

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию 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».

Диссертационная работа Беляева М.Г. посвящена вопросам построения регрессионных моделей по данным со специальной структурой множества значений независимой переменной (регрессора). Предполагается, что это множество точек является прямым произведением некоторых множеств меньшей размерности или его достаточно большим подмножеством. С учетом этого обстоятельства диссертантом выбирается метод построения модели по данным и исследуются асимптотические свойства этого метода.

Рассматриваемые в работе вопросы активно изучаются за рубежом, однако у известных результатов есть ряд ограничений как теоретического, так и практического свойства. Так, требования к вычислительной эффективности накладывают определенные ограничения на метод построения модели, что затрудняет теоретический анализ ее свойств. Кроме того, в практике часто возникают задачи с нарушенной структурой прямого произведения, называемые в работе задачами с неполным факторным планом, для решения которых диссертант обобщает известные подходы в части используемых численных методов. Таким образом, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые исследованы асимптотические свойства методов из рассматриваемого класса для случая произвольной размерности данных, а также разработаны эффективные численные методы для построения модели по данным. Создан программный комплекс, использованный для решения прикладных задач моделирования в аэрокосмической отрасли, что подтверждает практическую значимость работы.

Полученные в диссертации результаты обоснованы и достоверны. Теоретические результаты подтверждаются строгими доказательствами с использованием методов функционального анализа и оптимизации, а эффективность предложенных численных методов обосновывается как с помощью строгих оценок их сложности, так и при помощи вычислительного эксперимента.

Диссертация хорошо логически структурирована и охватывает важные вопросы теоретического и практического характера. Она состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении содержится краткий обзор имеющихся в научной литературе результатов по теме диссертации и обосновывается актуальность работы.

В первой главе ставится формальная постановка задачи, описывается ее практическая значимость для задач инженерного проектирования, а также предлагается метод ее решения. Идея предложенного метода базируется на обобщении существующих подходов, в основе которых являются методы аппроксимации, оптимизации и регуляризации.

Вторая глава посвящена исследованию теоретических свойств предложенного

метода. Автор формально описывает структуру данных и вводит более строгие предположения о природе зависимой переменной. Затем он последовательно рассматривает четыре задачи, начиная от задачи аппроксимации известной функции и заканчивая искомой задачей регрессии с предложенным методом решения. Даются оценки интегральных ошибок, возникающих при переходе от одной задачи к следующей за ней, и на их основе доказывается оценка асимптотической ошибки предложенного метода. При правильном выборе скоростей изменения параметров регуляризации ошибка метода оказывается оптимальной, то есть наилучшей по порядку.

В третьей главе рассматриваются вопросы численных методов. Задача сводится к поиску наилучшего представителя класса в смысле суммы квадратичной ошибки и некоторого регуляризирующего слагаемого. Эта задача является квадратичной и, при некоторых базовых предположениях, строго выпуклой. Отмечается, что размерность этой квадратичной задачи может быть достаточно высока. Стандартные методы, предназначенные для оптимизации квадратичных функций общего вида, требуют кубическое по размерности задачи число операций. Основные результаты главы заключаются в разработке методов, учитывающих особенности полученной квадратичной задачи и позволяющих находить численное решение более эффективно.

Диссертант показывает, что существует замена переменных, после выполнения которой у гессиана квадратичной формы возникает большое число совпадающих собственных чисел, что позволяет снизить необходимое число итераций для метода сопряженных градиентов. В совокупности с использованием эффективных операций с многомерными матрицами автор получает высокую вычислительную эффективность метода. Помимо нахождения решения задачи при зафиксированных параметрах регуляризации, также рассматривается вопрос оценки этих коэффициентов по данным. Диссертант предлагает минимизировать ошибку скользящего контроля, а также предлагает эффективный численный метод для подсчета этой ошибки.

В четвертой главе дано описание комплекса программ, в котором реализованы предложенные в работе алгоритмы. Пятая глава посвящена описанию экспериментальных результатов, полученных с помощью разработанного комплекса программ. Изложены подходы к решению прикладных задач с факторными планами эксперимента.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне, написана ясным языком, хотя в ее тексте содержится некоторое количество опечаток. Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Автором приведены теоретические оценки количества итераций при вычислении коэффициентов разложения по базису; однако из-за особенностей компьютерной арифметики эти оценки обычно выполняются лишь приближенно. Вопрос о необходимом на практике числе итераций в явном виде не обсуждается, хотя приведенные экспериментальные результаты и показывают, что предложенный алгоритм обладает высокой вычислительной эффективностью.

2. Для выбора параметров регуляризации используется минимизация ошибки скользящего контроля методом сопряженных градиентов, однако ничего не сказано о природе этой задачи минимизации. По всей видимости, эта задача не является выпуклой, что оставляет открытым вопрос обоснованности параметров регуляризации.

