Останчук Е.С.

orcid.org/0000-0002-8095-0203

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ДОЗАПРАВКИ ПАЛИВОМ У ПОВІТРІ В РАЗІ ПОСТАНОВКИ ЗАВДАНЬ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ НА ЕТАПІ СТИКУВАННЯ

Актуальність статті полягає в тому, що дозаправка дозволяє літальному апарату, який заправляється, збільшити час активних дій у повітрі та злітати з більшим корисним навантаженням. Експерименти у сфері дозаправки паливом у повітрі почалися у 20-х рр. минулого століття, задача автоматичного управління стикуванням літального апарату під час дозаправки досі не вирішена. В останні роки використовується дедалі більше з'єднання літального апарата, безпілотних літальних апаратів при проведенні військових операцій. Вони стають важливою частиною військових операцій. Оскільки для безпілотних літальних апаратів слід дотримуватися тих же функцій, що і від пілотованих літальних апаратів, вони повинні бути здатні виконувати повний цикл дозаправки паливом у повітрі, яка збільшує ефективність безпілотних літальних апаратів за кількома важливими напрямками, такими як: бойовий радіус дії, час знаходження в повітрі, скорочення необхідних місць базування. У статті розглянуті особливості процесу дозаправки паливом у повітрі й обмеження на параметри руху літального апарату при постановці завдання автоматичного управління літального апарату, що заправляється, на етапі зближення та стикування із заправним шлангом літака-танкера. Наголошено, що етап розстикування починається, як тільки закінчено перекачування палива. Літальний апарат, який заправляється, знижує швидкість і відділяється від танкера. Управляти літальним апаратом, що заправляється під час дозаправки, набагато складніше, ніж у звичайному польоті через вихрове поле (спутного сліду) танкера. На додаток до цього, у міру того, як літальний апарат на першому етапі наближається до танкера для способу штанга-конус, конус починає робити коливальні рухи через пориви вітру від вихрового поля танкера. Стикування штанги з конусом стає нетривіальним завданням. Для пілотованих літальних апаратів ці труднощі долаються адаптацією пілота. Крім того, детальний огляд досліджень із проблеми дозаправки паливом у повітрі виявив низку невирішених завдань у сфері автоматичного управління літальним апаратом у процесі дозаправки. Використання моделі динаміки конуса для вироблення упереджувального управління неможливе, оскільки наявна модель не забезпечує необхідну ймовірність стикування за умов впливу турбулентності та дії спутного сліду від танкера.

Ключові слова: дозаправка, паливо, літальний апарат, навігація, оптична система.

Постановка проблеми. Дозаправка паливом в повітрі – це процес перекачування палива з одного літального апарату (ЛА) на інший під час польоту [1; 2]. Дозаправка дозволяє ЛА, що заправляється, збільшити час активних дій у повітрі та злітати з більшим корисним навантаженням. Експерименти у сфері дозаправки паливом у повітрі почалися у 20-х рр. минулого століття [1], задача автоматичного управління стикуванням ЛА під час дозаправки досі не вирішена.

Виклад основного матеріалу дослідження. В останні роки використовується все великі з'єднання ЛА, безпілотних літальних апаратів (БЛА) при проведенні військових операцій. Вони стають важливою частиною військових операцій. БЛА – це нове покоління засобів для розвідки, ідентифікації цілей, ударних завдань і визначення

бойових збитків, нанесених об'єктам противника. Оскільки від БЛА слід дотримуватися тих же функцій, що і від пілотованих ЛА, вони повинні бути здатні виконувати повний цикл дозаправки паливом у повітрі, яка збільшує ефективність БЛА за кількома важливими напрямками, такими як: бойовий радіус дії, час знаходження в повітрі, скорочення необхідних місць базування.

Завдання автоматичної дозаправки паливом ЛА в повітрі включає кілька підзадач [3]:

- Визначення точного відносного положення танкера. Операція дозаправки вимагає від ЛА (БПА) перебування в безпосередній близькості від танкера та високоточної інформації про його стан щодо реальних параметрів руху танкера.

- Система управління ЛА (БЛА) повинна забезпечувати високоточний процес управління

стикуванням і оперативно реагувати на команди бортового обчислювального комплексу верхнього рівня або оператора по припиненню дозаправки.

– Необхідно забезпечити уніфікацію конструкції вузлів стикування для безпілотних і пілотованих танкерів. Це необхідно для зниження вартості процесу дозаправки, забезпечення готовності парку танкерів до виконання таких операцій. Обмеження по вазі, габаритам і конструктивним особливостям вимагають доопрацювання існуючих пристроїв стикування і дозаправки.

– Забезпечення всепогодної дозаправки за складних метеоумов.

Кінцева мета досліджень у цій сфері – розробка надійних технічних засобів автоматичних систем управління, які дозволять пілотованим і безпілотним ЛА виконувати дозаправку в автоматизованому і автоматичному режимі.

Процедура дозаправки паливом у повітрі може бути розділена на три етапи:

1. Етап зближення ЛА, БЛА з танкером і стикування;
2. Етап заправки та підтримки відносного положення БЛА і танкера;
3. Етап розстикування і відходу.

На етапі стикування ЛА, який заправляється, підходить до танкера ззаду і знизу, і стикується з ним. При заправці паливо перекачується з танкера в ЛА. Заправляємий ЛА намагається підтримувати постійне положення щодо танкера для збереження з'єднання штанга-конус або штанга-горловина. Етап розстикування починається, як тільки закінчена перекачування палива. ЛА, який заправляється, знижує швидкість і відділяється від танкера. Управляти ЛА, який заправляється, під час дозаправки набагато складніше, ніж у звичайному польоті, через вихрове поле (спутного сліду) танкера. На додаток до цього, у міру того, як ЛА на першому етапі наближається до танкера, для способу штанга-конус, конус починає робити коливальні рухи через пориви вітру від вихрового поля танкера. Стиковка штанги з конусом стає нетривіальним завданням. Для пілотованих ЛА ці труднощі долаються адаптацією пілота. Крім того, детальний огляд досліджень із проблеми дозаправки паливом у повітрі виявив низку невирішених завдань у сфері автоматичного управління ЛА у процесі дозаправки, а саме використання моделі динаміки конуса для вироблення упереджувального управління неможливо, оскільки модель не забезпечує необхідну ймовірність стикування за умов впливу турбулентності та дії спутного сліду від танкера. У разі БЛА ці завдання повинні бути вирішені

шляхом розробити адаптивних систем управління для етапу підльоту і стикування.

Таким чином, у рамках завдання управління БЛА у процесі дозаправки паливом в повітрі формуються три підзадачі:

- маневрування з метою стикування штанги дозаправки з конусом дозаправки на етапі 1;
- підтримка постійної висоти і швидкості польоту для забезпечення безпечної перекачування палива з танкера на БЛА, який заправляється, на етапі 2;
- маневрування з метою безпечної розстикування і відходу БЛА, який заправився від танкера на етапі 3.

Структура системи автоматичного управління під час дозаправки паливом в повітрі орієнтується на приладове забезпечення прототипу сучасного БЛА типу Х-47В. Отже, БЛА і танкер укомплектовані необхідним набором датчиків кутових швидкостей обертання і перевантажень, системою БИНС, що забезпечує вимір кутів крену, тангажу, курсу і вектора швидкостей, системою супутникової навігації, оптичною системою визначення та вимірювання відносного положення штанги і конуса. Передбачається можливість обміну інформацією між двома ЛА (БЛА). Як аеродинамічній моделі БЛА який заправляється і танкера розглядається один тип літального апарату. Як виконавчі пристрої системи управління розглядаються електрогидравлічні агрегати вітчизняного виробництва. У процесі дозаправки (в т. ч. і стикування) танкер виконує прямолінійний горизонтальний політ при постійній швидкості. Необхідно забезпечити підхід БЛА до танкера. Алгоритм (контур) автоматичного управління повинен забезпечувати таке управління рухом БЛА який заправляється, за якого виконується стикування штанги та конуса дозаправки, узгодженість між кінчиком штанги та центром конуса в площині перпендикулярній осі конуса повинна бути не більше 0.4 м, а відносна швидкість зближення штанги і конуса повинна бути в межах 1,2 ... 2,5 м/с.

На рис. 1 представлено взаємне положення танкера і БЛА який заправляється для варіанту дозаправки, розглянутого в статті.

На рис. 2 представлений загальний вид танкера зі встановленим універсальним підвісним агрегатом заправки (УПАЗ), випущеним шлагом і конусом дозаправки.

У статті передбачається, що штанга дозаправки розташована на повздовжній осі літака з виносом кінчика відносно центру мас літака на 6 м вперед.

Зовнішній вигляд безпілотного літального апарату в польотній конфігурації представлений на рис. 3.

Рис. 1. Положення танкера і БЛА

На танкері УПАЗ розташований зі зміщенням відносно центру ваги по висоті $\Delta Y_{\text{УПАЗ}} = 1260$ мм. Точка кріплення (виходу з УПАЗ) заправного шланга зміщена щодо центру мас $\Delta X_{\text{УПАЗ}} = 1680$ мм, довжина шланга дозаправки становить 28 м. Таке розташування вибрано за аналогією з розташуванням УПАЗ на іноземних БЛА (доопрацьований серійний «Global Hawk») і літаках F-18 використовувалися і використовуваних NASA для розробки системи автоматичної дозаправки. На рис. 2 представлено взаємне положення танкера і літака який заправляється для варіанту дозаправки одного БЛА «Global Hawk» від іншого. Видно, що завдання, яке поставили перед собою дослідники з NASA аналогічна дослідженню автора.

Необхідно відзначити, що завдання дозаправки паливом в повітрі - це завдання точного пілотування в безпосередній близькості від іншого ЛА. Для того, щоб мінімізувати ймовірність зіткнення двох ЛА, необхідно уникати інтенсивного маневрування. Тому доцільно накласти додаткові обмеження на параметри руху БЛА, що заправляється:

- кут атаки не повинен відрізнятися від балансування більш ніж на 5° ;
- кут тангажу не повинен відрізнятися від балансування більш ніж на 5° ;
- кут нахилу не повинен перевищувати 10° ;
- вертикальна швидкість не повинна бути більше 10 м/с;

Даний набір обмежень обґрунтовує можливість використання лінеаризованих моделей динаміки процесу стикування БЛА і танкера, що надалі суттєво спростить завдання синтезу системи автоматичного управління.

Рис. 2. Розташування танкера і заправляемого БЛА (БЛА «Global Hawk») під час дозаправки

Рис. 3. Зовнішній вигляд безпілотного літального апарата

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – неузгодженість по осі X, Y, Z між становищем конуса і шланги дозаправки; $X1, Y1, Z1$ – інерціальна система координат

Висновки. У статті розглянуто розглянуті особливості процесу дозаправки паливом у повітрі й обмеження на параметри руху ЛА при постановці завдання автоматичного управління ЛА, що заправляється, на етапі зближення та стикування з заправним шлангом літака-танкера.

Також необхідно звернути увагу на уточнення завдань автоматичної дозаправки паливом ЛА в повітрі, що включає чотири основні підзадачі, без вирішення яких виконання дозаправки паливом у повітрі буде не можливим.

Список літератури:

1. Smith R.K. Seventy Five Years of Inflight Refueling, Highlights, 1923–1998. Air Force History and Museum Program, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1998. p. 457.
2. Nalepka J.P. and Hinchman J.L. Automated Aerial Refueling: Extending the Effectiveness of Unmanned Air Vehicles. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, 15–18 August, San Francisco, California, USA, AIAA 2005–6005.
3. Mao W. and Eke F.O. A Survey of the Dynamics and Control of Aircraft During Aerial Refueling. *Nonlinear Dynamics and Systems Theory*. № 8 (4). 2008. P. 375–388.

Ostapchuk E.S. FEATURES OF THE PROCESS OF MID-AIR REFUELLING WHILE SETTING OBJECTIVES OF AUTOMATIC AIRCRAFT CONTROL AT THE STAGE OF ATTACHING

The relevance of the article is that refueling allows the refueling aircraft to increase the time of active action in the air and take off with a greater payload. Experiments in the field of refueling in the air began in the twenties of last century, the problem of automatic control of the docking of the aircraft during refueling is currently not solved. In recent years, increasingly large aircraft connections, unmanned aerial vehicles have been used in military operations. They are becoming an important part of military operations. Since unmanned aerial vehicles must follow the same functions as manned aerial vehicles, they must be able to perform a full cycle of refueling in the air, which increases the efficiency of unmanned aerial vehicles in several important areas: combat range, time in the air; reduction of necessary bases. The article considers the peculiarities of the process of refueling in the air and restrictions on the parameters of the aircraft during the task of automatic control of the aircraft, which is refueled at the stage of convergence and docking with the refueling hose of the aircraft tanker. It is emphasized that the undocking phase begins as soon as the fuel pumping is completed. The aircraft, which is refueled, reduces speed and separates from the tanker. It is much more difficult to control an aircraft that is refueled during refueling than in a normal flight through a vortex field (accompanying track) of a tanker. In addition, as the aircraft approaches the tanker in the first stage, for the rod-cone method, the cone begins to make oscillating movements due to gusts of wind from the vortex field of the tanker. Joining the bar with the cone becomes a non-trivial task. For manned aircraft, these difficulties are overcome by the adaptation of the pilot. In addition, a detailed review of research on the problem of refueling in the air, revealed a number of unsolved problems in the field of automatic control of the aircraft during refueling, namely, the use of the cone dynamics model to develop precautionary control is impossible, as the existing model does not conditions of turbulence and the action of the accompanying trace of the tanker.

Key words: refueling, fuel, aircraft, navigation, optical system.