

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Белоконя Сергея Александровича «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»

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Разработка программно-аппаратных средств для исследования динамики полета и систем управления свободно летающих динамически подобных моделей является одной из наиболее важных проблем создания новых перспективных летательных аппаратов, решение которой позволяет обеспечить ускорение процесса разработки и тестирования новых аппаратов, выполнить апробацию различных алгоритмов для систем управления движением аппаратов, а также снизить затраты на переподготовку летного состава. Несомненно, что в данной проблеме актуальной является задача совершенствования существующих и разработка новых методов управления угловым положением летательного аппарата. Повышение требований к динамике полета также влечет необходимость совершенствования методов формирования траектории движения летательного аппарата с учетом ограничений на величину возникающих механических перегрузок. В связи с этим работа С. А. Белоконя представляется актуальной.

2. Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, приложения и изложена на 109 страницах.

Во введении показана актуальность исследования, приведены цели и задачи исследования, показано состояние разработки поставленных задач, а также сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведено описание разработанной программно-аппаратной платформы полунатурного моделирования, отличительной особенностью которой являются встроенные функции поддержки технологии динамически подобных летающих моделей, а также работа в режимах модельного и реального времени. Выявлены специфические требования, которым должен удовлетворять моделирующий комплекс.

Во второй главе дано описание нелинейной модели движения технологического летательного аппарата в трёхмерном пространстве. Приведены результаты численных экспериментов, выполнено их сравнение с результатами экспериментальных данных.

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

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

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложении приведены результаты численного моделирования. Список литературы включает 99 наименований.

3. Обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов

Основным результатом проделанной диссертационной работы является разработка архитектуры программно-аппаратного комплекса полунатурного моделирования с использованием динамически подобных летающих моделей и реализация данного комплекса, рассмотрен метод управления угловым положением летательного аппарата, разработан метод планирования маршрута движения летательного аппарата на основе применения теории спиралей Корню. Основные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы достаточно обоснованы и аргументированы. Важным подтверждением обоснованности полученных выводов является практическое применение программно-аппаратного комплекса и разработанных методов при наземных и летных испытаниях образцов перспективных летательных аппаратов.

4. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе основным научным результатом является разработка архитектуры комплекса полунатурного моделирования со встроенными функциями поддержки технологии динамически подобных моделей для режимов работы в реальном и модельном времени. Также в ходе диссертационного исследования был рассмотрен метод управления угловым положением летательного аппарата на основе расчета требуемых моментов вращения, что является применением в данной области метода решения обратных задач динамики. К основным научным результатам диссертационной работы относится предложенный метод формирования плоской траектории движения летательного аппарата, состоящей из отрезков прямых, сопряженных клотоидами.

Достоверность полученных соотношений и выводов подтверждается хорошим согласованием результатов имитационного моделирования с результатами летных и наземных испытаний образцов летательных аппаратов.

Научная новизна перечисленных результатов диссертационной работы определяется такой отличительной особенностью предложенной архитектуры комплекса полунатурного моделирования, как наличие встроенных функций поддержки технологии динамически подобных летающих моделей, а также возможность применения комплекса в режимах модельного и реального времени. Новизна предложенного метода формирования плоской траектории движения летательного аппарата состоит в применении теории спиралей Корню, что позволяет обеспечить плавность изменения механических перегрузок при выполнении маневра летательным аппаратом.

Практическая значимость заключается в том, что разработанный программно-аппаратный комплекс полунатурного моделирования с использованием динамически подобных летающих моделей, включая программные модули для математических моделей летательных аппаратов, модули для реализации уравнений движения и законов регулирования систем управления, был использован при наземных и летных испытаниях образцов перспективных летательных аппаратов, что подтверждается актом внедрения результатов исследования в АО Новосибирском научно-исследовательском институте авиационной технологии и организации производства (АО «НовосибНИАТ»).

5. Значимость для науки и практики

Диссертация имеет выраженную прикладную направленность. Результаты диссертации могут найти широкое применение для исследования динамики полета и систем управления новых разрабатываемых летательных аппаратов. Разработанный программно-аппаратный комплекс полезен для проведения предполетных тренировок летчиков-операторов и инженеров-операторов.

Значимость научных результатов подтверждается выступлениями на

конференциях и семинарах, публикациями и актом внедрения.

Результаты работы могут быть использованы в смежных отраслях науки и техники, а также в процессе подготовки квалифицированных операторов для удаленного управления подвижными объектами в железнодорожном и автомобильном транспорте, управления движением автономных подводных аппаратов.

6. Оценка содержания диссертации

Диссертация С. А. Белокопя представляет собой исследование, посвященное разработке математических моделей, методов и программно-аппаратных средств исследования динамики полета и систем управления свободнолетающих динамически подобных моделей и беспилотных летательных аппаратов.

Выносимые на защиту положения достаточно полно представлены в отечественных изданиях, апробированы на конференциях и семинарах. Результаты исследования по теме диссертации опубликованы в 13-и печатных работах. Среди них 4-е работы опубликованы в изданиях, которые входят в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК для публикации результатов диссертационных исследований

Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационной работы.

7. Замечания по содержанию и оформлению

Оценивая положительно проделанную автором работу, следует указать и на определенные недостатки.

1. В диссертации имеет место неточность и противоречивость формулировки первого пункта "Основных положений, выносимых на защиту". В частности, в тексте диссертации на странице 13 этот пункт записан как:

"Программно-аппаратная платформа позволяет исследовать аэродинамику, динамику полета и функционирование системы управления свободно летающих динамически подобных моделей." В тоже время, на странице 5 текста автореферата этот пункт записан как:

"Архитектура программно-аппаратной платформы поддерживает технологию исследования аэродинамики, динамики полета и функционирования системы управления в режимах модельного и реального времени с использованием динамически подобных летающих моделей."

2. На страницах 41-42 текста диссертации в разделе 2.4 «Коррекция модели по данным летных испытаний» приведены графики сравнения модельных и полетных данных после проведения процедур уточнения коэффициентов модели. В диссертации отсутствует информация о методике уточнения коэффициентов математической модели.

3. На странице 43 текста диссертации приведены графики результатов численного моделирования влияния вертикальных порывов ветра на процессы в продольном канале. Однако величины, характеризующие порывы ветра, отсутствуют в уравнениях (1)-(8) математической модели пространственного движения летательного аппарата. Таким образом, представленная уравнениями (1)-(8) математическая модель не раскрывает влияние порывов ветра на процесс движения летательного аппарата.

4. На странице 44 текста диссертации в разделе «Выводы по главе 2» утверждается «Создана полная нелинейная модель движения технологического летательного аппарата в трехмерном пространстве». Однако представленная уравнениями (1)-(8) математическая модель основана на известных и ранее опубликованных работах других авторов. Вероятно, более правильной будет следующая формулировка: «Создана **имитационная** нелинейная модель движения технологического летательного аппарата в трехмерном пространстве».

5. На странице 53 текста диссертации отмечается, что уравнение (15) определяет необходимое значение $\ddot{\bar{\Gamma}}(t)$ при движении системы по траектории (13). Однако движение системы по траектории (13) соответствует условию $\bar{S}(t) = 0 \forall t$, но тогда $\dot{\bar{S}}(t) = 0 \forall t$, что соответствует уравнению $\dot{\bar{S}}(t) = \ddot{\bar{\Gamma}}(t) - K_1(\dot{\bar{\Gamma}}(t) - \dot{\bar{\Gamma}}_{ref}) = 0 \forall t$, которое не совпадает с уравнением (15). Очевидно, что поведение $\ddot{\bar{\Gamma}}(t)$ в силу уравнения (15) не означает, что имеет место движение системы по траектории (13). В действительности, введение промежуточной переменной $\bar{S}(t)$ является в данном случае избыточным, так как уравнение (15) можно формировать непосредственно в соответствии с требованиями на желаемый вид переходных процессов для $\bar{\Gamma}(t)$.

6. Предлагаемый в диссертации на странице 54 подход к вычислению вектора моментов \bar{M}_{ref} на основе выражения (18) и, соответственно, углов отклонения рулей на основе выражения (20), по своей сути является реализацией **известного компенсационного алгоритма управления**, в основе которого лежит решение обратной задачи динамики. Данный подход обсуждался, например, на странице 43, уравнение (2.14), в книге: Крутько П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций: учебное пособие для втузов. М.: Машиностроение, 2004. 576 с. Также данный подход обсуждался, например, на странице 15 в книге: Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. М.: Энергия, 1971. 112 с. Недостатком данного подхода является высокая чувствительность к изменениям параметров объекта и действию внешних неконтролируемых возмущений.

8. Оценка диссертации в целом

В диссертации С. А. Белокопя предложена архитектура комплекса полунатурного моделирования со встроенными функциями поддержки техно-

логии динамически подобных моделей для режимов работы в реальном и модельном времени, рассмотрен метод управления угловым положением летательного аппарата на основе расчета требуемых моментов вращения, а также метод формирования плоской траектории движения летательного аппарата, состоящей из отрезков прямых, сопряженных клотоидами. Содержание диссертации отвечает формуле специальности в части разработки комплексов программ, а также разработки методов и алгоритмов решения задач математического моделирования. Выводы и практические рекомендации обладают несомненной научной новизной и практической значимостью. По актуальности решаемых вопросов, новизне и значимости полученных результатов диссертация является законченной исследовательской работой.


На основании изложенного считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям п. 7 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор – Белоконь Сергей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный
технический университет»,
профессор кафедры автоматики

 В. Д. Юркевич

Подпись В. Д. Юркевича заверяю
Ученый секретарь НГТУ,
доктор технических наук, профессор



 Г. М. Шумский