

УДК 623.385.6

## Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера

Семенов С. С., Педан А. В., Воловиков В. С., Климов И. С.

**Постановка задачи:** провести анализ существующих эвристических алгоритмов и оценить их трудоемкость при решении задачи коммивояжера. **Актуальность работы:** задача коммивояжера является NP-трудной задачей, т.е. точное решение которой может быть получено только за экспоненциальное время. Следовательно, решать ее алгоритмом полного перебора не эффективно при большом количестве вершин графа. Однако существуют различные эвристические алгоритмы, которые позволяют найти рациональное решение данной задачи при большом количестве вершин за приемлемое время. Необходимо выработать критерий применимости того или иного алгоритма при решении задачи коммивояжера при различном количестве вершин графа и имеющемся ресурсе времени для проведения расчета. Данный критерий позволит более эффективно применять различные алгоритмы для решения задач в области логистики, в которых требуется рассчитать маршрут между взаимосвязанными вершинами графа и в дисциплине исследования операций для обоснования принятия решений во всех областях человеческой деятельности. **Целью работы** является определение времени решения задачи о коммивояжере каждым из описанных в данной статье эвристических алгоритмов и сравнение полученных результатов со временем выполнения алгоритма полного перебора, а также описание критерия применимости того или иного алгоритма. **Используемые методы:** в статье приводятся материалы проведенных исследований трудоемкости эвристических алгоритмов, реализованных в виде программы для ЭВМ, над которой был проведен эксперимент для получения статистических данных результатов работы алгоритмов. **Результат:** описан критерий выбора алгоритма для расчета рационального маршрута, который зависит от количества вершин графа и доступного ресурса машинного времени для расчета. **Практическая значимость** результатов состоит в возможности на основании описанного критерия применять более рациональный с точки зрения временных затрат алгоритм при решении задачи коммивояжера в различных областях человеческой деятельности.

**Ключевые слова:** эвристический алгоритм, полный перебор, граф, рациональный маршрут, коммивояжер.

### Постановка задачи

В качестве исходных данных на площади  $S$  берется множество  $N$  вершин графов (контрольных точек), которые связаны между собой дорожно-транспортной сетью. Из возможных вариантов маршрутов необходимо выбрать близкий к оптимальному маршрут движения коммивояжера между вершинами графа.

Очевидно, что задача может быть решена перебором всех вариантов объезда и выбором оптимального маршрута. Проблема в том, что количество

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

Семенов С. С., Педан А. В., Воловиков В. С., Климов И. С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 116–131. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf>

#### Reference for citation:

Semenov S. S., Pedan A. V., Volovikov V. S., Klimov I. S. Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 116–131. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf> (in Russian).

возможных маршрутов возрастает с ростом  $N$  – количества вершин графа. Оно равно  $N!$  – количеству способов упорядочения вершин графа. Так как маршрут должен проходить через каждую вершину только один раз – выбор будет осуществляться среди гамильтоновых циклов, поэтому выбор маршрута зависит от того, существует ли маршрут не длиннее, чем заданное значение  $L_{min}$ .

Алгоритм, основанный на полном переборе вариантов, не является самым эффективным (в смысле быстродействия) для решения задачи коммивояжера. В работе [1] доказано, что не существует алгоритма решения, имеющего степенную сложность (то есть требующего порядка  $n^a$  операций для некоторого  $a$ ) – любой алгоритм будет хуже. Всё это делает задачу коммивояжера трансвычислительной для ЭВМ с последовательным выполнением операций, если  $n$  хоть сколько-нибудь велико.

Таким образом, следует отказаться от попыток отыскать точное решение задачи коммивояжера и сосредоточиться на поиске приближённого – пусть не оптимального, но близкого к нему маршрута.

### Описание выбранных эвристических алгоритмов, используемых для поиска маршрута

*Полный перебор* заключается в поиске решения путем перебора всевозможных вариантов решения, и отыскания среди этих вариантов удовлетворяющего заданным требованиям. Достоинство данного метода – это высокая точность результата. Главным недостатком является количество времени, необходимое для отыскания всевозможных вариантов решения, которое растёт вместе с увеличением количества  $N$  вершин графа, что может потребовать для поиска решения количество времени, несравнимое с человеческой жизнью. Для поиска решения в работе использовался вариант алгоритма, в котором расчет длины маршрута прекращался в момент, когда его длина  $L$  становилась больше текущей наилучшей длины маршрута  $L_{тек}$ , что позволило сократить время расчета.

*Жадный алгоритм* заключается в поиске локального оптимального решения в надежде, что оно приведет к оптимальному решению глобальной задачи. Достоинством данного алгоритма является время  $T$  поиска решения, а недостатком является то, что решение в большинстве случаев является не оптимальным. Блок-схема, описывающая жадный алгоритм, приведена на рис. 1.

Входные данные для жадного алгоритма:

$K_c$  – множество скоплений вершин графа;

$i_c$  – номер вершины от которой ищем ребро;

$j_c$  – номер вершины к которой ищем ребро;

$c_{тек}$  – наиболее выгодное значение цены ребра в данный момент;

$n_{тек}$  – номер вершины с наиболее выгодной ценой ребра;

$G_{марш}$  – вершины, содержащие результирующий маршрут;

$L_{расч}$  – результирующая протяженность значения маршрута;

$b_c$  – счетчик вершин графа.

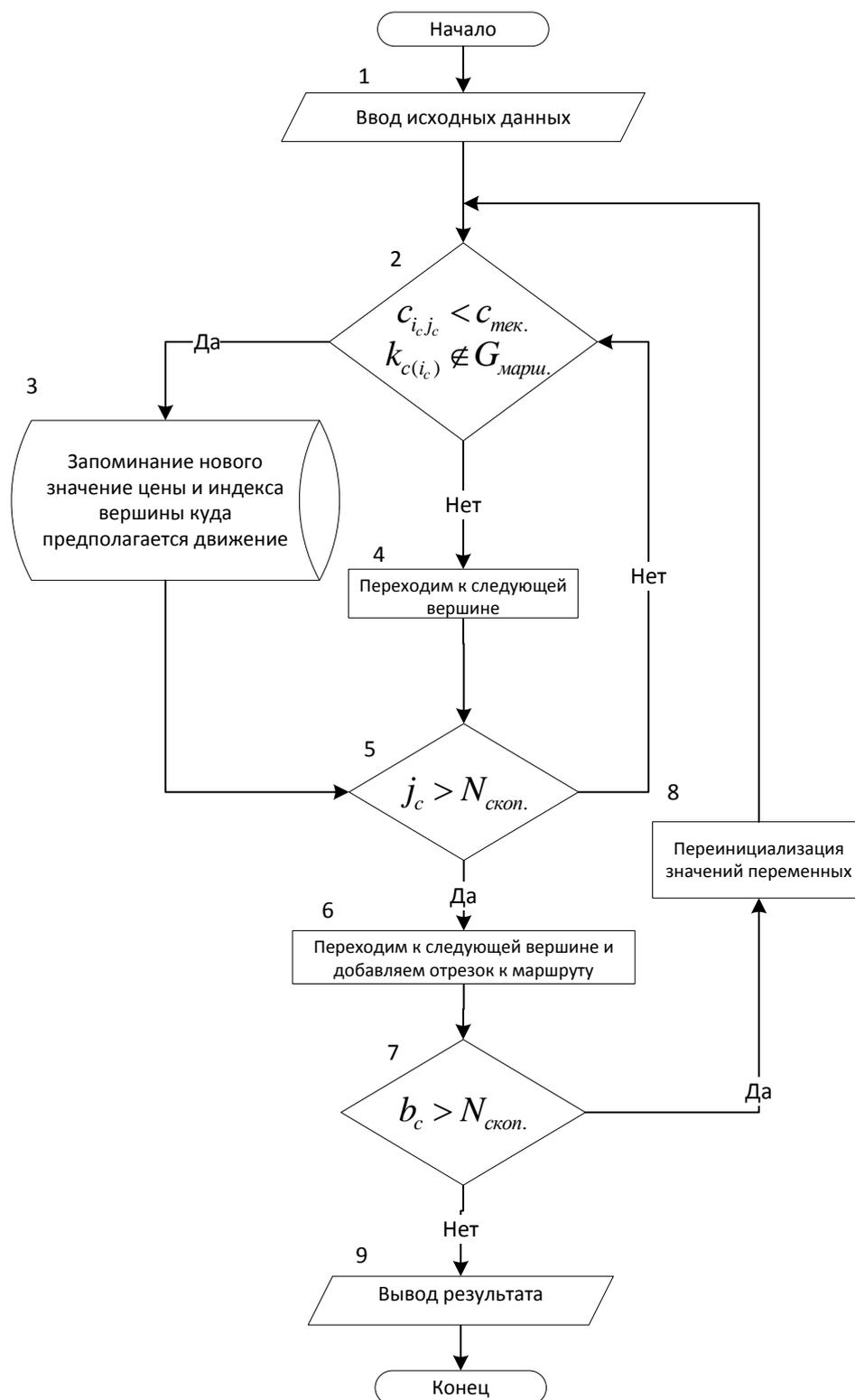


Рис. 1. Блок-схема жадного алгоритма

Алгоритм имитации отжига [4, 5] – приближенный метод решения задачи поиска минимума функции. За основу взят физический процесс кристаллизации вещества, который применяют в металлургии для повышения однородности металла. Отжиг – это процесс остывания вещества, при котором молекулы на фоне замедляющегося теплового движения собираются в наиболее энергетически выгодные конфигурации. Как известно, у металла есть кристаллическая решетка, она описывает геометрическое положение атомов

вещества. Совокупность позиций всех атомов будем называть маршрутом между вершинами. Каждому маршруту соответствует определенная протяженность между вершинами. Цель отжига – привести маршрут в состояние с наименьшей протяженностью. Чем ниже уровень энергии, тем «меньше» протяженность маршрута.

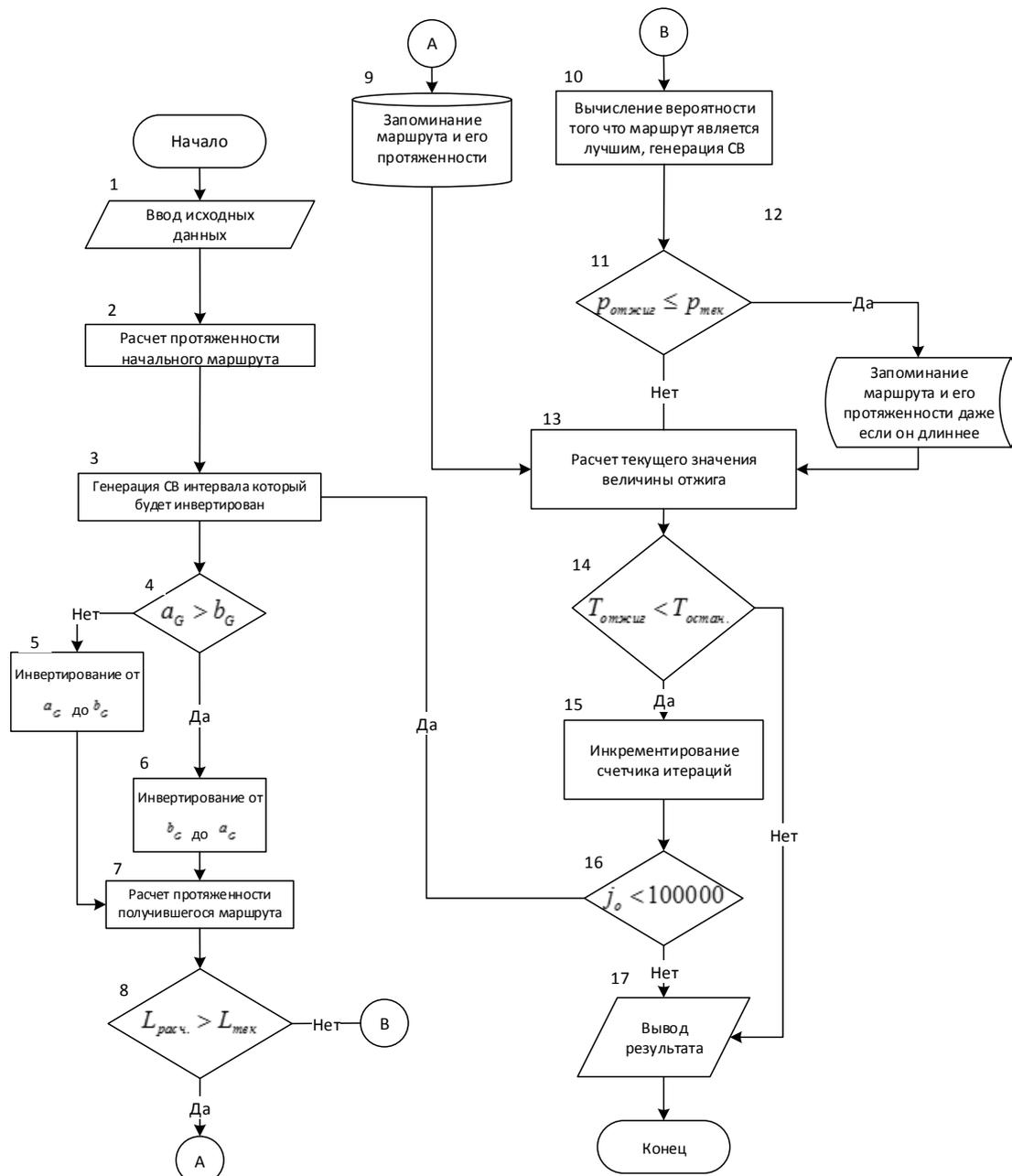


Рис. 2. Блок-схема алгоритма имитации отжига

В ходе «отжига» сначала задается некоторая температура, затем начинается медленное и контролируемое понижение этой температуры. Вершины выстраиваются в состояние с наименьшей протяжённостью, однако, с определенной вероятностью они могут перейти и в состояние с большей протяженностью. Эта вероятность уменьшается вместе с температурой. Переход в худшее состояние помогает отыскать маршрут с меньшей протяженностью, чем начальная. Процесс завершается, когда температура

падает до заранее заданного значения. Начальный маршрут формируется стохастическим путем.

Данные, необходимые для реализации алгоритма имитации отжига:

$K_c$  – множество скоплений вершин графа;

$a_G$  – позиция элемента в последовательности  $G_{расчет}$ ;

$b_G$  – позиция элемента в последовательности  $G_{расчет}$ ;

$G_{расчет}$  – вариант маршрута;

$G_{марш}$  – результирующий маршрут;

$T_{отжиг}$  – текущее значение величины (температуры) отжига;

$T_{остан}$  – значение величины (температуры) отжига до которой будет декрементирована величина  $t_{отжиг}$ ;

$t_{отжиг}$  – начальное значение величины (температуры) отжига;

$p_{отжиг}$  – вероятность выбора лучшего маршрута;

$p_{твк}$  – случайная величина, сгенерированная по равновероятному закону.

Блок-схема, описывающая данный алгоритм, представлена на рис. 2.

*Муравьиный алгоритм* [2, 3, 9, 10] (алгоритм оптимизации муравьиной колонии) – позволяет находить приближенные решения задачи коммивояжера. Основной идеей муравьиного алгоритма является имитация поведения муравьиной колонии при поиске еды. Проходя маршрут от одной вершины графа (жилища) до другой вершины графа (источника пищи), муравьи (агенты) оставляют после себя след феромона, то есть повышают значимость ребра, которая со временем уменьшается (испаряется). Значимость ребра на маршруте зависит от длины маршрута  $L$  и от количества агентов, которые прошли по маршруту.

Блок-схема, реализующая муравьиный алгоритм, представлена на рис. 3.

*Генетический алгоритм* [6, 7, 8, 10] использует механизм эволюции – представляет собой естественный отбор. Его суть состоит в том, что более приспособленные особи имеют больше возможностей для выживания и размножения. При этом благодаря передаче генетической информации (генетическому наследованию) потомки наследуют от родителей основные их качества. Таким образом, потомки сильных индивидуумов также будут более эффективными, а их доля в общей массе особей будет возрастать. После смены нескольких десятков или сотен поколений средняя приспособленность особей данного вида заметно возрастает. Блок-схема, описывающая генетический алгоритм, приведена на рис. 4.

Исходные данные для генетического алгоритма:

$G_{ген}$  – множество вариантов маршрутов между вершинами графа;

$N_{разм.попул.}$  – размер множества  $G_{ген}$ ;

$n_2$  – номер вершины в маршруте, принимает значения в интервале  $[1, N_{разм.попул.}]$ ;

$G_{расчет(i)}$  – вариант маршрута;

$i_2$  – индекс маршрута, принимает значения в интервале  $[1, N_{скон}]$ ;

$v_2$  – переменная-счетчик;

$L_{тек(i)}$  – протяженность маршрута одного из вариантов маршрутов.

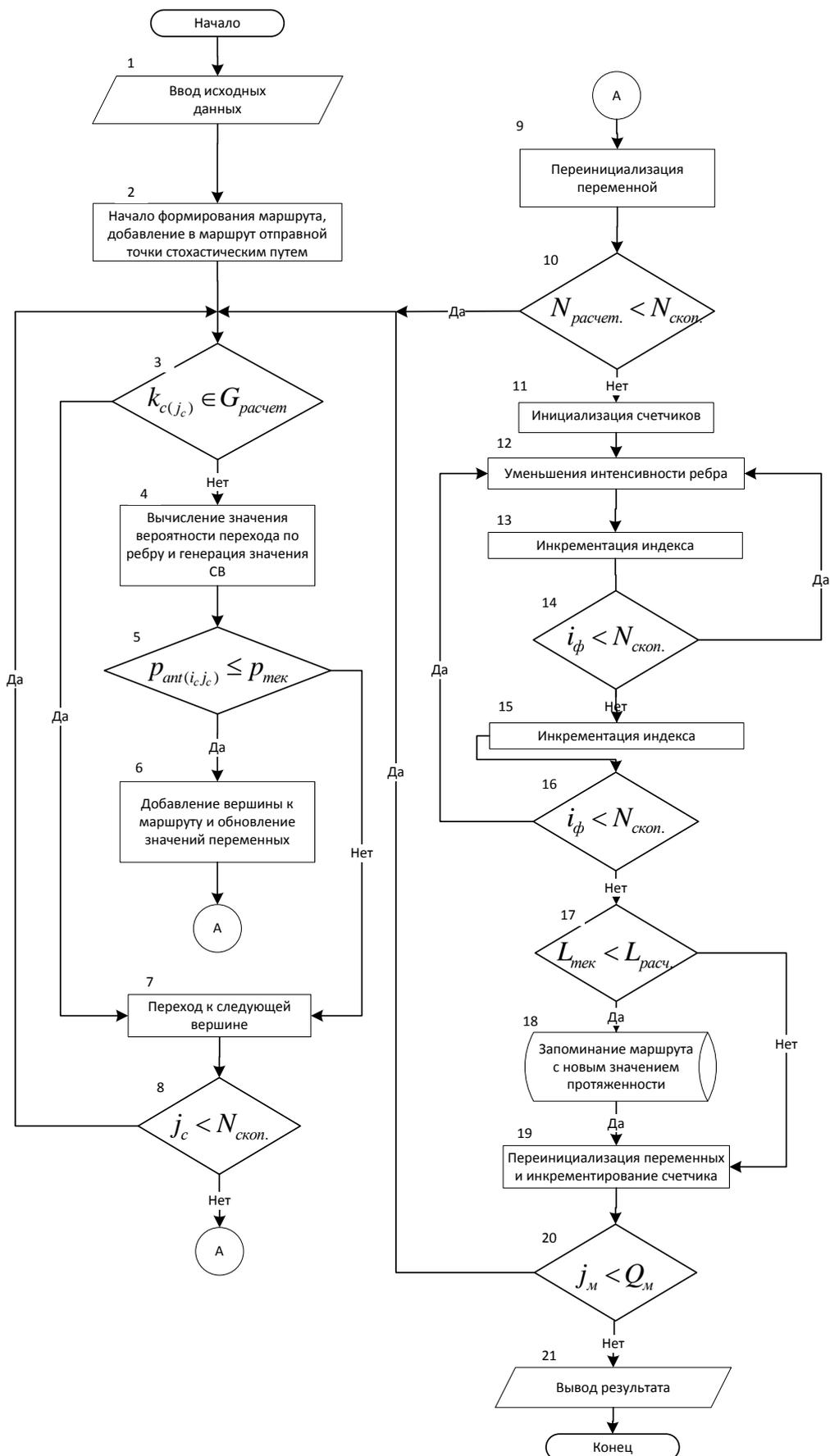


Рис. 3. Блок-схема муравьиного алгоритма

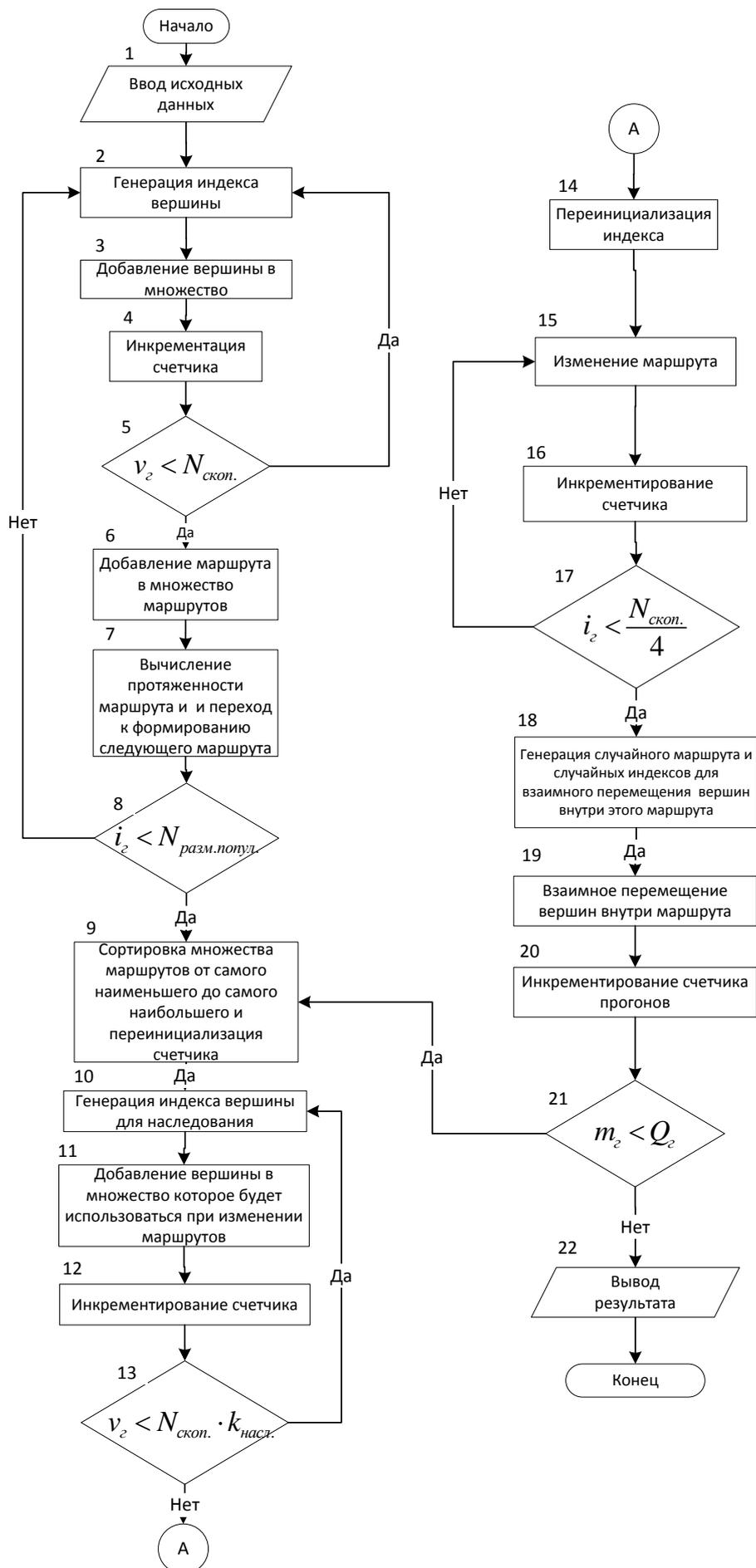


Рис. 4. Блок-схема генетического алгоритма

### Результаты моделирования

Работа алгоритмов была реализована в виде программы в среде имитационного моделирования AnyLogic на ЭВМ, обладающей следующими характеристиками: Intel Core i5-4690 CPU 3.5 GHz, ОЗУ 4 Гб, ОС Windows 8.1.

Разработанная программа [11] позволяет задать количество вершин  $N$ , которые размещаются в ограниченном квадрате, координаты размещения вершин генерируются с помощью равновероятного закона распределения случайной величины, то есть структура топологии генерируется каждый раз новым образом с новыми весами ребер. После чего производится формирование матрицы смежностей  $N \times N$  между городами. Программа позволяет произвести расчет различных вариантов маршрутов с помощью выше рассмотренных алгоритмов.

Во время расчета каждым из алгоритмов фиксируется время работы алгоритма  $T$  и результат средней протяженности полученного маршрута  $L$ .

Расчеты с учетом значений протяженности маршрута полученных алгоритмом полного перебора были выполнены до  $N=15$  включительно. Исследования при  $N>15$  проводились без учета результатов алгоритма полного перебора в связи большими затратами времени для его расчета. Полученные результаты проведенных экспериментов при различных значениях  $N$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета маршрута

$N$	Муравьиный алгоритм		Жадный алгоритм		Алгоритм отжига		Генетический алгоритм		Алгоритм полного перебора	
	$T$	$L$	$T$	$L$	$T$	$L$	$T$	$L$	$T$	$L$
5	0,013	977,151	0	977,151	0,282	1083,558	8,688	977,151	0	977,151
6	0,001	1594,968	0	1670,669	0,313	1664,937	8,64	1594,96	0	1594,96
7	0,005	1218,34	0	1390,193	0,328	1218,34	8,688	1218,34	0	1218,34
8	0,01	1646,893	0,001	1646,893	0,344	1646,893	8,875	1646,89	0	1646,89
9	0,014	1491,867	0	1634,396	0,344	1757,927	8,922	1491,86	0,015	1491,86
10	0,009	1758,67	0	1800,987	0,438	1928,311	9,078	1744,06	0,109	1758,67
11	0,01	2017,172	0	2142,77	0,453	1939,061	9,328	1939,06	0,937	1939,06
12	0,006	2208,56	0	2704,308	0,437	2350,396	9,079	2208,56	9,079	2208,56
13	0,016	1940,704	0	1940,704	0,406	2148,848	9,531	1940,70	91,986	1940,70
14	0,009	2415,302	0	2505,856	0,391	2518,657	9,188	2361,97	1454,33	2317,31
15	0,013	2524,521	0	2738,36	0,422	2478,504	9,672	2491,81	19861,0	2418,40
16	0,009	1945,936	0	2254,01	0,406	2074,755	10,109	1993,68	$\infty$	$\infty$
30	0,046	3066,647	0	3817,292	0,531	3681,766	10,719	2971,48	$\infty$	$\infty$
50	0,107	3729,073	0	4316,43	0,719	3711,972	13,548	3491,55	$\infty$	$\infty$
100	0,46	5928,033	0	6146,253	1,157	5505,12	24,172	5539,24	$\infty$	$\infty$
200	2,64	8304,526	0	8658,778	2,031	7421,951	56,454	9562,30	$\infty$	$\infty$

На рис. 5. представлена зависимость среднего времени расчета маршрута каждым из алгоритмов для задачи коммивояжера от количества вершин графа в логарифмических единицах, за исключением алгоритма полного перебора, который имеет экспоненциальную временную зависимость.

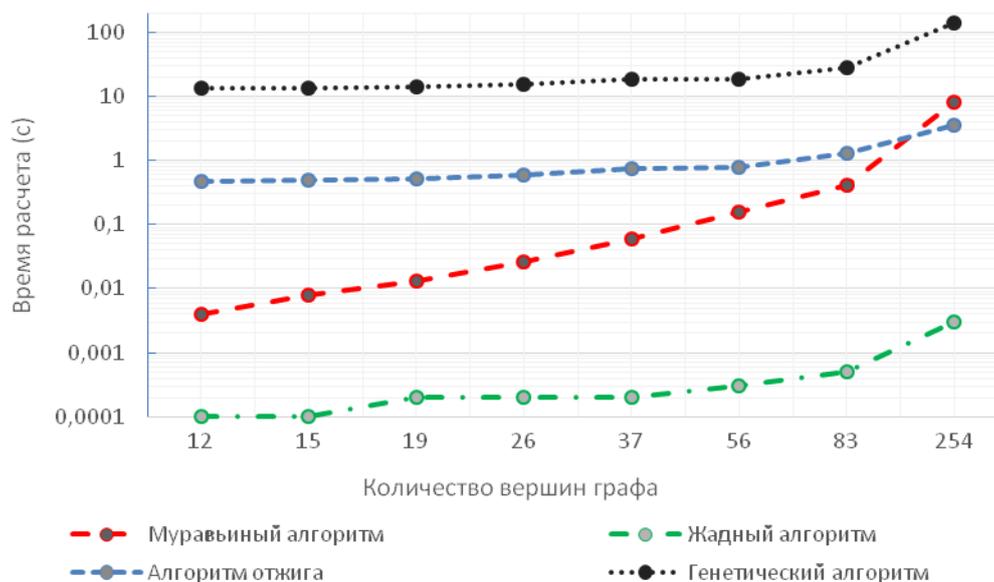


Рис. 5. Зависимость времени расчета маршрута от  $N$  для каждого из алгоритмов в логарифмических единицах

Анализ полученных временных характеристик расчета маршрута показывает, что при увеличении количества вершин в графе время, необходимое для поиска маршрута, между алгоритмами распределяется неравномерно. Самым ресурсоемким в отношении времени вычисления пути является алгоритм полного перебора, при 15 вершинах в графе время расчета маршрута составляет 5,5 ч. Так, например, для  $N=15$  расчет длился 6 ч, время работы остальных алгоритмов не превысил 1 мин.

Анализ полученных характеристик протяженности маршрута на рис. 6. показывает, что при  $N < 16$  генетический алгоритм выдает решение, близкое к решению, полученному алгоритмом полного перебора или ему равное. Результат работы жадного алгоритма имеет большой разброс результирующих значений.

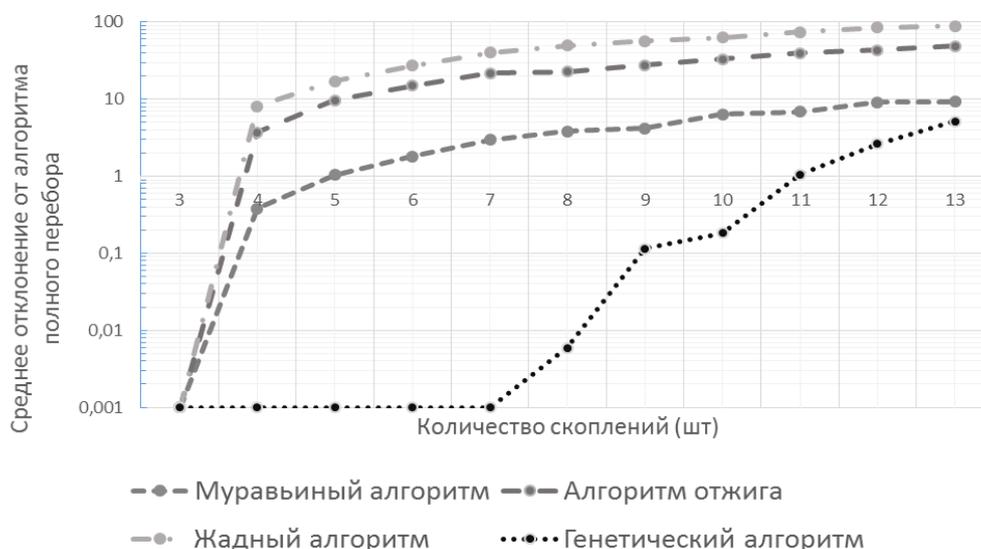


Рис. 6. Среднее отклонение результатов эвристических алгоритмов от алгоритма полного перебора

При больших значениях количества вершин графа  $N > 100$  муравьиный и жадный алгоритмы начинают уступать алгоритму имитации отжига по протяженности полученных маршрутов  $L$ . В связи с этим, для улучшения работы муравьиного и генетического алгоритмов была проведена корректировка их исходных значений. Для муравьиного алгоритма увеличено количество муравьев в колонии, задействованных для поиска решения, а для генетического алгоритма увеличен размер популяции и количество генов, участвующих в процессе мутации.

Изменения параметров алгоритмов привели к увеличению времени поиска протяженности маршрута  $L$  как в муравьином, так и в генетическом алгоритме. Результаты работы муравьиного и генетического алгоритмов при изменении их исходных данных приведены на рис. 7 и на рис. 8. Анализ показал, что увеличение в муравьином алгоритме количества особей колонии со 100 до 1000 позволило получить выигрыш по сравнению с алгоритмом имитации отжига. Изменение в генетическом алгоритме размера популяции с 400 до 1000 и количества генов, участвующих в процессе мутации, с 10 до 100, не позволило получить такого же выигрыша.

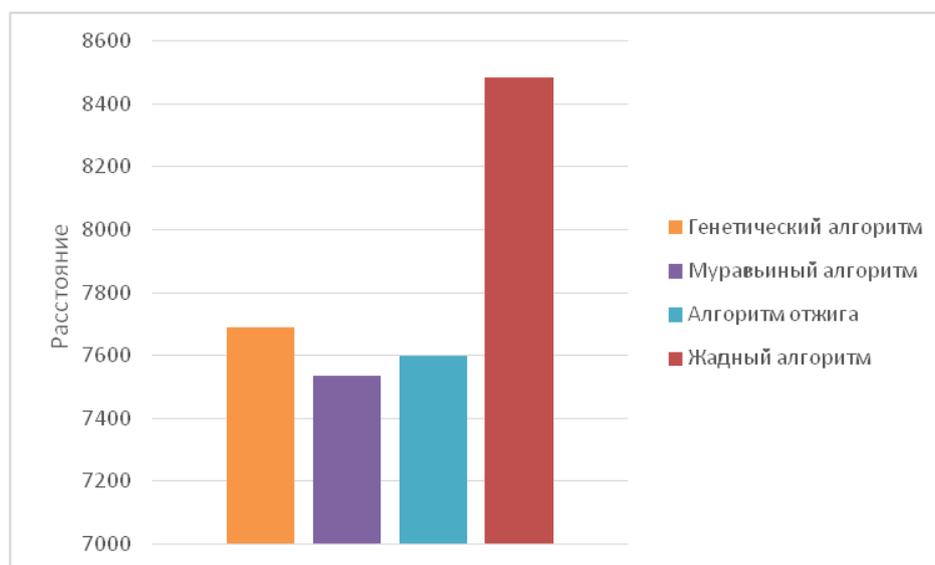


Рис. 7. Результаты расчета маршрута при количестве  $N=200$

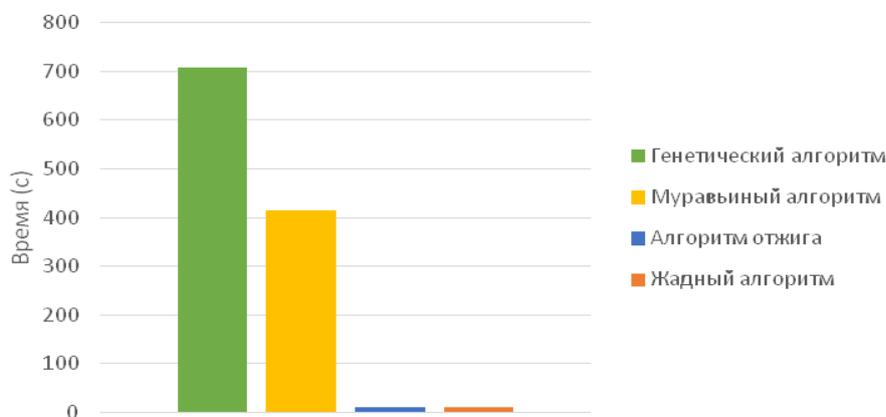


Рис. 8. Значение времени, затраченного каждым из алгоритмов для расчета маршрута при  $N=200$

Дальнейшее увеличение в муравьином алгоритме количества особей колонии (агентов) с 1000 до 10000, а в генетическом алгоритме популяции с 1000 до 3000 и мутаций со 100 генов до 1000 показало, что существенного выигрыша при расчете длины маршрута получить не удалось. В генетическом алгоритме маршрут сократился на 2,28 % от первоначального, однако время увеличилось почти в 22,5 раза; при использовании муравьиного алгоритма маршрут увеличился на 6,14 %, а время увеличилось в 2,78 раза. Данные результаты приведены на рис. 9 и на рис. 10.

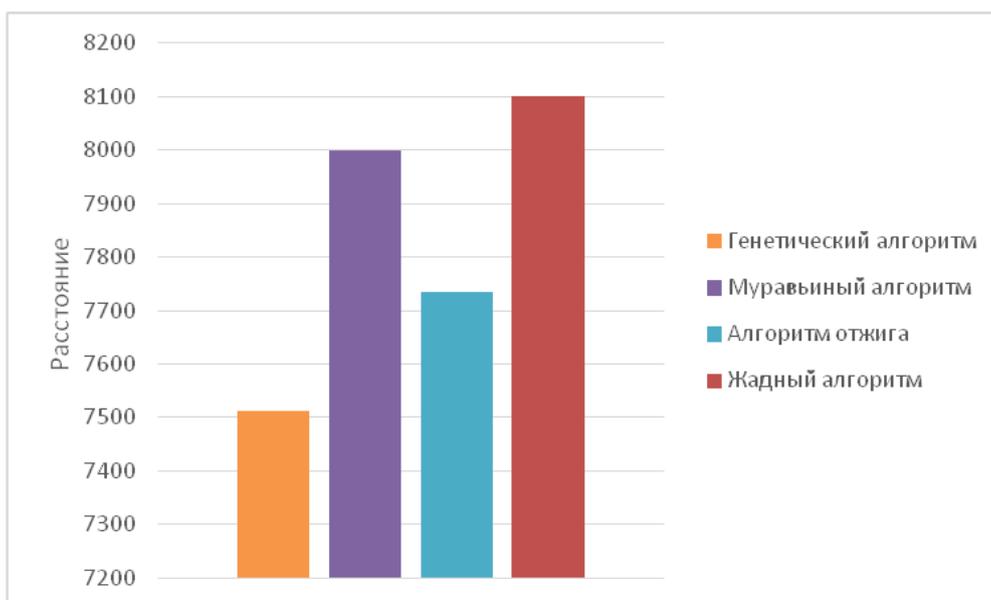


Рис. 9. Результаты расчета маршрута при  $N=200$

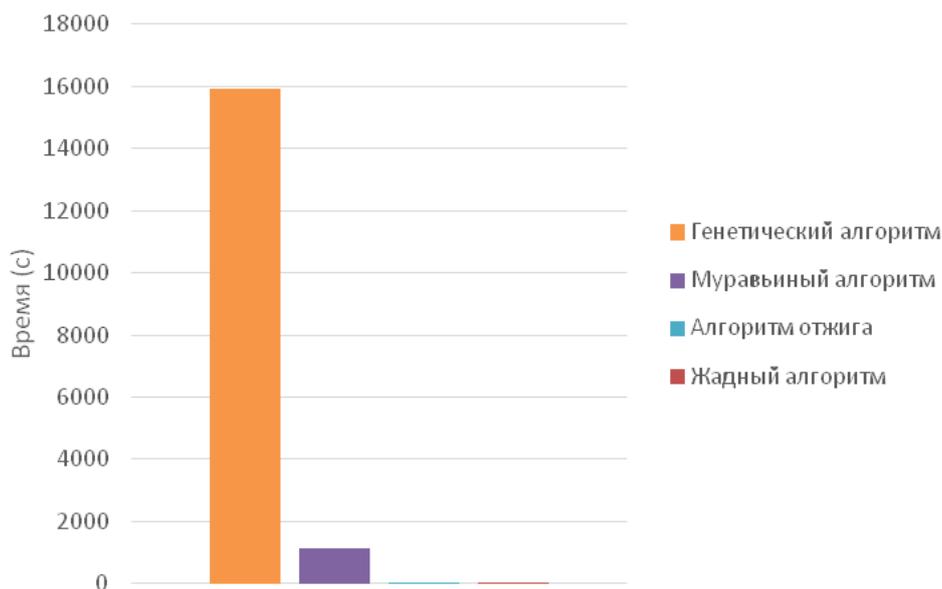


Рис. 10. Значение времени, потраченного каждым из алгоритмов для расчета маршрута при  $N=200$

На рис. 11. представлен результат расчета задачи коммивояжера с помощью муравьиного алгоритма при  $N=200$ .

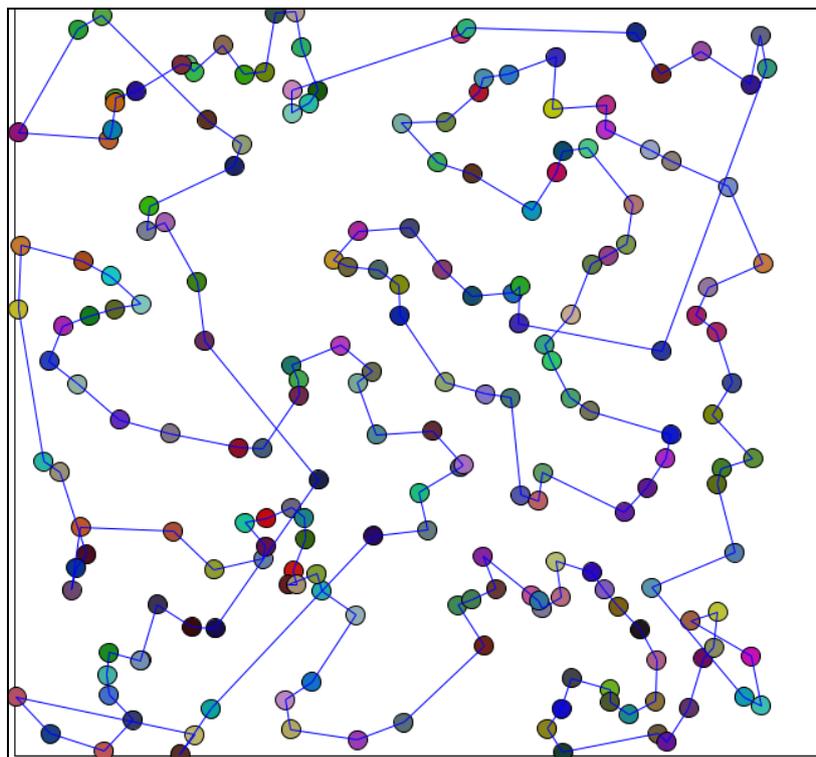


Рис. 11. Маршрут, рассчитанный с помощью муравьиного алгоритма при  $N=200$

### Выводы

Из проведенного анализа полученных результатов следует, что критерий выбора алгоритма для расчета маршрута будет зависеть от количества городов  $N$  и доступного ресурса машинного времени  $T_{маш.}$ . Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- при  $N < 11$  поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью алгоритма полного перебора, который позволяет получить точное решение за  $T_{маш.} < 1$  с;
- при  $N > 11$  и  $N < 100$  поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью муравьиного и генетического алгоритмов, которые позволяют получить решения за  $T_{маш.} < 1$  с и  $T_{маш.} < 20$  с соответственно;
- при  $N > 100$  и  $N < 200$  поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью муравьиного и генетического алгоритмов, которые позволяют получить решения за  $T_{маш.} < 3$  с и  $T_{маш.} < 1$  мин соответственно.
- при  $N > 11$  необходимо учитывать алгоритм имитации отжига, который позволяет получить решение за  $T_{маш.} < 3$  с, результаты которого в отдельных случаях могут быть лучшими.

Для сравнения эффективности (длина пути) и стоимости (затраты времени) при любом числе городов (вершин графа) в процентном соотношении необходимо один из алгоритмов взять за базовый. Пусть это будет наихудший из алгоритмов по такому показателю как длина пути – жадный алгоритм. Далее проанализируем графики, представленные на рис. 7 и на рис. 8. Генетический алгоритм эффективней жадного алгоритма на 10,4 %, муравьиный алгоритм –

на 12,6 %, алгоритм отжига – на 11,7 %. Однако, жадный алгоритм является самым низкочастотным по времени. Так, при аналогичном анализе можно наблюдать, что генетический алгоритм требует в 70,9 раз больше времени для своей реализации, муравьиный алгоритм – в 41,5 раза больше, затраты времени на реализацию алгоритма отжига примерно равны затратам жадного алгоритма. Муравьиный и генетический алгоритмы, в зависимости от своих входных данных, могут давать более эффективные результаты по сравнению с алгоритмом имитации отжига, однако затраты времени на решение при этом значительно возрастают в сравнении с другими алгоритмами.

### Литература

1. Рейндогльд Э., Део Н. Комбинаторные алгоритмы решения задачи коммивояжера. Теория и практика. – М.: Мир, 2000. – 480 с.
2. Курейчик В. М., Кажаров А. А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. № 4. С. 7-12.
3. Курейчик В. М., Кажаров А. А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. № 7. С. 30-35.
4. Савин А. Н., Тимофеева Н. Е. Применение алгоритма оптимизации методом имитации отжига на системах параллельных и распределённых вычислений // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2012. № 1. С. 110-116.
5. Анашкина Н. В., Шурупов А. Н. Экспериментальное сравнение алгоритмов Балаша и имитации отжига в задаче решения систем линейных неравенств // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2014. № 7. С. 151-153.
6. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы // Известия Южного федерального округа. Технические науки. 1998. № 2. С. 5-12.
7. Луценко В. Н. Генетический алгоритм для решения транспортной задачи // Известия Южного федерального округа. Технические науки. 1996. № 1. С. 49-53.
8. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Алисевич Е. А., Попов А. В., Воронцов О. С., Киселев Д. В., Климов И. С. Программа для решения задачи коммивояжера с помощью генетического алгоритма // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 6. С. 32.
9. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Алисевич Е. А., Попов А. В., Воронцов О. С., Киселев Д. В., Климов И. С. Программа для решения задачи коммивояжера с помощью муравьиного алгоритма // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 6. С. 31
10. Семенов С. С., Воловиков В. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Киселев Д. В., Котляров Д. Ю., Вишняков Н. И. Имитационная модель ведения технической разведки техники связи и АСУ с применением средств роботизации // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 2. С. 15

11. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Шукин А. В., Ануфренко А. В., Корень М. Ю., Вишняков Н. И. Программа для расчета оптимального маршрута движения групп технической разведки техники связи и автоматизации // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 9. С. 6

### Reference

1. Rejndogl'd Je., Deo N. *Kombinatornye algoritmy reshenija zadachi kommivojazhera. Teorija i praktika* [Combinatorial algorithms for solving the travelling salesman problem. Theory and practice]. Moscow, Mir, 2000. 480 p. (in Russian).

2. Kureichik V. M., Kazharov A. A. О некотorykh modifikatsiakh murav'inogo algoritma [About some modifications of an ant algorithm]. *Izvestiya Southern Federal University. Engineering Sciences*, 2008, no. 4, pp. 7-12 (in Russian).

3. Kureichik V. M. Kazharov A. A. Swarm intelligence using for NP-tasks solving. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 2011, no. 7, pp. 30-35 (in Russian).

4. Savin A. N., Timofeeva N. E. The application of optimization algorithm using simulated annealing method for parallel computing system. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2012, no. 1, pp. 110-116 (in Russian).

5. Anashkina N. V., Shurupov A. N. Eksperimental'noe sravnenie algoritmov Balasha i imitatsii otzhiga v zadache resheniia sistem lineinykh neravenstv [Experimental comparison of algorithms of Balash and imitation of annealing in a task of the solution of systems of linear inequalities]. *Applied Discrete Mathematics. Supplement*, 2014, no. 7, pp. 151-153 (in Russian).

6. Kureichik V. M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 1998, no. 2, pp. 5-12 (in Russian).

7. Lutsenko V. N. Geneticheskii algoritm dlja resheniia transportnoi zadachi [Genetic algorithm for the solution of a transport task]. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 1996, no. 1, pp. 49-53 (in Russian).

8. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Alisevich E. A., Popov A. V., Vorontsov O. S., Kiselev D. V., Klimov I. S. Programma dlja reshenija zadachi kommivojazhjera s pomoshh'ju geneticheskogo algoritma [Program for solving the traveling salesman problem using genetic algorithm]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 6 pp. 32 (in Russian).

9. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Alisevich E. A., Popov A. V., Vorontsov O. S., Kiselev D. V., Klimov I. S. Programma dlja reshenija zadachi kommivojazhjera s pomoshh'ju murav'inogo algoritma [Program for solving the traveling salesman problem using ant algorithm]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 6, p. 31 (in Russian).

10. Semenov S. S., Volovikov V. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Kiselev D. V., Kotliarov D. Iu., Vishniakov N. I. Imitacionnaja model' vedenija

tehničkoj razvedki tehniki svjazi i ASU s primeneniem sredstv robotizacii [A simulation model of conducting technical intelligence communication technology and automation using robotics funds]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 2, p. 6 (in Russian).

11. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Shhukin A. V., Anufrenko A. V., Koren' M. Ju., Vishnjakov N. I. Programma dlja rascheta optimal'nogo marshruta dvizhenija grupp tehničkoj razvedki tehniki svjazi i avtomatizacii [The program for the calculation of the optimal route of movement of groups of technical intelligence communications engineering and automation]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 9, p. 6 (in Russian).

Статья поступила 28 февраля 2017 г.

### Информация об авторах

*Семенов Сергей Сергеевич* – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: semsem@yandex.ru

*Педан Алексей Викторович* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: mусop14@mail.ru

*Воловиков Владимир Сергеевич* – старший преподаватель кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: bbcvvc@yandex.ru

*Климов Иван Сергеевич* – курсант 1 факультета радиосвязи. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: kuroyogu@mail.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

## Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem

S. S. Semenov, A. V. Pedan, V. S. Volovikov, I. S. Klimov

**Formulation of the problem.** Analysis of existing heuristic algorithms and their complexity in solving the traveling salesman problem. **Actuality.** The traveling salesman problem is NP-hard task, i.e. an exact solution which can be obtained only in exponential time. Therefore, the exhaustive search algorithm is not efficient when we have many graph vertices. However, there are various heuristic algorithms which allow to find a rational solution to this problem with a large number of vertices for a reasonable time. The criterion is necessary for the validity of a particular algorithm in solving traveling salesman problems with different number of vertices of the graph and the available time resource for the calculation. This criterion will allow to more effectively apply a variety of algorithms for solving problems in the field of logistics, in which it is required to calculate between related vertices in the graph and in the discipline of operations research for rationale decision making in all areas of human activities. **The aim.** Description of the identified time dependencies of the task solution of the traveling salesman problem described in this article of heuristic algorithms comparison of the results obtained with the exhaustive search algorithm and description of the criterion of applicability of a particular algorithm. **Methods.** The selection criterion of the algorithm described for calculating the efficient route, it depends on the number of vertices of the graph and the available resource of computer time to calculate. **Result.** Describes the selection criterion of the algorithm for route calculation that will depend on the number of vertices of the graph and the available resource of machine time. **Practical relevance.** The opportunity to apply the necessary algorithm for solving the travelling salesman problem in various fields of human activities based on the described criteria.

**Keywords:** heuristic algorithms, exhaustive search, graph, efficient route, salesman.

### Information about Authors

*Semenov Sergey Sergeevich* – holder of an Advanced Doctorate of Engineering Sciences, Associate Professor. Professor at the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: semsem@yandex.ru

*Pedan Alexsey Victorovich* – postgraduate student of the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: mycop14@mail.ru

*Volovikov Vladimir Sergeevich* – Senior Lecturer at the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: bbcvvc@yandex.ru

*Klimov Ivan Sergeevich* – the cadet of the 1 faculty of radio communication. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: kuroyoru@mail.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiyy prospekt, 3.