

М.К. Філяшкін, к.т.н., проф.
(Національний авіаційний університет, Україна)

Автоматизація стикування пристроїв дозаправлення у повітрі

Розглядаються принципи побудови системи зворотного дозаправлення цивільних літаків у польоті. Пропонується на етапі стикування оптимізувати управління швидкістю зближення, використовуючи управління з прогностичною моделлю. Розглядаються варіанти управління швидкістю зближення шляхом зміни швидкості літака-заправника або швидкості розмотуванням барабана паливного шланга.

Зниження питомої ресурсоемності авіатransпортних послуг потребує нових ідей, щодо підвищення ефективності транспортного обслуговування. Однієї з таких ідей є дозаправки в повітрі регіональних літаків цивільної авіації. Окремі завдання цієї проблеми покладені в основу наукових робіт міжнародних авіаційних інституцій Європи, (науково-дослідний проект «Recreata» [3]), Великобританії та Росії. Дозаправлення у повітрі (ДЗ) літаків цивільної авіації дозволить використовувати на міжнародних маршрутах регіональні літаки, значно збільшуючи їх дальність польоту з одночасним зменшенням (до 40%) витрат палива, а також дозволить суттєво збільшити комерційне завантаження літака та зменшити викиди в атмосферу вуглекислого газу. Тому впровадження ідеї ДЗ літаків цивільної авіації та автоматизація окремих її етапів є задачею вельми актуальною.

У списку вимог до технологій ДЗ літаків цивільної авіації безпека та комфорт пасажирів мають першочергове місце. Зокрема з цією метою, а також для зниження психофізіологічних навантажень на екіпажі рейсових літаків цивільної авіації пропонується застосовувати технологію зворотної дозаправки при використанні метода ДЗ «шланг-конус». Використовуючи цю технологію літак-танкер (ЛТ) підходить до літака, що заправляється, (до ресиверного літака (РЛ)) ззаду і, виконуючи маневр зближення, стикує свою штангу системи дозаправки з конусом, який з підвісного агрегату дозаправлення випускає екіпаж рейсового літака. При цьому усі задачі маневрування на етапі ДЗ перекладаються на досвідчених, тренованих екіпажі ЛТ. Через що екіпаж РЛ не зазнає ніякого додаткового навантаження, крім вмикання режимів випуску та прибирання конуса-приймача (КП) системи дозаправки, а пасажирів цього літака можуть навіть зовсім нічого не відчувати.

Для забезпечення безпеки польоту на етапі ДЗ та зменшення психофізіологічних навантажень на екіпаж ЛТ процес дозаправлення доцільно автоматизувати. При цьому пропонується перетворити КП в ДПЛА – дистанційно пілотований літальний апарат забезпечивши КП аеродинамічними рулями (рис. 1). Дистанційне наведення конуса на штангу системи ДЗ дозволить мінімізувати маневрування

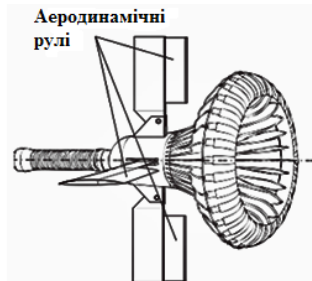


Рис. 1

ЛТ, а вбудована система автоматичного управління КП [1], стабілізуючи конус у повітрі та парируючи турбулентні збурення від спутного сліду РЛ, що запрапляється) суттєво покращує процес наведення.

Маневрування ЛТ на етапі зближення та стикування виконує екіпаж у складі двох пілотів. При цьому правий пілот виконує завдання дистанційного наведення КП на штангу системи ДЗ, а командир екіпажу керує швидкістю зближення. При цьому швидкість зближення на етапі контактування має бути більше швидкості РЛ, на 1,5...2 м/с. При меншій швидкості зближення у момент контакту може не спрацювати замок КП, а збурений рух конуса обумовлений обтіканням носової частини фюзеляжу ЛТ на малих швидкостях зближення істотно збільшується, що суттєво заважає процесу наведення.

При більшій ніж 2 м/с швидкості зближення у момент стикування штанга сильно вдаряє по конусу і виникає так званий "ефект хлиста" – сильний коливальний рух штанги, через що штанг може відірватися або відбувається обламування штанги системи ДЗ.

Природно, що створення систем дистанційного керування КП [1] суттєво спрощує процес наведення конуса на штангу системи ДЗ, проте питання управління швидкістю зближення при цьому не знімаються.

У роботі запропоновано автоматизувати управління швидкістю на етапі зближення та стикування заправних пристроїв, формуючи експоненціальний закон зниження швидкості на основі методу управління с прогнозною моделлю (МПМ).

На етапі зближення за датчик інформації можна використовувати ультразвуковий датчик дистанції типу паркувального радара (парктроніка). Ультразвукові датчики встановлюються по колу в задню частину юбки конуса (рис. 2.) для вимірювання з урахуванням відстані від датчиків до замка конуса дистанції ΔD до штанги заправника за відбитим від неї ультразвуком.



Рис. 2

Якщо заправник порушує задану зміну швидкості зближення, то, реалізуючи МПМ, від нового значення швидкості заправника формується інша експоненціальна траєкторія зміни швидкості, яка приводить швидкість ЛТ до заданої швидкості у момент контакту. Обов'язковим елементом МПМ на етапі зближення є прогноз зміни швидкості заправника.

Якщо модель руху центру мас ЛТ описується системою нелінійних диференціальних рівнянь

$$\dot{\mathbf{x}} + f(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}) = 0. \quad (1)$$

то за модель МПМ обирають спрощену модель зміни швидкості заправника для режиму дозаправки:

$$\dot{\bar{\mathbf{x}}}(\tau) + \bar{f}(\tau, \bar{\mathbf{x}}(\tau), \bar{\mathbf{u}}(\tau)) = 0, \quad \bar{\mathbf{x}}|_{\tau=t} = \mathbf{x}(t), \quad (2)$$

В рівняннях (1), (2) \mathbf{x} – вектор стану, \mathbf{u} – вектор керування, t – час.

Надавши вихідні параметри прогнозної моделі рівними поточному стану об'єкта та деяке керування, відбувається інтегрування рівнянь моделі (2), що дає прогноз руху ЛТ на заданому проміжку часу (на інтервалі прогнозування). Змінюючи за певною програмою управління $\bar{\mathbf{u}} = \mathbf{u}(\tau)$ як функцію часу на інтервалі часу $\tau \in [t + T_p]$ та інтегруючи рівнянь моделі (2) з початковими умовами $\bar{\mathbf{x}}|_{\tau=t} = \mathbf{x}(t)$, розшукується оптимальне значення управління, яке прогнозує задану поведінку об'єкту управління на горизонті прогнозуванням T_p .

Будь які завдання оптимального керування спираються на пошук такого управління, яке забезпечує досягнення цілі цього управління та повертає мінімум заданого функціонала якості:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{x}(t) - \mathbf{r}_x(t)\| = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{u}(t) - \mathbf{r}_u(t)\| = 0. \quad (3)$$

Тут $\mathbf{r}_x(t)$ і $\mathbf{r}_u(t)$ – цільові функції управління, які визначають жаданий рух об'єкта управління при наявності обмежень $\mathbf{x}(t) \in X \quad \forall t \in [0, \infty]$.

При формулюванні задачі вибору оптимального управління на основі МПМ, будемо вважати, що метою управління є забезпечення певної поведінки моделі (2), яка визначається вектор-функціями типу (3).

Оптимальне керування для МПМ розшукується мінімізацією функціоналу, який формується у вигляді:

$$J(\mathbf{x}(t), \bar{\mathbf{u}}(\cdot), T_p, T_c) \rightarrow \min_{\bar{\mathbf{u}}(\cdot) \in \Omega_u}$$

На етапі зближення задана швидкість ЛТ формується автоматом тяги за експоненціальним законом:

$$\delta_{ст} = K_V (V_3 - V); \quad V_3 = V_{дз} + V_{\Delta D}; \quad V_{\Delta D} = (\Delta D + D_{ac}) / T_{exp}. \quad (4)$$

Тут V_3 – задана швидкість; $V_{дз}$ – швидкості ДЗ; $V_{\Delta D}$ – доданок до заданої швидкості ДЗ, який змінюється за експоненціальним законом залежно від відстані ΔD між заправними пристроями.

Дотик штанги до замка конуса (до асимптоти експоненти) при використанні експоненціального закону формування траєкторії зближення теоретично відбувається тільки в безкрайності. Щоб уникнути цього, асимптота експоненти має розташовуватись за замком конуса на рівні $D_{ac} = T_{exp} / V_3$.

За змінний параметр управління обирається T_{exp} – стала часу експоненти, при якій відхилення швидкості в точці контакту штанги і замка конуса мінімізується.

Знайдене оптимальне управління протягом того ж проміжку часу реалізується на реальному об'єкті і наприкінці цього кроку знову вимірюється його фактичний стан, щоб використати його в прогнозній моделі.

Горизонт прогнозування зсувається на крок уперед (інтервал прогнозу зменшується), і повторюються дії пошуку нового оптимального управління.

Точність управління залежить від інтервалу прогнозу, з його зменшенням, точність управління зростає.

Дослідження управління з прогнозними моделями на етапі контактування заправних пристроїв проводилось за допомогою програми математичного моделювання Simulink, що входить до складу пакету MATLAB (див. рис. 3).

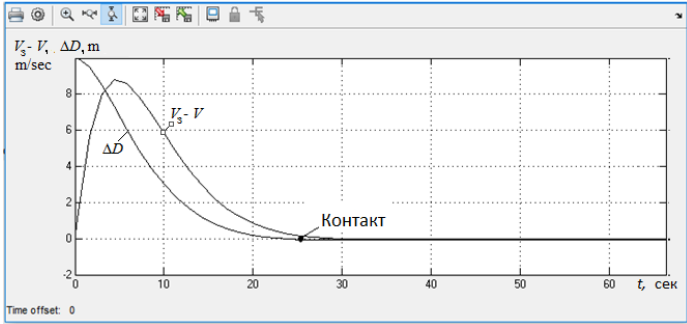


Рис. 3

Моделювання продемонструвало ефективність запропонованого методу керування за допомогою прогнозу моделі. Час наближення до КД з відстані 10 метрів становить приблизно 25 секунд. Швидкість контакту можна змінити шляхом зміни значення параметра D_{as} .

З метою зменшення часу зближення та стикування пристроїв дозаправлення пропонується на останньому етапі процесу зближення задіяти дистанційне управління швидкістю обертання барабана паливного шланга підвісного агрегату дозаправки, керуючи таким чином швидкістю зближення та відповідно положенням КП відносно штанги ЛТ. Процес дистанційного керування швидкістю зближення КП зі штангою ЛТ шляхом розмотування барабана паливного шланга значно менш інерційний ніж керування швидкістю польоту багатотонного танкера.

При дозаправці у повітрі перед контактом з підвісного агрегату заправки типу *Sobham-754* літака, що заправляється, повинно бути випущено з барабана близько 15...18 метрів паливного шлангу. Літак-танкер наближається до конуса на відстань порядку 20 м, використовуючи звичайні алгоритми управління зближенням, після чого вмикається режим стабілізації швидкості дозаправлення і починається етап стикування заправних пристроїв.

Система дистанційного наведення конуса на штангу ЛТ, покращує процес стикування, стабілізуючи КП в просторі та парируючи турбулентні збуренням. Одночасно вмикається система дистанційного управління зближенням конуса зі штангою літака заправника через систему управління підмотування барабана паливного шлангу (рис. 4). Механізм керування барабаном підмотування паливного

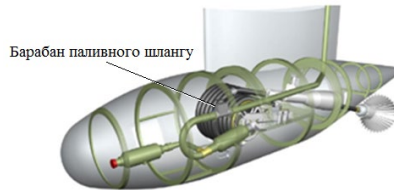


Рис. 4

шланга має автоматичний або ручний режим роботи. Пропонується доповнити ці режими режимом дистанційного керування швидкістю розмотування барабана паливного шлангу.

Як і в режимі управління швидкістю ЛТ для дистанційного управління швидкістю розмотування барабана пропонується використовувати метод управління с МПМ, формуючи експоненціальну траєкторію зближення. Природно, що в якості МПМ вибирають модель зміни довжини випущеного шлангу залежно від швидкості обертання барабана паливного шлангу.

За рахунок зміни швидкості розмотування барабана $\dot{\phi}$, реалізується управління швидкістю наближення КП до штанги ЛТ за найпростішим законом управління:

$$\dot{\phi} = K_V (V_3 - V)$$

де поточна швидкість зближення V формується шляхом диференціювання поточної дистанції ΔD між заправними пристроями $V = \Delta \dot{D}$, а задана швидкість у вигляді:

$$V_3 = (\Delta D + D_{ac}) / T_{exp}$$

Після здійснення зчеплення штанги дозаправлення танкера з КП включається режим збереження танкером свого місця в строю дозаправки. Режим вмикається за сигналом кінцевого вимикача замка конуса, одночасно на приладових дошках літаків спалахує табло "Зчеплення".

Висновки:

Технологія дозаправки регіональних реактивних літаків у польоті дозволить: збільшити їх комерційне корисне навантаження; істотно економити паливо і скорочувати викиди в атмосферу вуглекислого газу.

Запропонована система автоматизації стикування пристроїв дозаправлення у повітрі суттєво знижують психофізичні навантаження пілотів літаків-заправників, підвищують та надійність та простоту дозаправлення навіть у турбулентній атмосфері.

Автоматичне та дистанційне керування швидкістю розмотування барабана паливного шлангу суттєво скорочує час дозаправлення, полегшує техніку пілотування літаком-заправником та підвищує безпеку контактування на етапі стикування.

Оснащені запропонованою системою дозаправлення у повітрі регіональні літаки українського виробництва, на маршрутах до Південно-Східної Азії можуть стати поза конкуренцією.

Список літератури

1. M.K. Filyashkin Automation of Technology of AIR-to-AIR Refueling Regional Aircraft. //Electronics and Control Systems 2016. N 2(48): 87-91.
2. Thomas, PR, Bhandari, U., Bullock, S., Richardson, TS, i Du Bois, JL, "Advances in Air to Air Refuelling," Progress in Aerospace Sciences, Vol. 71, Nov. 2014, pp. 14–35. doi:10.1016/j.paerosci.2014.07.001.
3. Project-RECREATE <http://www.cruiserfeeder.eu/project>.