

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук руководителя программы аэрокосмических исследований ФГУП «ЦАГИ» А.С. Филатьева  
о диссертации Травина Андрея Александровича «Алгоритмы оценки квантильного критерия с заданной точностью в задачах стохастического программирования с кусочно-линейными и квадратичными функциями потерь», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и космическая техника)»

Решение стохастических задач является одной из непреходящих составляющих анализа функционирования управляемых динамических систем в реальных условиях. Так, например, в последнее десятилетие для разработчиков отечественных средств выведения в число приоритетных встала задача снижения последствий падения на землю отделяемых частей. Как правило, рассматриваются две постановки: определение района падения фрагментов ракет-носителей (РН) с заданным уровнем вероятности и вероятность попадания фрагментов в специально отчуждаемые поля падения. Основная сложность состоит в том, что неуправляемые фрагменты могут иметь самые разнообразные формы, далекие от «канонических», а динамика их спуска в атмосфере сопровождается резонансными явлениями, так что малые изменения параметров, имеющих случайную природу, могут оказывать сильное влияние на исследуемый функционал, вплоть до бифуркаций форм движения и топологии районов падения<sup>1</sup>. Поэтому направление исследований, обозначенное в рецензируемой диссертации, включающее вопросы численного вычисления функций вероятности, использования вероятностных и квантильных критериев и их приложение к исследованию рассеивания фрагментов РН в атмосфере, следует признать **актуальным и важным**.

Основная трудность численного вычисления функций вероятности связана с оценкой точности при отсутствии объективного признака окончания итерационной процедуры. Новизна предлагаемого в диссертации подхода заключается в разработке алгоритма расчета вероятностного и квантильного критериев путем формирования одновременно двух оценок: снизу и сверху, что позволяет не только определить искомый критерий, но и контролировать погрешность. Причем в некоторых случаях, приведенных в диссертации, известные методы и программные комплексы могут приводить вообще к

---

<sup>1</sup> А.А.Голиков, В.В. Демешкина, А.П. Леутин, А.С. Филатьев, Особенности неуправляемого движения в атмосфере отделяемых частей космических ракет-носителей, Доклады Академии Наук, 2010, том 435, № 4, с. 470–474.

нефизичным результатам, в то время как алгоритмы, предложенные диссертантом, работают устойчиво и исключают возникновение подобных особенностей.

Диссертация Травина А.А. состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования, и двух приложений. Объем диссертации – 99 стр.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы, научную новизну и практическую значимость диссертационной работы, формулирует цель и задачи работы, научные результаты, выносимые на защиту. Вместе с тем, по объему введение составляет почти треть (!) основного содержания работы. Причем основное место (15 стр.) неоправданно занимает подраздел «Содержание работы», повторяющий почти дословно соответствующие разделы трех глав и по структуре дублирующий автореферат, включая некоторые формулы, таблицы и рисунки.

В **первой главе** приведен обзор результатов в области вероятностного анализа, рассмотрены распространенные оценки функций вероятности и квантили. Автор приводит описание метода двусторонней оценки в приложении к расчету квантильного критерия. Предложена теорема и алгоритм, порождающий последовательности оценок квантили. Сформулирована и доказана лемма об априорной оценке погрешности вычислений предлагаемым методом. Приведены примеры оценок квантили нормы двумерного гауссовского вектора с коррелированными компонентами для различных значений среднеквадратического отклонения и доверительной вероятности. Вместе с тем, первый раздел, занимающий более половины (!) первой главы, не является авторским и содержит пересказ известных результатов, правда, с корректными ссылками на источники.

**Вторая глава** посвящена применению разработанного алгоритма для построения двусторонних оценок функции вероятности и квантили для кусочно-линейных функций потерь в двумерном и трехмерном случаях. Сформулирована и доказана лемма об априорной оценке погрешности вычислений для двумерной функции вероятности. Применение разработанного алгоритма представлено на примерах оценки вероятности попадания случайного вектора в заданные многоугольники и сравнения полученных оценок с аналитическими решениями.

В **третьей главе** рассмотрен пример оценки кругового вероятного отклонения (КВО) точки падения фрагмента РН специфической формы в зависимости от дальности полета и угла наклона траектории в точке отделения от РН. Описано математическое и программное обеспечение для решения этой задачи на основе известных интегралов и функций чувствительности кеплерова

движения, соответствующего первой фазе полета, и упрощенного траекторного движения с аэродинамическим торможением на завершающем участке падения. Случайные возмущения рассматриваются весьма ограниченно: только в начале движения фрагмента и касаются только изменения скорости в начальной плоскости движения. На основе пересчета КВО при изменении начального траекторного угла демонстрируется заметное увеличение рассеивания при полете фрагмента по настильным траекториям с малыми углами входа в атмосферу, на которых резко возрастает аэродинамическое торможение тела.

В **заключении** суммируются полученные результаты и указываются направления дальнейших исследований.

В диссертации автор:

- Предложил **новый подход** к расчету квантильных критериев в задачах вероятностного анализа, заключающийся в генерации минимизирующих и максимизирующих последовательностей, дающих верхнюю и нижнюю оценки критерия, что позволяет контролировать точность расчетов.
- С использованием разработанного алгоритма решена **новая** задача вычисления квантиля с заданной точностью и получены гарантирующие априорные оценки точности вычислений функций вероятности для квадратичной и кусочно-линейной функций потерь.
- В качестве практического приложения и демонстрации разработанного подхода решена задача расчета кругового рассеивания точек пассивного падения фрагментов летательного аппарата в зависимости от начальных условий.

Достоверность и обоснованность исследования базируется на корректном использовании методов теории вероятностей и математической статистики. Для всех сформулированных в работе утверждений приведены строгие математические доказательства. Эффективность предложенных подходов и разработанных алгоритмов подтверждается сравнением с вычислениями тестовых примеров, имеющих аналитическое решение.

Основные результаты докладывались на 5 конференциях и научном семинаре и опубликованы в 7 статьях, в том числе в трех изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Вместе с тем, к рецензируемой работе можно сделать следующие замечания:

1. Как отмечено выше, работа содержит чрезмерно большой объем повторов и заимствований (правда, корректных), составляющих около 40% основного содержания диссертации.

2. Содержание главы 3 недостаточно связано с темой диссертации. Если приведенное там решение задачи о рассеивании точек падения фрагментов ЛА служит примером приложения теоретических результатов автора, то вывод соотношений баллистики (не принадлежащих автору) выглядит излишним, а расчеты вероятностных характеристик с использованием разработанного автором алгоритма, наоборот, вынесены в приложение и представлены недостаточно.
3. Отсутствует список обозначений и сокращений. Обозначения вводятся по мере изложения, но не всегда. Так отсутствует определение углов  $B_0$ ,  $L_0$  на стр. 71 в формулах (144)-(146), параметра  $m$  на стр. 49, нижнего индекса ' $np$ ' на стр. 75.
4. Дублируются нижние индексы: для входа в плотные слои атмосферы вводятся индексы ' $a$ ' на стр. 63 и ' $vh$ ' на стр. 65; для обозначения начала пассивного участка траектории (ПУТ) на стр. 63 вводится индекс ' $0$ ', а на стр. 69 вводится индекс ' $k$ ' для обозначения конца активного участка траектории (АУТ), который совпадает с началом ПУТ.
5. Недостаточно поясняются такие основополагающие для темы диссертации понятия и термины, как квантиль, функция потерь, целевая функция.
6. Перечисленные на стр. 9 в пп. 2, 3 алгоритмы в качестве результатов работы принципиально не отличаются от разработанного автором алгоритма, описанного в п. 1, и по существу являются приложением его к вычислению функций вероятности и квантилей для функций потерь различного типа.
7. Противоречие: на стр. 42 указывается, что среднеквадратическое отклонение  $0 \leq \gamma \leq 1$ , а на стр. 47 приводятся результаты для  $\gamma = 3$ .
8. Начиная с формулы (99), номера формул, а в 3-й главе и рисунков, сдвинуты на единицу.
9. Опечатки: на стр. 55 вместо нижнего индекса ' $i$ ' напечатано ' $g$ ', на стр. 65 – ссылка на разделы 3.3.1-3.3.3 вместо 3.5.1-3.5.3.
10. В постановке задачи в третьей главе (стр. 61-62) говорится о получении и анализе КВО, а возмущения вектора скорости в начале ПУТ задаются только в вертикальной плоскости (стр. 72), что должно было бы приводить к изменению преимущественно продольной оси эллипса рассеивания.

Указанные недостатки, конечно, повлияли на качество диссертации.

Вместе с тем, в целом, представленная диссертационная работа свидетельствует, несомненно, о достаточно высокой научной квалификации автора. Показана возможность практического приложения полученных теоретических результатов для решения широкого круга задач, связанных с вычислением вероятностных и квантильных критериев, в том числе при баллистическом анализе аэрокосмической техники. Поставленная цель

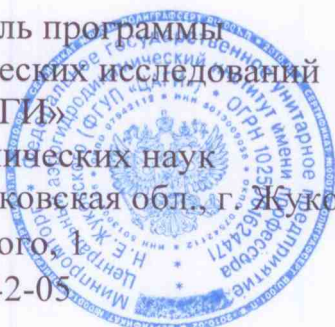
диссертационного исследования достигнута и, несмотря на замечания, заслуживает положительной оценки.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и отвечает требованиям ВАК РФ.

На основе анализа содержания диссертации и опубликованных автором работ можно сделать заключение, что диссертация Травина Андрея Александровича является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки и практики в области управления и обработки информации.

Автор диссертации, А.А. Травин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и космическая техника)».

Руководитель программы  
аэрокосмических исследований  
ФГУП «ЦАГИ»  
доктор технических наук  
140180, Московская обл., г Жуковский,  
ул. Жуковского,  
8 (495) 556-42-05



А.С. Филатьев

07.10.2015