

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Нгуен Гуй Лиема «**Интеллектуальная технология решения задач оптимизации транспортно-логистических систем на основе физических аналогий**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

### *1. Актуальность темы*

Актуальность диссертационной работы Нгуен Гуй Лиема определяются тем, что развитие логистических систем на современном этапе требует построения точных и адекватных математических моделей, которые позволяют учитывать факторы, зачастую остающиеся при проведении соответствующих исследований за рамками рассмотрения. Это могут быть, к примеру, особенности рельефа местности, естественные преграды (горы, водоемы и т.д.), неравномерность плотности населения, развития социальной инфраструктуры и т.п. Также для решения возникающих при математическом моделировании в данном случае специальных задач бесконечномерной оптимизации необходима (вследствие их специфичности) разработка оригинального программно-алгоритмического аппарата.

Для решения указанных проблем Нгуен Гуй Лиемом предложено математическое, алгоритмическое и программное обеспечение поддержки научных исследований в области транспортной и инфраструктурной логистики, позволяющее решать задачи оптимизации, возникающие в транспортно-логистических системах.

### *2. Постановка цели и задач исследования*

В диссертационной работе сформулирована её цель: разработка математических моделей, численных методов и программных средств исследования оптимизационных задач транспортной логистики; разработка интеллектуальной системы поддержки научных исследований в области транспортной и инфраструктурной логистики.

Для достижения сформулированной цели соискателем обоснованы решаемые задачи:

1. Свести транспортно-логистические задачи к задачам вариационного исчисления, при построении которых производится учет возможных

естественных условий, включая дорожную сеть, населенные пункты, существующие логистические центры, особенность местности и т.д.

2. Разработать численные методы указанных в п. 1 задач вариационного исчисления, основанные на использовании физических аналогий (оптико-геометрический подход: принципы Ферма и Гюйгенса).

3. Разработать программную систему, реализующую оригинальные авторские численные алгоритмы, указанные в п. 2.

4. Разработать в составе интеллектуальной информационной системы поддержки научных исследований в области транспортной и инфраструктурной логистики информационную аналитическую подсистему для взаимодействия с пользователями.

Дальнейшее знакомство с материалами диссертационной работы показывает успешность решения поставленных задач.

### ***3. Общая характеристика работы***

Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы из 144 наименований, в том числе, 55 зарубежных, и приложения. Общий объем работы составляет 135 страниц, 68 рисунков и 15 таблиц.

Введение содержит обоснование актуальности работы, описание объекта, предмета, цели и задач исследования, представлены методы и средства исследования; раскрыта научная новизна и практическая значимость полученных результатов; приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер. Здесь представлены подходы к построению математических моделей транспортно-логистических систем, приведен обзор численных методов для решения наиболее часто возникающих при моделировании математических задач.

Вторая глава посвящена непосредственно разработке математических моделей для нескольких классов транспортно-логистических задач: размещение основных и дополнительных объектов, организации коммуникаций и их обслуживанию. Здесь же автором предложены численные методы решения перечисленных задачи использованием разработанных моделей.

Третья глава содержит описание разработанных автором компьютерных программ. Первая программная система «ОТЛП» содержит численные методы, разработанные во второй главе и вспомогательные модули ввода данных и отображения результатов (2D и 3D). Для интеграции данной программы в интеллекту-

альную информационную систему для поддержки исследований в области транспортной логистики автором создан ряд специализированных модулей.

В четвертой главе описаны результаты вычислительного эксперимента по решению модельных и прикладных задач.

#### ***4. Научная новизна исследования и полученных результатов***

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Предложена оригинальная многоэтапная технология исследования транспортно-логистических систем.

2. Задачи оптимального размещения инфраструктурных логистических объектов впервые сведены к специальным модификациям двух известных математических задач: об упаковке и покрытии равными кругами ограниченных множеств в метрических пространствах с неевклидовыми метриками.

3. Разработана модификация оптико-геометрического подхода, которая основывается на распространении световой волны из источников двух типов: точечного и распределенного вдоль замкнутой кривой. В последнем случае волна может распространяться как во внутреннюю, так и во внешнюю область.

4. Предложены и реализованы на программном уровне новые методы построения оптимальных упаковок и покрытий равными кругами неодносвязных множеств в неевклидовой метрике..

5. Создана и интегрирована в информационную интеллектуальную систему программная система «ОТЛП», в основу которой положены оригинальные численные алгоритмы, разработанные в рамках диссертационного исследования.

#### ***5. Практическая значимость диссертационной работы***

Практическая значимость результатов исследования заключается в следующем: во-первых, разработаны эффективные численные методы решения задач транспортной логистики при наличии ограничений различного рода; во-вторых, предложен подход к построению и исследованию математических моделей, который может быть использован в других классах прикладных задач, таких, как задачи безопасности и управления движением.

Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Системология» и «Методы оптимизации». Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы в

учебный процесс ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», а также при проведении научных исследований в Институте Технологии моделирования технического университета им. Ле Куй Дона, Вьетнам.

#### ***6. Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов диссертации***

Достоверность и обоснованность научных результатов обеспечивается применением известных фундаментальных физических принципов для построения математических моделей и разработки численных алгоритмов; корректностью исходных данных для проведения вычислительного эксперимента; согласованностью экспериментальных и теоретических данных. Следует отметить, что полученные выводы базируются на многочисленных компьютерных экспериментах, результаты которых соискателем проанализированы; сравнительном анализе результатов компьютерного моделирования с их аналогами, полученными по аналитическим моделям; публикациях полученных результатов в рецензируемых научных изданиях.

#### ***7. Основные результаты диссертационной работы***

Список публикаций по теме диссертации включает 15 работ, из которых 3 статьи в изданиях, входящих в Перечень ВАК; два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертационного исследования докладывались на ряде международных, всероссийских конференций, соответствующих профилю диссертационного исследования. Основные научные положения, выводы и результаты выполненного исследования корректны и научно обоснованы. Автореферат адекватно отражает в пределах своего объема содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа в целом соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а именно: п.1. «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»; п.3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»; п.4. «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»; п.5. «Комплексные исследования научных и техниче-

ских проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

### **8. Замечания по диссертации и автореферату**

1. Если верить таблице 4.1, то автор получил для упаковки в квадрат наборов из 992 и 1500 равных кругов с радиусом большим, чем известные в мире упаковки с максимальным радиусом. Это серьёзная заявка, и возникает вопрос, насколько данные результаты проверены независимыми от данного программного комплекса методами. Ведь используемые методы подразумевают наличие погрешности (хотя бы за счет того, что кусочно-гладкая волна фронта в однородной среде подменяется набором ломаных, с вершинами на нормалях к границе области). Необходимо подставить массив  $S$  центров кругов в формулу (2.3), взяв в качестве множества  $P$  квадрат, и вычислить величину  $R$ .

2. На стр. 41 автор пишет «Явление «ласточкиного хвоста» возникает с случае, когда нарушается гладкость волнового фронта вследствие того, что в некоторую точку фронта одновременно приходят две или более волны». Данное выражение не совсем корректно. «Ласточкин хвост» возникает не у волнового фронта, а так называемой параллели, то есть у геометрического места точек, отложенных на нормалях к границе множества на равном расстоянии от неё. Хотя точка излома волнового фронта имеет две или больше точки, ближайшие на границе множества, но сам «ласточкин хвост» в волновой фронт не входит, то есть фронт является подмножеством эквидистанты. При этом особые точки эквидистанты (в которых «ласточкин хвост» не гладкий) являются точкам эволюты границы множества. Подробнее см. Брус Дж., Джиблин П. Кривые и особенности. Геометрическое введение в теорию особенностей / пер. с англ. И. Г.Щербак; ред. В.И.Арнольд М.: Мир, 1988. 262 с., стр. 26.

3. В формуле (2.10), описывающей покрытие множества  $n$  кругами с центрами в точках  $O_k$  равного радиуса содержится требование  $O_k \subseteq M$ . Не понятно чем оно вызвано. Могут существовать покрытия кругами центры которых не лежат во множестве. Даже если рассматривать только оптимальные покрытия (с минимально возможным радиусом), то и для них возможны такие расположения кругов, что их центры не принадлежат  $M$ . При чём это возможно не только для невыпуклых  $M$ , но и даже для некоторых выпуклых многоугольников. Пример можно посмотреть в П.Д. Лебедев, А.А. Успенский, В. Н. Ушаков Алгоритмы наилучшей аппроксимации плоских множеств объединениями кругов // Вестн. Уд-

муртск. ун-та. Матем. Мех. Компьют. науки. 2013. № 4. С. 88–99. Возможно это требование обусловлено требованиями экономических задач, рассматриваемых в диссертации? Тогда это надо уточнить, и принадлежность центров кругов надо записать символом не вложенности, а принадлежности  $O_k \in M$ .

4. Автор два раза (на стр. 38 и 39) определяет одну и ту же функцию  $\tilde{\rho}(s_i, \partial P)$  евклидова расстояния от точки до границы множества. Достаточно оставить один раз. При этом на стр. 40 в подзадаче 1 и 2 автор обозначает расстояние от точки до границы области  $\rho(\bar{s}_i, \partial P)$ , то есть буква  $\rho$  стоит без символа волны, что в остальных местах означает расстояние между двумя точкам, а не между точкой и множеством.

5. Автор на стр. 27 пишет о задаче оптимальной упаковке в круг объединения из заданного числа кругов и называет статьи авторов, получивших аналитические результаты. Полагаю, что необходимо указать что в большинстве случаев они основаны на использовании гексагональной структуры, в которой центры кругов расположены в центрах равных правильных шестиугольников, покрывающих плоскость. Примеры таких упаковок можно взять из работы [108] и привести в виде наглядных иллюстраций.

6. Символ двумерного евклидова пространства на стр. 37-39 обозначен « $\mathbb{R}^2$ », а на стр. 44-56 обозначен « $R^2$ ». Надо оставить один вариант, первый предпочтительнее.

7. На стр. 55 в Шаге №4 знак пустого множества деформирован и выглядит как «/○» вместо « $\emptyset$ ».

## 9. Заключение

Сделанные замечания в целом не снижают положительного впечатления от диссертационной работы и её существенного вклада в решение важной научно-практической задачи по оптимизации транспортно-логистических систем. Приведенные результаты можно классифицировать как обоснованные, новые, имеющие научное и практическое значение.

Диссертационная работа Нгуен Гуй Лиема «Интеллектуальная технология решения задач оптимизации транспортно-логистических систем на основе физических аналогий» является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата техниче-

ских наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**Официальный оппонент**

к.ф.-м.н., научный сотрудник отдела динамических систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

**Лебедев Павел Дмитриевич**

09. 11. 2016

Почтовый адрес: 620990, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 16;

телефон: +7 (343) 374-34-89

e-mail: pleb@yandex.ru

Н.