1,316667	1,333333	1,383333	1,316667	1,3	1,3	1,25
0,916667	1	0,883333	0,933333	0,95	0,916667	0,983333	0,883333	0,966667
0,95	1,033333	0,916667	0,966667	0,983333	0,95	1,016667	0,916667	1
1,366667	1,266667	1,35	1,316667	1,366667	1,416667	1,333333	1,35	1,316667
1,45	1,35	1,433333	1,4	1,45	1,5	1,416667	1,433333	1,4
1,45	1,35	1,433333	1,4	1,45	1,5	1,416667	1,433333	1,4
2,483333	2,583333	2,416667	2,466667	2,366667	2,3	2,516667	2,416667	2,5
2,433333	2,483333	2,366667	2,416667	2,316667	2,266667	2,466667	2,366667	2,45
0,2	0,216667	0,133333	0,166667	0,05	0,033333	0,216667	0,133333	0,2
0,083333	0,033333	0,066667	0,15	0,1	0,1	0,216667	0,166667	0,133333
0,2	0,216667	0,133333	0,166667	0,05	0,033333	0,216667	0,133333	0,2
0,083333	0,116667	0,033333	0,066667	0,166667	0,133333	0,133333	0,016667	0,1
0,116667	0,116667	0,133333	0,05	0,233333	0,2	0,016667	0,1	0,016667
0,25	0,333333	0,216667	0,266667	0,283333	0,25	0,316667	0,216667	0,3
0,083333	0,116667	0,033333	0,066667	0,166667	0,133333	0,133333	0,016667	0,1
0,166667	0,183333	0,2	0,1	0,3	0,283333	0,083333	0,2	0,083333
0,166667	0,183333	0,2	0,1	0,3	0,283333	0,083333	0,2	0,083333
0,216667	0,1	0,166667	0,133333	0,216667	0,183333	0,166667	0,166667	0,133333
0,233333	0,283333	0,166667	0,233333	0	0,066667	0,233333	0,166667	0,233333
0,166667	0,216667	0,133333	0,15	0,083333	0,033333	0,233333	0,15	0,216667
0,233333	0,283333	0,166667	0,233333	0	0,066667	0,233333	0,166667	0,233333
0,133333	0,183333	0,066667	0,116667	0,133333	0,1	0,166667	0,066667	0,15
0,266667	0,3	0,2	0,266667	0,133333	0,083333	0,3	0,2	0,283333
0,233333	0,283333	0,166667	0,233333	0	0,066667	0,233333	0,166667	0,233333
0,2	0,233333	0,15	0,166667	0,033333	0,033333	0,233333	0,15	0,233333
0,116667	0,116667	0,133333	0,05	0,233333	0,216667	0,033333	0,1	0,05

Продолжение таблицы Г.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,116667	0,116667	0,133333	0,05	0,233333	0,216667	0,033333	0,1	0,05
0,1	0,1	0,066667	0,05	0,166667	0,133333	0,116667	0,066667	0,1
0,25	0,283333	0,183333	0,233333	0,05	0,066667	0,283333	0,2	0,266667
0,166667	0,166667	0,2	0,1	0,3	0,283333	0,083333	0,166667	0,083333
0,233333	0,283333	0,166667	0,233333	0	0,066667	0,233333	0,166667	0,233333
0,05	0,116667	0,066667	0,05	0,2	0,166667	0,1	0,066667	0,083333
0,25	0,166667	0,2	0,016667	0,066667	0,25	0,183333	0,233333	0,2
0,25	0,166667	0,2	0,016667	0,066667	0,25	0,183333	0,233333	0,2
0,133333	0,15	0,066667	0,1	0,083333	0,066667	0,15	0,083333	0,15
0,116667	0,15	0,05	0,1	0,133333	0,083333	0,15	0,066667	0,133333
0,216667	0,233333	0,116667	0,2	0,05	0,016667	0,233333	0,133333	0,2
0,133333	0,15	0,066667	0,1	0,083333	0,066667	0,15	0,083333	0,15
0,15	0,05	0,1	0,083333	0,216667	0,183333	0,1	0,1	0,083333
0,216667	0,233333	0,116667	0,2	0,05	0,016667	0,233333	0,133333	0,2
0,133333	0,116667	0,133333	0,05	0,233333	0,216667	0,016667	0,1	0,016667
0,2	0,2	0,116667	0,15	0,05	0,016667	0,2	0,116667	0,183333
0,116667	0,133333	0,05	0,083333	0,166667	0,116667	0,133333	0,05	0,116667
0,15	0,05	0,133333	0,1	0,2	0,216667	0,116667	0,116667	0,1
0,116667	0,1	0,066667	0,066667	0,166667	0,133333	0,1	0,05	0,083333
0,1	0,083333	0,066667	0,066667	0,166667	0,133333	0,083333	0,066667	0,083333
0,183333	0,216667	0,116667	0,166667	0,066667	0,033333	0,216667	0,116667	0,2
0,133333	0,1	0,083333	0,083333	0,166667	0,15	0,116667	0,083333	0,1
0,216667	0,25	0,166667	0,183333	0,016667	0,066667	0,25	0,166667	0,233333
0,15	0,016667	0,15	0,1	0,25	0,233333	0,116667	0,15	0,1
0,216667	0,25	0,166667	0,183333	0,166667	0,066667	0,25	0,166667	0,233333
0,1	0,116667	0,05	0,066667	0,166667	0,116667	0,116667	0,05	0,1
0,05	0,116667	0,066667	0,05	0,2	0,166667	0,1	0,05	0,083333
0,066667	0,116667	0,05	0,05	0,166667	0,133333	0,116667	0,033333	0,1
0,133333	0,166667	0,016667	0,066667	0,116667	0,133333	0,1	0,166667	0,066667
0,1	0,083333	0,083333	0,05	0,183333	0,15	0,1	0,066667	0,083333
0,016667	0,15	0,1	0,083333	0,216667	0,183333	0,133333	0,083333	0,116667
0	0,133333	0,1	0,066667	0,216667	0,183333	0,116667	0,066667	0,1
0,133333	0	0,166667	0,1	0,25	0,216667	0,116667	0,133333	0,1
0,1	0,166667	0	0,1	0,166667	0,133333	0,15	0,05	0,133333
0,066667	0,1	0,1	0	0,183333	0,166667	0,066667	0,083333	0,033333
0,216667	0,25	0,166667	0,183333	0	0,066667	0,25	0,166667	0,233333
0,183333	0,216667	0,133333	0,166667	0,066667	0	0,233333	0,133333	0,2
0,116667	0,116667	0,15	0,066667	0,25	0,233333	0	0,116667	0,033333
0,066667	0,133333	0,05	0,083333	0,166667	0,133333	0,116667	0	0,1
0,1	0,1	0,133333	0,033333	0,233333	0,2	0,033333	0,1	0
0,133333	0	0,15	0,1	0,25	0,233333	0,116667	0,116667	0,116667
0,15	0,15	0,1	0,1	0,116667	0,083333	0,15	0,066667	0,133333
0,133333	0,1	0,133333	0,083333	0,166667	0,166667	0,133333	0,1	0,133333
0,166667	0,2	0,116667	0,15	0,05	0,05	0,2	0,116667	0,2
0,183333	0,233333	0,133333	0,166667	0,05	0,033333	0,216667	0,133333	0,2
0,166667	0,083333	0,15	0,116667	0,216667	0,2	0,133333	0,166667	0,133333

Продолжение таблицы Г16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,133333	0,05	0,116667	0,083333	0,25	0,233333	0,083333	0,1	0,1
0,166667	0,216667	0,133333	0,15	0,083333	0,016667	0,216667	0,116667	0,2

Таблица Г.17 – Продолжение матрицы по времени

9	90	91	92	93	94	95	96	97
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,316667	0,416667	0,316667	0,45	0,45	0,266667	0,3	0,483333	0,383333
0,3	0,383333	0,333333	0,416667	0,416667	0,266667	0,316667	0,416667	0,333333
0,083333	0,233333	0,2	0,266667	0,266667	0,15	0,116667	0,266667	0,166667
0,233333	0,083333	0,116667	0,05	0,05	0,183333	0,2	0,1	0,2
0,083333	0,216667	0,2	0,283333	0,283333	0,15	0,1	0,266667	0,15
0,066667	0,2	0,183333	0,266667	0,266667	0,133333	0,083333	0,25	0,133333
0,35	0,366667	0,4	0,4	0,416667	0,383333	0,366667	0,383333	0,333333
0,083333	0,233333	0,216667	0,333333	0,283333	0,166667	0,133333	0,283333	0,183333
1,233333	1,283333	1,216667	1,333333	1,333333	1,166667	1,2	1,416667	1,283333
0,1	0,1	0,033333	0,15	0,133333	0,083333	0,083333	0,15	0,1
0,133333	0,05	0,083333	0,116667	0,116667	0,133333	0,116667	0,1	0,116667
0,85	0,95	1,066667	1,05	1,05	0,9	0,85	1	0,9
0,833333	0,933333	1,05	1,033333	1,033333	0,883333	0,833333	0,983333	0,883333
1,116667	1,166667	1,083333	1,216667	1,216667	1,05	1,083333	1,266667	1,15
1,9	1,816667	1,883333	1,816667	1,933333	1,95	1,766667	2,016667	1,883333
1,883333	1,933333	1,85	1,933333	1,933333	1,8	1,833333	2,05	1,916667
1,8	1,85	1,783333	1,966667	1,966667	1,733333	1,766667	1,983333	1,85
1,35	1,4	1,333333	1,416667	1,416667	1,283333	1,316667	1,533333	1,4
1,3	1,35	1,283333	1,366667	1,366667	1,233333	1,266667	1,416667	1,35
1,35	1,4	1,333333	1,45	1,45	1,283333	1,316667	1,533333	1,4
1,35	1,4	1,333333	1,45	1,45	1,283333	1,316667	1,533333	1,4
1,9	1,816667	1,883333	1,816667	1,933333	1,95	1,766667	2,016667	1,883333
1,216667	1,216667	1,333333	1,333333	1,333333	1,166667	1,2	1,416667	1,283333
1,216667	1,216667	1,333333	1,333333	1,333333	1,166667	1,2	1,416667	1,283333
1	0,9	0,933333	0,95	0,95	0,983333	0,966667	0,916667	0,966667
1,033333	0,933333	0,966667	0,983333	0,983333	1,016667	1	0,95	1
1,283333	1,316667	1,283333	1,366667	1,366667	1,2	1,233333	1,383333	1,316667
1,366667	1,4	1,366667	1,45	1,45	1,283333	1,316667	1,466667	1,4
1,366667	1,4	1,366667	1,45	1,45	1,283333	1,316667	1,466667	1,4
2,6	2,4	2,45	2,366667	2,366667	2,55	2,533333	2,333333	2,5
2,533333	2,35	2,4	2,316667	2,316667	2,466667	2,45	2,266667	2,45
0,216667	0,083333	0,133333	0,016667	0,05	0,183333	0,216667	0,05	0,2
0,1	0,15	0,133333	0,216667	0,216667	0,166667	0,15	0,15	0,15
0,216667	0,083333	0,133333	0,016667	0,05	0,183333	0,216667	0,05	0,2
0,133333	0,066667	0,083333	0,166667	0,166667	0,15	0,116667	0,133333	0,1
0,116667	0,15	0,1	0,2	0,233333	0,133333	0,1	0,216667	0,016667
0,333333	0,266667	0,25	0,283333	0,283333	0,333333	0,316667	0,233333	0,3
0,133333	0,066667	0,083333	0,166667	0,166667	0,15	0,116667	0,133333	0,1

Продолжение таблицы Г.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,183333	0,216667	0,183333	0,266667	0,3	0,2	0,2	0,266667	0,083333
0,183333	0,216667	0,183333	0,266667	0,3	0,2	0,2	0,266667	0,083333
0,1	0,133333	0,1	0,183333	0,216667	0,033333	0,05	0,2	0,133333
0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,05	0,216667	0,233333	0,066667	0,233333
0,216667	0,066667	0,133333	0,05	0,066667	0,2	0,216667	0,033333	0,233333
0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,05	0,216667	0,233333	0,066667	0,233333
0,183333	0,1	0,116667	0,1	0,133333	0,183333	0,15	0,083333	0,15
0,3	0,183333	0,233333	0,133333	0,133333	0,3	0,283333	0,083333	0,283333
0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,05	0,216667	0,233333	0,066667	0,233333
0,233333	0,083333	0,133333	0,05	0,033333	0,2	0,233333	0,05	0,216667
0,116667	0,15	0,1	0,2	0,233333	0,133333	0,116667	0,216667	0,05
0,116667	0,15	0,1	0,2	0,233333	0,133333	0,116667	0,216667	0,05
0,1	0,066667	0,033333	0,133333	0,166667	0,1	0,083333	0,133333	0,1
0,283333	0,116667	0,2	0,083333	0,083333	0,233333	0,266667	0,066667	0,266667
0,183333	0,2	0,166667	0,25	0,283333	0,2	0,166667	0,266667	0,083333
0,25	0,116667	0,166667	0,066667	0,05	0,216667	0,233333	0,066667	0,233333
0,116667	0,116667	0,116667	0,2	0,2	0,15	0,116667	0,15	0,083333
0,25	0,116667	0,166667	0,016667	0,016667	0,216667	0,25	0,066667	0,233333
0,25	0,116667	0,166667	0,016667	0,016667	0,216667	0,25	0,066667	0,233333
0,15	0,016667	0,083333	0,1	0,1	0,133333	0,083333	0,166667	0,133333
0,15	0,05	0,083333	0,116667	0,133333	0,15	0,133333	0,083333	0,133333
0,233333	0,083333	0,166667	0,05	0,05	0,2	0,2	0,016667	0,2
0,15	0,016667	0,083333	0,1	0,1	0,133333	0,083333	0,166667	0,133333
0,05	0,116667	0,1	0,183333	0,216667	0,05	0,016667	0,183333	0,083333
0,233333	0,083333	0,166667	0,05	0,05	0,2	0,2	0,016667	0,2
0,116667	0,15	0,1	0,2	0,233333	0,133333	0,1	0,216667	0,016667
0,2	0,066667	0,133333	0,016667	0,033333	0,166667	0,2	0,05	0,183333
0,133333	0,066667	0,116667	0,1	0,133333	0,116667	0,1	0,133333	0,116667
0,05	0,133333	0,1	0,2	0,2	0,033333	0,016667	0,2	0,1
0,1	0,066667	0,033333	0,116667	0,15	0,1	0,083333	0,133333	0,083333
0,083333	0,066667	0,033333	0,15	0,166667	0,083333	0,066667	0,15	0,083333
0,216667	0,1	0,133333	0,05	0,066667	0,2	0,2	0,016667	0,2
0,1	0,1	0,033333	0,15	0,15	0,1	0,083333	0,166667	0,1
0,25	0,116667	0,183333	0,066667	0,05	0,216667	0,25	0,066667	0,233333
0,016667	0,15	0,116667	0,2	0,216667	0,083333	0,05	0,233333	0,1
0,25	0,116667	0,183333	0,066667	0,05	0,216667	0,25	0,066667	0,233333
0,116667	0,05	0,05	0,1	0,116667	0,1	0,083333	0,133333	0,1
0,116667	0,133333	0,116667	0,15	0,166667	0,15	0,116667	0,15	0,083333
0,116667	0,1	0,083333	0,116667	0,133333	0,166667	0,1	0,116667	0,1
0,1	0,133333	0,1	0,1	0,083333	0,166667	0,15	0,083333	0,15
0,083333	0,083333	0,083333	0,133333	0,15	0,083333	0,066667	0,15	0,083333
0,15	0,133333	0,133333	0,183333	0,183333	0,166667	0,15	0,166667	0,116667
0,133333	0,15	0,133333	0,166667	0,183333	0,166667	0,133333	0,166667	0,1
0	0,15	0,1	0,2	0,233333	0,083333	0,05	0,216667	0,1
0,15	0,1	0,133333	0,116667	0,133333	0,15	0,116667	0,133333	0,133333

Продолжение таблицы Г.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,1	0,083333	0,15	0,166667	0,116667	0,083333	0,15	0,05
0,25	0,116667	0,166667	0,05	0,05	0,216667	0,25	0,083333	0,233333
0,233333	0,083333	0,166667	0,05	0,033333	0,2	0,233333	0,016667	0,216667
0,116667	0,15	0,133333	0,2	0,216667	0,133333	0,083333	0,216667	0,033333
0,116667	0,066667	0,1	0,116667	0,133333	0,166667	0,1	0,116667	0,15
0,116667	0,133333	0,133333	0,2	0,2	0,133333	0,1	0,2	0,016667
0	0,166667	0,133333	0,2	0,216667	0,083333	0,05	0,233333	0,1
0,166667	0	0,083333	0,05	0,066667	0,133333	0,166667	0,083333	0,15
0,133333	0,083333	0	0,116667	0,116667	0,116667	0,1	0,15	0,133333
0,2	0,05	0,116667	0	0,016667	0,183333	0,216667	0,033333	0,2
0,216667	0,066667	0,116667	0,016667	0	0,183333	0,2	0,05	0,2
0,083333	0,133333	0,116667	0,183333	0,183333	0	0,033333	0,216667	0,116667
0,05	0,166667	0,1	0,216667	0,2	0,033333	0	0,2	0,1
0,233333	0,083333	0,15	0,033333	0,05	0,216667	0,2	0	0,2
0,1	0,15	0,133333	0,2	0,2	0,116667	0,1	0,2	0

Таблица Г.18 – Матрица расстояний от распределительного центра в Пензенской области до торговых точек

Название магазинов	Средний заказ	Адреса магазинов	Х, км	У, км
1	2	3	4	5
1 РЦ	20 742,04	Пензенская обл, Саловка с, Полевая ул, дом № 15	53.113168	44.801777
02.Фефелово	2,00	Пензенская обл, Пензенский р-н, Воскресеновка с, Придорожная ул, дом № 49	53.062952	44.9613
03.Римесса	4,61	Пензенская обл, Пензенский р-н, Засечное с, Светлая ул, дом № 10 пом. 417	53.197286	43.977725
04.Кроули	3,43	Пензенская обл, Пензенский р-н, Засечное с, Радужная ул, дом № 10	53.190014	43.977573
05.Преследователь	5,64	Пензенская обл, Пензенский р-н, Засечное с, Олимпийская ул, дом № 11, пом. 14А	53.195306	43.984607
06.Откочевывание	6,50	Пензенская обл, Пензенский р-н, Саловка с, Петровская ул, дом № 24	53.174996	44.037571
07.Сетубаль	5,29	Пензенская обл, Бессоновский р-н, Чемодановка с, Генералова ул, дом № 77	53.184310	44.053166
08.Лобановская	6,00	Пензенская обл, Пензенский р-н, Засечное с, Фантанная ул, дом № 12	53.191120	43.984265
09.Рассказ	5,57	Пензенская обл, Колышлейский р-н, Колышлей рп, Сердобская ул, дом № 8	53.191120	43.984265
10.Вероятность	8,57	Пензенская обл, Пенза г, Мира ул, дом № 40	52.689844	44.533082
11.Десерт	4,18	Пензенская обл, Пенза г, Победы пр-кт, дом № 16	52.698795	44.528069
12 Авторефрижератор	8,64	Пензенская обл, Шемышейский р-н, Шемышейка рп, Рабочая ул, дом № 10В	52.700760	44.534250
13.Шемышейский	5,00	Пензенская обл, Шемышейский р-н, Шемышейка рп, Ленина ул, дом № 2	52.820056	45.056728
14.Вайкики	7,14	Пензенская обл, Пензенский р-н, Кондоль с, Саратовская ул, дом № 3, помещ 1	53.596547	45.221910

Продолжение таблицы Г.18

1	2	3	4	5
15.Корида	3,50	Пензенская обл, Сердобский р-н, Сердобск г, Быкова ул, дом 1	53.586221	45.224937
16.Тортоса	6,50	Пензенская обл, Сердобский р-н, Пригородное с, Орловка ул, дом № 2	53.263743	44.909530
17.Ясеньки	7,36	Пензенская обл, Сердобский р-н, Сердобск г, Ленина ул, дом № 261, Н-4	53.228401	44.939471
18.Невесомость	4,82	Пензенская обл, Каменский р-н, Каменка г, Коммунистическая ул, дом № 2Б,,помещ 2	53.225366	44.988052
19.Сеута	5,36	Пензенская обл, Каменский р-н, Каменка г, Советская ул, дом № 56	53.18431	44.053166
20.Экипаж	4,86	Пензенская обл, Каменский р-н, Каменка г, Суворова ул, дом № 22	53.209988	44.989552
21.Оттенок	2,38	Пензенская обл, Каменский р-н, Каменка г, Суворова ул, дом № 22	53.226045	44.931467
22.Ребекка	1,67	Пензенская обл, Сердобский р-н, Сердобск г, Быкова ул, дом № 1	52.47838	44.215644
23.Вязьма	5,07	Пензенская обл, Колышлейский р-н, Колышлей рп, Советская ул, дом № 25	53.167401	45.004877
24.Оплата	4,93	Пензенская обл, Колышлейский р-н, Колышлей рп, Терешкина ул, дом № 21	53.167962	45.005012
25.Въяс	8,86	Пензенская обл, Лунинский р-н, Лунино рп, Юбилейная ул, дом № 33 "а"	53.207863	45.004257
26.Милявский	10,43	Пензенская обл, Лунинский р-н, Лунино рп, Советская ул, дом № 31	53.586221	45.224937
27.Ватрушка	5,36	Пензенская обл, Каменский р-н, Каменка г, Красноармейская ул, дом № 22	53.173317	45.009000
31. Саранск 1	14,50	Пензенская обл,Саранский р-н, Саранск г, Севастопальская ул., дом № 129	53.230552	44.920516
32.Бартал	6,50	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 21 Б	53.222379	44.920956
33.Бинди	3,36	Пензенская обл, Пенза г, Клары Цеткин ул, дом № стр. 23Б	53.222358	45.045804
34.Плюшевый	4,21	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 82А	53.210937	44.971702
35.Хозтовары	5,07	Пензенская обл, Пенза г, Луначарского ул, дом № 30	53.223700	44.890557
36.Клинкеров.	3,75	Пензенская обл, Пенза г, Измайлова ул, дом № 62, пом. 1	53.223700	44.890557
37.Бессоновка	7,39	Пензенская обл, Бессоновский р-н, Бессоновка с, Центральная ул, дом № 224	53.308816	45.040962
38. Пристрой	5,04	Пензенская обл, Бессоновский р-н, Бессоновка с, Центральная ул, дом № 224	53.308777	44.926194
39.Тивадар	7,07	Пензенская обл, Пенза г, Коннозаводская ул, дом № 2А	53.222099	44.911973
40.Ахуны	8,21	Пензенская обл, Пенза г, Спартаковская ул, дом № 1	53.223323	44.915189
41.Агизеппе	5,79	Пензенская обл, Пенза г, Кижеватова ул, дом № стр. 5 «д»	53.206094	45.008731
42.Арбеково	6,57	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 63	53.198300	45.014929
43.Брага	7,79	Пензенская обл, Пенза г, Победы пр-кт, дом № 89	53.228401	44.939471
44.Тенор	6,71	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 142	53.163541	44.985491
45.Луковица	5,86	Пензенская обл, Пенза г, Беляева ул, дом № 12	53.182416	44.999936
46.Бубнова	7,18	Пензенская обл, Пенза г, Новоселов ул, дом № стр. 108А	53.215472	44.983129

Продолжение таблицы Г.18

1	2	3	4	5
47.Грейви	2,25	Пензенская обл, Пенза г, Гагарина ул, дом № 7	53.222196	44.999936
48.Ламбада	8,86	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 33	53.224110	44.879885
49.Карамболь	4,43	Пензенская обл, Пенза г, Ново-Казанская ул, дом № 12	53.174888,	44.879887
50.Тыквенный	8,64	Пензенская обл, Пенза г, Измайлова ул, дом № 75	53.174494	45.109710
51.Рисан	5,32	Пензенская обл, Пенза г, Пушкина ул, дом № 15	53.196876	45.005587
52.Запрудный	5,36	Пензенская обл, Пенза г, Лядова ул, дом № 64	53.180457	45.045400
53.Кубист	5,36	Пензенская обл, Пенза г, Экспериментальная ул, дом № 7	53.214717	45.055003
54.Пазл	7,25	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 134А	53.195042	45.018318
55.Арахисовый	8,00	Пензенская обл, Пенза г, Чаадаева ул, дом № 97А	53.210215	45.051284
56.Версаль	3,93	Пензенская обл, Пенза г, Ладожская ул, дом № 139	53.180878	45.058174
57.Кувольсан	5,21	Пензенская обл, Пенза г, Ладожская ул, дом № 124,,помещ. 10,11,12	53.195042	45.058174
58.Голдак	4,50	Пензенская обл, Пенза г, 8 Марта ул, дом № 7 б	53.229447	44.917453
59.Шарман	4,43	Пензенская обл, Пенза г, Фурманова ул, дом № 7А	53.222379	44.920956
60.Кундудо	4,64	Пензенская обл, Пенза г, Рахманинова 3-й проезд, дом № 2, пом.4	53.210657	45.007940
61.Стоматоскоп	9,50	Пензенская обл, Пенза г, 8 Марта ул, дом № 31,к.1	53.222196	44.999936
62.Авокадо	3,93	Пензенская обл, Пенза г, Красная Горка/Богданова ул, дом № 39/56	53.180878	44.999893
63.Удочка	3,57	Пензенская обл, Пенза г, Рахманинова ул, дом № стр. 41А	53.223700	44.890557
64.Яковенко	7,71	Пензенская обл, Пенза г, Измайлова ул, дом № 62, пом. 1	53.165080	44.979661
65.Серебряный	4,14	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 9	53.221603	44.934216
66.Коммунист	8,32	Пензенская обл, Пенза г, Коммунистическая ул, дом № 35	53.209713	44.953484
67.Деление	5,00	Пензенская обл, Пенза г, Лобачевского ул, дом № 9	53.189426	44.982958
68.Пукетовый	5,86	Пензенская обл, Пенза г, Бугровка Б. ул, дом № 113	53.229139	44.916914
69.Бериллий	8,57	Пензенская обл, Пенза г, Ставского ул, дом № стр. 4, помещ 2, 8	53.223668	44.878134
70.Сальса	8,50	Пензенская обл, Пенза г, Победы пр-кт, дом № 144	53.175600	45.049730
71.Земельный	8,07	Пензенская обл, Пенза г, Мира ул, дом № 8	53.224126	44.984413
72.Распоясывание	3,54	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 67	53.222767	44.888366
73.Подотчетность	4,04	Пензенская обл, Пенза г, Токарная ул, дом № 16	53.131898	45.020912
74.Сфера	5,00	Пензенская обл, Пенза г, Ворошилова ул, дом № 2	53.247921	45.245877
75.Садко	5,11	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 50А	53.220665	45.252507
76.Свисток	7,50	Пензенская обл, Пенза г, Луначарского ул, дом № 6	53.377237	45.063321

Продолжение таблицы Г.18

1	2	3	4	5
77.Беляевский	8,50	Пензенская обл, Пенза г, Беляева ул, дом № 6	53.214717	45.055003
78.Грамотей	3,71	Пензенская обл, Пенза г, Володарского ул, дом № 74 А	53.179248	45.009333
79.Медик	3,89	Пензенская обл, Пенза г, Медицинская ул, дом № 14, а	52.861037	45.472720
80.Теннеси	5,50	Пензенская обл, Пенза г, Чкалова ул, дом № 107	53.222940	45.000026
81.Ризотто	5,86	Пензенская обл, Пенза г, Терновского ул, дом № 19Б	53.195144	45.037019
82.Теперское	7,00	Пензенская обл, Пенза г, Гагарина ул, дом № 9	53.223700	44.890557
83.Тарханы	7,00	Пензенская обл, Пенза г, Тарханова ул, дом №5	53.229139	44.916887
84.Клатч	2,83	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 63	53.175600	45.04973
85.Завлекательный	6,75	Пензенская обл, Пенза г, Рахманинова ул, дом № 38Г	53.210651	45.007904
86.Шнитке	5,64	Пензенская обл, Пенза г, Крымская ул, дом № 8	53.182718	45.054204
87.Просветление	2,17	Пензенская обл, Пенза г, Дзержинского ул, дом № 33	53.193353	45.016968
88.Целительность	7,00	Пензенская обл, Пенза г, Измайлова ул, дом № 58, корпус А	53.195042	45.018316
89.Музицирование	1,93	Пензенская обл, Пенза г, Московская ул, дом № стр65а	53.229139	44.916887
90.Лимпач	8,00	Пензенская обл, Пенза г, Чкалова ул, дом № 42, пом. 73, 74, 75, 76	53.186215	44.963087
91.Златоцвет	6,00	Пензенская обл, Пенза г, Рахманинова ул, дом № 38Г	53.222379	44.920956
92.Каража	5,79	Пензенская обл, Пенза г, Мира ул, дом № 78	53.163541	44.985491
93.Рубра	3,00	Пензенская обл, Пенза г, Строителей пр-кт, дом № 50А	53.167962	45.005012
94.Центимос	5,29	Пензенская обл, Пенза г, Воронова ул, дом № 8	53.221581	44.966564
95.Вечнозеленый	5,21	Пензенская обл, Пенза г, Краснова ул, дом № 40, помещ 1	53.182416	45.049703
96.Лендек	4,50	Пензенская обл, Пенза г, проспект Победы, дом №78А	53.220665	45.252507
97.Герольмейстер	2,00	Пензенская обл, Пенза г, Измайлова ул, дом № 75	53.377237	45.063321

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Определение оптимального маршрута № 2 с расчетной точки П72, с помощью программного обеспечения Distribution Center и Logistics, (рис.Е.1).

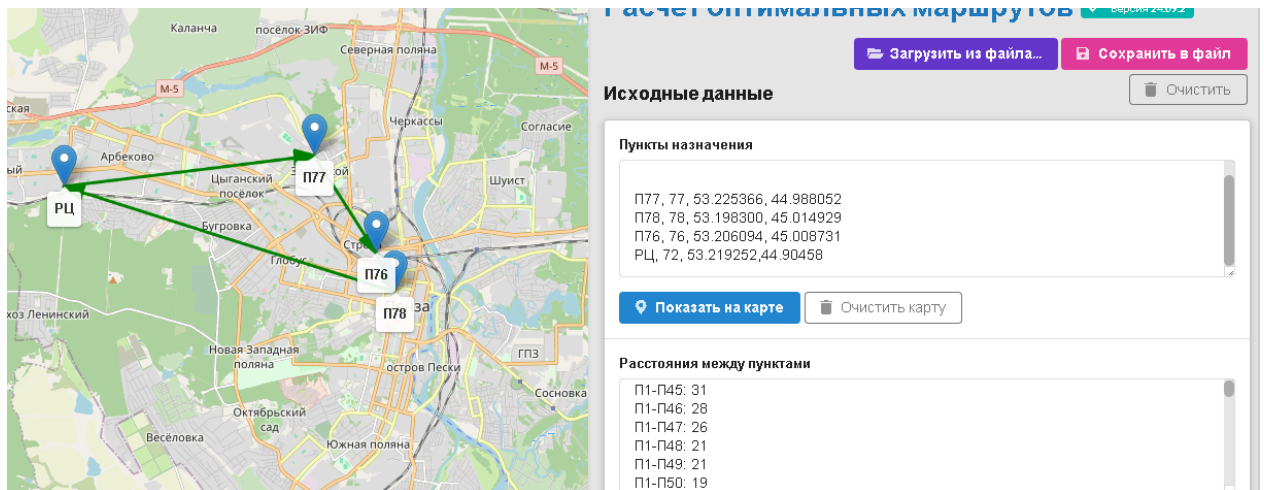


Рисунок Д.1 – Определение оптимального маршрута № 2 с расчётной точки П72

Таблица Д.1 – Оптимальные маршруты, с расчетной точки П72, по работе

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	Р т.км
1	2	3	4	5
1	1	Римесса	5	649,6
		Кроули	4	
		Преследователь	5	
		Плюшевый	5	
2	2	Грамотей	4,5	113,4
		Свисток	6,5	
		Беляевский	8	
3	3	Сальса	10	170,1
		Распоясывание	9	
4	4	Саранск 2 60 лет Октября	18,5	3833,2
		Арбеково	0,5	
5	5	Саранск 1 Севастопольская	14,5	3478,3
		Бинди	4,5	
6	6	Кувольсан	7	313,9
		Тыквенный	10,5	
		Ахуны	1,5	

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4	5
7	7	Бессоновка	15,5	473,2
		Арбеково	3,5	
8	8	Сеута	7	1593,9
		Прокат	8	
		Запрудный	4	
9	9	Невесомость	4,5	1595,3
		Экипаж	5	
		Отвертка	4	
		Ватрушка	2,5	
10	10	Коррида	3,5	1841,7
		Тортоса	6,5	
		Ясеньки	5,5	
		Ребекка	1,5	
		Кундудо	2	
11	11	Вязьма	5,5	1395,5
		Оплата	6	
		Рассказ	4	
		Арбеково	3,5	
12	12	Авторефрижератор	2	1129,1
		Шемышейский	6	
		Вайкики	3,5	
		Фефелово	5,5	
		Герольдмейстер	2	
13	13	Вьяс	6	1140,3
		Милявский	9	
		Хозтовары	4	
14	14	Пристрой	6,5	465,5
		Бессоновка	9,5	
		Хозтовары	3	
15	15	Арахисовый	8	319,2
		Бессоновка	6	
		Медик	5	
16	16	Сегубаль	5	480,9
		Теннеси	5,5	
		Завлекательный	8,5	
17	17	Тивадар	7	259,7
		Ахуны	6	
		Златоцвет	6	
18	18	Клинкерование	2,5	152,9
		Яковенко	7,5	
		Шнитке	8	
		Музицирование	1	

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4	5
19	19	Герольдмейстер	10,5	194,6
		Целительность	7	
		Грейви	1,5	
20	20	Карамболь	10,5	339,9
		Ламбада	8,5	
21	21	Кубист	10,5	344,4
		Лобановская	6	
		Просветление	2,5	
22	22	Откочевывание	6,5	254,5
		Подотчетность	6	
		Ризотто	6,5	
23	23	Лимпач	8	160,3
		Деление	6	
		Авокадо	4	
		Грейви	1	
24	24	Вечнозеленый	6	170,1
		Центимос	6,5	
		Вероятность	6,5	
25	25	Тарханы	7	217,7
		Бериллий	6	
		Земельный	6	
26	26	Рисан	9	78,4
		Коммунист	10	
27	27	Сфера	3,5	121,5
		Грейви	7	
		Версаль	8,5	
28	28	Луковица	7	1382,5
		Десерт	7	
		Ватрушка	1,5	
29	29	Лендек	4,5	92,4
		Брага	9	
		шарман	5,5	
30	30	Пукетовый	2	64,8
		Стоматоскоп	9,5	
		Тенор	7,5	
31	31	Бубнова	7,5	355,3
		Агизиппе	4,5	
		Удочка	4	
32	32	Баргал	5,5	75,6
		Пазл	10,5	

Продолжение таблицы Д.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
33	33	Арбеково	7	162,4
		Кундудо	4,5	
		Серебряный	4,5	
34	34	Рубра	8,5	92
		Каража	7,5	
35	35	Агизиппе	3	200,9
		Пазл	3	
		Арбеково	3	
		Рубра	3	
		Каража	2	

Остальные маршруты с расчетных точек формируются аналогично с помощью программного обеспечения Distribution Center и Logistics

Таблица Д.2 – Оптимальные маршруты с расчетной точки П72 по времени

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	Т, час
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	1	Римесса	5	2,45
		Кроули	4	
		Преследователь	5	
		Плюшевый	5	
2	2	Грамотей	4,5	1,43
		Свисток	6,5	
		Беляевский	8	
3	3	Сальса	10	1,32
		Распоясывание	9	
4	4	Саранск 2 60 лет Октября	18,5	11,47
		Арбеково	0,5	
5	5	Саранск 1 Севастопольская	14,5	11,55
		Бинди	4,5	
6	6	Кувольсан	7	2,42
		Тыквенный	10,5	
		Ахуны	1,5	
7	7	Бессоновка	15,5	2,65
		Арбеково	3,5	

Продолжение таблицы Д.2

1	2	3	4	5
8	8	Сеута	7	5,93
		Прокат	8	
		Запрудный	4	
9	9	Невесомость	4,5	6,50
		Экипаж	5	
		Отвертка	4	
		Ватрушка	2,5	
10	10	Коррида	3,5	7,53
		Тортоса	6,5	
		Ясеньки	5,5	
		Ребекка	1,5	
		Кундудо	2	
11	11	Вязьма	5,5	6,22
		Оплата	6	
		Рассказ	4	
		Арбеково	3,5	
12	12	Авторефрижератор	2	9,26
		Шемышейский	6	
		Вайкики	3,5	
		Фефелово	5,5	
		Герольдмейстер	2	
13	13	Вьяс	6	5,20
		Милявский	9	
		Хозтовары	4	
14	14	Пристрой	6,5	3,30
		Бессоновка	9,5	
		Хозтовары	3	
15	15	Арахисовый	8	2,35
		Бессоновка	6	
		Медик	5	
16	16	Сетубаль	5	3,10
		Тенниси	5,5	
		Завлекательный	8,5	
17	17	Тивадар	7	2,15
		Ахуны	6	
		Златоцвет	6	
18	18	Клинкерование	2,5	1,47
		Яковенко	7,5	
		Шнитке	8	
		Музицирование	1	
19	19	Герольдмейстер	10,5	1,53
		Целительность	7	
20	20	Карамболь	10,5	2,10
		Ламбада	8,5	

Продолжение таблицы Д.2

21	21	Кубист	10,5	2,30
		Лобановская	6	
		Просветление	2,5	
22	22	Откочевывание	6,5	1,43
		Подотчетность	6	
		Ризотто	6,5	
23	23	Лимпач	8	1,43
		Деление	6	
		Авокадо	4	
		Грейви	1	
24	24	Вечнозеленый	6	1,40
		Центимос	6,5	
		Вероятность	6,5	
25	25	Тарханы	7	1,48
		Бериллий	6	
		Земельный	6	
26	26	Рисан	9	1,15
		Коммунист	10	
27	27	Сфера	3,5	2,09
		Грейви	7	
		Версаль	8,5	
28	28	Луковица	7	1,15
		Десерт	7	
		Ватрушка	1,5	
29	29	Лендек	4,5	1,35
		Брага	9	
		Шарман	5,5	
30	30	Пукетовый	2	1,25
		Стоматоскоп	9,5	
		Тенор	7,5	
31	31	Бубнова	7,5	2,25
		Агизиппе	4,5	
		Удочка	4	
32	32	Баргал	5,5	1,20
		Пазл	10,5	
33	33	Арбеково	7	1,4
		Кундудо	4,5	
		Серебряный	4,5	
34	34	Рубра	8,5	1,47
		Каража	7,5	
35	35	Агизиппе	3	2,22
		Пазл	3	
		Арбеково	3	
		Рубра	3	
		Каража	2	

Формирование маршрутов с расчетной точки П55 и П9 помощью программного обеспечения Distribution Center и Logistics осуществляется аналогично.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023664020

Transportation

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (RU)*

Автор(ы): *Жесткова Светлана Анатольевна (RU)*

Заявка № **2023619641**
Дата поступления **15 мая 2023 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **29 июня 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Подпись: Ю.С. Зубов
Ю.С. Зубов

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024614147

Distribution Center

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (RU)*

Автор(ы): **Жесткова Светлана Анатольевна (RU)**

Заявка № 2024612948

Дата поступления **14 февраля 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **20 февраля 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Директор по развитию и взаимодействию с партнерами
Генеральный директор ООО «АМОН»
Генеральный директор ООО «АМОН»
Генеральный директор ООО «АМОН»

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023669755

Logistics

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (RU)*

Автор(ы): *Жесткова Светлана Анатольевна (RU)*



Заявка № 2023669053

Дата поступления 14 сентября 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 сентября 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Включен в Единый реестр программ для ЭВМ
Подпись: Ю.С. Зубов, Ю.С. Зубов
Подпись: Ю.С. Зубов, Ю.С. Зубов

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Акты внедрения

**Общество с ограниченной
ответственностью "Караван у дома"**

ИНН- 5837079870, КПП- 58370100, ОГРН -1215800002087

Россия, 440058, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Бийская, строение 27, офис 23
тел./факс: (8412) 20-92-30

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Жестковой Светланы Анатольевны

Результаты исследования диссертационной работы Жестковой С.А., представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, активно применяются при выборе оптимальных маршрутов доставки товаров в магазины региональной торговой сети «Караван».

Внедрение методик определения оптимальных маршрутов предложенных Жестковой С.А. позволило значительно снизить затраты на логистику и повысить эффективность доставки товаров в торговые точки.

Ген. директор



Учайкина Е. П.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы «Управление цепями поставок через распределительный центр»
Жестковой Светланы Анатольевны

Настоящий акт составлен о том, что результаты исследования диссертационной работы представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, учитываются и применяются при выборе оптимальных решений управления и организации товарных потоков при доставке груза в магазины компании ПАО «МАГНИТ».

Внедрение программного обеспечения основанного на разработанных математических моделях и методах предложенных в диссертационной работе Жестковой С.А. позволило снизить затраты на доставку груза и повысить эффективность перевозочного процесса.

Директор РЦ АО «Тандер»

Клочко Николай Владимирович





АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Жестковой Светланы Анатольевны

«16» 04 2025 г.

Москва

Акт составлен о том, что результаты научных исследований диссертационной работе Жестковой С.А., используются в виде методик расчета при моделировании, принятии и выборе наиболее эффективных управленческих решений распределения автотранспортных потоков при доставке груза в сетевые магазины «Перекресток»

Внедрение результатов данной научной работы позволило повысить эффективность управления транспортными потоками и снизить транспортные затраты.

Директор по транспортной
логистике ТС «Перекрёсток»



А.А. Ус





федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Толушов С.А.
« » 2025 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов
диссертационной работы Жестковой Светланы Анатольевны

Комиссия в составе председателя, заведующего кафедрой «Математика и математическое моделирование» доктора технических наук, профессора Гарькиной И.А. и членов комиссии: заведующего кафедрой «Экономика, организация и управление производством» доктора экономических наук, профессора Хрусталева Б.Б. и доцента кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» кандидата технических наук, доцента Ширшикова А.С. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Жестковой С.А. используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплинам: «Логистика и безопасность транспортного процесса» (специальность: 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства), «Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса» (направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов), «Экономическое обоснование схем доставки грузов» (направление подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов), Логистика и управление цепями поставок (направление подготовки 38.03.01 Экономика) на основе разработанного учебного пособия «Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса».

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», протокол № 8 от « 3 » марта 2025 года.

Председатель комиссии

Член комиссии

Член комиссии

Гарькина И.А.

Хрусталев Б.Б.

Ширшиков А.С.



Гарькина И.А., Хрусталев Б.Б.

Ширшиков А.С.

Ч. Кадаров

Общество с ограниченной ответственностью «Скидкино»

440058, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Бийская, влд 1г.
ОГРН 1205800009172, ИНН 5837078851, КПП 583701001

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Жестковой Светланы Анатольевны

Настоящий АКТ составлен о том, что результаты исследования диссертационной работы представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, учитываются и применяются при поиске и выборе оптимальных решений задач, распределения товарных потоков при доставке груза в торговой сети «Скидкино».

Внедрение программного обеспечения, основанного на моделях предложенных в диссертационной работе Жестковой С.А., позволило повысить эффективность и устойчивость транспортно-технологического обеспечения логистических процессов системы управления цепей поставок товаров в сети магазинов «Скидкино».

Генеральный директор



Д.А.Дементьев