

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета  
на диссертацию Шарлая Артема Сергеевича  
на тему: «Поиск оптимальной по стоимости строительства траектории дороги на рельефе местности», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Данная диссертационная работа посвящена задаче построения траектории пути, соединяющего две заданные точки, которая естественным образом возникает при строительстве транспортной инфраструктуры, такой как, например, автомобильные и железные дороги, трубопроводы. Исходя из этого, можно утверждать, что исследуемая А.С. Шарлаем проблематика является **актуальной**.

В первой главе представлены вспомогательные сведения, необходимые для дальнейшего изложения результатов.

Во второй главе рассматривается постановка задачи, обсуждаются упрощающие предположения и допущения, при которых изучается проблема, предлагается метод математической формализации задачи, выписывается функционал стоимости, которому должна доставлять минимум функция, описывающая искомую траекторию. Таким образом, получается задача вариационного исчисления с закрепленными концами, для которой выписывается необходимое условие минимума. Оно имеет форму интегро-дифференциального уравнения.

В третьей главе полученное уравнение предлагается решать с помощью приближенных методов. Здесь используются классические методы, основанные на получении приближенного решения в виде частичной суммы ряда, являющимся разложением искомого решения по полной системе функций – методы Рунге и Галеркина. Первый используется для минимизации непосредственно самого функционала стоимости, а второй применяется к необходимому условию минимума, то есть для решения интегро-дифференциального уравнения. Кроме того, в этой главе предложена адаптация метода, основанного на интерполяции второй производной неизвестной функции алгебраическим многочленом, для решения исследуемой граничной задачи, а именно: разработана процедура переноса граничного условия с правого конца отрезка на левый.

В четвертой главе сконструирован численный метод решения интегро-дифференциального уравнения, являющийся комбинацией идей линеаризации и метода пристрелки. Отметим, что классические подходы сеточных методов, при которых значения неизвестной функции строятся последовательно, на основе информации о значениях в предыдущих узлах, в исследуемой задаче неприменимы. Дело в том, что для вычисления интеграла, входящего в уравнение, нужно заранее знать значения во всех узлах. Диссертант изящно обходит эту сложность посредством линеаризации уравнения в окрестности предыдущего приближения к решению. Это дает возможность использовать при вычисления интеграла значения предыдущего приближения в узлах сетки.

В этой же главе при дополнительных условиях доказана теорема существования решения рассматриваемого уравнения, а также проблема единственности полученного решения.

Важно отметить, что для всех используемых в работе алгоритмов приводится программный код, что дает возможность проверить и воспроизвести представленные выводы. Достигнутые результаты докладывались на международных математических конференциях и семинарах, а также опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых изданиях, поэтому **достоверность и обоснованность** полученных результатов сомнений не вызывает.

Можно выделить следующие самые значимые результаты, достигнутые в ходе проведенного научного исследования:

- Для задачи построения траектории пути, соединяющего две заданные точки предложен метод математической формализации задачи, применяя который можно получить функционал стоимости, которому должна доставлять минимум функция, описывающая искомую траекторию. Таким образом, исходная задача сводится к проблеме вариационного исчисления с закрепленными концами, для которой выписывается необходимое условие минимума.
- Для получающегося таким образом интегро-дифференциального уравнения с помощью теоремы Шаудера неподвижной точке доказана теоремы существования решения. Исследован также вопрос его единственности.
- Разработана процедура переноса граничного условия в методе, использующем полиномиальную аппроксимацию вторых производных. Это позволяет применять данный метод к решению граничной задачи.

- Построен численный метод решения интегро-дифференциального уравнения, основанный на линеаризации и методе пристрелки. Приведен программный код построенного алгоритма.

**Теоретическая значимость** настоящей работы определяется предложенным новым подходом к построению математической модели, ее строгой формализации, разработанными методами и алгоритмами решения получающегося уравнения, а также доказанными результатами, касающимися существования и единственности его решения. Кроме того, необходимо отметить, что работа выполнена с применением методов и подходов из различных областей, таких как вариационное исчисление, алгебра, функциональный анализ, численные методы и др.

Вместе с тем, работа не лишена недостатков.

- 1) Специальность 1.2.2 ориентируется на работу с математическими моделями реального мира. Однако в тексте диссертационной работы отсутствуют примеры, демонстрирующие как предложенные автором методы решают практические задачи. Само собой, в силу строгих постановок не возникает сомнений, что эта математика будет работать на практике. Однако не ясно, насколько распространены в жизни те допущения, что были приняты в главе 2.
- 2) В жизни большинство данных наследует метрологическую погрешность, а допущения могут реализовываться с некоторой вероятностью. К сожалению, в работе не исследована чувствительность предложенного метода к зашумленности исходных параметров модели и ограничений. Потому не ясно, насколько решения, полученные на практике, будут близки к теоретическому оптимуму.
- 3) Специальность 1.2.2 в равной мере ориентируется на новизну в математическом моделировании, численных методах и комплексах программ. Комплекс программ представлен в диссертации, однако его описанию (как объекта техники и технологий) уделено недостаточно внимания.

Учитывая, что работа защищается по физико-математическим наукам, перечисленные замечания не снижают общую оценку представленной диссертационной работы.

Диссертационная работа Шарлая А.С. «Поиск оптимальной по стоимости строительства траектории дороги на рельефе местности» является завершенным научным

исследованием. Рукопись диссертации А.С. Шарлая соответствует пунктам 1, 2, 8 паспорта специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 и требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор Шарлай Артем Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор, директор  
мегафакультета трансляционных информационных  
технологий, профессор факультета цифровых  
трансформаций, руководитель Национального центра  
когнитивных разработок (НЦКР) и исследовательского  
центра «Сильный ИИ», руководитель секции экспертного  
совета «Математика, ИКТ и системоведение» РНФ, член  
Экспертного совета по искусственному интеллекту Фонда  
«Сколково», член ректората, научно-технического и  
диссертационного советов Федерального  
государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский университет ИТМО»

 / Бухановский А.В.

02 декабря 2024 г.

Подпись Бухановского А.В.

УДОСТОВЕРЯЮ

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАУЧНОГО

ПРОЕКТНОГО ОФИСА

УНИВЕРСИТЕТА ИТМО



