

РЕЦЕНЗИЯ



върху дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен
„доктор“

Тема: „Изследване и оптимизиране на параметрите на летателни апарати с вертикално излитане и кацане с носеща система крило-витло“

Докторант: инж. Мартин Атанасов Зикямов

Професионално направление: Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност: Проектиране и конструиране на автоматични и пилотирувани летателни апарати

Рецензент: проф. д-р Асен Ангелов Маринов

1. Обща характеристика на дисертационния труд

Представеният за рецензиране дисертационен труд е посветен на изследване, анализ и оптимизиране на параметрите на летателни апарати с вертикално излитане и кацане (VTOL), използващи носеща система от типа „крило-витло“. Разработката разглежда комплексния проблем за определяне на рационална геометрична конфигурация, която осигурява висока енергийна ефективност при изпълнение на мисия, включваща различни режими на полет – вертикален полет/висене и хоризонтален крейсерски полет.

Темата на дисертацията е актуална и има съществено значение за развитието на съвременната авиационна техника, особено в областта на безпилотните летателни апарати, електрическите силови системи и концепциите за градска въздушна мобилност.

Обект на настоящото изследване са конвертопланите с вертикално излитане и кацане, използващи носещи системи от типа крило-витло, при които подемната сила в различните етапи от полета се създава от неподвижно крило и носещо витло. Особен интерес представляват конвертопланите с конфигурации от типовете с наклоняемо витло и с наклоняемо крило, като фокусът е насочен най-вече към техните съвременни електрически и хибридни разновидности, ориентирани към безпилотни приложения и градска въздушна мобилност.

Предмет на изследването са аеродинамичните и геометричните характеристики и параметри на носещите системи от типа крило-витло и тяхното влияние върху енергийната ефективност на ЛА при различни профили на мисията. По-конкретно влиянието на отношението между площите на крилото и витлото, като важни геометрични параметри и тяхното влияние върху необходимата енергия за изпълнение на различни мисии, като критерий за оптималност.

Развитието на VTOL системите поставя редица научни и инженерни предизвикателства, свързани с намирането на оптимален компромис между високата ефективност при висене и добрите аеродинамични характеристики при хоризонтален полет.

Основната цел на дисертационния труд е да се разглежда носещата система „крило-витло“ като единна аеродинамична и енергийна система, а не като комбинация от независимо оптимизирани елементи. Този подход съответства на съвременните тенденции в предварителното проектиране на летателни апарати.

2. Актуалност на разработвания научен проблем

Летателните апарати с вертикално излитане и кацане представляват бързо развиваща се област в авиационното инженерство. Основното предизвикателство при тяхното проектиране е необходимостта една конструкция да изпълнява успешно две противоположни задачи:

- 1) осигуряване на достатъчна тяга и ефективност при вертикален режим;
- 2) осигуряване на високо аеродинамично качество при хоризонтален полет.

При традиционните летателни апарати тези функции се реализират от различни специализирани системи, докато при VTOL конфигурациите се изисква интегрирано решение.

В този аспект дисертационният труд разглежда важен научен проблем – определянето на оптимални параметри на носещата система чрез критерий, основан на минимална енергия за изпълнение на мисията.

Актуалността на изследването се определя от: нарастващото приложение на безпилотни VTOL системи, необходимостта от повишаване на енергийната ефективност, развитието на електрически и хибридни силови установки и необходимостта от методики за предварително проектиране.

3. Структура и съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд има логично изградена структура, включваща последователно:

- 1) литературен обзор
- 2) методология на изследването;
- 3) симулационни изследвания;
- 4) експериментални изследвания;
- 5) общи изводи на дисертационния труд;
- 6) приноси на дисертационния труд.

Структурата показва правилно разбиране на процеса на авиационно проектиране – от теоретичната постановка до експерименталното потвърждение.

4. Анализ на използваната методология

Методологията на изследването включва комплекс от аналитични, числени и експериментални методи.

Особено внимание заслужава използването на размерния анализ чрез Π -теоремата на Бъкингам. На тази основа е предложен комплексен параметър $\frac{n_s D c}{S}$, който характеризира относителната площ на отклоняемите секции.

Изборът на този параметър е научно обоснован, тъй като той свързва множество характеристики на конфигурацията: площ на крилото, площ на отклоняемите секции, дисково натоварване, крилно натоварване, тяговъоръженост и енерговъоръженост.

Предложеният подход позволява значително опростяване на оптимизационната задача и създава възможност за сравнение на различни конфигурации.

5. Оценка на числените изследвания

Проведените симулационни изследвания позволяват определяне на влиянието на основните геометрични параметри върху характеристиките на летателния апарат.

Получените резултати показват подобряване на характеристиките при висене при увеличаване диаметра на витлото, намаляване на дисковото натоварване, изменение на характеристиките в крейсерски режим вследствие промяна на геометрията и наличие на компромисен оптимум между двата режима.

Важен резултат е установяването, че оптималната конфигурация зависи от профила на мисията. Това доказва необходимостта от мисийно ориентиран подход при проектирането на VTOL летателни апарати.

6. Оценка на експерименталните изследвания

Експерименталната част представлява съществен принос на дисертацията.

Разработената експериментална постановка позволява изследване на тяговите характеристики на витлата, необходимата мощност, скоростните полета и взаимодействието между витло и крило.

Използването на метода PIV (Particle image velocimetry) представлява подход за изследване на течения и позволява получаване на детайлна информация за развитието на вихровата следа и взаимодействието между елементите на носещата система.

Получените резултати за витла с диаметри 6, 7 и 9 инча показват закономерно изменение на характеристиките и потвърждават основните тенденции от числените изследвания.

7. Основни научни и научно-приложни приноси

Приемам формулираните от автора приноси като реално постигнати.

Научни приноси

1. Предложен е нов комплексен геометричен параметър за описание на носещи системи крило-витло.

2. Разработена е методология за оптимизация на VTOL летателни апарати чрез енергиен критерий.
3. Установена е зависимостта между геометричните параметри и енергийната ефективност.
4. Доказано е влиянието на профила на мисията върху оптималния избор на конфигурация.

Приложни приноси

1. Разработена е експериментална методика за аеродинамични изследвания.
2. Създаден е стенд за изследване на носещи системи крило-витло.
3. Приложен е PIV метод за измерване на скоростни полета.
4. Разработен е концептуален проект на безпилотен VTOL летателен апарат.

8. Критични бележки и препоръки

Към дисертационния труд могат да бъдат отправени следните препоръки:

- би могъл да бъде разширен анализът на грешките и неопределеността при експерименталните измервания;
- при бъдещи изследвания би било полезно да се включи анализ на различни типове витла и силови установки;
- допълнително развитие би представлявал анализът на ефектите от мащабирането при преминаване от модел към реален летателен апарат;
- би било интересно изследване на влиянието на системите за управление върху оптималната конфигурация.

Посочените бележки имат препоръчителен характер и не намаляват научната стойност на представения труд.

9. Заключение

Представеният дисертационен труд представлява завършено научно изследване с ясно формулирана цел, подходящо избрана методика и научно-приложни резултати.

Авторът показва задълбочени знания и умения в областта на теорията на витловите системи, експерименталната аеродинамика, оптимизационните методи и предварителното проектиране на VTOL системи.

Получените резултати представляват принос към методологията за проектиране и оптимизация на летателни апарати с вертикално излитане и кацане.

Въз основа на изложеното давам положителна оценка на дисертационния труд и считам, че той отговаря на изискванията за присъждане на образователната и научна степен „доктор“.

Предлагам на уважаемото научно жури да присъди на докторанта образователната и научна степен „доктор“.

Рецензент

проф. д-р Асен Маринов

Дата: 03.09.2017 г.



REVIEW

of a PhD dissertation for the award of the educational and scientific degree "Doctor"

Title: Investigation and Optimization of Parameters of Vertical Take-Off and Landing Aircraft with a Wing-Propeller Lifting System

PhD Candidate: Eng. Martin Atanasov Zikyamov

Professional Field: Transport, shipping and aviation

Scientific Specialty: Design and Construction of Automatic and Piloted Aircraft

Reviewer: Prof. Asen Angelov Marinov, PhD

1. General Characteristics of the Dissertation

The dissertation submitted for review is dedicated to the investigation, analysis, and optimization of parameters of Vertical Take-Off and Landing (VTOL) aircraft employing a wing-propeller lifting system. The work addresses the complex problem of determining a rational geometric configuration that ensures high energy efficiency during mission execution involving multiple flight regimes—vertical flight/hover and horizontal cruise flight.

The topic of the dissertation is highly relevant and of significant importance for the development of modern aviation technology, particularly in the fields of unmanned aerial vehicles, electric propulsion systems, and urban air mobility concepts.

The object of the study is VTOL convertiplanes utilizing wing-propeller lifting systems, in which lift is generated by a fixed wing and a propeller at different stages of flight. Particular attention is given to tilt-rotor and tilt-wing configurations, with a primary focus on their modern electric and hybrid variants intended for unmanned applications and urban air mobility.

The subject of the research includes the aerodynamic and geometric characteristics of wing-propeller lifting systems and their influence on the energy efficiency of the aircraft under different mission profiles. Specifically, the study examines the impact of the ratio between wing area and propeller area as key geometric parameters affecting the energy required for mission execution, used as an optimality criterion.

The development of VTOL systems presents numerous scientific and engineering challenges related to achieving an optimal compromise between high hover efficiency and favorable aerodynamic performance in forward flight.

The main objective of the dissertation is to treat the wing-propeller lifting system as a unified aerodynamic and energy system, rather than as a combination of independently optimized components. This approach aligns with contemporary trends in preliminary aircraft design.

2. Relevance of the Research Problem

VTOL aircraft represent a rapidly evolving field in aerospace engineering. The primary design challenge lies in the need for a single configuration to successfully perform two fundamentally conflicting tasks:

- ensuring sufficient thrust and efficiency in vertical flight;
- achieving high aerodynamic efficiency in horizontal flight.

In conventional aircraft, these functions are performed by separate specialized systems, whereas VTOL configurations require an integrated solution.

In this context, the dissertation addresses an important scientific problem—determining optimal parameters of the lifting system using a criterion based on minimum mission energy consumption.

The relevance of the research is driven by the increasing application of unmanned VTOL systems, the need for improved energy efficiency, the advancement of electric and hybrid propulsion systems, and the demand for reliable preliminary design methodologies.

3. Structure and Content of the Dissertation

The dissertation is logically structured and includes:

- literature review;
- research methodology;
- numerical (simulation) studies;
- experimental investigations;
- general conclusions;
- contributions of the dissertation.

The structure demonstrates a proper understanding of the aircraft design process—from theoretical formulation to experimental validation.

4. Analysis of the Methodology

The research methodology combines analytical, numerical, and experimental approaches.

Particularly noteworthy is the application of dimensional analysis using the Buckingham Π -theorem. On this basis, a complex parameter $\frac{n_s D c}{s}$ is introduced to characterize the relative area of the deflectable sections.

The selection of this parameter is scientifically justified, as it integrates multiple configuration characteristics, including wing area, deflectable surface area, disk loading, wing loading, thrust-to-weight ratio, and power loading.

The proposed approach significantly simplifies the optimization problem and enables comparison between different configurations.

5. Evaluation of Numerical Studies

The conducted simulations allow for assessment of the influence of key geometric parameters on aircraft performance.

The results indicate:

- improved hover performance with increasing propeller diameter;
- reduced disk loading;
- variation in cruise characteristics due to geometric changes;
- the existence of a compromise optimum between hover and cruise regimes.

An important finding is that the optimal configuration depends on the mission profile, demonstrating the necessity of a mission-oriented approach in VTOL aircraft design.

6. Evaluation of Experimental Studies

The experimental component represents a significant contribution of the dissertation.

The developed experimental setup enables investigation of propeller thrust characteristics, required power, velocity fields, and wing-propeller interaction.

The application of the Particle Image Velocimetry (PIV) method provides detailed insight into flow behavior, including vortex wake development and interaction between lifting system elements.

Results obtained for propellers with diameters of 6, 7, and 9 inches show consistent trends and confirm the main findings of the numerical studies.

7. Main Scientific and Applied Contributions

I accept the contributions formulated by the author as genuinely achieved.

Scientific contributions:

- A new комплексен geometric parameter for describing wing-propeller systems is proposed;
- A methodology for VTOL optimization based on an energy criterion is developed;
- Relationships between geometric parameters and energy efficiency are established;
- The influence of mission profile on optimal configuration selection is demonstrated.

Applied contributions:

- An experimental methodology for aerodynamic studies is developed;
- A test rig for investigating wing-propeller systems is created;
- The PIV method is applied for velocity field measurements;
- A conceptual design of an unmanned VTOL aircraft is developed.

8. Critical Remarks and Recommendations

The following recommendations may be made:

- the analysis of experimental errors and uncertainties could be further expanded;
- future work may include investigation of different propeller types and propulsion systems;
- additional development could address scaling effects from model to full-scale aircraft;
- investigation of control system influence on optimal configuration would be of interest.

These remarks are of a recommendatory nature and do not diminish the scientific value of the work.

9. Conclusion

The submitted dissertation represents a complete scientific study with a clearly defined objective, an appropriately selected methodology, and meaningful scientific and applied results.

The author demonstrates in-depth knowledge and competence in propeller theory, experimental aerodynamics, optimization methods, and preliminary design of VTOL systems.

The obtained results contribute to the methodology for design and optimization of VTOL aircraft.

Based on the above, I give a positive evaluation of the dissertation and conclude that it meets the requirements for the award of the educational and scientific degree "Doctor".

I recommend that the esteemed scientific jury award the PhD degree to the candidate.

Reviewer: *prof. Asen Mazinov, PhD*

Date: *03.09.26y.*

