

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сергея Александровича Белокопя «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа С. А. Белокопя посвящена решению задачи разработки математических моделей, методов и программно-аппаратных средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей. Автором разработана архитектура программно-аппаратного комплекса, поддерживающая технологию исследования с помощью динамически подобных моделей, предложены методы управления угловым положением и расчета гладкой траектории движения летательного аппарата.

Актуальность темы исследования не вызывает сомнений, поскольку использование технологии свободнолетающих динамически подобных моделей позволяет получить более полную и достоверную информацию о поведении летательного аппарата, его аэродинамических характеристиках в различных режимах полета, включая сваливание, штопор, пространственное маневрирование с критическими перегрузками. Кроме того, на моделях отрабатываются алгоритмы управления, исследуется поведение аппаратного обеспечения САУ, бортового радиоэлектронного оборудования. Для получения такого объема информации о новом летательном аппарате традиционно применяются летные испытания полноразмерного образца, что связано с риском потери оборудования.

Структура и содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 99

наименований, списка публикаций автора по теме диссертации. Приведен Акт о внедрении результатов диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлена разработанная программно-аппаратная платформа полунатурного моделирования, отличительной особенностью которой являются встроенные функции поддержки технологии динамически подобных летающих моделей, а так же возможность работы в двух режимах: модельного времени (для имитационного моделирования) и реального времени (для тренажера пилотов, программно-аппаратного тестирования).

Во второй главе приведена разработанная нелинейная модель движения технологического летательного аппарата ЛЛ в трёхмерном пространстве и результаты численных экспериментов, демонстрирующих реакцию аппарата на отклонения органов управления при различных скоростях движения и воздействия внешних возмущений.

В третьей главе представлен разработанный метод управления угловым положением летательного аппарата, основанный на расчете требуемых моментов вращения, приводящих летательный аппарат в заданное пространственное положение по желаемым траекториям в пространстве состояний.

В четвертой главе для решения проблемы планирования маршрута, заданного последовательностью поворотных пунктов, предложен метод расчета плоской траектории, состоящей из ориентированных отрезков прямых, сопряженных клотоидами.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы сводится к следующему:

1. Представлена архитектура программно-аппаратного комплекса полунатурного моделирования динамики полета и систем управления

летательными аппаратами в режимах модельного и реального времени, поддерживающая технологию исследования с помощью свободнолетающих динамически подобных моделей.

2. Предложен метод управления пространственным положением летательного аппарата, основанный на расчете требуемых вращающих моментов, обеспечивающих перевод летательного аппарата к заданному угловому положению по желаемым траекториям в пространстве состояний;

3. Разработан метод планирования гладких траекторий движения летательного аппарата, состоящих из отрезков прямых, сопряженных спиралями Корню.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в возможностях использования разработанного программно-аппаратного комплекса и нелинейных моделей движения летательных аппаратов в трехмерном пространстве для широкого спектра исследований динамически подобных моделей новых перспективных летательных аппаратов и систем автоматического управления при наземных и летных испытаниях, а так же предполетной подготовки летчиков и инженеров. Метод управления угловым положением может применяться при построении элементов систем автоматического управления летательными аппаратами. Метод планирования гладких траекторий движения летательного аппарата может быть использован при создании программного обеспечения наземных пунктов управления полетом.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается:

- использованием общеизвестных и обоснованных в научной литературе уравнений и методов исследования, в частности методов математического и имитационного моделирования, теории управления, вычислительной математики;

- внедрением некоторых результатов работы в практические исследования, проводимые АО «НовосибНИАТ», о чем свидетельствует Акт о внедрении от 20.03.2018 г.
- апробацией работы в виде публикаций в научных журналах, рекомендованных ВАК, докладов и выступлений на конференциях.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

Основные результаты диссертации изложены в 13 публикациях, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и ученой степени доктора наук. В публикациях достаточно полно отражены основные результаты диссертации.

Замечания. К замечаниям по диссертационной работе следует отнести:

1. Формулировка первого положения, выносимого на защиту, различается в диссертации и автореферате.
2. В диссертации отсутствуют численные оценки соответствия разработанной математической модели реальному летательному аппарату.
3. В тексте диссертации имеются опечатки и погрешности, например, на стр. 64 в объяснении к рис. 17 говорится о "... точках b_s и b_e начала и конца поворота ...", которые не обозначены на рисунке 17.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и значимости полученных результатов.

Заключение. Диссертация С. А. Белокопя «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей» является завершенной научной работой, содержащей решение актуальной задачи. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при

