А.А. Халатов
О.Ф. Немчін
Є.О. Шквар
А.В. Кузьмін
С.Г. Кобзар

БОЙОВІ МАЛОРОЗМІРНІ БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ З РЕАКТИВНОЮ ТЯГОЮ

Національна академія наук Україні
Інститут технічної теплофізики

БОЙОВІ МАЛОРОЗМІРНІ БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ З РЕАКТИВНОЮ ТЯГОЮ

Халатов А.А., Немчін О.Ф., Шквар Є.О., Кузьмін А.В., Кобзар С.Г.

Дніпро | **ЛІРА** | 2023

УДК 623.746-519(02.064)
Б 77

Затверджено до публікації Вченої радої Інституту технічної теплофізики НАН України (протокол № 9 від 29.06.2023 р.)

Рецензенти: член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук **О.В. Кравченко** (Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків);

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник **І.І. Борисов** (Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ).

Халатов А.А, Немчін О.Ф, Шквар Є.О., Кузьмін А.В., Кобзар С.Г.

Б 77 Бойові малорозмірні безпілотні літальні апарати з реактивною тягою: монографія / під ред. Академіка НАН України, д.т.н., проф. А.А. Халатова. – Дніпро: Ліра, 2023. – 144 с.

ISBN 978-966-981-807-2

У монографії виконано концептуальний аналіз можливості створення високошвидкісних (до 800 км/год) та маневрених бойових малорозмірних літальних апаратів (МБПЛА) реактивного типу з тягою двигуна 10-90 кгс та зменшеною радіолокаційною та тепловою помітністю апарату. Розглянуто класифікацію безпілотних літальних апаратів, дається аналіз ринку міні-реактивних двигунів (МГТД) з тягою 10-90 кгс. На основі статистичного аналізу виконано оцінку вагових, геометричних та швидкісних характеристик МБПЛА по МГТД тягою 10-90 кгс, представлені динамічні та висотно-швидкісні характеристики базового МБПЛА з тягою 20 кгс. Проведено аналіз доцільності використання методів зниження радіолокаційної та теплової «помітності» у конструкції МБПЛА. Сформульовано перелік можливих оперативно-тактичних завдань для МБПЛА з МГТД тягою 10-90 кгс. На закінчення розглянуто перспективи подальшого розвитку реактивних МБПЛА.

Матеріали книги відповідають стану на 1 січня 2023 року.

УДК 623.746-519(02.064)

Khalatov A.A., Nemchin O.F., Shkvar Ye.O., Kuzmin A.V., Kobzar S.G.

Small-size jet-powered combat unmanned aircraft systems / ed. Khalatov A.A. – Dnipro : LIRA, 2023. – 144 p.

ISBN 978-966-981-807-2

The monograph contains a conceptual analysis of the possibility to create the high-speed (up to 800 km/h) and maneuverable small-size jet-powered combat aircrafts with an engine thrust of 10-90 kgf and reduced radar and thermal signature of the aircraft. The classification of unmanned aerial systems (UAV/UAS) is considered, an analysis of the market for mini turbojet engines with a thrust of 10-90 kgf is given. Based on the statistical analysis, the weight, geometric and speed characteristics of the small UAV/UAS were assessed from the point of using the mini turbojet engines with a thrust of 10-90 kgf. The dynamic and altitude-speed characteristics of the basic UAV/UAS with a thrust of 20 kgf are presented. An analysis was carried out of the feasibility of using technologies to reduce radar and thermal signature in the design of small UAVs/UASs. A list of possible operational-tactical tasks for small UAVs/UASs with mini turbojet engines thrust of 10-90 kgf has been formulated. In conclusion, the prospects for the future development of small-size jet-powered UAVs/UASs are considered.

All the data presented in the book are valid on January 1, 2023.

ISBN 978-966-981-807-2
DOI https://doi.org/10.23877/978-966-981-807-2

© Халатов А.А, Немчін О.Ф, Шквар Є.О., Кузьмін А.В., Кобзар С.Г., 2023
© ЛІРА, 2023

РЕФЕРАТ

Досвід бойових дій в Україні показав, що безпілотні літальні апарати відіграють провідну роль у сучасній війні. Сьогодні відомі та випускається широка номенклатура апаратів вагою від кількох десятків грам до кількох тон, але найбільш широко використовується клас малорозмірних безпілотних апаратів (МБПЛА) з тягою 10 – 90 кгс. Переважна більшість із них заснована на пропелерній тязі, вони тихохідні, тому понад 90% їх знищуються ще до досягнення мети. Сьогодні великий інтерес становлять високошвидкісні, маневрені безпілотні апарати з реактивною тягою, що мають високу бойову «живучість». Однак, в даний час такі апарати серійно не випускаються. В роботі розглянуто класифікацію безпілотних апаратів, дається аналіз ринку газотурбінних двигунів (МГТД) з тягою 10 – 90 кгс та розглянуто базові характеристики МГТД, вагові, геометричні та швидкісні характеристики МБПЛА з МГТД тягою 10 – 90 кгс, визначені динамічні та висотно-швидкісні характеристики МБПЛА з тягою 20 кгс. Розглянуто методі зниження радіолокаційної та теплової «помітності» літальних апаратів, визначена доцільність їх використання в МБПЛА реактивного типу. Сформульовано перелік можливих оперативно-тактичних завдань для МБПЛА з МГТД тягою 10 – 90 кгс.

Ключові слова: Безпілотні літальні апарати; малорозмірній БПЛА; міні реактивний двигун; радіолокаційна та теплова помітність; висотно-швидкісні характеристики; оперативно-тактичні завдання.

ЗМІСТ

ВСТУП **8**

РОЗДІЛ 1. БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ (БПЛА) **12**

1.1. Особливості класифікації БПЛА 12

1.2. Класифікація БПЛА за експлуатаційними характеристиками 13

Класифікація БПЛА за розмірами 13

Класифікація по злітній вазі 16

Класифікація за дальністю та тривалістю польоту 19

Класифікація за максимальної висотою (стелею) польоту 23

Класифікація за навантаженням на крило 25

Класифікація за типом двигунів 28

1.3. Класифікація БПЛА за призначенням 30

Розвідувальні БПЛА 30

Бойові апарати 30

Багатоцільові пристрої 31

БПЛА з вертикальним зльотом і посадкою – VTOL 34

Радіовиявлення та ретрансляція 34

Нові типи БПЛА 35

1.4. Військовий конфлікт Росії з Україною 38

Країни-виробники БПЛА 38

Кількість типорозмірів БПЛА 39

Витривалість 39

Типи БПЛА за форм-фактором та призначенням 40

БПЛА за типом двигуна 41

Висновки до розділу 1 43

РОЗДІЛ 2. СЕРІЙНІ РЕАКТИВНІ МІНІ-ДВИГУНИ З ТЯГОЮ 10 – 90 КГС **45**

2.1. Принципова схема МГТД 47

2.2. Основні елементи МГТД 49

Вхідні пристрої 49

Компресор 49

Камера згоряння 51
Турбіна 52
Вихідне сопло 53

2.3. Основні характеристики МГТД 55

2.4. Експлуатаційні характеристики 57

2.5. Аналіз серійних МГТД 62

2.6. Характеристики двигунів JetCat P200RX та JetCat P250PRO-S 67

Висновки до розділу 2 70

РОЗДІЛ 3. ЗНИЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 72

3.1. Базові методи зниження радіопомітності 73
Радіо-поглинаючі матеріали та покриття 73
Полімерні композиційні матеріали 75
РПП, що містять феромагнітні порошки 76
РПМ на основі наноструктур 78
РПМ на основі діелектричних втрат 78

3.2. Геометрія літального апарату 78

3.3. "Стелс"-технології 80
Ефективна поверхня розсіювання 80
"Стелс"-технології в авіації 82
«Стелс»-технології в МБПЛА 83

Висновки до розділу 3 86

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ВАГОВИХ, ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МБПЛА З МІНІ-РЕАКТИВНИМ ДВИГУНОМ ТЯГОЮ 10 – 90 КГС 87

4.1. Вагові характеристики 88
Максимальна злітна вага 88
Маса пального 91
Маса корисного навантаження 92

4.2. Геометричні характеристики 93

Розмах крила 93
Площа крила 93
Довжина БПЛА 94
Висота БПЛА 94

4.3. Кількість двигунів 96

4.4. Висота та швидкість польоту 97

4.5. Компонування, принципові конструктивні рішення та матеріалі 98

Висновки до розділу 4 101

РОЗДІЛ 5. АЕРОДИНАМІЧНІ ТА ВИСОТНО-ШВИДКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МБПЛА З ТЯГОЮ 20 КГС 103

5.1. Аеродинамічні характеристики 104

Побудова визначальних аеродинамічних залежностей $C_{ya}(\alpha)$, поляри $C_{ya} = f(C_{xa})$ та $K(C_{ya})$ МБПЛА з тягою 20 кгс 104

5.2. Висотно-швидкісні характеристики 107

Визначення динамічних та висотних характеристик МБПЛА з тягою 20 кгс на крейсерських режимах усталеного горизонтального польоту 107

Визначення динамічних характеристик МБПЛА з тягою 20 кгс при наборі висоти 109

Визначення динамічних характеристик МБПЛА з тягою 20 кгс на етапі зниження 112

Визначення дальності та тривалості польоту МБПЛА з тягою 20 кгс 113

Висновки до розділу 5 115

РОЗДІЛ 6. ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ МБПЛА З МІНІ-РЕАКТИВНИМ ДВИГУНОМ ТЯГОЮ 10-90 КГС 117

6.1. Діапазон швидкостей польоту БПЛА 117

6.2. Діапазон висот польоту БПЛА 117

6.3. Ресурс наявних МГТД 117

6.4. Загальна доцільність застосування МГТД 117

6.5. Оперативно-тактичні задачі для МБПЛА з МГТД тягою 10-90 кгс 118

ВИСНОВОК **119**

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ **122**

ДОДАТОК 1. ДОДАТКОВІ МАТЕРІАЛИ ДО РОЗДІЛУ 5 ..... **126**

ДОДАТОК 2.ДЕТОНАЦІЙНІ ДВИГУНИ **132**

Скорочення 132

Вступ 132

Принцип роботи та ефективність ПДД 133

Стан проблеми на теперішній час 137

Область застосування ПуПРД 137

Принцип роботи ПуПРД 138

Клапанний ПуПРД 138

Безклапанні ПуПРД (U-подібні ПуПРД) 139

Детонаційні ПуПРД (PDE) 141

Перспективні розробки 141

Проблеми розвитку ПДД 144