

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Королева Станислава Анатольевича  
«Развитие подходов к решению проблем аэродинамики и устойчивости  
движения снарядов и неуправляемых ракет на основе  
математического моделирования»,  
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Аэродинамическое проектирование изделий с учётом действия различных внешних факторов, обусловленных движением носителей, формированием начальных возмущений, действием индуцированных потоков сред и турбулентностью обтекания является сложной научно-технической проблемой, единые и общепринятые подходы к решению которой до сих пор не выработаны. Поэтому выбранная автором тема является, безусловно, **актуальной**.

В работе реализован новый, интегрированный подход к решению прямой и обратной задач баллистики как единого программного комплекса, в основе которого лежат современные методы оптимизации. Решение задачи оптимального аэродинамического проектирования на базе результатов численного моделирования динамики полета с регрессионной полиномиальной моделью АДХ и моделями турбулентности составляет главный **новый научный результат** работы.

Разработанные автором модели и программный комплекс обладают широкой сферой применения, в том числе, применимы при отработке новых изделий и создании специализированного математического и программного обеспечения для баллистических вычислителей перспективных комплексов, что составляет **практическую значимость** работы.

В работе представлено сравнение результатов расчетов по предложенным автором моделям с разработанными ранее более простыми моделями, а также с практическими стрельбами, чем подтверждается **достоверность** полученных результатов.

По теме работы автором опубликована 41 научная работа, в том числе 22 статьи в журналах из перечня ВАК. Результаты исследований представлены в 6 отчетах о НИР, зарегистрированы 3 программы в едином реестре российских программ для ЭВМ и баз данных.

К **достоинствам** работы можно отнести:

1. Разработка нового подхода к решению прямых и обратных задач внешней баллистики в условиях наземного применения и с подвижного носителя; его интеграция в архитектуру программно-вычислительного комплекса аэродинамического проектирования.
2. Использование современных эффективных методов классификации и поиска, основанных на применении нейронных сетей и нечеткого поиска, позволяющих быстро решать задачи многопараметрической оптимизации.
3. Применение полиномиальной регрессионной модели аэродинамических характеристик в сочетании с моделью турбулентности для моделирования динамики полета в широком диапазоне чисел Маха и углов атаки.
4. Разработана математическая модель система «вертолет-вооружение», позволяющая учесть влияние транспортных вибраций и импульсов, формирующих начальные возмущения при стрельбе.
5. Верификация результатов разработанного подхода и моделей по экспериментальным данным.

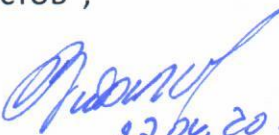
Тем не менее, в работе можно выделить и некоторые **недостатки**:

1. В первой главе утверждается, что разработанный подход позволяет без использования эмпирических данных провести исследования внешней баллистики, в то время как решение задачи обтекания построено на применении полуэмпирической модели турбулентности.
2. Тестирование методики численного моделирования обтекания выполнялось для тел простой формы в широком диапазоне чисел Маха и углов атаки, для которых в дальнейшем были получены функции, аппроксимирующие аэродинамические коэффициенты. К сожалению, автор не уточняет границы применимости регрессионной модели для тел сложной формы – снарядов и ракет.
3. Применение классификатора на нечетких деревьях требует большого объёма данных, описывающих аппроксиматоры, для достижения заданной точности. К сожалению, автор не раскрывает требований по объёму памяти и достигнутой точности, при которой скорость поиска решения снижалась на 3-4 порядка.
4. В модели динамики системы вертолёт-боеприпас принято, что параметры движения ракеты определяются законом движения в направляющей пусковой установки, однако динамика колебаний пусковой установки, определяющая начальные возмущения и рассеивание, не рассмотрена.
5. Автором принято усредненное монотонное распределение индуктивной скорости потока от несущего винта, при этом не обосновано, насколько данное допущение влияет на точность моделирования.

Данные замечания не носят принципиального характера.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук, а её автор Королёв Станислав Анатольевич **заслуживает** присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Начальник управления "Центр подготовки специалистов",  
Мальцев Владимир Алексеевич  
д.т.н., шифр специальности 20.02.17



27.04.2020

Начальник отделения 2 АО «КБП»,  
Семашкин Валентин Евгеньевич  
к.т.н., шифр специальности 05.13.01



27.04.2020

Заместитель начальника отдела 21 АО «КБП»,  
Канунников Андрей Владимирович  
к.т.н., шифр специальности 01.02.06




27.04.2020

300001, Тула, ул. Щегловская засека, 59  
Тел.: 8 (4872) 25-39-74  
E-mail: kbkedr@tula.net

Дата: 27.04.2020

Подписи заверяю:

Главный инженер КБ  
Морозов Андрей Владимирович



27.04.2020