

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Беляева Михаила Геннадьевича «Моделирование анизотропных зависимостей по выборкам с факторным планом эксперимента», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В работе Беляева М.Г. рассматривается задача регрессии, которая часто встречается в различных областях прикладной математики. Автор рассматривает специальный случай этой общей задачи: в работе предполагается, что множество значений независимой переменной в обучающей выборке должно быть декартовым произведением некоторых одномерных множеств или же достаточно большим подмножеством этого декартова произведения. Кроме того, важной особенностью рассматриваемой постановки задачи является анизотропность функции, породившей выборку данных. Актуальность подобной постановки задачи обусловлена широким использованием данных с описанной структурой в задачах инженерного проектирования.

В главе 1 дана формальная математическая постановка задачи, которая учитывает особенности данных. Затем Беляев М.Г. предлагает метод решения этой задачи, адаптируя классическую схему к рассматриваемой постановке: решение ищется как тензорное произведение сплайнов с помощью минимизации суммы выборочной нормы ошибки и специальным образом построенной регуляризации, которая позволяет ограничивать изменчивость модели по каждой из компонент независимой переменной.

Глава 2 посвящена обоснованию предложенного метода с помощью изучения его интегральной ошибки. В параграфе 2.1 строго формулируются все предположения и приводится основной результат — оценка скорости уменьшения среднего интегральной ошибки метода. В параграфах 2.2, 2.3 дана общая схема доказательства этой оценки и приведены некоторые известные факты, которые затем используются в параграфах 2.4-2.7 при доказательстве отдельных элементов основной оценки.

В главе 3 Беляев М.Г. рассматривает вопросы построения эффективных численных методов решения задачи. Параграфы 3.1 и 3.2 носят вводный характер, а в параграфе 3.3 рассматривается структура предложенной задачи оптимизации, которая фактически является квадратичной формой высокой размерности. В параграфе 3.4 автором предложен конструктивный вычислительно-эффективный способ нахождения оптимального решения, основанный на минимизации квадратичной формы с помощью методов сопряженных

градиентов. Беляев М.Г. доказал, что с помощью специальной замены переменных может быть получен спектр матрицы гессиана минимизируемой функции, который содержит малое число несовпадающих собственных значений. Предложенный подход позволяет как сократить общее число итераций метода сопряженных градиентов, так и уменьшить вычислительную стоимость каждой итерации. В параграфе 3.5 обсуждается вопрос выбора параметров регуляризации по данным с помощью минимизации ошибки скользящего контроля.

В параграфах 4.1 и 4.2 главы 4 описан разработанный автором программный комплекс на языке Matlab, в котором реализованы не только предложенные в главе 3 алгоритмы, но и некоторые дополнительные возможности. Параграф 4.3 посвящен обсуждению более общей задачи, в которой один или несколько факторов плана эксперимента является многомерным. В параграфе описан алгоритм построения набора параметрических функций, который затем предложено использовать в многомерных факторах вместо явного формирования базиса В-сплайнов.

Глава 5 посвящена описанию результатов вычислительных экспериментов, полученных с использованием разработанного комплекса программ. В параграфе 5.1 проведено сравнение с другими популярными методами решения задачи регрессии. В параграфах 5.2 и 5.3 Беляев М.Г. описывает две прикладные задачи, для решения которых был использован предложенный в работе метод.

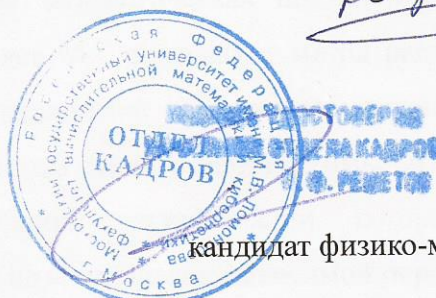
Вместе с тем надо отметить несколько недостатков работы:

1. В работе не изучены теоретические свойства предложенного алгоритма выбора параметров регуляризации.
2. В параграфе 3.5.2 указано, что процедура нахождения параметров регуляризации с помощью минимизации ошибки скользящего контроля сходится за достаточно малое число итераций, однако эти экспериментальные результаты не приведены в диссертации.
3. Предложенная в параграфе 4.3 методология решения задач с многомерными факторами предполагает обучение наборов параметрических функций в каждом из факторов независимо друг от друга, что может существенно снижать точность итоговой модели, построенной с помощью тензорного произведения сплайнов.

Важно заметить, что указанные недостатки не уменьшают ценности работы и ее общей положительной оценки. Диссертация Беляева М.Г. представляет собой законченную научно-

квалификационную работу, в которой решена актуальная для прикладных задач инженерного проектирования задача построения аппроксимации по выборкам с факторным планом эксперимента, и которая содержит новые научные результаты, обладающие несомненной практической ценностью. Достоверность полученных результатов обеспечена как строгими доказательствами, основанными на использовании хорошо изученных методов функционального анализа и оптимизации, так и результатами вычислительных экспериментов. Автореферат полностью отражает содержание основного текста.

Считаю, что работа «Моделирование анизотропных зависимостей по выборкам с факторным планом эксперимента» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Беляев Михаил Геннадьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.



*Конущин*

26.11.2015

Официальный оппонент,

Конущин Антон Сергеевич,

кандидат физико-математических наук, доцент,

доцент кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов

факультета ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова

Адрес электронной почты: [ktosh@graphics.cs.msu.ru](mailto:ktosh@graphics.cs.msu.ru)

Телефон: 8 (495) 939-01-90

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова». Адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова. Телефон: 8 (495) 939-10-00, [www.msu.ru](http://www.msu.ru)