

Отзыв официального оппонента

кандидата технических наук Арувелли Сергея Витальевича на диссертационную работу Шведа Юрия Витальевича «Разработка расчётно-экспериментального метода и новых конструктивных решений для повышения аэродинамической и весовой эффективности систем с мягким крылом на стропной поддержке», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Диссертационная работа посвящена проблематике разработки новых методик расчёта и конструктивных решений с целью увеличения эффективности и безопасности планирующих парашютных и парапланерных систем на базе двухоболочковых крыльев.

Актуальность работы

Летательные аппараты на базе мягких крыльев представляют собой сложную техническую систему, в процессе разработки которой применяется множество научно-технических дисциплин и требуется учёт большого количества противоречащих друг другу факторов. Несмотря на внешнюю простоту таких систем, их проектирование и экспериментальная отработка нетривиальны и сложны, поскольку малейшие ошибки могут привести к катастрофическим последствиям, в особенности для применений, связанных с человеческими жизнями. Это подтверждается опытом крупных технологических компаний, таких как SpaceX и Rocket Lab, которые столкнулись с существенными вызовами при разработке парашютных систем для пилотируемых космических кораблей и возвращаемых частей ракет-носителей. Поэтому повышение качества и эффективности процесса разработки таких систем, создание и внедрение новых решений, повышающих их безопасность, является крайне актуальной проблемой, решению которой и посвящена данная диссертация.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 191 странице, содержит 37 рисунков, 16 таблиц, девять приложений. Список литературы содержит 177 наименований.

Во **введении** автором обоснована актуальность темы диссертации, дан краткий обзор исследований по теме работы, сформулированы цель и задачи работы, методы их решения, предмет и объект исследования. Изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, обоснована их достоверность, перечислены основные положения, выносимые на защиту, и публикации по теме диссертации, приведена структура диссертации.

ОБЪЕКТ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«23» 09 2024 г.

Первая глава посвящена обзору работ, связанных с проектированием систем с мягким крылом.

Во **второй главе** проведён анализ особенностей процесса аэродинамического проектирования летательных аппаратов с мягким крылом, выделены основные проблемы. Автором предложены формулы для оценки индуктивного сопротивления, установочного угла крыла, скорости и угла планирования в моторном и безмоторном полёте летательного аппарата с мягким арочным крылом на стропной поддержке. Проведена оценка влияния профиля и удлинения крыла на характеристики системы. Глава служит теоретической основой работы, в ней предложена оптимизированная последовательность расчёта основных проектных параметров планирующей системы и изложены особенности выбора профиля и конструкции крыла.

В **третьей главе** автором предложена конструкция полого мягкого крыла с воздухозаборником в носике и профилированной щелью на верхней поверхности, проведены CFD моделирования с целью оценки влияния щели на обтекание профиля крыла. Описаны лётные испытания предложенной конструкции на базе параплана «Гольф».

В **четвёртой главе** описаны экспериментальные исследования мягкого крыла в бесщелевом и щелевом исполнениях с различной шириной щели, предложена методика экспериментального определения аэродинамических характеристик мягкого крыла. Приведены результаты математического моделирования динамики посадки системы с мягким крылом на базе полученных экспериментальных данных. Предложен способ весовой компенсации усилий на приводах органов управления.

В **заключении** подведены итоги исследования, сформулированы основные выводы и рекомендации по практическому применению разработанных методов и конструктивных решений.

В **приложения** вынесены материалы о характеристиках профилей крыльев, описание используемых и потенциальных способов увеличения безопасности мягких крыльев, описание областей применения новых конструкций мягких крыльев.

Научная новизна работы представляется в создании новых подходов и решений, которые направлены на улучшение аэродинамических характеристик и весовой эффективности летательных аппаратов с мягким крылом, а также в развитии методов их проектирования и экспериментальной отработки. В диссертации предложены новые перспективные способы повышения безопасности полёта за счёт введения профилированной щели с возможностью управления шириной щели и повышения эффективности управления мягким крылом за счёт весовой компенсации усилий.

Практическая значимость. Разработанные метод выбора параметров систем с мягким крылом и метод экспериментального определения аэродинамических характеристик крыльев позволяют снизить временные затраты и облегчают принятие решений на ранних этапах проектирования, а новые конструктивные решения позволяют повысить безопасность парашютной и парапланерной техники, что определённо представляет собой практический интерес.

Достоверность результатов исследования подтверждается экспериментальной отработкой предложенных решений – продувками в аэродинамических трубах соответствующих моделей мягких крыльев и лётными испытаниями опытного образца параплана с щелевым крылом. Предложенная щелевая конструкция крыла применена в серийно выпускаемом параплане «Формула» производства КБ Пилот.

Публикации и апробация работы

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 печатных работах, в том числе в 7 статьях в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, по специальности 2.5.13 и 6 статьях в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, по смежным специальностям. Результаты работы докладывались и обсуждались на четырёх научно-технических конференциях международного и всероссийского значения. Также у автора имеется восемь оформленных патентов на изобретение.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Вопросы и замечания.

1. В главе 2 выведены формулы для оценки индуктивного сопротивления крыла, однако не проведена их верификация путём сравнения с проверенными методиками и CFD моделированиями, а также не проведена валидация и сопоставление расчётов по разработанным зависимостям с результатами экспериментов.

2. В разделе 4.7 выполнен расчёт динамики посадки планирующей системы с мягким крылом с предложенной щелевой конструкцией. Для более полной оценки посадочных характеристик при использовании щелевой конструкции крыла необходимо провести сравнительный анализ с расчётом динамики посадки системы с аналогичным крылом, но без щели.

3. В разделе 4.8 предложен способ компенсации усилий привода, но не проведён анализ на компромиссы – на сколько увеличится масса, сложность и затраты на предлагаемый вариант разгруженного привода управления? Перекроют ли преимущества данной реализации недостатки обычного привода?

4. На стр. 115 на рисунке 4.5.5 приведён график изменения коэффициента момента профиля в зависимости от угла атаки. Чем обусловлена такая характеристика профиля с положительной производной по углу атаки в широком диапазоне углов атаки?

5. В работе не рассмотрен вопрос оценки устойчивости систем с предложенной конструкцией крыла с профилированной щелью.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Шведа Ю.В. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему на высоком научно-техническом уровне и результаты которой можно квалифицировать как решение научной задачи. Диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор Швед Юрий Витальевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Официальный оппонент, ведущий разработчик
бортовых алгоритмов ООО «Бюро 1440»,
кандидат технических наук



Арувелли С.В.

12.09.2024

Контактная информация:
ООО «Бюро 1440»
Адрес: 123022, г. Москва, Столярный пер.,
Д. 3, к.14, помещ. 1н
Тел.: +7 926 039 28 84
E-mail: s.aruvelli@1440.space

Подпись Арувелли Сергея Витальевича заверяю:
Руководитель группы проектных исследований,
прототипирования алгоритмов и математического
моделирования ООО «Бюро 1440»



09.09.2024

Акимов И.О.

С ответом ознакомлен 23.09.2024

Швед Ю.В.