

**О Т З Ы В**  
**ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА,**  
**д.т.н., ст.н.с., профессора Н.Б. ФИЛИМОНОВА**  
**на диссертацию ПОДИВИЛОВОЙ Елены Олеговны**  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ**  
**НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ С РАЗРАБОТКОЙ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА**  
**ПОЛИЭДРАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – *Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ*

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Классические подходы к задаче оценивания базируются на предположении, что вероятностные распределения внешних возмущений и помех в измерениях известны. Однако, они оказываются малоэффективными для многих реальных научно-технических задач, предъявляемых инженерной практикой, в связи с тем, что для многих объектов стохастическое описание не является полным из-за невозможности получения достаточного количества экспериментальных данных. А при применении гарантированного подхода, когда неопределённость описывают принадлежностью реализаций возмущений и помех некоторым множествам, возникают вычислительные трудности при вычислении информационных множеств из-за необходимости выполнения операций над множествами. В связи с этим диссертационная работа Е.О. Подивиловой, посвященная гарантированному оцениванию состояния подвижных объектов в условиях неопределённости, безусловно, *актуальна*.

**ЦЕЛЬ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

*Целью диссертации* данной работы является разработка методов гарантированного оценивания состояния подвижных объектов в условиях неопределённости, разработка численных алгоритмов полиэдральной аппроксимации информационного множества и их реализация в виде программного комплекса.

**СТРУКТУРА И КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Диссертация изложена на 184 страницах и включает 84 рисунка и 4 таблицы, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 173 наименований, приложения и содержания.

Во *введении* дается обоснование актуальности темы диссертационного исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования, проанализированы научные труды по

теме диссертации.

*Первая глава* диссертации посвящена критическому обзору существующих методов оценивания состояния. Отмечены преимущества и недостатки известных вероятностных и детерминированных методов, методов аппроксимации информационных множеств. На основе проведённого анализа сформулированы задачи исследования.

*Во второй главе* диссертации разрабатываются методы полиэдральной аппроксимации информационного множества с использованием математической модели описания системами линейных уравнений и неравенств и решении задач линейного программирования. Представлены одношаговая и многошаговые процедуры оценивания – на окне измерений. Приведена вычислительная сложность работы алгоритма для систем различных размерностей и различной длине окна измерений.

*Третья глава* посвящена разработке методов оценивания состояния с учётом особенностей математических моделей процессов в подвижных объектах для повышения точности оценивания. Описана модификация алгоритма полиэдральной аппроксимации, позволяющая оценить не только вектор состояния, но коэффициенты в разложении возмущений и помех по системе функций. Приведен алгоритм гарантированного оценивания для переключаемых систем. Исследован случай аномальных изменений, когда возмущения реализованы за пределами априорно заданного множества.

*В четвертой главе* рассмотрена реализация алгоритмов гарантированного оценивания с использованием метода полиэдральной аппроксимации. Приведены вычислительные эксперименты по оцениванию состояния на примере модели летательного аппарата и модели ошибок бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Показана работа алгоритмов гарантированного оценивания по результатам обработки экспериментальных данных, полученных при исследовании автомобильной дроссельной заслонки, волоконно-оптического гироскопа и динамических измерений температуры с помощью термопары.

*В пятой главе* описан пакет программ в среде MATLAB, реализующий разработанные алгоритмы, предназначенный для исследования гарантированных при различных исходных данных на этапе проектирования системы управления подвижным объектом.

*Заключение* подытоживает результаты диссертационного исследования.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ, НОВИЗНА И ОСНОВНОЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Материал диссертации охватывает разработанные автором теоретические и научно-практические положения, совокупность которых правомерно квалифицировать как решение актуальной научной задачи в области гарантированно-

го оценивания состояния подвижных объектов.

**Основной научный результат диссертационной работы Е.О. Подвиловой состоит в разработке методов гарантированного оценивания состояния подвижных объектов на основе метода полиэдральной аппроксимации информационных множеств.**

Работа содержит следующие *новые результаты*:

◆ Алгоритм полиэдральной аппроксимации информационного множества, не требующий выполнения операций суммы Минковского и пересечения множеств.

◆ Алгоритм гарантированной оценки возмущений и помех, действующих на систему, с учётом дополнительной информации для повышения точности оценивания.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Диссертационное исследование имеет *практическую значимость*, поскольку разработанные в его рамках методы являются эффективным инструментом для построения гарантированных оценок состояния подвижных объектов в условиях статистической неопределённости. Результаты диссертационного исследования представляют интерес для решения задач автоматизации управления техническими объектами и технологическими процессами в промышленности, особенно когда проводится единственная реализация процесса. Практическая ценность полученных результатов подтверждена актами использования результатов диссертационного исследования.

## **ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

*Достоверность* сформулированных научных положений диссертационной работы не вызывает сомнений. Теоретические выводы и рекомендации обоснованы и подкреплены вычислительными и натурными экспериментами. Основные результаты диссертации апробированы в рецензируемых журналах, на научных конференциях.

## **ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

К диссертационной работе имеются следующие *замечания*:

1. В работе ключевым является понятие подвижного объекта. Однако, неясен учет особенностей именно подвижных объектов в рассматриваемых задачах моделирования их динамики и оценки действующих возмущений и помех. При этом следует отметить, что рассматриваемые в п.4 объекты: автомобильная

дроссельная заслонка и турбина авиационного двигателя не относятся к классу подвижных объектов.

2. В п.1.3, посвященном постановке задачи диссертационного исследования, сформулирована цель работы и приведен (без какой-либо формализации) лишь перечень рассматриваемых в работе задач.

3. В работе используется «внешняя» (описывающая) эллипсоидальная и полиэдральная аппроксимация информационных множеств, хотя практика показывает, что более качественной является «внутренняя» (вписывающая) аппроксимация.

4. Для учета действия на подвижный объект неопределенных возмущений и помех целесообразно использование их волновых моделей Джонсона (С.Д. Johnson) – моделей полудетерминированной структуры, не оперирующей со средними значениями, дисперсиями или другими статистическими свойствами.

5. Приходится сомневаться в справедливости линейной модели бокового движения летательного аппарата (п.4.1), взятой из зарубежных источников, поскольку в ней матрицы состояния и управления содержат коэффициенты, различающиеся в миллион раз. Разумней было бы использовать соответствующие отечественные модели.

6. В работе отсутствует исследование зависимости точности полученных гарантированных оценок от величины неопределенности информационных множеств (начального состояния, возмущений и помех).

7. В целом результаты исследований изложены достаточно ясно и четко. Однако, все же встречаются некоторые опечатки и стилистические неточности. Так, например, в теории управления общеприняты и понятны термины «моделирование объекта», а также «моделирование возмущений и помех», но не приняты и непонятны используемые термины «моделирование состояния объекта» и «моделирование оценок возмущений и помех».

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы и не ставят под сомнение полученные результаты.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

В целом, несмотря на указанные замечания, диссертационное исследование Е.О. Подивиловой выполнено на высоком научном уровне на актуальную тему и представляет собой законченный по форме и содержанию научный труд, содержащий новые результаты, представляющие теоретическую и практическую ценность.

Основные результаты диссертационного исследования достоверны, выводы и заключения обоснованы. Научные результаты апробированы на конференциях и отражены в статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК и в МНБД Scopus и WoS.

Диссертация соответствует заявляемой специальности, а ее автореферат в полной мере и правильно отражает ее содержание.

На основании вышеизложенного считаю, что *диссертационная работа Подвильевой Елены Олеговны удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.*

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ -**

*Профессор, зам. заведующего кафедрой  
физико-математических методов  
управления МГУ им. М.В. Ломоносова,  
Гл. научный сотрудник лаборатории  
оптимизации управляемых систем  
ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН,  
доктор технических наук*

**Филимонов  
Николай  
Борисович  
12.11.2020г.**

*Подпись Н.Б. Филимонова заверяю:*

**Почт. адрес:** 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65  
**Тел.:** +7 (916) 514-71-02; **E-mail:** nbfilimonov@mail.ru

Ведущий специалист  
по кадрам



*Селькина СС*