

М. В. Коробчинський, м. Київ

АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТІВ

The analysis result of the strategic management team UAV. The problems, which is associated not only with the solution of applied problems, and the need to ensure stability in the group UAVs in general. This was achieved through compliance with the required level of reliability parameters, fault tolerance, security, diagnostics and functional stability.

Проведений аналіз задач стратегічного управління групою БПЛА. Висвітлена проблема, яка пов'язана не тільки з вирішенням прикладних задач, а із необхідністю забезпечення роботоспроможності групи БПЛА в цілому. Це досягалось за рахунок дотримання на необхідному рівні параметрів надійності, відмовостійкості, безпеки, діагностування, функціональної стійкості.

Необхідність аналізу системи управління групою безпілотними літальними апаратами полягає у визначенні важливих класів задач. Крім аеродинамічного і навігаційного управління є задача стратегічного управління групою БПЛА. Реалізація якої, потребує відповідного обладнання розміщеного на борту БПЛА і певної послідовності функціонально взаємопов'язаних дій між ними. Тому, розглянемо таке визначення.

Визначення 1.1. Стратегічним управлінням БПЛА розглядається, як сукупність керуючих дій, які здійснені послідовно по відношенню до певного БПЛА і забезпечують рішення поставленого завдання в цілому.

Під окремою дією, в рамках визначення 1.1, розуміємо керуючий вплив на БПЛА, який реалізується за допомогою виконання окремих фіксованих детермінованих алгоритмів. Прикладом такої дії може служити рішення задачі навігаційного управління групою БПЛА, якщо остання реалізується повністю в автоматичному режимі. В цьому випадку, стратегічне управління здійснюється на основі збору і обробки додаткових даних (виникнення перешкод, відхилення від заданого курсу, зміна району застосування тощо), які необхідно терміново реалізувати. Тому, дані окремі дії, в рамках реалізації стратегії управління групою БПЛА, постійно уточнюються.

У сучасних дослідженнях з управління і застосування БПЛА найчастіше стратегічне управління польотом БПЛА не відокремлюється [1,2]. Це обумовлюється тим, що застосування БПЛА і процеси, які реалізуються на борту БПЛА і в центрі управління, розглядаються як єдиний складний процес використання БПЛА. Такий підхід до організації процесу застосування БПЛА призводить до суттєвого ускладнення загального алгоритму управління технічними засобами встановленими на борту БПЛА. Інший недолік полягає в тому, що при його реалізації досить складно, а в багатьох випадках і не

можливо вирішувати задачі адаптації процесу управління. При цьому, адаптація може бути необхідною для окремих процесів, які реалізуються в рамках рішення відповідної задачі. Наприклад, може виявитися необхідним адаптувати процес навігаційного управління або окремо адаптувати процес зйомки поверхні, над якою пролітає БПЛА і т.д. Без розгляду стратегічного управління, досить складно модифікувати процес управління вирішенням задачі. Наприклад, коли така модифікація полягає в заміні одного фрагмента загального алгоритму функціонування іншим фрагментом.

Зі змістовної точки зору, виділення в системі управління стратегічної компоненти, дозволить більш адекватно інтерпретувати процеси вирішення задачі, оскільки стратегічне управління описує процедуру вирішення задачі в рамках предметної області. У зв'язку з цією особливістю, для вирішення задачі стратегічного управління, необхідно інформаційне забезпечення відповідного процесу. Як відомо, найбільш повне уявлення інформаційних аспектів розв'язуваної задачі може бути досягнуто, якщо останнє використовує, поряд з іншими засобами відображення предметної області, текстові засоби опису компонент предметної області [3,4]. Такі текстові описи позначимо символами $j(x_i)$, де x_i ідентифікатор відповідної компоненти, а $j(x_i)$ означає деякий текстовий опис $m_j(x_i)$, який формується в нормалізованій формі мовою користувача. У зв'язку з цим, виникає проблема використання $j(x_i)$ не тільки в якості опису інтерпретації компоненти x_i , але і в якості конструктивної складової, яка піддається широкому спектру методів аналізу окремої компоненти, а також можуть бути конструктивними у використовуваних методах синтезу деякого фрагмента предметної області, яку в цілому будемо позначати символом W_i . Це означає, що компоненти відображення W_i , які мають різну природу можуть синтезуватися, при формуванні загального рішення задачі.

Розглянемо різні типи стратегічного управління, які можуть бути застосовані при вирішенні задач використання БПЛА. Такі типи стратегічного управління (SU) можна визначати по відношенню до різних критеріїв. Розглянемо класифікацію по відношенню до участі в ній оператора. Така класифікація призведе до наступних типів стратегічного управління:

- стратегічне управління реалізоване оператором і здійснюване через центр управління (яке будемо називати стратегічним управлінням з використанням оператора (SIO));
- стратегічне управління із залученням оператора при виникненні небезпеки, неможливості розв'язання задачі (такий тип стратегічного управління будемо називати стратегічним управлінням із залученням оператора (SPO));
- критичне стратегічне управління, яке реалізується у випадку, коли в

процесі виконання задачі виявилось, що її продовження у запланованому варіанті не можливо (*SKU*);

- стратегічне управління, яке модифікує ціль розв’язуваної задачі (стратегія модифікації цілі (*SMC*));
- автономне стратегічне управління при відмовах і аварійних ситуаціях (стратегія автономного управління (*SAU*));
- стратегічне управління, яке пов’язане з відмовою від вирішення поставленої задачі в цілому (стратегія відмови від цілі рішення (*SUO*));
- стратегічне управління групою БПЛА, які використовуються одночасно (стратегія управління групою БПЛА (*SUG*));
- стратегічне управління, яке пов’язане з надійністю вирішення задачі групи БПЛА (стратегія надійності вирішення поставленої задачі (*SNR*));
- стратегічне управління протидії при активному впливі на вирішення задачі з боку випадкових факторів або навмисно створюваних перешкод (*SPR*));
- стратегічне управління процесами збереження засобів вирішення задач після успішного завершення всіх процесів (*SSO*).

Перелік різних типів стратегічного управління можна розширювати, якщо особливості предметної області розв’язуваної задачі обумовлюють необхідність дослідження відповідного виду стратегічного управління. Наведені вище типи *SU* є досить загальними для широкого кола задач. Важливою особливістю є те, що різні типи *SU* можуть використовуватися в рамках вирішення однієї загальної задачі. У цьому випадку вони повинні узгоджуватися між собою. У зв’язку з цим, виникають наступні задачі:

- узгодженого застосування різних типів SU_i в рамках вирішення однієї задачі (різних SU_i і SU_j між собою);
- синтезу SU_i, SU_j, \dots, SU_k в загальну стратегію управління процесом вирішення завдання, або $SU^S = F(SU_i, SU_j, \dots, SU_k)$;
- формування нової стратегії на основі даних про існуючі стратегії і особливості прикладної задачі, яку належить вирішити.

Принципова відмінність між *SIO* і *SPO* полягає в тому, що в першому випадку реалізацією стратегії займається оператор. Відповідні команди, які ініціюють окремі кроки стратегічного управління, передаються з Центрального пункту. При цьому, рішення про передачу тієї чи іншої команди можуть формуватися з використанням наземних систем підтримки прийняття рішень [4,5]. У разі реалізації стратегічного управління типу *SPO*, оператор бере участь у процесі управління тільки в тому випадку, коли на борту виникає ситуація, яка не відповідає жодній передбаченій і

запрограмованій у бортовій системі управління. Для забезпечення такого режиму необхідно, щоб на центр управління передавалася інформація, яка відображає поточний стан процесу рішення задачі.

Принциповою відмінністю *SPO* від *NPO* полягає в наступному. У разі задач *NPO*, на борту проводиться аналіз відхилення курсу від заданої траєкторії польоту в момент формування керуючих дій на органи управління. Якщо виявляється, що в результаті реалізації керуючих дій виконується відхилення курсу від заданої траєкторії, то на борту ініціюється сигнал або відповідний код, який призначений для активізації режиму *NPO*. У разі переходу до режиму *SPO*, бортова система повинна вирішувати задачу локального прогнозування ходу розв'язуваної задачі. Необхідно мати на увазі, що стратегічне управління складається з етапів, на кожному з яких визначена міра вирішення задачі. Наприклад, якщо метою задачі є досягнення деякого пункту, територію в околиці якого необхідно сфотографувати, то кінцева мета розбивається на наступні етапи:

- досягнення заданої точки польоту;
- пошук необхідного об'єкта на цифровому образі;
- передача образу до центру управління.

Наведена послідовність є очікуваною чи планованою послідовність подій. У дійсності, процес виконання задачі може не збігатися з запланованою послідовністю. Тому, після кожної події цього процесу, який будемо формально описувати у вигляді наступного співвідношення:

$$H_i(c) = \{h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}, \dots, h_{in}\} \Rightarrow h_{i1} \rightarrow h_{i2} \rightarrow h_{i3} \rightarrow \dots \rightarrow h_{in} \rightarrow H_i(c), \quad (1.1)$$

бортова система повинна оцінювати міру відповідності h_{ij} величині q_{ij} , де q_{ij} реалізована подія. Наприклад, подія, яка полягає в досягненні заданої точки польоту, характеризується координатами місцезнаходження БПЛА і часом прибуття до призначеного пункту.

У рамках співвідношення (1.1) можна, залежно від значущості окремої події h_{ij} , для досягнення мети, можна вводити або виключати проміжні події.

Наприклад, у розглянутому прикладі подія складається в досягненні БПЛА пункту призначення, є подією, яка має велике значення величини значимості $h_{ij}(\xi_i)$, де ξ_i – величина значущості події h_{ij} по відношенню до мети $H_i(c)$.

Тому $h_{ij}(\xi_i)$, може бути розділене на ряд подій, кожна з яких визначає досягнення БПЛА пунктів, які визначені на траєкторії польоту. У цьому випадку, значимість ξ_i ділиться на окремі частини, які зростають з наближенням БПЛА до пункту, що описується не координатами відповідного місця знаходження, а ступенем значущості перебування БПЛА в цьому пункті для вирішення задачі. На змістовному рівні, ступінь значимості може обумовлюватися залишеним запасом палива, часом польоту, існуванням пріоритетності того чи іншого напрямку підходу до пункту призначення і т.д.

Сама стратегія управління з проміжними пунктами її реалізації безпосередньо пов'язана з предметною областю розв'язуваної задачі і формується на етапі підготовки БПЛА до польоту. З урахуванням наведених прикладів опису процесів управління при вирішенні задачі можна прийняти наступне. На кожному етапі реалізації стратегії управління $h_{ij}(\xi_i)$ ініціюється активізація процесу участі оператора при умові, якщо величина значимості досягнутого нижче величини значимості відповідного планованого етапу. Це можна описати наступним співвідношенням:

$$[(h_i^d(\xi_i) - h_i^p(\xi_i)) > \delta \xi_i] \rightarrow h_{i+1}(p_i),$$

де $h_{i+1}(p_i)$ – подія, яка складається в залученні оператора для реалізації чергового етапу стратегічного управління виконанням задачі.

З наведеного опису уявлень про стратегічне управління процесом вирішення задачі з використанням БПЛА, можна стверджувати, що воно включає в себе управління аеродинамікою, навігацією, обладнанням БПЛА, яке призначене для безпосереднього вирішення поставленої задачі.

У процесі виконання задачі з використанням БПЛА можуть виникати критичні ситуації. Введемо наступне визначення.

Визначення 1.2. Критична ситуація обумовлюється подією h_{ij} , яка може обумовлювати неможливість досягнення поставленої мети c_i або визначає неможливість досягнення події $H_i(c)$ в загальній стратегії управління SU_i .

На відміну від стратегії управління рішенням завдання, стратегія виходу з критичних ситуацій може реалізовуватися такими способами:

- а) на основі висновку послідовності подій, які приведуть до виходу з критичного стану;
- б) методом локального пошуку виходу з критичної ситуації;
- в) методом пошуку факторів, які призвели до критичної ситуації і реалізації процесів протидії відповідним чинникам;
- г) переходом до аварійної ситуації.

Перший спосіб реалізації стратегії виходу з критичної ситуації на основі висновку послідовності подій видається найбільш оптимальним, оскільки, в процесі підготовки стратегії $H_i(c)$ необхідно проводити облік відомих, можливих причин виникнення критичних ситуацій. Це дозволяє, в разі її виникнення, оперативно вийти з такої критичної ситуації. Більше того, якщо виникла критична ситуація, яка не була передбачена на етапі підготовки БПЛА до польоту, то у оператора існує значно ширший асортимент можливостей вирішення задачі виходу із неї.

Другий спосіб реалізації стратегії виходу з критичної ситуації на основі висновку послідовності подій використовується в тому випадку, коли можливість виникнення тих чи інших критичних ситуацій володіє високим рівнем імовірності. Реалізація цього методу вимагає установки на борту БПЛА додаткових алгоритмічних засобів і, можливо, додаткового

обладнання, яким можуть бути додаткові датчики орієнтовані на роботу з зовнішнім середовищем.

Метод локального пошуку виходу з критичної ситуації є спрощеною версією другого способу, але виділяється в окремий тому, що він вимагає істотно меншої кількості додаткового обладнання і може реалізовуватися більш оперативно, що в багатьох випадках може мати першорядне значення. Загальний алгоритм цього методу полягає в наступному. Критична ситуація, як і будь-яка інша ситуація характеризується деякою сукупністю параметрів. Тому, найчастіше всього вона характеризується виходом за допустимі значення одного або ряду параметрів. Оскільки в мінімальному комплекті обладнання, що встановлюється на борту, вже визначені межі контрольних значень ключових параметрів, то виявлення критичних ситуацій реалізується у БПЛА в якості обов'язкової процедури. Більше того, в більшості випадків зміна значень окремих параметрів досить однозначно визначається окремими чинниками, що впливають. Наприклад, знесення БПЛА з курсу обумовлює бічний вітер, зменшення або збільшення висоти польоту обумовлюється висхідними або спадними потоками, збільшення часу перельоту за окремим відрізком курсу обумовлюється посиленням зустрічного вітру або падінням тяги двигуна і т.д. Відповідні залежності визначаються при підготовці БПЛА до польоту і завантажуються в бортову систему управління.

Метод пошуку факторів, які призвели до критичної ситуації і реалізації процесів протидії їм, складається з наступних частин:

- виявлення хоча б одного фактора, який може вплинути на критерії або параметрами БПЛА і перевести його у нестабільний режим роботи;
- виявлення інших факторів, дія яких спільно з виявленим раніше фактором, можуть сприяти виходу польоту БПЛА на режим, який відповідає критичному;
- формування протидії виявленим факторам, що впливають, на основі даних про залежності між параметрами польоту і параметрами, що обурюють штатний режим;
- перевірка ступеня усунення критичної ситуації в режимі польоту.

Виявлення зовнішніх факторів, що впливають на штатний режим польоту БПЛА реалізується в рамках методу локального пошуку виходу з критичної ситуації. У цьому випадку, визначається один найбільш характерний параметр зміна, якого призводить до відповідного критичного стану. На основі даних про причинно-наслідкові зв'язки між параметрами, значення яких перевищили допустимі межі та впливу, який призвів до цього, визначається фактор і формується необхідна протидія.

Так, якщо поточне положення БПЛА відрізняється від заданого курсу і в процесі аналізу зовнішніх факторів визначено, що останнім є посилення бічного вітру, який зносить БПЛА з курсу, то в якості протидії приймається установка кута випередження по відношенню до напрямку польоту в бік

посилення вітру. Як приклад, можна використовувати різні особливості предметної області розв'язуваної задачі. По відношенню до таких особливостей визначаються можливі критичні ситуації, визначаються причини або фактори, які призводять до таких ситуацій і визначаються засоби або способи протидії відповідним ситуаціям. Вся ця інформація вводитьися в бортову систему на етапі підготовки до польоту.

Якщо виникла критична ситуація, яка не була передбачена під час підготовки БПЛА до польоту, то бортова система відправляє в центр управління сигнали станів для залучення оператора в процес вирішення задачі.

У разі, коли не вдається визначити методику протидії факторам, які призвели до виникнення критичної ситуації, то існують наступні можливості вирішення проблеми, яка виникла:

- активізація стратегічного управління, яке полягає в модифікації цілі. Модифікація цілі реалізується у допустимих межах, щоб не порушити загальну концепцію розв'язуваної задачі;
- активізація стратегічного управління по зміні мети розв'язуваної задачі. В цьому випадку відбувається перехід до іншої задачі, яка в певному сенсі є спорідненою і мета якої була сформульована під час підготовки БПЛА до польоту;
- активізація стратегічного управління аварійним завершенням розв'язуваної задачі.

Проблема модифікації цілі є досить складною і можливість її рішення ґрунтується на наступних факторах:

- у рамках більшості предметних областей, в яких розглядається та чи інша задача, формулювання цілі найчастіше не може бути сформульована повністю однозначно;
- формулювання цілі рішення задачі найчастіше не є повною в силу об'єктивних причин, які полягають у тому, що задача ще не вирішена;
- опис цілі рішення задачі являє собою сукупність даних і зв'язків між ними, які стосуються факторів, по відношенню до яких відсутня вся інформація, тому й існує задача, яку необхідно вирішувати.

Таким чином, проведений аналіз задач стратегічного управління групою БПЛА показав. Крім проблем вирішення прикладних задач, необхідно забезпечити роботоспроможність групи БПЛА в цілому, за рахунок дотримання на необхідному рівні критеріїв надійності, відмовостійкості, безпеки, діагностування, функціональної стійкості. Головною рисою вирішення даної проблеми є врахування кожного переліченого критерію, даної складної розподіленої системи управління рухомими об'єктами (приклад, група БПЛА), в комплексі. Це дозволить створити ефективне інформаційне забезпечення (систему управління) для даної розподіленої системи.

1. *Федутинов Д.* Беспилотные летательные аппараты на МАКС-2005. // Вестник воздушного флота. – 2005. Сент.-окт. – с. 49-50.
2. *Янкевич Ю.* Применение беспилотных авиационных комплексов в гражданских целях. // Аэрокосмический курьер. -2006. С. 48). –с. 55-57.
3. *Korostil J.* Text models and their usage./ *Metody informatyki stosowanej./* NI(200)(22). PAN. Szczecin. 2010.
4. *Черноруцкий И.Г.* Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 416 с.
5. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде. М.: Физматгиз. 2002. – 320 с.
6. *Коробчинський М.В.* Проблемные вопросы организации управления групповым полетом беспилотных летательных аппаратов // М.В. Коробчинський / Збірник наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – К.: НАН України, 2011. – Вип. 61. – С. 14-25.
7. *Коробчинський М.В.* Анализ направлений развития дистанционно управляемых летательных аппаратов // М.В. Коробчинський / Збірник наукових праць “Моделювання та інформаційні технології” – К.: НАН України Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2011. – Вип. 61. – С. 3-12.
8. *Коробчинський М.В.* Застосування інфрачервоних засобів при вирішенні завдань підрозділів спеціального призначення Сухопутних військ // М.В. Коробчинський, М.М. Руденко / Військово-технічний збірник / Академія сухопутних військ. – Вип. 2. – Львів: АСВ, 2010. – С.78-84.
9. *Машков О.А.* Застосування неформальних підходів до управління складними динамічними системами // О.А. Машков, М.В. Коробчинський, В.Р. Косенко, Б.В. Дурняк, Ю.Ю. Білак / Збірник наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – К.: НАНУ, 2011. – Вип. 60. – С.3-16.
10. *Коробчинський М.В.* Анализ возможностей средств математической логики в выявлении аномалий в системе управления БПЛА // М.В. Коробчинський / Збірник наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – К.: НАН України, 2012. – Вип. 65. – С.165-172.
11. *Коробчинський М.В.* Исследование метода моделирования взаимодействия между отдельными компонентами информационной системы // М.В. Коробчинський / Збірник наукових праць “Моделювання та інформаційні технології” – К.: НАН України Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2012. – Вип. 65. – С.174-182.
12. *Коробчинський М.В.* Особенности использования эвристических принципов в задачах управления БПЛА // М.В. Коробчинський / Збірник наукових праць “Моделювання та інформаційні технології” – К.: НАН України Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2012. – Вип. 66. – С.191-199.

Поступила 7.10.2013р.