

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Задача нахождения оптимального маршрута

УДК 519.87658.842:004.738.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Шинкеев Михаил Леонидович	Кандидат ф-м. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»	Крицкий Олег Леонидович	Кандидат ф-м. наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-1	К самостоятельной работе
ПК-2	Использовать современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования
ПК-3	Использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач на ЭВМ, отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение
ПК-4	Настраивать, тестировать и осуществлять проверку вычислительной техники и программных средств
ПК-5	Демонстрировать знание современных языков программирования, операционных систем, офисных приложений, Интернета, способов и механизмов управления данными; принципов организации, состава и схемы работы операционных систем
ПК-6	Решать проблемы, брать на себя ответственность
ПК-7	Проводить организационно-управленческие расчеты, осуществлять организацию и техническое оснащение рабочих мест
ПК-8	Организовывать работу малых групп исполнителей
ПК-9	Определять экономическую целесообразность принимаемых технических и организационных решений
ПК-10	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-11	Знать основные положения законы и методы естественных наук; выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, использовать для их решения соответствующий естественнонаучный аппарат
ПК-12	Применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен применять соответствующую процессу математическую модель и проверять ее адекватность
ПК-13	Применять знания и навыки управления информацией
ПК-14	Самостоятельно изучать новые разделы фундаментальных наук
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК-1	Владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-2	Логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь
ОК-3	Уважительно и бережно относится к историческому наследию и культурным традициям, толерантно воспринимать социальные и культурные различия; понимать движущие силы и закономерности исторического процесса, место человека в историческом процессе, политической организации общества
ОК-4	Понимать и анализировать мировоззренческие, социально и лично значимые философские проблемы

ОК-5	Владеть одним из иностранных языков на уровне бытового общения, а также переводить профессиональные тексты с иностранного языка
ОК-6	К кооперации с коллегами, работе в коллективе
ОК-7	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готов нести за них ответственность
ОК-8	Использовать нормативно-правовые документы в своей деятельности
ОК-9	Стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства
ОК-10	Осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности
ОК-11	Использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач
ОК-12	Анализировать социально значимые проблемы и процессы
ОК-13	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОК-14	Понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, осознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОК-15	Оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы
ОК-16	Создавать и редактировать тексты профессионального назначения
ОК-17	Использовать для решения коммуникативных задач современные технические средства и информационные технологии
ОК-18	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, быть способным к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна

Тема работы:

Формирование портфеля криптовалют с помощью предельной величины риска VaR

Утверждена приказом директора (дата, номер) _____

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Район построения маршрута курьера – часть Кировского района города Томска.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Построить граф, характеризующий доступность объектов района (пешком или на велосипеде), учитывающий длину участков пути, возможность движения по разным сторонам улиц, среднее время ожидания на светофорах. 2. Определить алгоритм построения оптимального маршрута курьера с минимальным временем доставки заказов. 3. Протестировать алгоритм при разном числе заказов.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Киселева Елена Станиславовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>27.04.2020</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Шинкеев Михаил Леонидович	Кандидат ф-м. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Тема ВКР:

«Задача нахождения оптимального маршрута»	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Организация и планирование основных этапов научного исследования	
2. Составление бюджета научного исследования	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
Календарный план – график выполнения работ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Тема ВКР:

«Задача нахождения оптимального маршрута»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>В работе вычисляется оптимальный путь курьера при заказах в системе Яндекс в некоторой части города Томска. Разрабатывается алгоритм для решение транспортной задачи по нахождению кратчайшего пути из пункта А в пункт В. Область применения – логистика. На момент написания алгоритмов студент находится в аудитории 10-го учебного корпуса, поэтому в качестве исходных данных выступают параметры рабочего места. Работа выполнялась с использованием компьютеров, оргтехники и письменным столом. К числу неблагоприятных факторов следует отнести присутствие вредного влияния компьютера на организм студента.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – Специальные правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; ГОСТ 21889-76; ГОСТ 22269-76; ГОСТ Р 50923-96; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; Федеральный закон от 22.08.1996 №125-ФЗ</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>отклонения по показателям микроклимата, превышение уровня шума, недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие магнитных и радиационных излучений, повышенное значение напряжения в электрической цепи.</i>
3. Экологическая безопасность:	<i>– анализ воздействия при работе на ПЭВМ на окружающую среду;</i> <i>– наличие отходов (бумага, картриджи, компьютеры и т. д.);</i> <i>- методы утилизации отходов.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>– возможные ЧС – природные и техногенные;</i> <i>– типичная ЧС– пожар на рабочем месте.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В61	Паршакова Виктория Алексеевна		

Оглавление	
Реферат	12
ВВЕДЕНИЕ	13
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	14
1.1 Общие сведения о графах	14
1.2 Способы задания графов	15
1.2.1 Представление графа с помощью диаграммы	15
1.2.2 Представление с помощью матрицы смежности	15
1.2.3 Представление с помощью матрицы инциденций	16
1.2.4 Задание графа списком ребер	16
1.3 Алгоритмы нахождения кратчайших путей в графе	16
1.3.1 Алгоритм Дейкстры	17
1.3.2 Алгоритм Флойда	18
1.4 Транспортная задача	19
1.5 Задача Коммивояжера	19
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	21
2.1 Тестирование алгоритма Дейксты	21
2.2 Сбор данных и построение графа	23
2.2.1 Подграфы для регулируемых перекрестков	24
2.3 Алгоритм построения оптимального маршрута курьера	27
2.4 Тестирование алгоритма при различном числе заказов на одного курьера	30
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	37
3.1 Организация и планирование работы	37
3.1.1 Продолжительность этапов работ	38
3.1.2 Разработка графика проведения научного исследования	40
3.2 SWOT-анализ	41
3.3 Анализ конкурентных решений	43
3.4 Потенциальные потребители результатов исследований	44
3.5 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	45

3.5.1	Расчет материальных затрат	45
3.5.2	Расчет заработной платы для исполнителей	46
3.5.3	Расчет затрат на социальный налог	46
3.5.4	Расчет затрат на электроэнергию	47
3.5.5	Расчет амортизационных расходов	48
3.5.6	Расчет прочих расходов	48
3.5.7	Расчет общей себестоимости разработки	49
3.5.8	Расчет прибыли	49
3.5.9	Расчет НДС	49
3.5.10	Цена разработки НИР	49
3.6	Оценка научно-технического эффекта	50
3.7	Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	52
4.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	54
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	54
4.2	Профессиональная социальная безопасность.	55
4.2.1	Анализ опасных и вредных факторов, которые может создать объект исследования.	55
4.2.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	56
4.3	Экологическая безопасность	60
4.3.1	Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду	60
4.3.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	60
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	61
4.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	61
4.4.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	61
4.5	Выводы по разделу	61
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	75
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	78

Реферат

Выпускная квалификационная работа страниц 62, таблиц 27, рисунков 10, формул 18, источников 20, приложений 6.

Ключевые слова: граф, кратчайший путь, оптимальный маршрут, алгоритм Флойда, алгоритм Дейкстры, транспортная задача, задача коммивояжера.

Объектом исследования является граф, характеризующий доступность объектов Кировского района г. Томска.

Цель работы – нахождения оптимального пути курьера при заказах в системе Яндекс.Еда в части Кировского района города Томска.

Исходные данные: район построения маршрута курьера – Кировский район города Томска; способ передвижения курьера – пешком, на велосипеде; количество одновременно обрабатываемых заказов – до 5.

В результате построен граф, характеризующий доступность объектов заданного района и разработан алгоритм построения кратчайшего маршрута курьера в системе Яндекс.Еда.

Область применения: результаты научно-исследовательской работы в рамках выпускной работы могут быть использованы в системе Яндекс.Еда для нахождения оптимального пути курьера при доставке заказов, а также могут быть использованы в других аналогичных системах курьерской доставки товаров.

Введение

В современном мире широко распространены различные службы доставки товаров. Курьер, получая заказ (или несколько заказов), должен забрать товары из указанных пунктов и доставить их клиенту. Курьеру необходимо быстро и грамотно спланировать свой маршрут, чтобы доставить товары как можно быстрее, с наименьшими издержками. Огромное количество всевозможных вариантов доставки затрудняет построение оптимального маршрута. Применение математических и вычислительных методов в планировании доставки дает большую временную экономию, тем самым увеличив количество обработанных заказов курьером.

Поэтому актуальна задача разработки алгоритма, определяющего оптимальный маршрут доставки при заданных пунктах для посещения.

В работе рассматривается алгоритм построения оптимального маршрута для использования в системе Яндекс.Еда курьером для доставки заказов. Алгоритм выполняет нахождение кратчайшего пути из пункта А (место приема заказа, может быть любым) через несколько пунктов (заведения, в которых приобретаются заказы, исходя из предпочтений клиента) в пункты доставки заказов.

Задача о нахождении кратчайшего пути является одной из главных классических задач теории графов. Очевидно, что задача построения оптимального маршрута курьера является одной из множества интерпретаций данной задачи.

Поставлены следующие цель и задачи:

Цель: Нахождение оптимального маршрута курьера в системе Яндекс.Еда.

Задачи:

1. Построить граф, характеризующий доступность объектов района (пешком или на велосипеде), учитывающий длину участков пути, возможность движения по разным сторонам улиц, среднее время ожидания на светофорах.
2. Определить алгоритм построения оптимального маршрута курьера с минимальным временем доставки заказов.
3. Протестировать алгоритм при разном числе заказов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Общие сведения о графах

Граф – это математическая модель, которая представляется в виде совокупности множества вершин и связей между ними (ребер). Ребра, которые имеют направления, являются ориентированными, а ненаправленные ребра – неориентированными. [1]

Граф, в котором каждому ребру в соответствие поставлено некоторое числовое значение – вес, называется взвешенным графом. Если ребра не имеют числового значения, то граф называется не взвешенным. [1]

Граф с p вершинами и q ребрами называется (p, q) -графом. Чаще всего граф визуализируется с помощью диаграммы. Диаграмма, представленная на рисунке 1, наглядно отображает вершины и связи между ними.

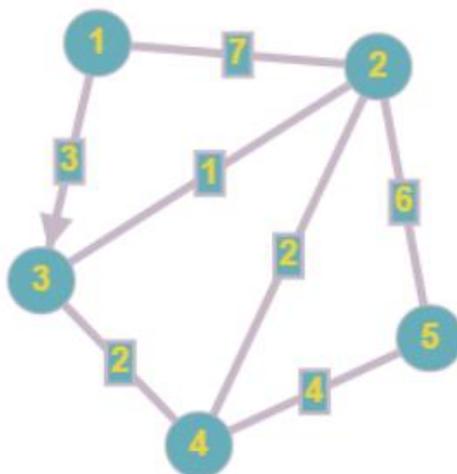


Рис.1. Граф-диаграмма с ориентированными и неориентированными взвешенными ребрами.

Маршрутом в графе называют чередующуюся последовательность ребер и вершин. Маршрут называется замкнутым, если начальная и конечная вершины в нем являются одинаковыми, в обратном случае, маршрут называется открытым.

Длина маршрута в невзвешенном графе – это количество ребер в графе (с повторениями). Если маршрут $M = v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_k, v_k$, то длина M равна k , обозначается $|M|=k$.

Длиной маршрута во взвешенном графе называется сумма весов ребер, входящих в маршрут.

Если для двух вершин v, w существует маршрут, связывающий их, то обязательно найдется минимальный маршрут, соединяющий эти вершины. Пусть длину этого маршрута – $d(v, w)$.

Величину $d(v, w)$ будем называть расстоянием между вершинами v, w . Это расстояние удовлетворяет аксиомам метрики [3]:

- 1) $d(v, w) \geq 0$, причем $d(v, w) = 0$ тогда и только тогда, когда $v = w$;
- 2) $d(v, w) = d(w, v)$;
- 3) $d(v, w) \leq d(v, s) + d(s, w)$, где s – произвольная вершина графа.

1.2 Способы задания графов

1.2.1 Представление графа с помощью диаграммы

Данный способ является наглядным для задания графов. По диаграмме можно определить особенности графа и некоторые его свойства. В информатике для решения задач применяются алгоритмы. Для этого граф должен быть введен в ее память так, чтобы информацию о графе можно было легко получать и перерабатывать при вычислениях. [4] Для иллюстрации различных способов представления графов, используются графы, диаграммы которых представлены на рис. 2.

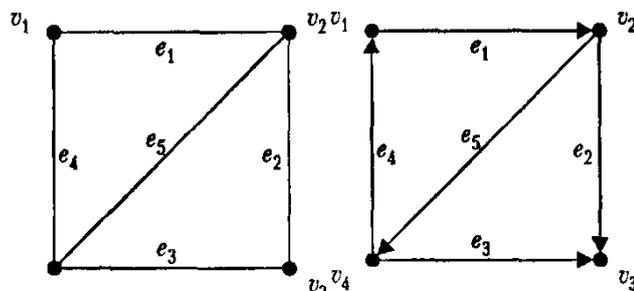


Рис. 2 Диаграммы простого графа G_1 (слева) и орграфа G_2 (справа), используемых в качестве примеров.

1.2.2 Представление с помощью матрицы смежности

Представление графа с помощью квадратной булевой матрицы M порядка p , отражающей смежность вершин, называемой матрицей смежности, элементы которой определяются как:

$$m_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } v_i \text{ смежна с вершиной } v_j, \\ 0, & \text{если вершины } v_i \text{ и } v_j \text{ не смежны.} \end{cases}$$

Матрица смежности любого графа является симметричной относительно главной диагонали, поэтому можно хранить только верхнюю (или нижнюю) треугольную матрицу. Представление с помощью матрицы смежности возможно только для графов без кратных ребер. [13]

$$\text{Пример: } G_1: \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad G_2: \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

1.2.3 Представление с помощью матрицы инцидентий

Представление графа с помощью матрицы H порядков $p \times q$, отражающей инцидентность вершин и ребер, элементы которой определяются как:

$$h_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } v_i \text{ инцидентна ребру } e_j, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Для орграфов $h_{i,j} = -1$, если вершина v_i инцидентна ребру e_j и является его началом и $h_{i,j} = 1$, если вершина v_i инцидентна ребру e_j и является его концом. Основной недостаток задания графа матрицей инцидентий состоит в том, что каждый столбец матрицы содержит не более двух ненулевых элементов. [13]

$$\text{Пример: } G_1: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad G_2: \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

1.2.4 Задание графа списком ребер

Список ребер - список, отражающий пары смежных вершин. Орграф задается списком упорядоченных пар.

$$\text{Пример. } G_2: \{(v_1, v_2), (v_2, v_3), (v_2, v_4), (v_4, v_1), (v_4, v_3)\}.$$

1.3 Алгоритмы нахождения кратчайших путей в графе

Существует множество алгоритмов нахождения кратчайшего пути, но наиболее употребляемыми и действенными из всех являются следующие:

- алгоритм Дейкстры (используется для нахождения оптимального маршрута между двумя вершинами или от одной из вершин до всех остальных вершин);

- алгоритм Флойда (для нахождения оптимального маршрута между всеми парами вершин).

Указанные выше алгоритмы легко выполняются при малом количестве вершин в графе. При увеличении их количества задача поиска кратчайшего пути усложняется в разы. Ниже рассмотрим эти два алгоритма в случае, когда веса ребер принимают разные значения. [13]

1.3.1 Алгоритм Дейкстры

Алгоритм Дейкстры находит кратчайший путь между двумя данными вершинами в графе, если длины дуг неотрицательны.

Суть алгоритма Дейкстры состоит в следующем:

- каждой вершине графа присваивается вес. Вес вершины означает расстояние от данной вершины до исходной по некоторому пути. Изначально вес бесконечный для всех вершин, кроме исходной вершины;
- на каждом шаге алгоритм пытается уменьшить вес «соседей» текущей вершины. На первом шаге текущей является исходная вершина. Вершина с минимальным весом полагается текущей.
- когда текущей станет конечная вершина, алгоритм прекратит свое выполнение.

Рассмотрим реализацию алгоритма Дейкстры:

Пусть дан нагруженный граф, каждому ребру e которого поставлено в соответствие неотрицательное число $w(e)$, называемое длиной ребра. Длиной пути будем называть сумму длин ребер, входящих в этот путь. Требуется найти кратчайший путь между двумя вершинами s и t в графе с заданной матрицей длин ребер W , у которой элемент w_{ij} равен длине ребра соединяющего i -ую и j -ую вершины ($w_{ij} = \infty$, если вершины не связаны).

Построим алгоритм отыскания кратчайшего пути следующим образом:

1. Всем вершинам приписывается вес $\rho(v)$ - вещественное число; изначально $\rho(v) = \infty$ для всех вершин, кроме вершины s , а $\rho(s) = 0$. Все вершины

помечаются меткой $m=0$. Текущей вершиной u полагается вершина s , которая помечается меткой $m=1$.

2. Для всех вершин v которых $m=0$, пересчитываем вес по формуле:
$$\rho(v) = \min\{\rho(v), \rho(u) + w_{uv}\}.$$

3. Среди вершин, для которых $m=0$ ищем t , для которой вес $\rho(v)$ минимален, если минимум не найден, т.е. вес всех не "помеченных" вершин равен бесконечности, то путь не существует.

4. Найденную вершину t с минимальным весом полагаете текущей и помечаете $m=1$. Если $u=t$, то найден путь веса $\rho(t)$, иначе переходим на шаг 2.

Для доказательства алгоритма Дейкстры достаточно заметить, что алгоритм помечает вершины по мере их удаления от s . Вес каждой помеченной вершины есть кратчайший путь от s до нее. Сам кратчайший путь можно восстановить, если одновременно с пересчетом веса вершины отмечать вершину, предшествующую ей на кратчайшем пути.

С помощью алгоритма Дейкстры можно также находить расстояние от заданной вершины до остальных вершин графа. В этом случае алгоритм завершает работу, после того как все вершины будут помечены.

1.3.2 Алгоритм Флойда

Алгоритм Флойда находит кратчайшие пути между всеми парами вершин в графе. Пусть дан граф, заданный матрицей C порядка p длин ребер (если вершины не смежны, длина ребра бесконечна). В рассматриваемом алгоритме для хранения информации о путях используется матрица H порядка p , элементы которой, по окончании работы алгоритма, определяются как:

$$H[i, j] = \begin{cases} k, & \text{если } k \text{ — первая вершина, достигаемая на кратчайшем пути из } i \text{ в } j; \\ 0, & \text{если из } i \text{ в } j \text{ нет пути.} \end{cases}$$

Кроме того, матрица T порядка p , по окончании работы алгоритма, содержит информацию о длинах путей между вершинами

В начале работы алгоритма значения элементов матрицы T полагаются равными значениям соответствующих элементов матрицы C : $T[i, j] := C[i, j]$, $i = \overline{1, p}$, $j = \overline{1, p}$, а элементы матрицы H определяются как:

$$H[i, j] = \begin{cases} 0, & \text{нет дуги из } i \text{ в } j; \\ j, & \text{есть дуга из } i \text{ в } j. \end{cases}$$

Для каждой вершины i , $i = \overline{1, p}$, и каждой пары вершин j и k , $j = \overline{1, p}$, $k = \overline{1, p}$, ($i \neq j \neq k$) проверяется условие:

$$T[j, k] > T[j, i] + T[i, k]$$

Если данное условие выполняется, то найден более короткий путь из вершины j в вершину k через вершину i , запоминаем его: $H[j, k] := H[j, i]$ и его длину $T[j, k] := T[j, i] + T[i, k]$.

Применение алгоритма Флойда примерно на 50% менее трудоемко, чем применение алгоритма Дейкстры для всех пар вершин. [13]

1.4 Транспортная задача

Транспортная задача – задача об оптимальном плане перевозок продукта из пункта наличия в пункт потребления. Ее целью является доставка продукции в определенное время и место при минимальных совокупных затратах трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Она считается достигнутой, если нужный товар требуемого качества и в необходимом количестве доставляется в нужное время и в нужное место с минимальными затратами. Выделяют два типа транспортных задач: по критерию стоимости – план перевозок является оптимальным, если достигается минимум затрат на его реализацию; по критерию времени – план перевозок оптимален, если на него затрачивается минимальное количество времени. [5]

В статье [9] отмечены наиболее известные транспортные задачи. Так, например, классическая транспортная задача [9,11] заключается в развозке товара несколькими транспортными средствами определенному количеству потребителей.

Особое место в классе транспортных задач занимает задача коммивояжера [12], заключающаяся в нахождении самого выгодного маршрута, проходящего через заданные пункты.

1.5 Задача Коммивояжёра

Задача коммивояжера является одной из самых известных математических задач. Классическая постановка данной задачи заключается в том, что коммивояжер

(торговый агент) должен выйти из исходного пункта, посетить все остальные по одному разу и после этого вернуться в исходный пункт. Известны расстояния между всеми пунктами. Необходимо разработать оптимальный маршрут движения коммивояжера. При этом общее перемещение торгового агента должно быть минимальным.

Задачи коммивояжера различаются по типу графов, которые лежат в их основании. Так, существуют симметричные [6,7] и асимметричные [8] задачи коммивояжера. Также задачи коммивояжера делятся на статические и динамические, в зависимости от того, могут ли добавляться заказы в процессе работы алгоритма [9]. Решения в задаче могут искажаться в виде гамильтоновых [8] или негамильтоновых [10] циклов.

В [8] рассматривается следующая формулировка задачи. Курьер должен доставить товар в определенное число мест и вернуться в пункт отправления. Определить, в каком порядке он должен объехать клиентов, чтобы дорога заняла наименьшее время (все пункты посещаются один раз). В связи с тем, что данная работа посвящена решению задачи коммивояжера в условиях городского цикла, в ее основе лежит полный ориентированный граф. Это означает, что ребра существуют между каждой парой пунктов и «затраты» на проезд между двумя пунктами зависят от направления движения. Под затратами в данной и в других работах автора подразумевается время. Как уже было отмечено ранее, решение задачи ищется среди гамильтоновых циклов, то есть циклов, в которых не происходит повторного посещения пунктов.

Задача коммивояжера в общем случае не имеет эффективного алгоритма решения и требует полного перебора $p!$ возможных перестановок вершин (в случае полного графа).

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Тестирование алгоритма Дейкстры

Создадим таблицу для отслеживания кратчайшего расстояния до каждой вершины в графе, который изображен на рисунке 1 (табл. 1). Начальной обозначим вершину (1), конечной – (5).

При запуске алгоритма неизвестно, доступны ли все остальные вершины (2), (3), (4), (5) из начальной вершины (1). То есть, изначально, кратчайший путь от вершины (1) будет бесконечностью (∞). Для одной вершины кратчайший путь будет равен нулю. Самое короткое расстояние из вершины (1) до вершины (1) равно 0.

Для инициализации таблицы, понадобится еще одно действие: необходимо отслеживать посещаемость вершин, используя два массива: *visited* = [] и *unvisited* = [1, 2, 3, 4, 5]. Пока вершины не посещены они «живут» внутри массива *unvisited*.

Табл.1. Алгоритм Дейкстры, часть 1

Вершина	Вес/расстояние	Предыдущая вершина
1	0	-
2	∞	-
3	∞	-
4	∞	-
5	∞	-

Каждая вершина изначально имеет расстояние бесконечности (∞), кроме начальной (1). Следовательно, посещается вершина (1), так как она имеет наименьший вес 0.

Рассмотрим соседние вершины и рассчитаем расстояние до них. Расстояние до вершины (2) – это «вес (1)» плюс «вес до вершины (2)», то есть $0 + 7 = 7$. Аналогично, расстояние до вершины (3) – это «вес (1)» плюс «вес (3)», то есть $0 + 3 = 3$.

Вес между (1) и (3) меньше текущего известного кратчайшего веса, следовательно, значение расстояния обновляется. На данный момент самое минимальное расстояние от (1) до (2) – это ∞ , то же самое кратчайшее расстояния от (1) до (3). Так как $7 < \infty$ и $3 < \infty$, кратчайшее расстояние до вершины (2) равно 7, а до вершины (3) равно 3 (табл.2). Также обновятся массивы: *visited* = [1] и

$unvisite = [2, 3, 4, 5]$ и предыдущая вершина для (2) и (3), то есть вершина (1) (табл. 2).

Табл.2. Алгоритм Дейкстры, часть 2

Вершина	Вес/расстояние	Предыдущая вершина
(1)	0	-
(2)	7	(1)
(3)	3	(1)
(4)	∞	-
(5)	∞	-

Снова рассмотрим вершину с наименьшим весом, которая еще не была посещена. Вершина (3) имеет вес 3, который является наименьшим из всех не посещенных вершин. Таким образом, вершина (3) становится текущей вершиной.

Процедура повторяется: проверяем соседние не посещённые вершины для вершины (3) и вычисляем их кратчайшие пути от исходной вершины (1). Соседними для вершины (3), которые еще не посещены, являются (2) и (4). Расстояние до вершины (2) - это «вес (1)» плюс «вес от (3) до (2)», то есть $3 + 1 = 4$. Расстояние до вершины (4) – это «вес (1)»плюс «вес от (3) до (4)», то есть $3 + 2 = 5$.

Сравним полученные два кратчайших расстояния: расстояние до (4) равно бесконечности, следовательно, обновляется значение кратчайшего пути и становится равным 5. Расстояние до узла (2) в настоящее время равно 7, но нашелся более короткий путь до (2), который проходит через (3), и имеет вес, равный 4.

Так же добавим вершину (3) в качестве предыдущей для вершины (4). Следует обратить внимание, что вершина (2) уже имеет предыдущую вершину, так ранее был найден путь, который, как теперь известно, не самый короткий. Предыдущую вершину для узла (2) заменим вершиной (3), которая имеет более короткий путь. Также обновятся массивы: $visited = [1, 3]$ и $unvisite = [2, 4, 5]$.

Итак, обновим таблицу с более короткими путями (табл.3).

Табл.3. Алгоритм Дейкстры, часть 3

Вершина	Вес/расстояние	Предыдущая вершина
(1)	0	-
(2)	4	(3)

(3)	3	(1)
(4)	5	(3)
(5)	∞	-

Вершины (1) и (3) посещены. Следующая для посещения вершина, которая имеет наименьший вес, является вершина (2) с весом 4. Проверим ее соседние вершины (она имеет только одну вершину (5)), и вычислим расстояние до (5), от исходной вершины, через текущую вершину (2).

Суммируя «вес (2)» с «весом от (2) до (5)», получим, что вес равен $4 + 6 = 10$.

Таким образом, формируем итоговую таблицу и получаем общий вес, который равен 10 (табл. 4).

Итоговые массивы: $visited = [1, 3, 2]$ и $unvisite = [4, 5]$.

Табл.4. Алгоритм Дейкстры, часть 4

Вершина	Вес/расстояние	Предыдущая вершина
(1)	0	-
(2)	4	(3)
(3)	3	(1)
(4)	5	(3)
(5)	10	(2)

Можно сделать вывод, что независимо от того, какая вершина выбрана, всегда суммируется кратчайшее известное расстояние от начала до текущей вершины. Таким образом, $6 + 4 = 10$ – это кратчайшее известное расстояние до вершины (5) от начальной вершины (1).

2.2 Сбор данных и построение графа

Для сбора данных для дипломной работы было необходимо измерить расстояния каждого квартала выбранной для исследования местности города Томска. Измерения проводились несколькими способами:

- с использованием Яндекс.Карты, через вычисление масштаба;
- в реалии измерения проводились на местности, с использованием Шагомера.

Вес ребрам присваивался после измерения расстояния (S) между вершинами (100 метров = 1).

Для удобства расчета времени, учитывается скорость (u) курьера, с использованием измеренного расстояния:

$$t = \frac{S}{10 * u} * 60.$$

Граф построен с использованием сайта graphonline.ru (прил. 6). Для построения точного графа, необходимо было внести все вершины исследуемого района, соединить их (ребра) и присвоить вручную вес каждому ребру.

2.2.1 Подграфы для регулируемых перекрестков

Для учета времени преодоления регулируемых перекрестков со светофорами были предложены следующие модели подграфов для данных перекрестков.

Модель 1. Простейшая модель для перекрестков со светофором, где переход улицы возможен только в одном направлении (для упрощения модели рассматриваем светофор только с двумя цветами – зеленый / красный). Пусть зеленый свет на данном светофоре горит a минут, а красный b минут (рис. 3).



Рис. 3. Граф, рассматриваемый в модели 1.

Учитывая, что курьер с равной вероятностью может подойти к перекрестку в любой момент времени, то с вероятностью $\frac{a}{a+b}$ он попадет на зеленый, а с вероятностью $\frac{b}{a+b}$ на красный свет. Среднее время ожидания, при условии, что он попал на красный, будет равно $\frac{b}{2}$, следовательно, в общем случае среднее время ожидания будет равно:

$$\frac{a}{a+b} * 0 + \frac{b}{a+b} * \frac{b}{2} = \frac{b^2}{2(a+b)}. \quad (1)$$

Если длина ребра перехода равна d (в минутах), то длина ребра (измеренная в минутах), с учетом времени ожидания будет равна:

$$\frac{b^2}{2(a+b)} + d. \quad (2)$$

Модель 2. Для перекрестков со светофорами, на которых есть возможность двигаться в двух направлениях, причем предполагается, что всегда есть зеленый свет для движения в одном из направлений (для упрощения модели по-прежнему рассматриваем светофор только с двумя цветами – зеленый/красный) (рис. 4).

Предполагается, что для одного из направлений зеленый и красный горят a и b минут, для другого направления, соответственно, b и a минут.

Пусть в требуемом направлении движения для заданного ребра, например, $1 \rightarrow 2$ (рис. 4) красный свет горит b минут. Учитывая, что курьер с равной вероятностью может подойти к перекрестку в любой момент времени, то с вероятностью $\frac{a}{a+b}$ он попадет на зеленый, а с вероятностью $\frac{b}{a+b}$ на красный свет.

Среднее время ожидания, при условии, что он попал на красный, будет равно $\frac{b}{2}$, следовательно, в общем случае среднее время ожидания будет вычисляться по формуле (1).

Соответственно, среднее время ожидания для второго направления, ребра $1 \rightarrow 4$ (рис. 4):

$$\frac{b}{a+b} * 0 + \frac{a}{a+b} * \frac{a}{2} = \frac{a^2}{2(a+b)}. \quad (3)$$

Если длины ребер для заданных направлений равны d_1 и d_2 (в минутах), то итоговые длины ребер (измеренные в минутах), с учетом времени ожидания будут равны:

$$\frac{b^2}{2(a+b)} + d_1 \text{ и } \frac{a^2}{2(a+b)} + d_2. \quad (4)$$

Если требуется преодолеть перекресток по двум направлениям $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ или $1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$, то в одном из направлений будет обязательно гореть зеленый, следовательно, курьер может сразу выбрать это направление, не тратя время на ожидание. Пусть это ребро $1 \rightarrow 2$. На прохождение данного ребра курьер тратит d_1 минут, соответственно можно считать, что время, когда горит красный для ребра $2 \rightarrow 3$, уменьшается на d_1 минут. Таким образом, среднее время ожидания для данного варианта преодоления перекрестка будет равно: $\frac{(a-d_1)}{2}$ (предполагается, что

$a > d_1$). Аналогично, если зеленый горит в направлении ребра $1 \rightarrow 4$, среднее время ожидания составит $\frac{(a-d_2)}{2}$ ($a > d_2$). С учетом вероятностей красного и зеленого сигналов светофора, среднее время ожидания для направления $1 \rightarrow 3$ составит:

$$\frac{a}{a+b} * \frac{a-d_1}{2} + \frac{b}{a+b} * \frac{b-d_2}{2}. \quad (5)$$

Формула (5), естественно, справедлива при условии: $a > d_1, b > d_2$. Если это не так, то соответствующая величина полагается равной нулю. В итоге получаем длину ребра $1 \rightarrow 3$, измеренную в минутах:

$$\frac{a}{a+b} * \frac{a-d_1}{2} + \frac{b}{a+b} * \frac{b-d_2}{2} + d_1 + d_2. \quad (6)$$

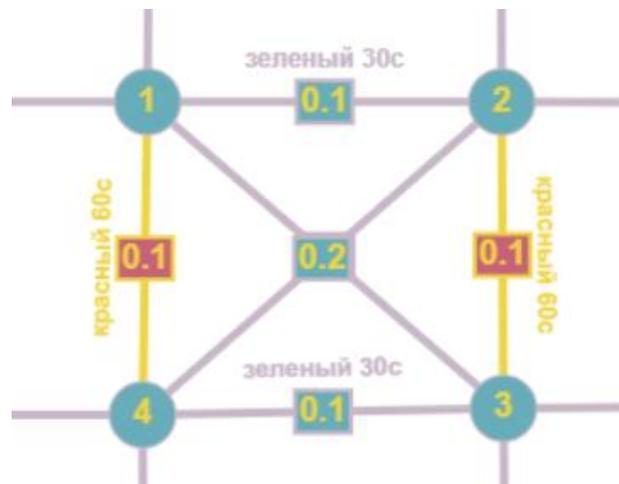


Рис. 4. Граф, рассматриваемый в модели 2.

Модель 3 (рис. 5). Предполагает усеченный вариант предыдущей модели – полный граф с тремя вершинами. Интерес представляет направление $1 \rightarrow 3$, которое соответствует переходу по двум светофорам. Среднее время ожидания для ребра $1 \rightarrow 2$, согласно модели 1: $\frac{b^2}{2(a+b)}$. Среднее время ожидания для ребра $2 \rightarrow 3$, согласно модели 2: $\frac{a-d_1}{2}$. Тогда среднее время ожидания для ребра $1 \rightarrow 3$: $\frac{b^2}{2(a+b)} + \frac{a-d_1}{2}$. В итоге получаем длину ребра $1 \rightarrow 3$, с учетом времени ожидания:

$$\frac{b^2}{2(a+b)} + \frac{a-d_1}{2} + d_1 + d_2 = \frac{b^2}{2(a+b)} + \frac{a+d_1}{2} + d_2. \quad (7)$$

Заметим, что в направлении $3 \rightarrow 1$, с учетом изложенного длина ребра составит:

$$\frac{a^2}{2(a+b)} + \frac{b-d_2}{2} + d_1 + d_2 = \frac{a^2}{2(a+b)} + \frac{b+d_2}{2} + d_1, \quad (8)$$

что в общем случае не совпадает с длиной ребра в направлении $1 \rightarrow 3$. Следовательно, граф будет иметь два ориентированных ребра $1 \rightarrow 3$ и $3 \rightarrow 1$, разной длины.

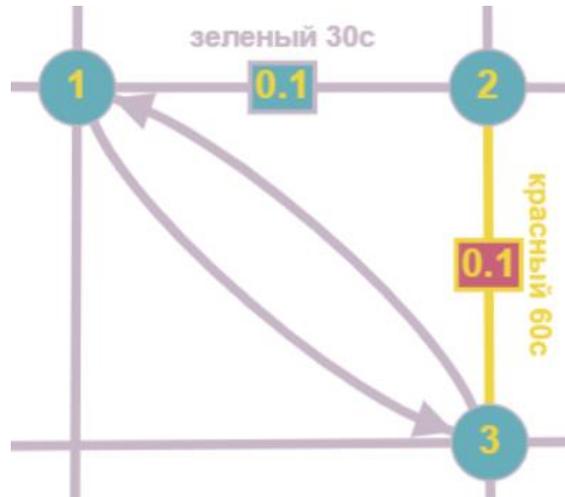


Рис. 5. Граф, рассматриваемый в модели 3.

Модель 4. Для перекрестков, где зеленый (красный) горит для всех направлений одновременно и, возможно, допускается переход по диагонали (рис. 4).

Пусть зеленый свет на данном светофоре горит a минут, а красный b минут. Среднее время ожидания для всех направлений будет равно (согласно модели 1):

$\frac{b^2}{2(a+b)}$. Тогда длины всех ребер, с учетом времени ожидания: $1 \rightarrow 2: \frac{b^2}{2(a+b)} + d_1$,

$1 \rightarrow 4: \frac{b^2}{2(a+b)} + d_2$, $1 \rightarrow 3: \frac{b^2}{2(a+b)} + \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$.

2.3 Алгоритм построения оптимального маршрута курьера

Рассмотрим следующую общую постановку задачи:

Курьер, находящийся в вершине v_1 , получает k -заказов, которые надо доставить в вершины w_1, w_2, \dots, w_k , причем предполагается, что j -ый заказ надо забрать из пунктов (вершин) $h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn_j}$, $j = \overline{1, k}$.

В работе были предложены следующие алгоритмы построения оптимального маршрута:

Алгоритм 1. Быстрый алгоритм построения маршрута, близкого к оптимальному.

1. Формируем список вершин формирования заказов $V = \{h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n_1}, h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2n_2}, \dots, h_{k1}, h_{k2}, \dots, h_{kn_k}\}$. Список вершин, помимо номеров вершин, содержит также метки вершин, определяющие номер заказа и подзаказа. То есть, принадлежность вершины к заказу определяется по меткам, а не по расположению в списке. Список может содержать повторяющиеся номера вершин, которые относятся к разным заказам.

2. Полагаем вершину v_1 текущей вершиной t . Из списка вершин $V = \{h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n_1}, h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2n_2}, \dots, h_{k1}, h_{k2}, \dots, h_{kn_k}\}$, используя алгоритм Дейкстры, определяем ближайшую вершину к вершине t (пусть это вершина s), и, соответственно, кратчайший маршрут от t до s .

3. Исключаем вершину s из списка вершин (причем исключаем все вхождения вершины s в список V - как уже отмечалось выше, вершины, где формируются заказы для разных клиентов, могут совпадать). При этом, исключая вершину $h_{ji} = s$, проверяем, что список оставшихся вершин V содержит хотя бы одну вершину из списка вершин $\{h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn_j}\}$ формирования j -го заказа. Если таких вершин нет, добавляем в список V вершину w_j (вершину, соответствующую пункту доставки j - го заказа). Вершины w_j имеют свои метки, позволяющие их отличить от вершин h_{ji} .

4. Полагаем вершину s текущей вершиной t . Находим ближайшую вершину s к вершине t из списка V и, соответственно, находим кратчайший маршрут до этой вершины.

5. Повторяем пункты 3 и 4 до тех пор, пока список вершин V не станет пустым.

Кроме того, при построении алгоритма следует учесть то, что курьер может забрать заказ (часть заказа) не из одного, а из разных пунктов. Различные вершины, такие что, в маршруте должна присутствовать одна и только одна из них, будем

называть “подобными”. Проблему “подобных” вершин предлагается решить следующим способом:

1. Все “подобные” вершины добавляются в общий список вершин $\{h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jn_j}\}$ для j -го заказа, причем каждая из таких вершин помечается одной и той же меткой.

2. При удалении вершины из списка в пункте 2 алгоритма 1 считывается метка вершины, находятся все подобные вершины и удаляются из списка вершин.

Алгоритм 2. Точный алгоритм построения кратчайшего маршрута на основе перебора всех возможных вариантов.

1. Формируем список всех вершин, включая в него все “подобные” вершины и одинаковые вершины, но относящиеся к разным заказам: $V = \{v_1, h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n_1}, h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2n_2}, \dots, h_{k1}, h_{k2}, \dots, h_{kn_k}, w_1, w_2, \dots, w_k\}$.

2. Используя алгоритм Дейкстры, определяем минимальные расстояния между всеми парами вершин из списка вершин $V = \{v_1, h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n_1}, h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2n_2}, \dots, h_{k1}, h_{k2}, \dots, h_{kn_k}, w_1, w_2, \dots, w_k\}$, кроме пар “подобных” вершин и пар $\{(v_1, w_1), \dots, (v_1, w_k)\}$, и находим соответствующие маршруты. Расстояние между одинаковыми вершинами полагается, естественно, равным нулю.

3. Формируем все возможные перестановки (маршруты) Q из списка вершин $V / v_1 = \{h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n_1}, h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2n_2}, \dots, h_{k1}, h_{k2}, \dots, h_{kn_k}, w_1, w_2, \dots, w_k\}$ с длиной, равной длине маршрута минус единица. Длина маршрута определяется из условий: 1) маршрут содержит все вершины, необходимые для построения каждого заказа (если какая-то вершина присутствует в нескольких заказах, она войдет в маршрут соответствующее число раз); 2) из каждой совокупности “подобных” вершин в маршруте может присутствовать одна и только одна. Дублирование в маршруте одинаковых вершин, соответствующих разным заказам необходимо для того, чтобы отслеживать корректность построения маршрута.

4. Исключаем из списка перестановок все недопустимые. Условия корректности перестановки (маршрута): 1) маршрут содержит все вершины,

необходимые для построения каждого заказа (если какая-то вершина присутствует в нескольких заказах, она должна войти в маршрут соответствующее число раз); 2) из каждой совокупности “подобных” вершин в маршруте присутствует одна и только одна; 3) вершина, соответствующая пункту доставки заказа, не может быть в маршруте раньше вершин формирования заказа.

5. Вычисляя длины для всех оставшихся перестановок (маршрутов), выбираем оптимальный маршрут, соответствующий минимальной длине пути.

2.4 Тестирование алгоритма при различном числе заказов на одного курьера

Пример 1. Курьер может взять одновременно два заказа:

1) клиент №1 заказывает Овсяную кашу из Территории кофе и Чизбергер из Макдоналдса;

2) клиент №2 заказывает Сэндвич свинина-барбекю из Subway.

Для начала необходимо определить нужные вершины (адреса, где находятся курьер, заказчик №1, заказчик №2, пункты приобретения заказов) с помощью документа адреса.xlsx, в котором каждой вершине присвоен адрес и заведение (рис. 5):

- курьер находится по адресу проспект Ленина, 17 / Учебная улица, 20 (вершина v1 – 136);
- Территория кофе имеет две точки и два адреса (вершина v2 – 116 и вершина v3 – 249);
- Subway имеет вершину v4 – 228;
- Макдоналдс имеет вершину v5 – 354;
- клиент №1 совершил заказ на адрес улица Вершинина, 48 (вершина v6 – 225);
- клиент №2 совершил заказ на адрес улица Усова, 15 (вершина v7 – 189).

Вершина	Адрес	Организации в здании
136	Учебная улица, 20 / проспект Ленина, 17	Мир суши, barbarista coffee, Кремэль,
116	улица Усова, 9Б	Территория Кофе
249	проспект Ленина, 1	Территория Кофе, Антонов Двор, Сибирские блины, Мери Поппинс, Вышка
354	Красноармейская улица, 123А	Макдоналдс
228	Учебная улица, 48Д	СмайлCity, FOOD CITY, Subway, Суши Make, COFFEE, PLEASE!, 33 пингвина, Apels, Сибирские блины,
225	улица Вершинина, 48	Студенческое общежитие
189	улица Усова, 15	Жилой дом

Рис. 5. Нахождение вершины в Excel по адресу и названию заведения

Проверим работу алгоритма 1 на примере графа из прил. 6.

Алгоритм нахождения кратчайшего пути для курьера доставки Яндекс.Еда реализован в программе Wolfram mathematica (прил. 1). В алгоритме рассмотрен пример, когда курьер выполняет два заказа одновременно, при этом пунктов сбора заказов больше двух.

Последовательные действия курьера после начала движения от дома по адресу Ленина 17 (v1) – вершина 136:

- 1) первый пункт, который он посетит, будет Территория кофе (v3) – вершина 249;
- 2) далее направится в Subway (v4) – вершина 228;
- 3) затем последует в Макдоналдс (v5) – вершина 354;
- 4) ближайший заказчик, к которому отправится курьер (клиент №1), находится на Вершинина 48 (v6) – вершина 225;
- 5) конечный пункт (клиент №2) Усова 15 (v7) – вершина 189.

Кратчайшим путем курьер двигался 44,4 минуты, за это время он доставил два заказа пешком. На велосипеде данный путь курьер преодолет за 22,2 минуты.

Наглядная реализация алгоритма 1 представлена на графе (рис. 6).

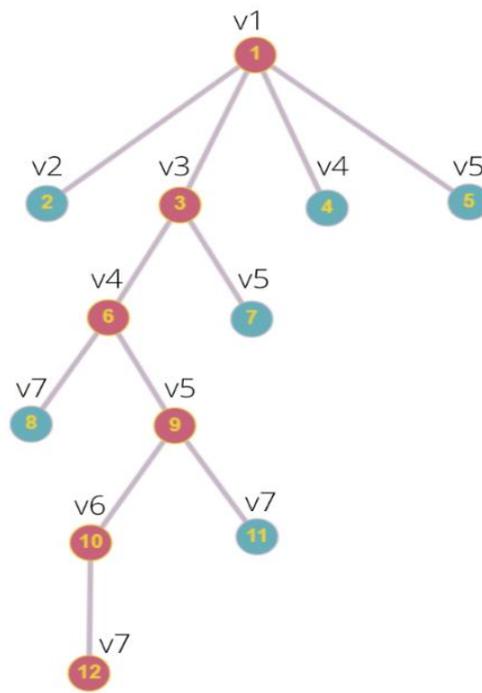


Рис. 6. Граф, описывающий алгоритм 1 кратчайшего маршрута курьера.

Проверим работу алгоритма 2 на том же примере графа из прил. 6.

Алгоритм реализован в программе Wolfram mathematica (прил. 2). В алгоритме рассмотрен тот же пример.

Последовательные действия курьера после начала движения по адресу Ленина 17 (v1) – вершина 136:

- 1) Территория кофе (v3) – вершина 249;
- 2) Макдоналдс (v5) – вершина 354;
- 3) Subway (v4) – вершина 228;
- 4) клиент №1, Вершинина 48 (v6) – вершина 225;
- 5) клиент №2, Усова 15 (v7) – вершина 189.

Полученный маршрут курьер преодолеет за 42 минуты, за это время он доставит оба заказа. На велосипеде данный путь курьер преодолеет за 21 минуту.

Наглядная реализация алгоритма 2 представлена на графе (рис. 7).

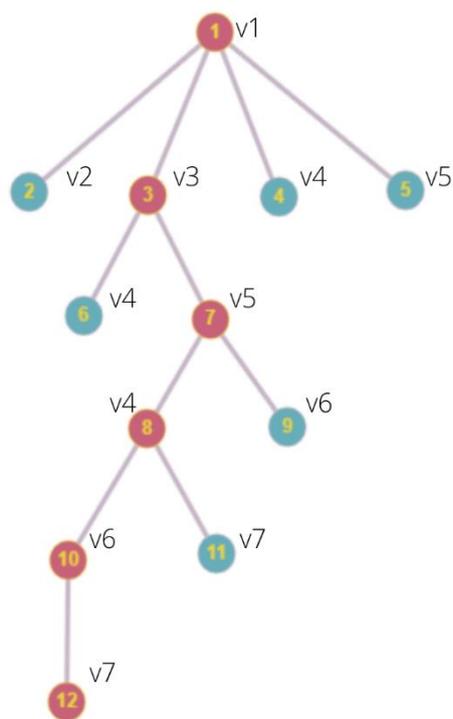


Рис. 7. Граф, описывающий алгоритм 2 кратчайшего маршрута курьера.

Пример 2. Курьер может взять одновременно два заказа:

- 3) клиент №1 заказывает Шаурму из кафе «Вышка» и бургер из «КФС»;
- 4) клиент №2 заказывает Суши из «Мир суши» и чизбургер из Макдоналдса.

Также определяем нужные вершины (адреса, где находятся курьер, заказчик №1, заказчик №2, пункты приобретения заказов) при помощи документа адреса.xlsx, (рис. 8):

- курьер находится по адресу Советская улица, 89 (вершина v1 – 43);
- КФС имеет вершину v2 – 250;
- Вышка имеет две точки и два адреса (вершина v3 – 166 и вершина v4 – 249);
- Мир суши имеет вершину v5 – 136;
- Макдоналдс имеет вершину v6 – 354;
- клиент №1 совершил заказ на адрес улица Котовского, 3 (вершина v7 – 345);

- клиент №2 совершил заказ на адрес проспект Ленина, 25 (вершина v8 – 133).

Вершина	Адрес	Организации в здании
43	Советская улица, 89	Жилой дом
250	проспект Ленина, 1В	Мама, я дома!, КФС, КФС, Кухня
166	улица Усова, 11А / улица Усова, 11Б	Doner Master, Вышка
249	проспект Ленина, 1	Территория Кофе, Антонов Двор, Сибирские блины, Мери Поппинс, Вышка
136	Учебная улица, 20 / проспект Ленина, 17	Мир суши, barbarista coffee, Кремэль,
354	Красноармейская улица, 123А	Макдоналдс
345	улица Котовского, 3	Жилой дом
133	проспект Ленина, 25	Жилой дом

Рис. 8. Нахождение вершины в Excel по адресу и названию заведения

Проверим работу алгоритма 1 на примере графа из прил. 6.

Алгоритм нахождения кратчайшего пути для курьера доставки Яндекс.Еда реализован в программе Wolfram mathematica (прил. 4). В алгоритме рассмотрен пример, когда курьер выполняет два заказа одновременно, при этом пунктов сбора заказов больше двух.

Последовательные действия курьера после начала движения от дома по адресу Советская 89 (v1) – вершина 43:

1. первый пункт, который он посетит, будет Мир суши (v5) – вершина 136;
2. далее направится в Вышку (v4) – вершина 249;
3. затем направится в КФС (v2) – вершина 250;
4. ближайший заказчик, к которому отправится курьер (клиент №1), находится на Котовского 3 (v7) – вершина 345 (заказ полностью собран);
5. затем последует в Макдоналдс (v6) – вершина 354;
6. конечный пункт (клиент №2) Ленина 25 (v8) – вершина 133.

Кратчайшим путем курьер двигался 54,12 минуты, за это время он доставил оба заказа. На велосипеде данный путь курьер преодолеет за 27,06 минуты.

Наглядная реализация алгоритма 1 представлена на графе (рис. 9).

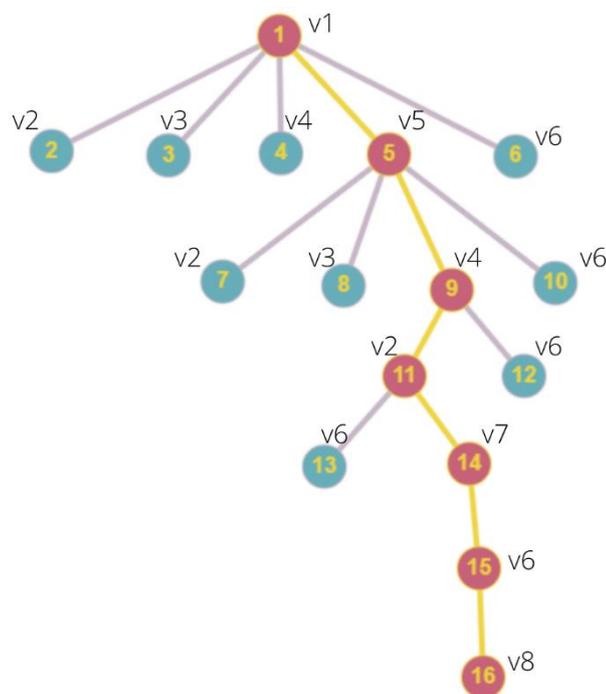


Рис. 9. Граф, описывающий алгоритм 1 кратчайшего маршрута курьера.

Проверим работу алгоритма 2 на том же примере графа из прил. 6..

Алгоритм реализован в программе Wolfram mathematica (прил. 2). В алгоритме рассмотрен тот же пример.

Последовательные действия курьера после начала движения с адреса Советская 89 (v1) – вершина 43:

1. Вышка (v4) – вершина 249;
2. КФС (v2) – вершина 250;
3. клиент №1, Котовского 3 (v7) – вершина 345;
4. Макдоналдс (v6) – вершина 354;
5. Мир суши (v5) – вершина 136;
6. клиент №2, Ленина 25 (v8) – вершина 133.

Полученный маршрут курьер преодолеет за 51,72 минуты, за это время он доставит оба заказа. На велосипеде данный путь курьер преодолеет за 25,86 минуты.

Наглядная реализация алгоритма 2 представлена на графе (рис. 10).

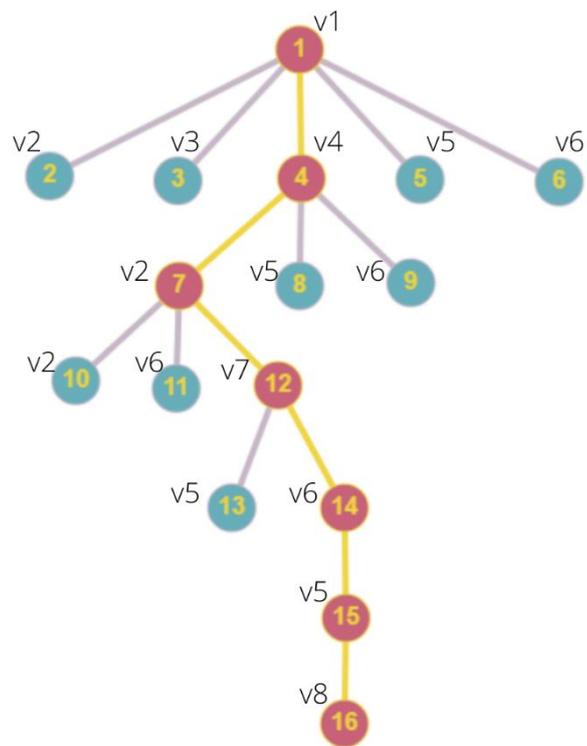


Рис. 10. Граф, описывающий алгоритм 2 кратчайшего маршрута курьера.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выполнение грамотной научно-исследовательской работы требует наличия экономической оценки всех её элементов: как объекта исследования, так и методов, которые для этого используются. Целью данного раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов нахождения оптимального пути курьера при заказах в системе Яндекс в некоторой части города Томска. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести SWOT-анализ;
- определить эффективность исследования
- провести планирование научно-исследовательской работы;
- произвести расчёт бюджета научно-исследовательской работы;
- составить оценку научно-технического эффекта.

3.1 Организация и планирование работы

При организации процесса реализации данного исследования необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Так как число исполнителей редко превышает двух в большинстве случаев, то для наглядного результата чаще пользуются линейным графиком. Для построения такого графика приведем в таблице 5 перечень работ и занятость исполнителей.

Таблица – 5. Перечень работ и продолжительность их выполнения

№ Этапа	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель	НР – 100%
2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель, студент	НР – 100% С – 10%
3	Подбор и изучение материалов по тематике	Научный руководитель, студент	НР – 50% С – 100%

4	Разработка календарного плана	Научный руководитель, студент	НР – 100% С – 10%
5	Обсуждение литературы	Научный руководитель, студент	НР – 30% С – 100%
6	Написание программы	Студент	С – 100%
7	Тестирование программы	Студент	С – 100%
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	Студент	С – 100%
9	Оформление графического материала	Студент	С – 100%
10	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент	НР – 60% С – 100%

3.1.1 Продолжительность этапов работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (9)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 8 работ, требуется группа специалистов из следующего состава:

- Студент (С), соискатель степени бакалавра;
- Научный руководитель (НР).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{рд}$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Так, для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные

дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$) ведется по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (10)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель). Возьмем значение $K_{д} = 1$.

Продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе представлена в таблице 6.

Таблица – 6. Временные показатели проведения научного исследования

№ Этапа	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ, дни			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	С	НР	С
1	Научный руководитель	1	2	1,6	1,6	-	1,92	-
2	Научный руководитель, студент	5	10	7	7	0,7	8,4	0,84
3	Научный руководитель, студент	10	15	12	6	12	7,2	14,4
4	Научный руководитель, студент	5	10	7	7	0,7	8,4	0,84
5	Научный руководитель, студент	1	2	1,6	1,6	0,48	1,92	0,58
6	Студент	15	20	17	-	17	-	20,4
7	Студент	3	5	3,8	-	3,8	-	4,56
8	Студент	10	20	14	-	14	-	16,8
9	Студент	1	2	1,6	-	1,6	-	1,92
10	Научный руководитель, студент	5	10	7	4,2	7	5,04	8,4
Итого:				72,6	27,4	57,28	32,88	68,74

3.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

Выполнение ВКР является небольшим по объему исследованием, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Так, построим ленточный график. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (11)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, который определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (12)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$ для при шестидневной рабочей недели);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,20.$$

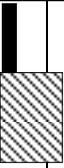
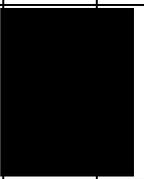
Таким образом, коэффициент календарности $T_{\text{К}}$ равен 1,20.

Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта.

Пример построения линейного графика приведен в таблице 7.

Таблица – 7. Линейный график работ

Этап	Вид работ	НР	С	Продолжительность выполнения работ															
				март			апрель			май									
				10	20	30	10	20	30	10	20	30							

1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	1,92	-										
2	Составление и утверждение ТЗ	8,4	0,84										
3	Подбор и изучение материалов по тематике	7,2	14,4										
4	Разработка календарного плана	8,4	0,84										
5	Обсуждение литературы	1,92	0,58										
6	Написание программы	-	20,4										
7	Тестирование программы	-	4,56										
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	-	16,8										
9	Оформление графического материала	-	1,92										
10	Анализ полученных результатов	5,04	8,4										

 – Научный руководитель;

 – Студент.

3.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью SWOT- анализа

является предоставление возможности оценки риска и конкурентоспособности компании или товара в данной отрасли производства.

Методика SWOT-анализа необходима, для того, чтобы определить наиболее прозрачное на положение компании, продукции или услуги в данной отрасли.

Приведем матрицу SWOT-анализа для поиска оптимального пути курьера в некоторой части города Томска (табл. 8).

Таблица – 8. Матрица SWOT - анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Высокая степень систематичности доставки еды.</p> <p>С2. Грамотно выстроена логистика.</p> <p>С3. Увеличение прибыли за счет большего количества заказов.</p>	<p>Сл1. Необходимость учитывать возможное изменение маршрута.</p> <p>Сл2. Учитывать свежесть еды, в зависимости от времени в пути курьера.</p>
Возможности	В1С2	В1Сл2
<p>В1. Увеличение заказов на доставку в разные районы города.</p> <p>В2. Повышение финансовой стабильности.</p>	<p>Расширение работы доставки по разным районам города.</p> <p>В3С3</p> <p>Предусмотрение любого вида передвижения.</p>	<p>Для доставки скоропортящихся продуктов использовать транспорт.</p>
Угрозы	У1У2С1	У1Сл1
<p>У1. Финансовые кризисы.</p> <p>У2. Возможные конкуренты.</p> <p>У3. Непредвиденные погодные изменения.</p>	<p>Обеспечение защиты персонала.</p> <p>У3С1С2С3</p> <p>Обеспечение конкуренции с помощью маркетинга.</p>	<p>Доставка еды в определенные сроки.</p> <p>У2Сл2</p> <p>Предоставление необходимого оборудования для доставки скоропортящейся еды.</p>

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными в сложившейся ситуации представляются следующие стратегии:

- необходимо грамотно выстроить логистику доставки. Это, в свою очередь обеспечит рост объемов инвестиций в российские ценные бумаги;

- необходимо обеспечить персонал оборудованием.

3.3 Анализ конкурентных решений

Основной целью программы является нахождение кратчайшего пути для курьера. Такая цель может достигаться путем расчета расстояний и грамотно выстроенной логистики. Чем быстрее доставлен заказ, тем выше конкурентоспособность. Грамотно выстроенная логистика позволит компании выполнять большее количество заказов. Анализ конкурентных решений представлен в Таблице 9.

Для оценочной карты среди критериев, используемых при решении транспортных задач, рассмотрим:

- своевременность доставки;
- продолжительность доставки;
- потери продуктов в процессе транспортировки;
- обеспечение транспортным средством;
- себестоимость доставки;
- прибыль компании;
- критерий оптимальности.

Таблица 9. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		К ₁ (Самовывоз)	Ф (Доставка)	К ₂ (Кафе)	К ₁ Самовывоз	Ф Доставка	К ₂ Кафе
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Своевременность	0,1	2	4	4	0,9	1,8	1,8
2. Продолжительность	0,25	3	5	2	0,76	1,25	0,5
3. Потери продуктов	0,06	5	5	5	0,75	0,75	0,75
4. Обеспечение транспортным средством	0,45	5	5	3	0,25	0,25	0,15
5. Себестоимость доставки	0,04	5	4	2	0,2	0,18	0,08

6. Прибыль компании	0,05	5	5	2	0,15	0,16	0,08
7. Оптимальность	0,05	5	5	4	0,15	0,15	0,11
Итого	1	30	33	22	3,16	4,54	3,47

Позиция разработки оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Анализ конкурентных решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность решения или конкурента, B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, можно сделать вывод, что по многим показателям доставка еды является более предпочтительным, чем другие варианты (значение 4,54 является максимальным).

3.4 Потенциальные потребители результатов исследований

В процессе написания выпускной квалификационной работы были определены следующие потенциальные потребители разработанного продукта. К ним можно отнести физические лица, которые заказывают на дом еду, офисные работники и тд. В свою очередь, эту группу можно разделить по следующим признакам: адрес доставки, количество точек сбора заказа, расстояние.

Написана программа, состоящая из алгоритмов, способствующих выявлению кратчайшего пути. Однако, прежде чем составить маршрут курьеру, необходимо учесть его местонахождение, адрес пункта сбора заказа и расстояние от заведения, где он забирает заказ до адресата. Для этого проведем классификацию потенциальных клиентов (табл. 10).

Таблица 10. Группы клиентов в зависимости от количества точек сбора заказа и расстояния

Группы заказов	Цель доставки
Группа 1 Одна точка сбора заказа	Забрать заказ и в скором времени доставить клиенту
Группа 2 Две и более точек сбора заказа	Учитывая правила логистики, поиск кратчайшего пути до ближайшего места сбора заказа, затем до следующего рядом находящегося сбора заказа и так далее, и в скором времени доставить клиенту

3.5 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- Материалы и покупные изделия;
- Заработная плата;
- Социальный налог;
- Расходы на электроэнергию (без освещения);
- Амортизационные отчисления;
- Оплата услуг связи;
- Прочие (накладные расходы) расходы.

3.5.1 Расчет материальных затрат

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом исследования.

Покажем отражение стоимости всех материалов, используемых при работе над проектом, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, доставку. Расчет затрат на материалы производится по форме, приведенной в таблице 11.

Таблица – 11. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед, руб.	Сумма, руб
Бумага	Пачка	1	300	300
Канцелярские принадлежности	шт.	5	100	500
Картридж для принтера	шт.	1	3000	3000
Итого:				3800

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 3\,800 * 1,05 = 3\,990 \text{ руб.}$$

3.5.2 Расчет заработной платы для исполнителей

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (13)$$

Учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 9. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 6. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ГР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица – 12. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная тарифная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	1342,09	28	1,699	63 845,9
С	15470	616,75	58	1,62	57 949,83
Итого:					121795,73

3.5.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30,2 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{соц.} = C_{зп} * 0,302$.

Итак, в нашем случае:

$$C_{соц} = 121\,795,73 * 0,302 = 36\,782,31 \text{ руб.}$$

3.5.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} * t_{об} * ЦЭ, \quad (14)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ ЦЭ = 5,748 руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 6 для студента (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} * K_t, \quad (15)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени. Возьмем его равным 1.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} * K_C, \quad (16)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 13.

Таблица – 13. Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	464	0,3	800,12
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			801,27

3.5.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (17)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г. (299 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_D = 299 * 8 = 2392$ часа.

Для принтера из справочника $F_D = 500$ часов.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для ПК найдем $N_A = 0,4$. Для принтера $N_A = 0,5$.

Стоимость ПК= 20 000 рублей. Время использования 304 часа, тогда для него:

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 * 20\ 000 * 464 * 1}{2392} = 1551,84 \text{ руб.}$$

Стоимость принтера 5000 руб. Время использования 2 часа, тогда для него:

$$C_{AM}(ПР) = \frac{0,5 * 5\ 000 * 2 * 1}{500} = 10 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации 1 561,84 руб.

3.5.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зд}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}}) * 0,1 \quad (181)$$

Для нашего примера это:

$$C_{\text{проч}} = (3\,990 + 121\,795,73 + 36\,782,31 + 801,12 + 1\,561,84) * 0,1 = 16\,495,1 \text{ руб.}$$

3.5.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта. Данные результаты можно посмотреть в таблице 14.

Таблица – 14. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	3 990
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	121 795,73
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	36 782,31
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	801,12
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	1 561,84
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	16 495,1
Итого:		181 424,1

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 181\,424,1$ руб.

3.5.8 Расчет прибыли

Прибыль примем в размере 10 % от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 18142,41 руб. (10 %) от расходов на разработку проекта.

3.5.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае:

$$\text{НДС} = (181\,424,1 + 18\,142,41) * 0,2 = 39\,913,3 \text{ руб.}$$

3.5.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 181\,424,1 + 18\,142,41 + 39\,913,3 = 239\,479,81 \text{ руб.}$$

3.6 Оценка научно-технического эффекта

Социально-научный эффект проявляется в росте числа открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения выпускной квалификационной работы, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных исследований и выполнения работа по модернизации конструкций выпускаемых изделий.

За последние годы появились предложения не только по качественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует считать определение научно-технического эффекта бакалаврской работы по следующей методике. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта ВКР:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i * k_i$$

где r_i – весовой коэффициент i -го признака (определяющийся по Таблице 18); k_i – количественная оценка i -го признака.

Проведем расчет коэффициента научно-технического эффекта ВКР (табл. 15).

Таблица 15. Определение весового коэффициента

Признак научно-технического эффекта ВКР(i)	Применение значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны ВКР определяется на основе значений таблицы 16.

Таблица 16. Количественная оценка уровня новизны ВКР

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
----------------------------	-------------------------------	-------

Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8-10
Новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5-7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2-4
Традиционная	Работа выполнена по традиционной методике, результаты исследования носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который ранее был известен	0

Для данной выпускной квалификационной работы уровень новизны – относительно новая, баллы – 3.

Теоретический уровень полученных результатов выпускной квалификационной работы определяется на основе значения баллов, приведенных в таблице 17.

Таблица 17. Теоретический уровень полученных результатов в ВКР

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установления закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	8
Разработка способа (алгоритм, программ мероприятий, устройство, и т.д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии, или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств, отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5

В данной ВКР был разработан способ нахождения кратчайшего пути, следовательно, теоретический уровень полученных результатов равен 6 баллам.

Возможность реализации научных результатов определяется на основе значения баллов из таблицы 18.

Таблица 18. Время и масштабы реализации проекта

Время реализации	Баллы
------------------	-------

В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль(министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: Баллы по времени и масштабам реализации складываются	

Способ нахождения кратчайшего пути можно реализовать в течение первых лет (10 баллов), однако реализовать его можно только на одно или несколько предприятий (2 балла).

Рассчитаем коэффициент научно-технического эффекта:

$$N_{\text{т}} = 0,8 * 3 + 0,4 * 6 + 0,2 * 12 = 7,2$$

Приведем таблицу оценок уровня научно-технического эффекта.

Таблица 19. Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Коэффициент научно-технического эффекта
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

В соответствии с таблицей 19, уровень научно-технического эффекта – средний.

3.7 Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Проведено планирование НИР, а именно: определена структура и календарный план работы, трудоемкость, составлена ленточная диаграмма Ганта, и определен бюджет научно-исследовательской работы. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой.

В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Результаты соответствуют требованиям ВКР по срокам и иным параметрам.

2. Бюджет научно-технического исследования составил 239479,81 рубля. Бюджет НТИ состоит из затрат на разработку (181424,1 рубля), отчислений во внебюджетные фонды (39913,3 рубля) и накладных расходов (18142,41 рубля).

3. Доставка еды по многим показателям является более предпочтительным, чем другие варианты со значением 4.54.

4. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» с помощью SWOT-анализа были выведены наиболее эффективные в сложившейся ситуации стратегии. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 242675,46 рублей. Уровень научно-технического эффекта – средний. Проект экономически целесообразен.

5. Капиталовложения в размере 242675,46 рублей позволят реализовать разработанный проект по написанию программы для нахождения кратчайшего пути доставки еды.

4. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности – одна из важнейших сторон практических интересов человечества. Для обеспечения безопасности человека необходимо выделить опасные и вредные факторы, возникающие при его деятельности, и создать оптимальные условия труда.

Так как результатом данного дипломного проекта является программа, которая находит оптимальный путь курьера, работа с которой производится непосредственно на персональном компьютере (ПК), то в данном разделе целесообразно рассмотреть вопросы анализа опасных и вредных факторов при работе с ПК, влияния этих факторов на окружающую среду и мероприятий по её защите.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Ст. 108 ТК РФ режим офисного работника в течении рабочего дня не должен превышать 8 часов с перерывом на обед от 30-ти минут до 2-х часов. Необходимо придерживаться правильного режима труда и отдыха, чтобы избежать вредного воздействия компьютера на здоровье человека.

Основными законами, на основе которых осуществляется управление охраной труда, являются Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ. Рабочее место должно соответствовать требованиям охраны труда.

В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 (общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ) при работе программиста, его рабочие стол и стул должны обеспечивать оптимальное правильное положение тела. Параметры рабочего места при работе с ПЭВМ приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Параметры рабочего места при работе

Параметры	Значение параметра	Реальные значения
Высота рабочей поверхности стола	От 600 до 800, мм	770 мм
Высота клавиатуры	600-700, мм	630 мм
Удаленность клавиатуры	Не менее 80, мм	85 мм
Удаленность экрана монитора	500-700, мм	650 мм
Высота сидения	400-500, мм	470 мм

Угол наклона монитора	0-30, град.	10 мм
Наклон подставки ног	0-20, град.	0 мм

Нормативные параметры для монитора компьютера указаны в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м ²
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться

Для того, чтобы программист не был рассеянным и мог сосредоточиться на работе, необходимо выбирать неяркие и малоконтрастные оттенки мониторам.

4.2 Профессиональная социальная безопасность.

4.2.1 Анализ опасных и вредных факторов, которые может создать объект исследования.

Любой производственный процесс, в том числе и работа с вычислительной техникой, сопряжен с появлением опасных и вредных факторов. Опасным называется фактор, воздействие которого на человека вызывает травму, то есть внезапное повреждение организма в результате воздействия внешних факторов. Вредным называется фактор, длительное воздействие которого на человека, приводит к профессиональным заболеваниям.

Опасные и вредные производственные факторы, возникающие при работе с ПК, подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические.

Основные опасные и вредные производственные факторы, которые могут возникнуть при работе с компьютером, представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Основные элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Опасные и вредные производственные факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 –ССБТ)	Нормативные документы
Оператор ПК	Электрический ток	ГОСТ 12.1.002–84
Оператор ПК	Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 12.1.005–88
Оператор ПК	Недостаточная освещенность	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
Оператор ПК	Воздействие электромагнитных полей	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
Оператор ПК	Повышенный уровень общей или локальной вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004
Оператор ПК	Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	ГОСТ 12.1.003-2014 СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002

4.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

4.2.2.1 Микроклимат

ЭВМ выделяет значительное количество тепла и является причиной повышения температуры и снижения влажности воздуха на рабочем месте, вызывающих раздражение кожи. Но повышения температуры незначительны и системы кондиционирования воздуха, и регулярное проветривание способствуют поддержанию здорового микроклимата в помещении. При продолжительной работе может возникнуть сильное переутомление, что может ослабить защитные свойства организма.

4.2.2.2 Освещенность

Одним из важнейших условий безопасности жизнедеятельности человека является рациональное и достаточное освещение рабочего места и помещения в целом. Помещение может быть плохо освещено, вследствие чего пользователю приходится напрягать зрительные органы. Пользователь ПК подвергается воздействию плохой освещенности с самого начала работы. Ее воздействие продолжается до окончания работы на ПК или с оргтехникой. Последствиями плохой освещенности являются песок в глазах, тени перед глазами, напряжение зрительных органов. Последствия проходят через некоторое время после окончания работы за ПК. Длительность “восстановительного периода” зависит от времени, проведенного за ПК при плохой освещенности.

СанПиН 2.2.4.548–96 устанавливает нормы оптимальных показателей микроклимата при работе с компьютерами (табл. 23)

Таблица 23 – Допустимые и оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°			Относительная влажность, %			Скорость движения воздуха, м/сек		
		Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимальное значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимальное значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимальное значение
Холодный	Ia	21-23	20-25	22-24	55	15-75	60-40	0,1	0,1	0,1
Теплый	Ia	22-24	21-28	23-25	55	15-75	60-40	0,1	0,1	0,1

Рабочая аудитория, в которой проводилась работа за компьютером по написанию ВКР, находится в учебном 10 – ом корпусе ТПУ. Помещение проветривалось, так как кондиционер отсутствовал. В рабочем помещении использовалось комбинированное освещение — искусственное и естественное. Люминесцентные лампы типа ЛД можно отнести к искусственному освещению.

Чтобы исключить напряженность глазных мышц, необходимо организовать достаточный уровень света.

Параметры освещенности рабочего места должны соответствовать требованиям СП 52.13330.2011.

4.2.2.3 Электромагнитное поле

Электромагнитное поле (ЭМП) обладает способностью биологического и теплового воздействия на организм человека. Это может привести к следующим последствиям: 1) биохимические изменения в клетках и тканях; 2) нарушения условно-рефлекторной деятельности, отклонения в эндокринной системе; 3) из-за перехода ЭМП в тепловую энергию может наблюдаться повышение температуры тела и тп. Источником электромагнитного поля на рабочем месте программиста является ЭВМ.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (табл. 24):

Таблица 24 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

По правилам ГОСТ 12.4.154-85 проверяется экранирование источника излучения.

4.2.2.4 Уровень шума

Шум неблагоприятно влияет на человека. Длительный шум влияет не только на слух. Он делает человека нервным, ухудшает ее самочувствие, снижает работоспособность и скорость движения, замедляет умственный процесс.

Шум влияет на систему пищеварения и кровообращения, сердечно-сосудистую систему. В случае постоянного шумового фона до 70 дБ возникает нарушение эндокринной и нервной систем, до 90 дБ – нарушает слух, до 120 дБ – приводит к физической боли, которая может быть нестерпимой. Шум не только ухудшает самочувствие человека, но и снижает производительность труда на 10-15 %. В связи с этим борьба с ним имеет не только санитарно-гигиеническое, но и большое технико-экономическое значение.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$L = 20 * \lg \frac{P}{P_0},$$

где P – среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

P₀ – исходное значение звукового давления в воздухе, равное 2·10⁻⁵ Па.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в табл.25.

Таблица 25 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса
	легкая физическая нагрузка
Напряженность легкой степени	80
Напряженность средней степени	70
Напряженный труд 1 степени	60
Напряженный труд 2 степени	50

Одним из важных профилактических средств предупреждения усталости при действии шума является чередование периодов работы и отдыха.

4.2.2.5 Электричество

Под электробезопасностью понимается система организационных и технических мероприятий по защите человека от действия электрического тока, электрической дуги, статического электричества, электромагнитного поля.

При эксплуатации электроприборов возможно воздействие на работающих следующих опасных производственных факторов:

- поражение электрическим током при прикосновении к токоведущим частям;
- неисправность изоляции или заземления;
- искрение;
- возгорание.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в табл. 26.

Таблица 26 – Допустимые значения напряжений прикосновений и токов при неаварийном режиме

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения

при аварийном режиме производственных электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000 В, с глухим заземлением нейтрали не должны превышать значений, указанных в табл. 27.

Таблица 27 – Допустимые значения напряжений прикосновений и токов при аварийном режиме

Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U , В	I , мА		U , В	I , мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

ВКР выполнялась в помещении, которое принадлежит к категории без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током.

4.3 Экологическая безопасность

4.3.1 Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду

При выполнении ВКР использовались: электроэнергия для работы компьютера, бумага и люминесцентные лампы.

Компьютер потребляет небольшое количество электроэнергии. Это положительно сказывается на экономии потребления электроэнергии.

Объект исследования не оказывает влияния на окружающую среду и не приносит ей ущерб.

4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В настоящем мире масса информации хранится на бумажных носителях. Поэтому следует грамотно уметь уничтожать бумагу, для этого существуют пункты переработки бумаги или специальные мусорные контейнеры для нее.

Так же существуют пункты приема для утилизации перегоревших люминесцентных ламп.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Чрезвычайная ситуация, которая может произойти на рабочем месте программиста при написании ВКР, является пожар.

Питаются электроустановки посредством кабельных линий, являющихся особо пожароопасными. Изоляционный материал - горюч. Электрические искры и дуги могут превратиться в источники зажигания. Из-за своей разветвленности и труднодоступности кабельные линии становятся местами наиболее вероятного возникновения и развития пожара.

4.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Потушить пожар можно с помощью ручных углекислотных огнетушителей, установленных в помещениях из расчета один огнетушитель на 40-50 м². Но помимо этого помещение должно быть оборудовано пожарными сигнализациями и средствами связи. Сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 101 или 112, сообщить адрес и место возникновения пожара.

4.5 Выводы по разделу

Условия микроклимата соответствуют нормам СанПиН.

Освещенность, которую обеспечивают люминесцентные лампы в помещении находится в пределах нормы.

Условия труда на рабочем месте по шумовому фактору соответствует допустимым нормам.

Рабочее помещение, где была разработана ВКР, соблюдены все нормы безопасности. Действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму. Само помещение и рабочее место удовлетворяет всем требованиям.

Заключение

В данном исследовании разработаны и протестированы два алгоритма движения, поиск которых осуществляется при помощи нахождения кратчайшего пути в графе. Можно сделать вывод, что второй алгоритм перебора путей является более точным, так как путь, найденный при помощи первого алгоритма больше, чем путь посчитанный вторым алгоритма, пример это доказывает.

Поставленные в данной работе цели и задачи были успешно выполнены:

- разработан алгоритм для нахождения оптимального пути курьера в системе Яндекс.Еда;
- построен граф, характеризующий доступность объектов исследуемого района;
- определен алгоритм построения оптимального маршрута курьера с минимальным временем доставки заказов;
- алгоритм протестирован при числе заказов, равном 2.

Список использованных источников

1. Лекционный материал Поляковой О.А., доцента кафедры «Информационные Технологии и Автоматизированные Системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://info.rully.ru/materials/graphs/>, свободный – (23.04.2020).
2. Электронная библиотека учебно-преподавательской литературы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://libraryno.ru/3-2-2-rasstoyaniya-v-grafe-diametr-centr-radius-grafa-dis_matem_nekr_2010/, свободный – (23.04.2020)
3. С.Н. Андреева. Понятие, элементы, виды и способы задания графов. // Теория графов: Краткое учебное пособие по теории графов. 2014. С. 14.
4. Кочева М.А. Транспортная задача // СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. №5. 2014. С. 178-179.
5. Маций О.Б. Повышение точности симметричной задачи класса коммивояжера большой размерности // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2011. № 55. С. 100-102.
6. Ураков А.Р., Михтанюк А.А. Оценка количества вариантов обхода в задаче коммивояжера с дополнительными условиями // Глобальный 42 научный потенциал, 2012. № 21. С. 82-86
7. Гончарова А.Б., Поборчий И.В. Исследование методов решения задачи коммивояжера при управлении транспортными потоками предприятия // Процессы глобальной экономики: Сборник научных трудов XX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2015. С. 318-324.
8. Бронштейн Е. М., Заико Т. А. Детерминированные оптимизационные задачи транспортной логистики // Автоматика и телемеханика, 2010. №10. С. 133-147.
9. Вишняков П.О. Планирование маршрутов с использованием модифицированного метода «ближайшего соседа» // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2014. № 6 (65). С. 63-67.

10. Большакова Е. И., Мальковский М. Г., Пильщиков В. Н. Искусственный интеллект. Алгоритмы эвристического поиска [Электронный ресурс] // Учебная литература факультета ВМК МГУ. URL: <http://recyclebin.ru/ВМК/II/ii.html> (дата обращения: 08.10.2015)
11. Мудров В. И. Задача о коммивояжёре. М.: Знание, 1969. 62 с.
12. Новиков Ф. А. Н73 Дискретная математика для программистов. Учебник для вузов. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2007. — 364 с:.
13. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
15. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования от 01.03.1986: дата введения 01.01.1979. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/31970> (дата обращения: 26.04.2020). — Текст: электронный.
16. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. от 01.03.1993: дата введения 30.06.1977. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/34252/> (дата обращения: 26.04.2020). — Текст: электронный.
17. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования от 01.12.1989: дата введения 01.01.1978. — <https://internet-law.ru/gosts/gost/33818/> (дата обращения: 26.04.2020). — Текст: электронный.
18. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения от 01.01.2008: дата введения 30.06.1997. — <https://internet-law.ru/gosts/gost/5265/> (дата обращения: 26.04.2020). — Текст: электронный.
19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

20. ГОСТ 12.1.002–84 Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах от 01.07.2009: дата введения 01.01.1986. – <https://internet-law.ru/gosts/gost/39086/> (дата обращения: 26.04.2020). – Текст: электронный.

Приложение 1

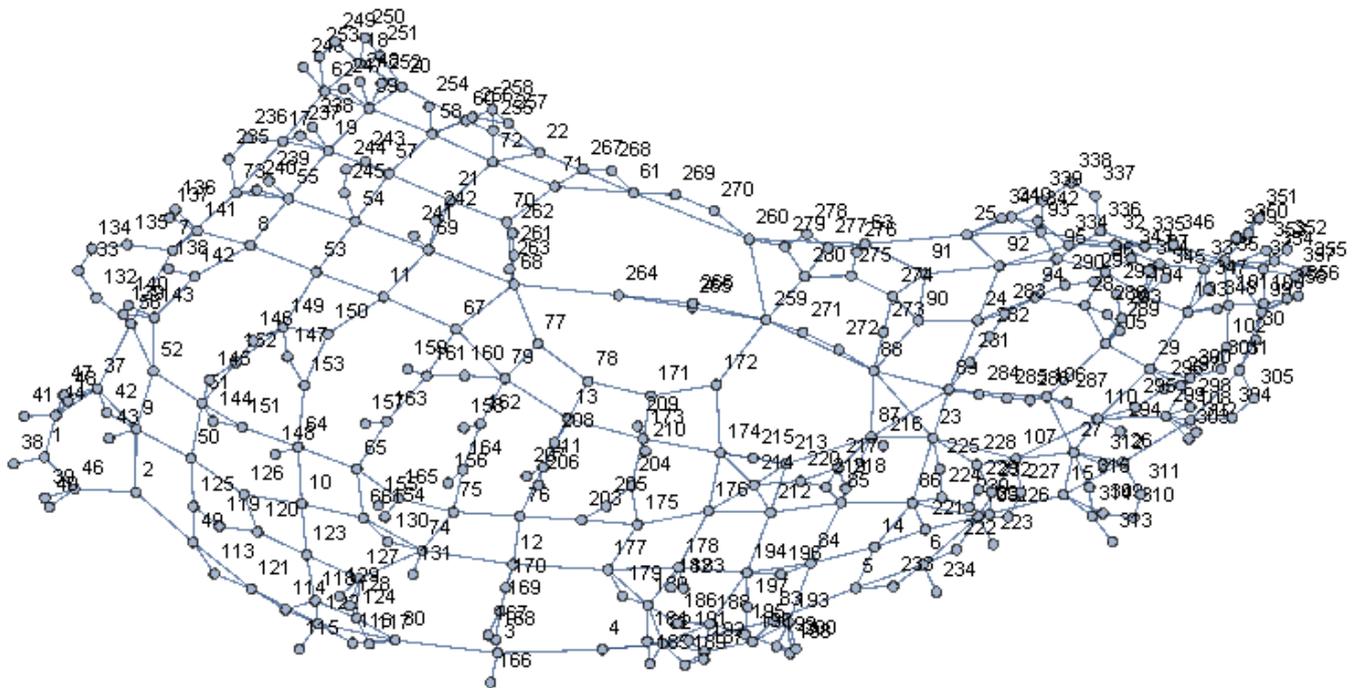
```
In[1]:= Ued = Import["U:\\Data\\Данные.xls", {"Data", 1}]
      импорт

Out[1]:= {{6., 5., 1.8}, {26., 15., 4.8}, {27., 15., 3.6}, {26., 27., 2.4},
{5., 14., 3.6}, {31., 30., 1.8}, {34., 35., 3.6}, {9., 2., 3.6},
{19., 17., 2.4}, {20., 18., 2.4}, {9., 37., 2.4}, {2., 46., 0.6},
{38., 1., 0.24}, {44., 1., 1.2}, {37., 44., 2.4}, {41., 44., 0.36},
{40., 46., 0.6}, {46., 1., 1.8}, {39., 46., 0.24}, {42., 37., 1.32},
{9., 42., 1.2}, {43., 9., 0.24}, {47., 44., 1.2}, {37., 47., 1.32},
{48., 44., 1.32}, {37., 48., 1.2}, {49., 2., 0.12}, {56., 37., 0.12},
{7., 56., 3.6}, {9., 50., 0.12}, {51., 50., 0.12}, {51., 52., 0.12},
{52., 9., 0.12}, {56., 52., 2.4}, {54., 53., 0.12}, {8., 53., 0.12},
{55., 54., 0.12}, {55., 8., 0.12}, {11., 53., 1.8}, {19., 55., 0.},
{57., 54., 0.}, {19., 57., 0.12}, {58., 57., 0.12}, {59., 58., 0.12},
{59., 19., 0.12}, {21., 57., 1.8}, {20., 59., 3.}, {60., 58., 3.},

r = Map[UndirectedEdge[IntegerPart[#[[1]]], IntegerPart[#[[2]]]] &, Ued];
      |... |ненаправленное ... |целая часть |целая часть

g = Map[#[[3]] &, Ued];
      |преобразовать

GR = Graph[r, EdgeWeight -> g, VertexLabels -> "Name"]
      |граф |вес ребра |метки для вершин
```



Приложение 2

АЛГОРИТМ 1

```
In[61]:= V0 = {{0, 0, 136}}; (* V0 - исходная вершина *)
W = {{1, 0, 225}, {2, 0, 189}}; (*W - Список вершин - пунктов доставки заказов *)
(*V - Список списков вершин - пунктов формирования заказов *)
V = {{1, 1, 116}, {1, 1, 249}, {1, 2, 354}, {2, 1, 228}};
(* метки вершин - пунктов формирования заказов:
   1-ый индекс номер заказа, 2-ой индекс номер части заказа,
   если часть заказа может быть забрана из разных пунктов метки совпадают для этих пунктов *)
VK = V0; (* начало формирования списка вершин пути VK *)
VW = V;
dk = 0;
While[Length[VW] > 0,
|цикл... |длина
  V1 = VK[[Length[VK]]]; (* выполняем пока список пунктов не станет пустым *)
  |длина
  (* Ищем ближайшую к текущей вершине V1 *)
  km = 1;
  dmin = GraphDistance[GR, V1[[3]], VW[[1, 3]]];
  |расстояние на графе
  For[i = 2, i < Length[VW] + 1, i++,
|цикл ДЛЯ |длина
    dm = GraphDistance[GR, V1[[3]], VW[[i, 3]]];
    |расстояние на графе
    If[dm < dmin, dmin = dm; km = i];
    |условный оператор
  dk = dk + dmin;
  VK = Append[VK, VW[[km]]]; (* добавляем вершину в список пути *)
  |добавить в конец
  (* убираем все вхождения вершины VK из списка пунктов,
  а также исключаем все подобные вершины *)
  Vd = VW[[km, 3]];
  Vm = {VW[[km, 1]], V[[km, 2]]};
```

```
VW = Select[VW, #[[3]] ≠ Vd && (#[[1]], #[[2]]) ≠ Vm &];
```

|выбрать

(* Добавляем пункты доставки заказов в путь, если пункты формирования заказов пройдены *)

```
For[i = 1, i < Length[W] + 1, i++,
```

|цикл ДЛЯ |длина

```
If[W[[i, 2]] == -1, Continue[]]; (* i-ый пункт уже добавлен *)
```

|условный оператор |продолжить

```
nom = W[[i, 1]];
```

```
fl = True;
```

|истина

```
For[j = 1, j < Length[VW] + 1, j++,
```

|цикл ДЛЯ |длина

```
If[VW[[j, 1]] == nom, fl = False; Break[]];
```

|условный оператор |ложь |прервать цикл

```
If[fl, VW = Append[VW, W[[i]]];
```

|условный о... |добавить в конец

```
W[[i, 2]] = -1]] (* добавляем вершину в список и помечаем ее *)
```

VK

dk

```
Out[67]= {{0, 0, 136}, {1, 1, 249}, {2, 1, 228}, {1, 2, 354}, {1, 0, 225}, {2, 0, 189}}
```

```
Out[68]= 44.4
```

```
In[69]= VK0 = DeleteDuplicates[Map#[[3]] &, VK];
```

|удалить дубликаты |преобразовать

```
VK1 = Drop[VK0, -1];
```

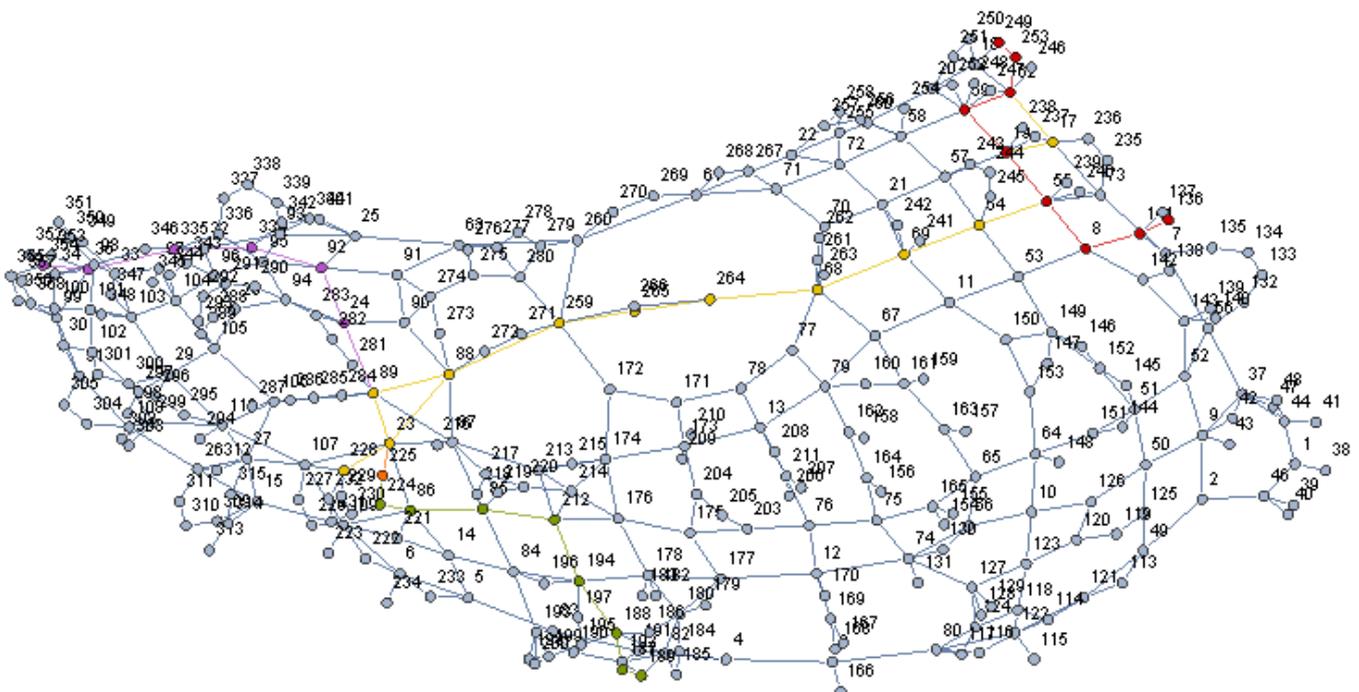
|отбросить

```
VK2 = Drop[VK0, 1];
```

|отбросить

```
HighlightGraph[GR, Subgraph[GR, MapThread[FindShortestPath[GR, #1, #2] &, {VK1, VK2}]]]
```

|граф с подкраской |подграф |нанизать ... |найти кратчайший путь



Приложение 3

АЛГОРИТМ 2

```
In[145]:= (* V - Полный список вершин *)
V = {{0, 0, 136}, {1, 1, 116}, {1, 1, 249}, {1, 2, 354}, {2, 1, 228}, {1, 0, 225}, {2, 0, 189}};
NVP = 6; (* NPV длина массива маршрута пути. Каждая из подобных входит в маршрут
        только один раз, одинаковые вершины для разных заказов в маршруте остаются,
        чтобы отслеживать корректность построения маршрута *)
NV = Length[V];
      |длина

In[147]:= Clear[dm]
      |очистить
(* Расчет расстояний между вершинами списка V *)
For[i = 1, i < NV, i++, |
      |цикл ДЛЯ
  For[j = i + 1, j < NV + 1, j++,
      |цикл ДЛЯ
    If[i == 1 && V[[j, 2]] == 0, Continue[]];
      |условный оператор |продолжить
    If[V[[i, 1]] == V[[j, 1]] && V[[i, 2]] == V[[j, 2]], Continue[]];
      |условный оператор |продолжить
    dm[i, j] = GraphDistance[GR, V[[i, 3]], V[[j, 3]]];
      |расстояние на графе
    dm[j, i] = dm[i, j]]]

In[149]:= (* Формирование списка допустимых перестановок из элементов V *)
S = Table[i, {i, 2, NV}]; (* S - массив порядковых индексов вершин (без V0) *)
      |таблица значений
Q = Permutations[S, {NVP - 1}];
      |список перестановок
NQ = Length[Q];
      |длина
(* формирование списка допустимых перестановок *)
Q1 = {};
For[k = 1, k < NQ + 1, k++,
      |цикл ДЛЯ
```

```

f1 = True;
    |истина
For[i = 1, i < NVP - 1, i ++,
|цикл ДЛЯ
    For[j = i + 1, j < NVP, j ++,
|цикл ДЛЯ
        If[V[[Q[[k, i]], 1]] == V[[Q[[k, j]], 1]] && V[[Q[[k, i]], 2]] == 0, f1 = False; Break[]];
        |условный оператор |ложь |прервать цикл
        If[V[[Q[[k, i]], 1]] == V[[Q[[k, j]], 1]] && V[[Q[[k, i]], 2]] == V[[Q[[k, j]], 2]], f1 = False;
        |условный оператор |ложь
        Break[]];
        |прервать цикл
        If[! f1, Break[]]]];
        |условны... |прервать цикл
If[f1, Q1 = Append[Q1, Q[[k]]]]]
|условный о... |добавить в конец
(* Ищем кратчайший путь *)
NQ = Length[Q1];
    |длина
dmin = Infinity;
    |бесконечность
kmin = 1;
For[k = 1, k < NQ + 1, k ++,
|цикл ДЛЯ
    dk = 0;
SV = Prepend[Q1[[k]], 1];
    |добавить в начало
For[i = 1, i < NVP, i ++,
|цикл ДЛЯ
    dk = dk + dm[SV[[i]], SV[[i + 1]]];
    (* Print[dk] *);
If[dk < dmin, dmin = dk; kmin = k]
|условный оператор
dmin
SVmin = Prepend[Q1[[kmin]], 1]

```

```
VK = Table[V[[SVmin[[i]]]], {i, NVP}]  
|таблица значений
```

```
Out[158]= 42.
```

```
Out[159]= {1, 3, 4, 5, 6, 7}
```

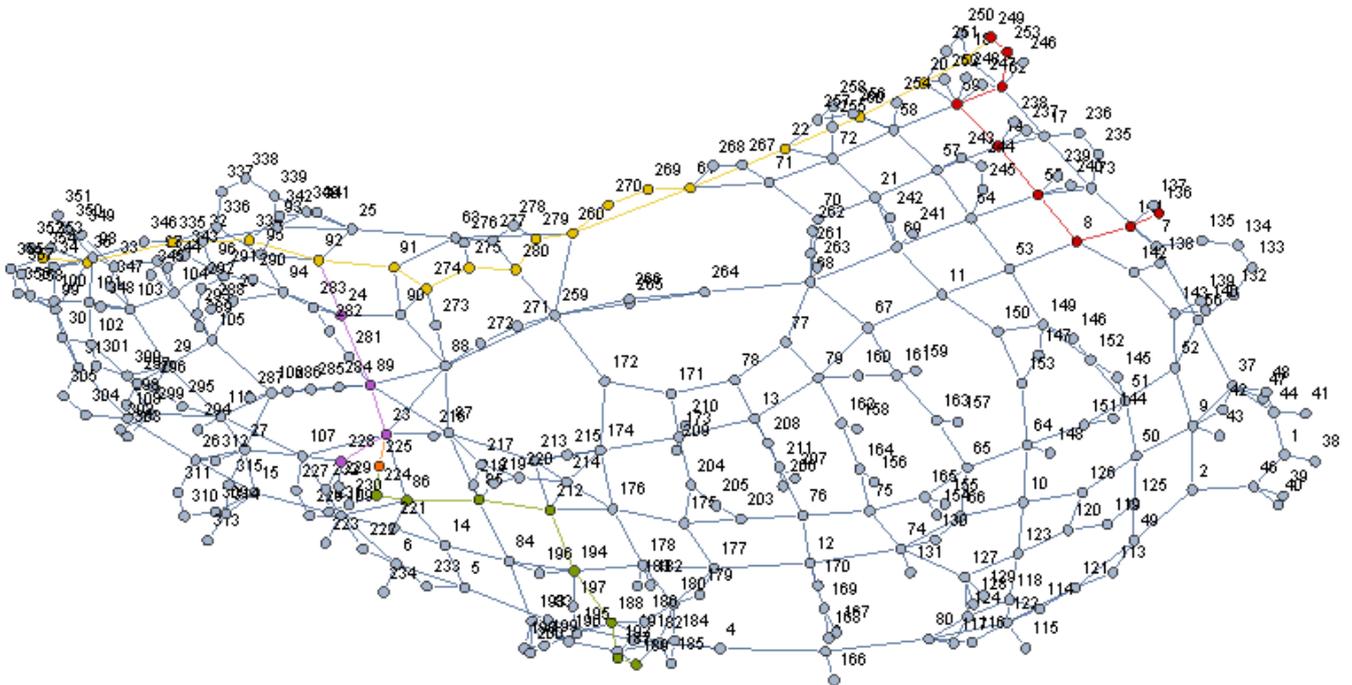
```
Out[160]= {{0, 0, 136}, {1, 1, 249}, {1, 2, 354}, {2, 1, 228}, {1, 0, 225}, {2, 0, 189}}
```

```
In[161]= VK0 = DeleteDuplicates[Map[#[[3]] &, VK];  
|удалить дубликаты |преобразовать
```

```
VK1 = Drop[VK0, -1];  
|отбросить
```

```
VK2 = Drop[VK0, 1];  
|отбросить
```

```
HighlightGraph[GR, Subgraph[GR, MapThread[FindShortestPath[GR, #1, #2] &, {VK1, VK2}]]]  
|граф с подкраской |подграф |нанизать ... |найти кратчайший путь
```



Приложение 4

АЛГОРИТМ 1

```
In[23]:= V0 = {{0, 0, 43}}; (* V0 - исходная вершина *)
W = {{1, 0, 345}, {2, 0, 133}};
(*W - Список вершин - пунктов доставки заказов *)
(*V - Список списков вершин - пунктов формирования заказов *)
V = {{1, 1, 166}, {1, 1, 249}, {1, 2, 250}, {2, 1, 136}, {2, 2, 354}};
(* метки вершин - пунктов формирования заказов:
    1-ый индекс номер заказа, 2-ой индекс номер части заказа,
    если часть заказа может быть забрана из разных пунктов метки совпадают
    для этих пунктов *)
VK = V0; (* начало формирования списка вершин пути VK *)
VW = V;
dk = 0;
While[Length[VW] > 0,
|цикл... |длина
    V1 = VK[[Length[VK]]];
        |длина
    (* выполняем пока список пунктов не станет пустым *)
    (* Ищем ближайшую к текущей вершине V1 *)
    km = 1;
    dmin = GraphDistance[GR, V1[[3]], VW[[1, 3]]];
        |расстояние на графе
    For[i = 2, i < Length[VW] + 1, i++,
|цикл ДЛЯ |длина
        dm = GraphDistance[GR, V1[[3]], VW[[i, 3]]];
            |расстояние на графе
        If[dm < dmin, dmin = dm; km = i];
            |условный оператор
    dk = dk + dmin;
    VK = Append[VK, VW[[km]]]; (* добавляем вершину в список пути *)
        |добавить в конец
    (* убираем все вхождения вершины VK из списка пунктов,
    а также исключаем все подобные вершины *)
```

```

Vd = VW[[km, 3]];
Vm = {VW[[km, 1]], V[[km, 2]]};
VW = Select[VW, #[[3]] ≠ Vd && {#[[1]], #[[2]]} ≠ Vm &];
  [выбрать]
(* Добавляем пункты доставки заказов в путь,
если пункты формирования заказов пройдены *)
For[i = 1, i < Length[W] + 1, i++,
  [цикл ДЛЯ]      [длина]
  If[W[[i, 2]] == -1, Continue[]]; (* i-ый пункт уже добавлен *)
  [условный оператор] [продолжить]
  nom = W[[i, 1]];
  fl = True;
  [истина]
  For[j = 1, j < Length[VW] + 1, j++,
    [цикл ДЛЯ]      [длина]
    If[VW[[j, 1]] == nom, fl = False; Break[]];
    [условный оператор] [ложь] [преервать цикл]
  If[fl, VW = Append[VW, W[[i]]];
  [условный о...] [добавить в конец]
  W[[i, 2]] = -1]] (* добавляем вершину в список и помечаем ее *)

```

VK

dk

```

Out[27]= {{0, 0, 43}, {2, 1, 136}, {1, 1, 249},
          {1, 2, 250}, {1, 0, 345}, {2, 2, 354}, {2, 0, 133}}

```

```

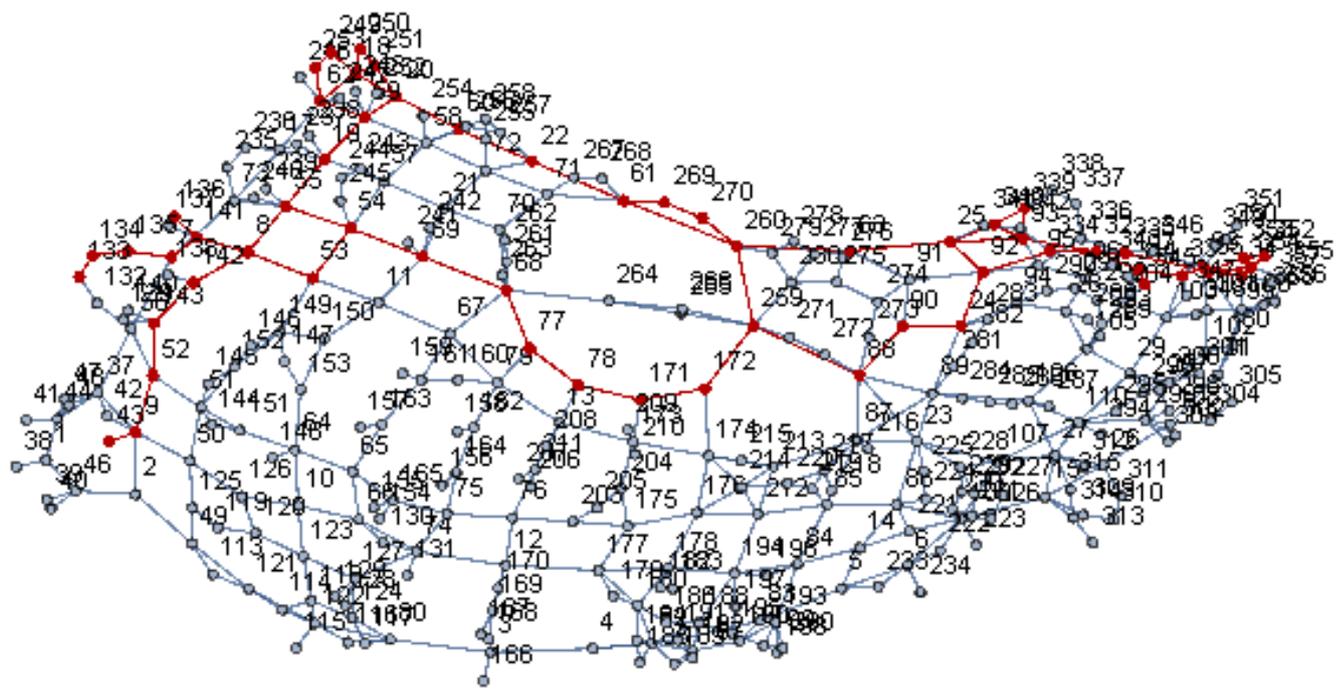
Out[28]= 54.12

```

```

In[29]= VK0 = DeleteDuplicates[Map[#[[3]] &, VK]];
          [удалить дубликаты] [преобразовать]
VK1 = Drop[VK0, -1];
          [отбросить]
VK2 = Drop[VK0, 1];
          [отбросить]
HighlightGraph[GR,
  [граф с подкраской]
  Subgraph[GR, MapThread[FindShortestPath[GR, #1, #2] &, {VK1, VK2}]]]
  [подграф] [нанизать ...] [найти кратчайший путь]

```



Приложение 5

АЛГОРИТМ 2

```
In[125]:= (* V – Полный список вершин *)
V = {{0, 0, 43}, {1, 1, 166}, {1, 1, 249}, {1, 2, 250}, {2, 1, 136}, {2, 2, 354},
      {1, 0, 345}, {2, 0, 133}};
NVP = 7; (* NPV длина массива маршрута пути. Каждая из подобных входит
          в маршрут только один раз,
          одинаковые вершины для разных заказов в маршруте остаются,
          чтобы отслеживать корректность построения маршрута *)
NV = Length[V];
      |длина

In[127]:= Clear[dm]
      |очистить
(* Расчет расстояний между вершинами списка V *)
For[i = 1, i < NV, i++,
    |цикл ДЛЯ
    For[j = i + 1, j < NV + 1, j++,
        |цикл ДЛЯ
        If[i == 1 && V[[j, 2]] == 0, Continue[]];
        |условный оператор |продолжить
        If[V[[i, 1]] == V[[j, 1]] && V[[i, 2]] == V[[j, 2]], Continue[]];
        |условный оператор |продолжить
        dm[i, j] = GraphDistance[GR, V[[i, 3]], V[[j, 3]]];
        |расстояние на графе
        dm[j, i] = dm[i, j ]]]

In[129]:= (* Формирование списка допустимых перестановок из элементов V *)
S = Table[i, {i, 2, NV}]; (* S – массив порядковых индексов вершин (без V0) *)
      |таблица значений
Q = Permutations[S, {NVP - 1}];
      |список перестановок
NQ = Length[Q];
      |длина
(* формирование списка допустимых перестановок *)
```

```

Q1 = {};
For[k = 1, k < NQ + 1, k ++,
|цикл ДЛЯ
  fl = True;
  |истина
  For[i = 1, i < NVP - 1, i ++,
|цикл ДЛЯ
    For[j = i + 1, j < NVP, j ++,
|цикл ДЛЯ
      If[V[[Q[[k, i]], 1]] == V[[Q[[k, j]], 1]] && V[[Q[[k, i]], 2]] == 0, fl = False;
|условный оператор |ложь
        Break[]];
|прервать цикл
      If[V[[Q[[k, i]], 1]] == V[[Q[[k, j]], 1]] && V[[Q[[k, i]], 2]] == V[[Q[[k, j]], 2]],
|условный оператор
        fl = False; Break[]];
|ложь |прервать цикл
      If[! fl, Break[]]];
|условны... |прервать цикл
    If[fl, Q1 = Append[Q1, Q[[k]]]];
|условный о... |добавить в конец
  (* Ищем кратчайший путь *)
  NQ = Length[Q1];
  |длина
  dmin = Infinity;
  |бесконечность
  kmin = 1;
  For[k = 1, k < NQ + 1, k ++,
|цикл ДЛЯ
    dk = 0;
    SV = Prepend[Q1[[k]], 1];
    |добавить в начало
    For[i = 1, i < NVP, i ++,
|цикл ДЛЯ
      dk = dk + dm[SV[[i]], SV[[i + 1]]];
      (* Print[dk] *);
      If[dk < dmin, dmin = dk; kmin = k]
|условный оператор
    dmin
    SVmin = Prepend[Q1[[kmin]], 1]
    |добавить в начало
    VK = Table[V[[SVmin[[i]]]], {i, NVP}]
    |таблица значений

```

Out[138]= 51.72

Out[139]= {1, 3, 4, 7, 6, 5, 8}

Out[140]= {{0, 0, 43}, {1, 1, 249}, {1, 2, 250},
{1, 0, 345}, {2, 2, 354}, {2, 1, 136}, {2, 0, 133}}

```
In[141]:= VK0 = DeleteDuplicates[Map[#[{3}] &, VK]];

```

удалить дубликаты преобразовать

```
VK1 = Drop[VK0, -1];

```

отбросить

```
VK2 = Drop[VK0, 1];

```

отбросить

```
HighlightGraph[GR,

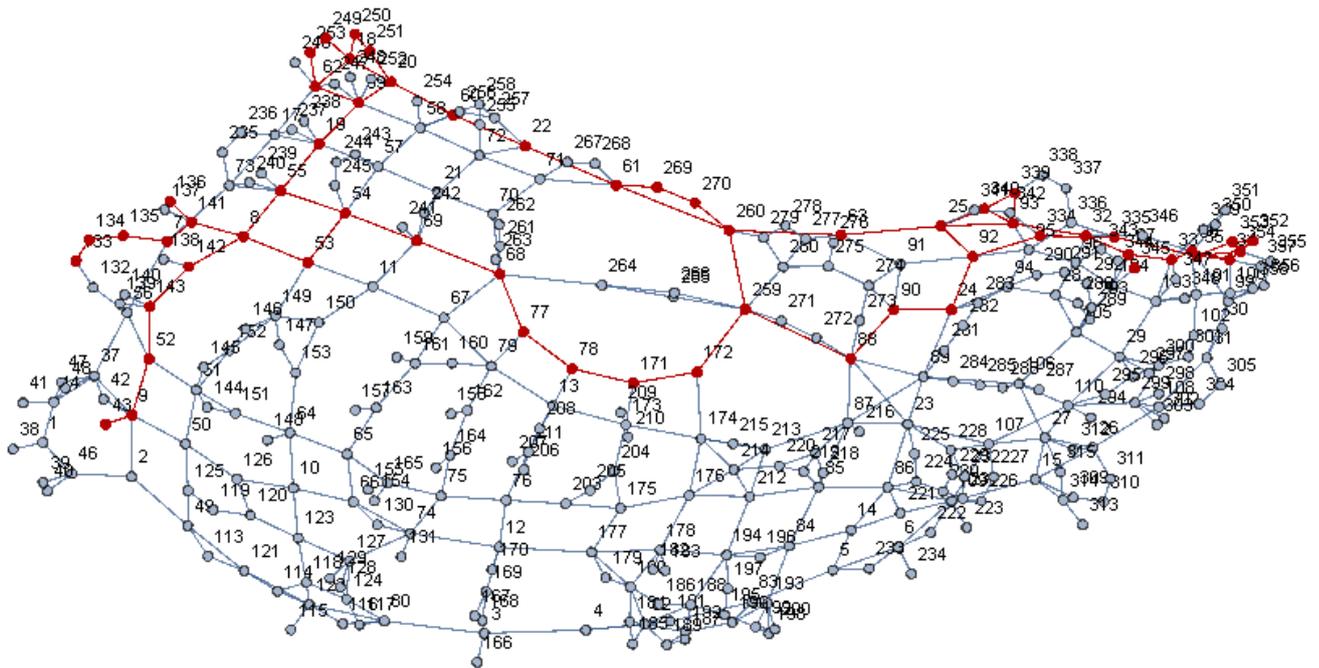
```

граф с подкраской

```
Subgraph[GR, MapThread[FindShortestPath[GR, #1, #2] &, {VK1, VK2}]]]

```

подграф нанизать ... найти кратчайший путь



Приложение 6

