

Н.П. Сироткіна, С.С. Василів, Л.В. Музика

КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ РЕАКТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Анотація. Актуальність роботи визначається в дослідженні безпілотних літальних апаратів, двигунів та палива для безпілотних літальних апаратів. По оцінкам міжнародних консалтингових компаній в теперішній час на ринку безпілотних літальних апаратів спостерігається небувале піднесення. Мета роботи – аналіз сучасного стану безпілотних літальних апаратів, двигунів та палива для безпілотних літальних апаратів. Показано особливості застосування безпілотних літальних апаратів: мала вартість виробництва, швидкий запуск, спрощене технічне обслуговування при тривалому зберіганні і підготовці до застосування, менша вага і достатня міцність. Розглянуто сучасні функціональні методи класифікації зарубіжних військових аналітиків, що ґрунтуються на первинній різниці між бойовими безпілотними літальними апаратами і безпілотними літальними апаратами забезпечення. Наведено характерні особливості розвідувальних і ударно-розвідувальних безпілотних літальних апаратів, які відрізняють їх від пілотованих літальних апаратів з аналогічним функціональним призначенням. Показано загальну класифікацію безпілотних літальних апаратів, класифікацію за організаційними та технічними ознаками. Розглянуто класифікацію ракетних палив за різними ознаками та наведено їх основні характеристики, переваги та недоліки
Ключові слова: безпілотні літальні апарати, класифікація, гомогенні і гетерогенні палива, сумішеві палива, схеми спорядження двигунів.

Постановка проблеми. Авіація і артилерія, куди можна віднести також ракетну техніку, є основними інструментами військових дій. Проте останнє десятиліття все більшого розповсюдження набирають технології, засновані на безпілотних літальних апаратах. Їх вартість набагато нижча в порівнянні з іншими видами техніки, проте ефективність досить висока. Досвід Російсько-Української війни показує тенденцію до зростання використання безпілотних систем як за кількістю, так і за напрямками.

На сьогоднішній день науково-дослідницькими інститутами і авіабудівними підприємствами провідних країн світу інтенсивно ведуться розробки безпілотних літальних апаратів різного призначення, пошук нових сценаріїв застосування, нових проектно-конструкторських рішень і методів керування, що забезпечують підвищення ефективності застосування безпілотних літальних апаратів.

Мета роботи – аналіз сучасного стану безпілотних літальних апаратів, двигунів та палива для безпілотних літальних апаратів.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – це літальний апарат, який не має на борту людини-пілота і здатний переміщуватися у просторі для виконання різних функцій в автономному режимі за допомогою власної керуючої програми або за допомогою дистанційного керування, що здійснюється людиною-оператором зі стаціонарного чи мобільного пульта керування.

Минуле десятиліття продемонструвало бурхливе зростання авіаційних безпілотних технологій. Очікується, що ринок двигунних установок БПЛА зареєструє середньорічний темп зростання більше 12 % в період до 2028 року [1].

Перші цивільні БПЛА з'явилися наприкінці ХХст. Однак, темпи зростання ринку такої продукції, комплектуючих та сервісів для них мають дуже високі показники. Ринок послуг і систем для БПЛА великий і перспективний, але через велику різноманітність їх видів створювати універсальні рішення вкрай складно. Тому необхідно класифікувати БПЛА за різними параметрами, які дозволять далі виділяти цільові сегменти ринку для нових перспективних супутніх розробок.

В останні роки спостерігається тенденція до підвищення долі виробництва БПЛА для військових цілей. В першу чергу це пов'язано з військовими діями Росії проти України, яка спричинила вичерпування боєприпасів не тільки в Європі але й в світі взагалі. Тому збільшення попиту і залежності від БПЛА в бойових діях подвоїло темпи досліджень і розробок, пов'язаних з цим видом техніки. До 2022р. великий інтерес представляли зразки для цивільних задач, зокрема, для обробки і моніторингу сільськогосподарських угідь, лісових масивів та для моніторингу обстановки при надзвичайних ситуаціях

Яким би не був БПЛА за цільовим призначенням, розмірами, аеродинамічною компоновкою його льотно-тактичні характеристики (дальність, тривалість, діапазон висот і швидкостей польоту) багато в чому забезпечується ефективністю силової установки. Саме тому при проектуванні БПЛА особлива увага приділяється вибору двигунової установки, і часом відсутність цього компоненту з необхідними технічними параметрами ставить під загрозу створення всього безпілотного комплексу [2].

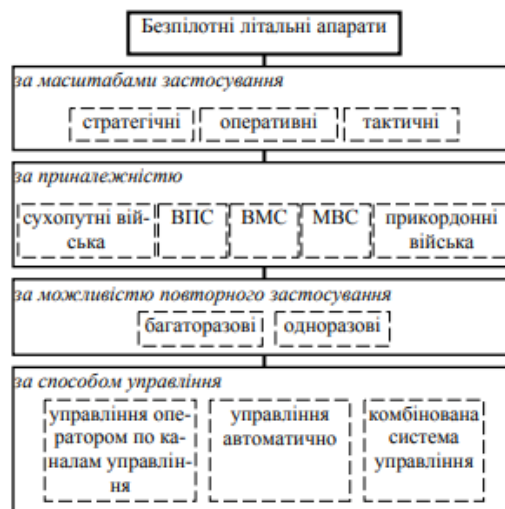
З огляду на актуальність далі мова піде про БПЛА для військових цілей.

Існують три характерні особливості розвідувальних і ударно-розвідувальних БПЛА, які відрізняють їх від пілотованих літальних апаратів (ЛА) з аналогічним функціональним призначенням [3]: Тривалість польоту БПЛА може бути вище, ніж у класичного ЛА, оскільки відсутнє обмеження тривалості роботи екіпажу. Сценарій застосування БПЛА може включати в себе тривалий період консервування, що обумовлює ряд характерних особливостей, і зниження ресурсу відносно пілотованого ЛА аналогічного призначення; підвищений відбір потужності від силової установки на потреби систем ЛА.

Сучасні функціональні методи класифікації, що використовуються зарубіжними військовими аналітиками, ґрунтуються на первинній різниці між бойовими БПЛА і БПЛА забезпечення. Бойові БПЛА включають спеціалізовані ударні БПЛА багаторазового застосування та ударні апарати одноразового застосування. Найбільша

увага при розробці бойових ударних БПЛА приділяється спеціалізованим ударним апаратам багаторазового застосування, які за своїми тактико-технічними характеристиками наближаються до сучасних тактичних винищувачів [4]. БПЛА забезпечення розподіляються на розвідувальні, транспортні і цільові.

Існує також класифікація БПЛА [4] за організаційними (рис. 1) та технічними ознаками (рис. 2). Перелік цих ознак показує унікальні можливості гнучкого використання БПЛА.



ВПС – військово-повітряні сили; ВМС – військово-морські сили;

МВС – міністерство внутрішніх справ

Рисунок 1 – Класифікація за організаційними ознаками

До двигунів БПЛА пред’являються специфічні вимоги, обумовлені особливостями застосування БПЛА, а саме: мала вартість виробництва, обумовлена значно меншим в порівнянні з традиційними авіаційними двигунами ресурсом; швидкий запуск, найчастіше з використанням продуктів згоряння порохових шашок; спрощене технічне обслуговування при тривалому зберіганні і підготовці до застосування; менша вага і достатня міцність, оскільки підвищення міцності зазвичай пов’язано з обтяженням конструкції, а полегшення конструкції – з пониженням міцності.

В залежності від габаритно-масових характеристик, сфери застосування і умов функціонування на БПЛА застосовуються такі типи двигунів [5]:

- електродвигун; двигуни внутрішнього згоряння; турбогвинтовий двигун;
- турбореактивний двигун; двухконтурний турбореактивний двигун;
- пульсуючий повітряно-реактивний двигун; рідинний ракетний двигун;
- твердопаливний ракетний двигун; комбінований ракетний двигун.



Рисунок 2 – Класифікація за технічними ознаками

Характеристики двигуна і його конструкція в значній мірі залежать від палива і продуктів його горіння. Розглянемо більш конкретно палива для БПЛА.

Палива поділяють на гомогенні та гетерогенні. В гомогенному паливі молекули в своєму складі мають горючі і окислюючі елементи, а в гетерогенному – це різні речовини, змішані механічно. Частіше класифікацію палив за структурою поділяють на: нітроцелюлозні (одноосновні, двоосновні); сумішеві; модифіковані (нітрозольні).

В нітроцелюлозне паливо крім нітроцелюлози, входить пластифікатор-розчинник (нітрогліцерин), на які в сумі припадає понад 90 % вмісту. Решта це добавки, – стабілізатори, каталізатори, флегматизатори, тощо. Технологія виробництва таких видів палива підходить для масового серійного виробництва, проте потребує складного хімічного обладнання, спеціально підготовленої промислової зони з обваловками і будівлями, побудованими за відповідними вимогами. Тому швидко налагодити процес

виготовлення такої продукції неможливо – потрібні значні інвестиції, сировинна база та логістичні можливості.

Сумішеві палива мають в своєму складі неорганічний окислювач у вигляді порошку, зв'язуючий полімерний компонент та зазвичай металічну енергетичну добавку. Окрім того, в склад палива може вводиться певна кількість енергетичних добавок, які являють собою вибухівку (наприклад октоген), а також технологічні добавки, каталізатори, пластифікатори, флегматизатори, тощо.

Модифіковане тверде паливо – це гетерогенна система, яка містить неорганічний окислювач, складне активне пальне-зв'язуюче і металічну енергетичну добавку у вигляді мікродисперсного порошку алюмінію. Це паливо, не поступаючись технологічним перевагам сумішевих палив, перевищує їх за енергетичними характеристиками.

В якості полімерного зв'язуючого - пального, в сумішевому паливі застосовуються синтетичні каучуки та поліефіри. Для їх полімеризації використовують затверджувачі, які є для конкретної марки полімеру. Пластифікатор, що представляє собою, як правило, низьков'язку висококиплячу рідину, застосовується для зниження в'язкості і сприяє кращому формуванню заряду. Окислювач – кристалічний порошок, енергетична добавка-пальне (металевий порошок). Енергетичний наповнювач, як вже було сказано, вибухова речовина. Поверхнево-активні речовини; антизлежувальні добавки; антиоксидант, регулятор швидкості затвердіння вводяться в малих кількостях.

Для порівняння ефективності ракетних двигунів використовують різні критерії, але один з головних – питома тяга. Баліститні ракетні палива мають питому тягу від 180 с до 240 с. Сумішеві тверді ракетні палива мають питому тягу від 200 с до 280 с. Перевагою сумішевих твердих ракетних палив є більш широкий діапазон і вищий рівень питомої тяги.

Існує 2 принципові схеми спорядження двигунів (рис. 3): вкладний заряд (а) та заряд скріплений з корпусом (б). Заряди баліститного палива зазвичай виготовляють вкладними. Заряди сумішевого твердого ракетного палива більш технологічні і можуть виготовлятися як вкладними так і скріпленими з корпусом.



Рисунок 3 – Вкладний заряд і скріплений з корпусом

Конструктивно для БПЛА часто виникає потреба використання стартового прискорювача, який після розгону до необхідної швидкості відстикується. Для

компонування в аеродинамічну схему приходить ся проектувати двигун таким чином, щоб вектор тяги не співпадав з поздовжньою віссю двигуна (рис.4).

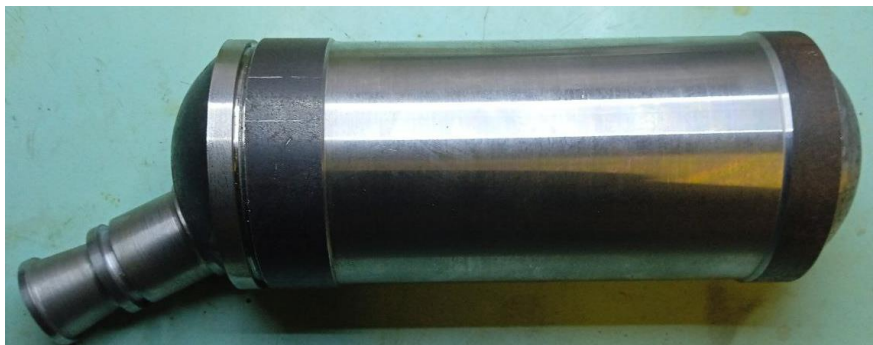


Рисунок 4 – Модель твердопаливного двигуна з повернутим соплом

Така конфігурація дещо ускладнює технологію виготовлення, потребує вищої точності базування та складання БПЛА в цілому.

Висновки. У роботі було досліджено БПЛА, двигуни та палива для БПЛА. Показано, що до двигунів БПЛА пред'являються специфічні вимоги, обумовлені особливостями застосування безпілотних літальних апаратів. Наведено характерні особливості розвідувальних і ударно-розвідувальних безпілотних літальних апаратів, які відрізняють їх від пілотованих ЛА з аналогічним функціональним призначенням. Характеристики двигуна і його конструкція в значній мірі залежать від палива і продуктів його горіння. Розглянуто розподіл палив на гомогенні і гетерогенні та класифікацію палив за структурою. Наведено переваги сумішевих твердих ракетних палив в порівнянні з баліститними ракетними паливами та вимоги до твердих ракетних палив. Розглянуто принципові схеми спорядження двигунів. Під час розробки ракети проводиться тактико-техніко-економічно обґрунтований вибір найбільш ефективних конструкцій ракетного двигуна та палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Точная информация о рынке и консультации. Precise market intelligence and advisory. Источник: <https://www.mordorintelligence.com>.
2. Zhang B, Song Z, Zhao F, Liu C. Overview of Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. *Energies*. 2022; 15(2):455. <https://doi.org/10.3390/en15020455>
3. Valavanis, K.P.; Vachtsevanos, G.J. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2015; Volume 2077
4. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos. Springer Dordrecht. 2015. 302p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1>
5. Портал международной ассоциации беспилотных систем AUVSI – Сервис «Find an AUVSI Member Company» [Электронный ресурс]. Электрон. дан., 2020. Режим доступа: World Wide Web. URL: <http://www.auvsi.org/resources/fmdacompany>.

REFERENCES

1. Accurate market information and advice. Precise market intelligence and advisory. Source: <https://www.mordorintelligence.com>

2. Zhang B, Song Z, Zhao F, Liu C. Overview of Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. *Energies*. 2022; 15(2):455. <https://doi.org/10.3390/en15020455>
3. Valavanis, K.P.; Vachtsevanos, G.J. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2015; Volume 2077
4. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos. Springer Dordrecht. 2015. 302p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1>
5. Portal of the International Association of Unmanned Systems AUVSI – Service «Find an AUVSI Member Company» [Electronic resource]. Electronic data, 2020. Access mode: World Wide Web. URL: <http://www.auvsi.org/resources/fmdacompany>.

Received 30.04.2025.
Accepted 02.05.2025.

Classification of drones and their engines

The paper relevance is determined by the research of unmanned aircraft, engines and fuel for them. Current functional methods of classifying unmanned drones for military and security purposes are reviewed. The classification of unmanned vehicles with organizational and technical marks is shown. The division into homogeneous and heterogeneous is considered. It is shown that the classification of fuels by structure is divided into nitrocellulose, mixture, modified. The principles of engine timing schemes are reviewed. It is shown that charges made from mixture solid rocket fuel can be used in two variants: with an insert charge and with a charge bonded to the body. The research aim is current state analysis of drones, engines and fuel for unmanned vehicles.

Сироткіна Наталія Петрівна – молодший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України.

Василів Степан Степанович – старший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.

Музика Лев Володимирович – науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.

Syrotkina Nataliya Petrivna - junior researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine.

Vasyliv Stepan Stepanovych - senior researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.

Muzyka Lev Volodimirovich - researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.