

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертацию**  
**Азаряна Александра Артуровича**  
**«Быстрые алгоритмы моделирования многомерных линейных регрессионных**  
**зависимостей на основе метода наименьших модулей»,**  
**представленную на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук по специальности**  
**05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

**Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа А.А. Азаряна посвящена построению линейных регрессионных моделей на основе метода наименьших модулей (МНМ) и обобщенного метода наименьших модулей (ОМНМ).

Применяемые в настоящее время для этих целей точные алгоритмы эффективны лишь для достаточно малых размерностей моделей и для небольших объемов выборок, а приближенные алгоритмы имеют невысокую точность при значительных вычислительных трудоемкостях.

**Целью** диссертационной работы является разработка подхода к моделированию многомерных линейных регрессионных зависимостей на основе МНМ и ОМНМ в условиях стохастической неоднородности данных, обладающего высокой вычислительной эффективностью.

Рассмотренные в работе задачи представляют научный теоретический и прикладной интерес. Тема исследования является **актуальной**.

**1. Научная новизна исследований и основных результатов**

К новым научным результатам, являющимся заслугой автора диссертации, можно отнести:

- новый подход математического моделирования линейных регрессионных зависимостей на основе методов наименьших модулей в условиях стохастической неоднородности посредством эффективного метода спуска по узловым прямым;
- расширение предложенного подхода на случай обобщенного метода наименьших модулей;
- разработанные вычислительно эффективные сходящиеся алгоритмы моделирования на основе МНМ и ОМНМ;

- анализ вычислительной трудоемкости предложенных алгоритмов;
- оригинальный комплекс компьютерных программ математического моделирования.

## **2. Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов**

**Степень обоснованности** результатов обеспечивается строгостью постановки задач, корректным применением методов, используемых в теории математического моделирования.

**Достоверность** научных положений подтверждается согласованием результатов вычислительных экспериментов с модельными примерами, в том числе и других авторов, применением для ряда практических задач.

### **Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта**

Научная значимость результатов диссертации заключается в развитии теории математического моделирования многомерных линейных регрессионных зависимостей на основе методов наименьших модулей в условиях стохастической неоднородности. Разработаны алгоритмы моделирования на основе методов спуска по узловым прямым для минимизации функционала, которые эффективнее по точности и/или времени счета, чем известные точные и приближенные аналоги. Разработанные алгоритмы моделирования на основе обобщенного метода наименьших модулей.

Разработанные автором численные алгоритмы решения задач и, на их основе, программный комплекс, сориентированный на решение практических задач, получили федеральную регистрацию (РосПатент), использованы для решения задач диагностики систем, экономики.

Результаты работы могут найти применение в теоретических и практических изысканиях университетов и научно-исследовательских организаций, таких как: Московский ГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский ГУ, Новосибирский ГУ, Уральский ФУ, Башкирский ГУ, Бурятский ГУ, Пермский ГУ, Томский ГУ, Институт экономики УрО РАН и других.

## **3. Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению диссертации**

Представленная к защите диссертационная работа А.А. Азаряна содержит

решение задачи, имеющей существенное значение для моделирования многомерных линейных регрессионных зависимостей на основе методов наименьших модулей в условиях стохастической неоднородности данных.

Диссертация А.А. Азаряна является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему и имеющей значимое теоретическое и практическое значение.

Автореферат полностью отражает содержание работы, оформление которой соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные результаты выполненной работы нашли отражение в 18 публикациях автора в открытой печати, из которых 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК. Получено 3 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем диссертационной работы составляет 148 страницы. Библиография содержит 135 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обосновывается актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Формулируется цель, ставятся задачи исследования, формулируются используемые при исследовании методы.

В первой главе приводится обзор существующих точных и приближенных методов моделирования линейных регрессионных зависимостей. Описывается метод наименьших модулей и обобщенный метод наименьших модулей.

В второй главе излагается авторский подход к построению многомерных линейных регрессионных моделей в условиях стохастической неоднородности на основе метода наименьших модулей и обобщенного метода наименьших модулей. Описан алгоритм поиска узловой точки, минимизирующей функционал невязки, методом спуска по узловым прямым для метода наименьших модулей. Доказывается сходимость алгоритма, обосновывается его средняя вычислительная сложность. Приводится алгоритм спуска по узловым прямым для обобщенного метода наименьших модулей. Обосновывается средняя вычислительная сложность этого алгоритма.

В третьей главе приводится описание программного комплекса, реализующего

предложенные алгоритмы на языке программирования R. Приводятся блок-схемы основных алгоритмов. Делается сравнение построенных алгоритмов с ранее известными алгоритмами (полного перебора, симплекс-метода, вариационно-взвешенных невязок, спуска нулевого порядка) по быстродействию и точности. Показывается преимущество предлагаемых соискателем алгоритмов.

Четвертая глава содержит практические примеры применения разработанного программного комплекса для решения ряда задач техники и экономики.

В заключении формулируются основные результаты диссертационного исследования, перспективы дальнейших исследований.

Приложение содержит свидетельства о регистрации программ.

#### **Замечания:**

1. Определение 1 для узловой точки (см. стр. 38 диссертации, ст. 11 автореферата) предполагает существование пересечения  $m$  гиперплоскостей. Это означает, что любая из  $S_w^m$  подсистем системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида (1.5) должна иметь ранг  $m$ , что накладывает условия отбора на значения объясняющих (независимых) переменных в (1.6). В работе следовало бы сформулировать эти условия или алгоритмически указать критерий невозможности вычисления узловой точки для фиксированной подсистемы. Аналогичное замечание (для размерности  $m-1$ ) может быть сформулировано и по Определению 2 для узловой прямой.
2. Соискатель предлагает при моделировании линейных регрессионных зависимостей учитывать «пучок» изломов целевой функции (см. стр. 37), указывая (см. стр. 31) на его «плохую» геометрию, где отрезки прямых «почти параллельны...». «Почти параллельность прямых» означает плохую обусловленность матрицы СЛАУ, но влияние роста числа обусловленности матриц решаемых систем на построенные модели в диссертации не исследовано.
3. На стр. 44 некорректно утверждение «Поскольку вероятность того, что случайная величина (случайные погрешности) более одного раза примет одно и тоже значение, равна нулю, то узловые прямые, проходящие через узловую точку, являются линейно независимыми». Нулевая вероятность для

непрерывной случайной величины принять конкретные (нулевые) значения не гарантирует линейной независимости узловых прямых. Тем более соискатель далее себе противоречит (см. стр. 45): «... из-за конечной точности измерений ... могут возникнуть ситуации, когда узловые прямые окажутся параллельными. В этом случае узловой точки не существует...». Это утверждение также подтверждает справедливость сформулированного выше замечания 1.

4. Не ясно, что понимается под термином «узкий доверительный интервал» (см. стр. 61 диссертации) и как эта «узость» соотносится с «возможностью использовать 95%-ю оценку вычислительной трудоемкости»?
5. Размерность  $m$  в исследуемых моделях не превосходит 10. Ряд задач практики включают в линейные регрессионные модели значительно большее число объясняющих переменных. Сохранят ли найденные оценки для средней вычислительной сложности свой вид зависимости от  $m$ , какова будет точность найденных решений предлагаемым методом при больших  $m$  (например, при  $m > 50$ ), не ясно.
6. Алгоритм спуска по узловым прямым (см. теорему 2 п.2.2.1) находит лишь одно точное решение задачи (одну узловую точку, т.е. одну регрессионную модель). Возможны случаи, когда решение задачи (1.7),(1.5) неединственно, т.е. существует бесконечное число эквивалентных (дающих одно и то же значение целевой функции) моделей, определяемых через линейную комбинацию некоторого конечного множества узловых точек. Множество эквивалентных моделей интересно с практической точки зрения – для отбора в нем модели или группы моделей по какому-либо практически-значимому дополнительному критерию. Соискателю следовало бы расширить возможности разработанного алгоритма (по аналогии с алгоритмами, реализованными для Симплекс-метода) для поиска нескольких эквивалентных узловых точек в случае неединственности решения.
7. Присутствуют некоторые синтаксические и пунктуационные погрешности в тексте диссертации.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают научной и практической значимости сделанных соискателем исследований.

