

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук
Департамент программной инженерии

СОГЛАСОВАНО

Преподаватель департамента программной
инженерии факультета компьютерных
наук

_____ Е.Н. Береснева
«__» _____ 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ

Академический руководитель
образовательной программы
«Программная инженерия», канд. техн.
наук, профессор ДПИ ФКН

_____ В.В. Шилов
«__» _____ 2018 г.

**ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА**

Пояснительная записка

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ
RU.17701729.503200-01 81 01-1-ЛУ**

Исполнитель

Студент группы БПИ163

_____/ Д.В. Строков /
«__» _____ 2018 г.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. Инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Москва 2018

УТВЕРЖДЕН

RU.17701729.503200-01 81 01-1 ЛУ

**ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА**

Пояснительная записка

RU.17701729.503200-01 81 01-1

Листов 16

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	3
1.1. Наименование программы	3
1.2. Документы, на основании которых ведётся разработка	3
2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	4
2.1. Функциональное назначение	4
2.2. Эксплуатационное назначение	4
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	5
3.1. Постановка задачи на разработку программы	5
3.2. Описание алгоритмов и функционирования программы.....	5
3.2.1 Общая структура программы	5
3.2.2 Алгоритм имитации отжига	5
3.2.3 Сохранение графика результатов.....	5
3.2.4 Визуализация выполнения алгоритма	5
3.3 Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных ..	6
3.4 Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств	6
4. ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	7
4.1. Ориентировочная экономическая эффективность.....	7
4.2. Предполагаемая потребность	7
4.3. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами	7
5. ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ	8
Приложение 1	9
Приложение 2	10

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Наименование программы

Наименование программы: «Программа решения задачи маршрутизации с ограничением по грузоподъемности на основе метода имитации отжига» («Program for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on Simulated Annealing Algorithm»).

1.2. Документы, на основании которых ведётся разработка

Приказ НИУ ВШЭ об утверждении тем курсовых работ № 2.3-02/1502-01 от 15.02.2017, утверждённый руководителем департамента программной инженерии факультета компьютерных наук.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

2.1. Функциональное назначение

Функциональным назначением программы является получение входных данных для задачи маршрутизации с ограничением по грузоподъёмности и решение данной задачи с использованием метода имитации отжига, а также наглядная визуализация работы данного алгоритма и вывод результатов его работы.

2.2. Эксплуатационное назначение

Эксплуатационным назначением программы является её использование для решения задач маршрутизации с ограничением по грузоподъёмности, и получения наглядного отображения работы алгоритма имитации отжига. Также программа может пригодиться для практических целей в логистике – для подбора оптимального маршрута доставки грузов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1. Постановка задачи на разработку программы

Программа должна посредством алгоритма имитации отжига на заданном наборе вершин с двумерными координатами и заданным в виде числа грузом для каждой вершины, а также числе максимальной нагрузки на транспорт и номеру вершины, являющейся депо решать и визуализировать процесс решения задачи маршрутизации с ограничением грузоподъемности – строить набор маршрутов, минимизируя их суммарную длину, так чтобы каждая вершина (кроме вершины - депо) была посещена ровно один раз, суммарная нагрузка на каждом маршруте не превышала заданную максимальную нагрузку, а каждый маршрут начинался и заканчивался в вершине - депо. Также должна быть возможно сохранять и загружать готовые решения.

3.2. Описание алгоритмов и функционирования программы

3.2.1 Общая структура программы

Модуль исполнения служит точкой запуска программы. После запуска интерфейса модуль исполнения принимает команды интерфейса на запуск, паузу или остановку алгоритма имитации отжига, а также на сохранение и загрузку файлов и отправляет текущее состояние выполнения задачи. Модуль интерфейса получает от пользователя вышеперечисленные команды и отправляет их в модуль исполнения, а также визуализирует текущее состояние.

3.2.2 Алгоритм имитации отжига

Изначально алгоритм генерирует случайное состояние – набор маршрутов который не нарушает наложенные ограничения, а также устанавливает заданную начальную температуру. Затем происходит последовательное исполнение итераций.

На каждой итерации генерируется “соседнее” состояние следующим образом: случайным образом выбираются от 1 до 8 вершин и перемещаются в случайное место таким образом, чтобы не нарушались наложенные ограничения. Пусть Δ = разность суммарных расстояний маршрутов в новом и текущем состояниях. Тогда вероятность перехода к новому состоянию равняется $\exp(-\Delta / t)$, где t – текущая температура. Если текущее состояние выгоднее лучшего, то лучшее состояние становится равным новому.

Как только температура становится меньшей, чем заданная минимальная, либо превышен лимит по указанному времени, алгоритм прекращает работу.

3.2.3 Сохранение графика результатов

На каждой итерации минимизируемая оценка выгодности состояния равная суммарному расстоянию всех маршрутов состояния сохраняется в специальный контейнер (см. класс ChartData). Т.к. итераций бывает много, хранить оценки всех состояний не оптимально и может вызвать переполнение памяти. Поэтому при достижении лимита количества точек (по умолчанию 1000) график сжимается, последовательно извлекая из каждой тройки соседних точек минимальную и максимальную точку.

3.2.4 Визуализация выполнения алгоритма

Модуль интерфейса, получая текущее состояние выполнения отображает график, список загрузок и пройденный путь транспорта, а также граф и анимированный список маршрутов посредством HTML/CSS и JavaScript.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

3.3 Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных

Входной файл должен соответствовать следующему формату:

```
CAPACITY C
DIMENSION N
NODE_COORD_SECTION
N1 X1 Y1
N2 X2 Y2
...
Nn Xn Yn
DEMAND_SECTION
N1 D1
N2 D2
...
Nn Dn
EOF
```

Где С – ограничение по грузоподъемности на единицу транспорта, N – количество вершин графа, Ni – номер вершины, Xi – x-координата вершины, yi – y-координата вершины, Di – величина груза вершины.

Выходной файл должен соответствовать следующему формату:

```
Route #1: v1 v2 ... vk
Route #2: v1 v2 ... vk
...
Route #M: v1 v2 ... vk
cost T
```

Где M – количество маршрутов, vi – вершина маршрута, T – сумма дистанций всех маршрутов.

3.4 Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств

- Операционная система Windows версии 7 и выше
- Наличие экрана с разрешением не менее 640x480
- Размер оперативной памяти не менее 1 гигабайт
- Наличие 300 мегабайт свободного пространства на жестком диске.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

4. ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

4.1. Ориентировочная экономическая эффективность

В рамках данной работы расчёт экономической эффективности не предусмотрен.

4.2. Предполагаемая потребность

Данный продукт должен быть востребован в сфере решения задач маршрутизации, а также для наглядной демонстрации работы алгоритма имитации отжига.

4.3. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами

На момент начала разработки аналогов разрабатываемого программного обеспечения не нашлось в открытом доступе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

5. ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ

- 1) ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 2) ГОСТ 19.301-79 Программа и методика испытаний. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 3) ГОСТ 19.401-78 Текст программы. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 4) ГОСТ 19.505-79 Руководство оператора. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 5) ГОСТ 19.404-79 Пояснительная записка. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 6) ГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 7) ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 8) A Simulated Annealing Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem H. Harmanani, D. Azar, N. Helal Department of Computer Science & Mathematics Lebanese American University Byblos, 1401 2010, Lebanon; W. Keirouz Department of Computer Science American University of Beirut Beirut, 1107 2020, Lebanon.
- 9) Статья об алгоритме имитации отжига для задачи CVRP, Networking and Emerging Optimization [Электронный ресурс] // URL: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/solution-methods/metaheuristics/simulated-annealing/>
- 10) Computer technologies department, ITMO University. Задачи маршрутизации транспорта [Электронный ресурс] // URL: <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/vrp-2006>

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Приложение 1

Описание и функциональное назначение классов, структур и компонентов

Класс\Структура\Компонент	Назначение
AdvancedTimer	Служит для измерения времени
AnnealingSolver	Реализует исполнение алгоритма имитации отжига
ChartData	Содержит данные графика
GraphData	Содержит данные графа
InterfaceGate	Служит для связи с модулем интерфейса
RouteSolution	Содержит решение в виде набора маршрутов
App.vue	Является точкой запуска интерфейса
CarsInfo.vue	Является частью интерфейса со списком единиц транспорта
DisplayMode.vue	Является частью интерфейса с кнопкой переключения режима отображения
Files.vue	Является частью интерфейса с кнопками загрузки и сохранения файлов
Graph.vue	Является частью интерфейса с визуализацией графа
ProcessControl.vue	Является частью интерфейса с кнопками запуска, паузы и остановки алгоритма решения
Progress.vue	Является частью интерфейса с полосой выполнения алгоритма
ResultChart.vue	Является частью интерфейса с визуализацией графика результата
Routes.vue	Является частью интерфейса с визуализацией маршрутов
Settings.vue	Является частью интерфейса с настройками запуска алгоритма
Stats.vue	Является частью интерфейса с отображением параметров статистики

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Приложение 2

Описание и функциональное назначение полей, свойств и методов классов, структур и компонентов

Класс AdvancedTimer				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
duration	private	long long	Значение продолжительности в миллисекундах	
active		bool	Флаг работы таймера	
last_point		time_point	Значение последнего временного момента	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
AdvancedTimer	public	конструктор	-	Конструктор таймера
run		void	-	Запускает таймер
pause		void	-	Останавливает таймер
value		long long	-	Возвращает длительность временного промежутка в миллисекундах
clear		void	-	Сбрасывает таймер
now	private	time_point	-	Возвращает текущий момент времени
dist		long long	time_point a, time_point b	Находит длительность промежутка времени между двумя моментами времени в миллисекундах
Класс AnnealingSolver				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
bestSolution	private	RouteSolution*	Ссылка на объект лучшего решения	
currentSolution		RouteSolution*	Ссылка на объект текущего решения	
chart		ChartData*	Ссылка на объект данных графика	
timer		AdvancedTimer	Таймер для замера времени решения	
t		long double	Текущая температура	
factor		long long	Коэффициент охлаждения температуры	
tEnd		long long	Конечная температура	
timeLimit		long long	Лимит по времени в миллисекундах	
iterationsTotal		long long	Общее количество итераций	
iterationsCnt		long long	Текущее количество итераций	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
AnnealingSolver	public	конструктор	-	Инициализирует решение
~AnnealingSolver		деструктор	-	Очищает память решения
isFinished		bool	-	Проверка не завершено ли решение
runIteration		void	-	Запустить итерацию
pause	public	void	-	Поставить решение на паузу
unpause		void	-	Продолжить решение

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

makeUpdate		PyObject*	-	Упаковать текущее состояние для передачи интерфейсу
makeStats	private	PyObject*	-	Упаковать параметры статистики текущего состояния для передачи интерфейсу
makeCars		PyObject*	RouteSolution*	Упаковать информацию о транспортных средствах текущего состояния для передачи интерфейсу
makeRoutes		PyObject*	RouteSolution*	Упаковать информацию о маршрутах текущего состояния для передачи интерфейсу
makeChart		PyObject*	-	Упаковать точки графика результата текущего состояния для передачи интерфейсу

Класс ChartData				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
MAX_LEVEL	private	int	Константа – максимальное количество уровней сжатия	
DEFAULT_MAX_SIZE		int	Константа – максимальное количество точек графика по умолчанию	
max_size		int	Максимальное количество точек графика	
size		int	Текущее количество точек графика	
levels		deque <pair <long long, double> >[]	Уровни сжатия, содержащие точки графика	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
ChartData	public	конструктор	int max_size	Инициализирует контейнер точек графика
add_node		void	long long x, double y	Добавляет точку в контейнер
get_points		vector <pair <long long, double> >	-	Возвращает массив точек графика
compress_data	private	void	-	Сжимает контейнер

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Класс GraphData				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
nodes	private	Node*	Массив вершин	
n	public	int	Количество вершин	
c		int	Ограничение по грузоподъёмности	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
GraphData	public	конструктор	PyObject *problem	Инициализирует граф
~GraphData		деструктор	-	Удаляет граф из памяти
dist		double	int a, int b	Возвращает расстояние между вершинами
demand		int	int a	Возвращает нагрузку вершины

Класс InterfaceGate				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
bridge_dict	private	PyObject*	Словарь функций доступа к мосту интерфейса	
state		PyGILState_STATE	Состояние интерпретатора моста интерфейса	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
pylock	public	void	-	Занять мост интерфейса для обращения
pyunlock		void	-	Разблокировать мост интерфейса
init		void	-	Инициализировать интерфейс
extract_event		PyObject*	-	Получить событие интерфейса
sendAppEvent		void	string newState, PyObject *update	Отправить событие в интерфейс
call	private	PyObject*	string func, PyObject *args	Вызвать функцию моста интерфейса

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Класс RouteSolution				
Поля				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Описание	
graph	public	GraphData*	Ссылка на объект графа	
routes		vector <Route*>	Массив маршрутов	
cost		double	Оценка решения	
Методы				
Имя	Модификатор доступа	Тип	Аргументы	Описание
RouteSolution	public	конструктор	GraphData *graph	Инициализирует первое случайное решение
~RouteSolution	public	конструктор	RouteSolution *prev	Инициализирует новое решение путём случайного изменения предыдущего
count_cost	private	void	—	Пересчитывает оценку решения

Компонент App.vue		
Поля		
Имя	Описание	
store	Глобальное хранилище интерфейса	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
created	-	Инициализирует систему интерфейса
handleAppEvent	event	Обрабатывает полученное событие

Компонент CarsInfo.vue		
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
cars	-	Извлекает из хранилища информацию о транспортных средствах

Компонент DisplayMode.vue		
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
toggle	-	Сменить режим отображения
onlyBest	-	Получить текущий режим отображения

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Компонент Files.vue		
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
loadProblem	-	Загрузить задачу
loadSolution	-	Загрузить решение
resetSolution	-	Сбросить решение
file	-	Возвращает название текущего файла
status	-	Возвращает текущий статус в текстовом виде
problemLoadAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент загружать задачу
solutionLoadAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент загружать решение
solutionSaveAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент сохранять решение
solutionResetAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент сбросить решение

Компонент Graph.vue		
Поля		
Имя	Описание	
vertices	Вершины графа	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
mounted	-	Инициализирует область для отрисовки
updateVertices	v	Обновляет вершины графа
redrawGraph	-	Перерисовывает граф
drawRoutes	ctx	Рисует маршруты
drawVertices	ctx	Рисует Вершины

Компонент ProcessControl.vue		
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
launchSolve	-	Запускает решение
pauseSolve	-	Ставит решение на паузу
stopSolve	-	Останавливает решение
launchAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент запускать решение
pauseAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент ставить решение на паузу
stoppingAbility	-	Возвращает флаг можно ли в данный момент останавливать решение

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Компонент Progress.vue		
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
beforeProcess	-	Возвращает флаг, является ли текущее состояние предшествующим запуску решения
afterProcess	-	Возвращает флаг, является ли текущее состояние следующим после запуска решения
progress	-	Возвращает текущий прогресс решения в процентах
styleObj	-	Возвращает стиль полосы прогресса с установленной шириной в процентах
textStatus	-	Возвращает текущий статус прогресса выполнения

Компонент ResultChart.vue		
Поля		
Имя	Описание	
currentPoints	Текущие точки графика	
bestPoints	Лучшие точки графика	
chart	График	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
mounted	-	Инициализирует график
updateChart	-	Обновляет график

Компонент Routes.vue		
Поля		
Имя	Описание	
routes	Маршруты графа	
vertexes	Вершины графа	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
mounted	-	Инициализирует точку запуска перерисовки
updateRoutes	-	Перерисовывает маршруты

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Компонент Settings.vue		
Поля		
Имя	Описание	
settings	Настройки запуска	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
created	-	Инициализирует начальные настройки запуска
allDisabled	-	Возвращает флаг являются настройки в данный момент недоступными
settingsModel	-	Возвращает ссылку на хранилище настроек
getSetting	key	Возвращает требуемую настройку
changeAuto	key	Изменяет значение автоматизации требуемой настройки
calcAuto	-	Вычисляет автоматические настройки
validateSetting	setting, min, max, normal	Проверяет, что настройка является корректной. Устанавливает корректное значение в противном случае
validateSettings	-	Проверяет все настройки на корректность
inputUpdate	-	Запускает проверку на корректность после текущего изменения значения одной из настроек

Компонент Stats.vue		
Поля		
Имя	Описание	
stats	Параметры статистики выполнения	
Методы		
Имя	Аргументы	Описание
created	-	Инициализирует начальные параметры статистики выполнения
statsVals	-	Вычисляет текущие параметры статистики выполнения

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

[illegible]

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.503200-01 81				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. Инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата