

## Отзыв

официального оппонента Нурминского Евгения Алексеевича на диссертационную работу Долговой Ольги Эдуардовны «Муравьиные алгоритмы для решения задач маршрутизации транспорта», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Актуальность представляемой диссертационной работы является, если можно так сказать, триединой: во-первых, муравьиные алгоритмы весьма актуальны для решения сложных нелинейных невыпуклых задач глобальной оптимизации, нужда в которых весьма велика, и, во-вторых, в связи с проблематикой построения оптимальных маршрутов движения транспортных средств, что также исключительно актуально в связи с развитием интеллектуальных транспортных систем, беспилотных автомобилей, роботизацией портов и складов и т. п. Актуальным является также рассмотрение важных для практики задач маршрутизации транспорта с временными окнами и ограничениями на грузоподъемность транспортных средств.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.** В диссертации О.Э. Долговой дается подробное описание и алгоритмические схемы муравьиных алгоритмов, проведено исследование эффективности предлагаемых гибридных методов с использованием различных стратегий локального поиска, широко используемых в мировой практике. Предлагаемые решения подвергнуты детальной экспериментальной проверке на известных примерах, решения которых получены независимым образом рядом других авторов.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в научных публикациях автора, в том числе в трех работах, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК РФ, одна из которых входит в научное издание, включенное в следующие базы данных и каталоги научных изданий: Web of Science: Russian Scientific Citation Index at Web of Science, AMS MathSciNet, zbMATH. Автором получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Диссертационная работа также апробирована на всероссийских и международных конференциях.

**Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов.** К элементам научной новизны можно отметить ряд следующих результатов, представленных в диссертационной работе.

1. Использование лучевого поиска в гибридном методе для решении задачи маршрутизации с ограничением на грузоподъемность, позволило

повысить эффективность решения задач кластерного типа и задач небольшой размерности.

2. Использование релаксации временных ограничений при решении задач маршрутизации. Ослабление этих ограничений свою эффективность для решения задач кластерного типа и задач с долгосрочным горизонтом планирования.

**Фундаментальная значимость и прикладное значение.** Научная значимость диссертационной работы заключается в развитии приближенных методов для эффективного численного решения сложных задач маршрутизации транспорта и задач составления расписаний, которые по имеющимся в настоящее время оценкам имеют неполиномиальную вычислительную сложность. Теоретическая ценность результата заключается в исследовании эффективности использования муравьиных алгоритмов в составе гибридных методов для численного решения задач маршрутизации транспорта. Практическая значимость работы заключается в создании программного обеспечения, с помощью которого можно, как продемонстрировано в работе, с высокой точностью находить приближенные решения достаточно реалистичных и востребованных задач маршрутизации транспорта.

**Структура, содержание и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, словаря терминов, списка литературы из 134 наименований, списка иллюстративного материала, включающего 20 рисунков и 20 таблиц, двух приложений. Объем работы составляет 103 страницы машинописного текста.

Во введении дается общее представление о задаче маршрутизации транспорта, ее приложениях и методах решения.

Первая глава посвящена решению классической задачи маршрутизации транспорта с ограничением на грузоподъемность: приводится общее описание этой задачи и краткий обзор по существующим методам ее решения, дана математическая постановка задачи, описан гибридный метод, включающий муравьиный алгоритм с разработанной комбинированной схемой локального поиска, приводятся результаты решения тестовых задач из стандартного набора, представлено описание разработанного гибридного метода решения задачи, состоящего из метода лучевого поиска, муравьиных алгоритмов и локального поиска, исследуется эффективность различных метаэвристических подходов по результатам их сравнения друг с другом на примере решения задач случайного и кластерного типов из двух тестовых наборов. В конце главы для реальной задачи доставки бутилированной воды клиентам в черте г. Хабаровска оценивается экономическая выгода использования муравьиных алгоритмов при решении практических задач.

Вторая глава посвящена решению задачи маршрутизации транспорта с ограничениями по временным окнам: приводится общее описание этой задачи, краткий обзор по методам ее решения и постановка задачи, описан гибридный метод, включающий муравьиный алгоритм с разработанной комбинированной схемой локального поиска, приводятся результаты решения тестовых задач из стандартного набора, представлено описание разработанного гибридного метода решения задачи, состоящего из методов построения исходных решений, муравьиного алгоритма и локального поиска, приведены результаты

вычислительных экспериментов, исследуется эффективность разработанных алгоритмов в сравнении с результатами, полученными при помощи точных методов, получены зависимости погрешностей нахождения известных оптимумов от выделяемых временных ресурсов.

Третья глава посвящена решению задачи составления расписаний на одном приборе с минимизацией суммарного запаздывания: приводится общее описание этой задачи, краткий обзор по методам ее решения и постановка задачи, описан разработанный гибридный метод решения задачи на основе муравьиного алгоритма, представлены результаты решения тестовых задач, проводится сравнение разработанного алгоритма с муравьиным алгоритмом других авторов

В заключении диссертации формулируются основные результаты работы, намечаются направления дальнейших исследований.

Приложения включают сведения о “жадном” алгоритме, который используется в диссертации для решения задач, подробную информацию по входным данным тестовых задач маршрутизации транспорта с ограничениями по временным окнам.

**Достоинства работы.** Следует отметить хорошее качество обзора современного состояния научных исследований в рассматриваемой области алгоритмики для решения задач маршрутизации, начиная с основной идеи и заканчивая последними разработками. Работа выполнена на высоком научном уровне, материал представлен последовательно, лаконично, без лишних сведений.

Программная реализация алгоритмов проведена на языке программирования высокого уровня и достаточно хорошо самодокументирована, что может позволить его кросскомпиляцию в другие вычислительные среды.

Приведено большое количество вычислений для проверки работоспособности и эффективности предлагаемых алгоритмов для всех типов исследуемых задач.

**Замечания и вопросы по содержанию диссертационной работы.** По защищаемой работе имеется ряд замечаний, из которых наиболее существенным на взгляд оппонента является недостаточное исследование влияния топологии и других характеристик транспортной сети, на фоне которой происходит поиск оптимальной маршрутизации. В частности в гл. I, стр. 16 предполагается полнота транспортного графа (каждая вершина связана с каждой), что является нереалистичным предположением. Кроме этого в работе предполагается (стр. 19) евклидова метрика в качестве функции расстояния, что тоже нереалистично для городских транспортных сетей. По всей видимости в работе при решении практического примера используется все же метрика сетевых расстояний типа «метрики Манхэттена», что может объяснить некоторую странность результатов, приведенных в Табл. 8 (стр. 39) где наилучший результат не улучшается, несмотря на значительное увеличение временных ресурсов, выделенных на поиск оптимальной маршрутизации.

Хотя в целом экспериментальная часть работы проделана на высоком уровне, с использованием большого числа тестовых задач, известных из литературы, все же

желательно было бы целевым образом попытаться определить специфику задач, для которых предлагаемые алгоритмы обладают как особенными преимуществами, так и особенными недостатками. Последнее позволило бы наметить перспективные направления для дальнейших исследований.

### **Общее заключение**

Вышеперечисленные замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертационного исследования. Считаю, что диссертация Долговой Ольги Эдуардовны «Муравьиные алгоритмы для решения задач маршрутизации транспорта» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой предложены и верифицированы новые гибридные методы решения задач маршрутизации транспорта. Тематика и результаты выполненных в диссертации исследований соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными, достоверными и имеющими теоретическое и практическое значение. В автореферате и в публикациях соискателя в полной мере отражено содержание диссертации, а также наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Долгова Ольга Эдуардовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### **Официальный оппонент:**

Нурминский Евгений Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор; ведущий научный сотрудник кафедры математических методов в экономике, Школа естественных наук ДВФУ.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, тел. 8 (423) 265 24 29,  
e-mail: [nurminskiy.ea@dvfu.ru](mailto:nurminskiy.ea@dvfu.ru).

Нурминский Евгений Алексеевич

«06» декабря 2018 г.