

Chumachenko S.M.

Tawrijski Uniwersytet Narodowy im. Władimira Wiernadskiego

Popel V.A.

Państwowy Instytut Badawczego Technologii Cyberbezpieczeństwa i Ochrony Informacji

UZASADNIENIE NAUKOWE METOD WYKORZYSTYWANIA BEZZAŁOGOWYCH KOMPLEKSÓW LOTNICZYCH W ZAPOBIEGANIU SYTUACJI AWARYJNEJ

В останні роки істотного значення набуло використання безпілотних літальних апаратів та пов'язаних з ними технологій для подолання наслідків техногенних аварій, катастроф, терористичних актів на об'єктах критичної інфраструктури. Безпілотні літальні апарати широко застосовуються для розвідки обстановки на об'єктах, пошуку постраждалих, визначення збитків, виявлення пожеж, руйнувань, мін, а також інших додаткових факторів та загроз, що мають значення для вибору способів подолання наслідків надзвичайних подій, визначення необхідних сил та засобів, оптимізації витрат у разі ліквідації наслідків аварій на об'єктах критичної інфраструктури. Мета цієї публікації – дослідити вплив якості управління безпілотним літальним апаратом на загальну ефективність виконання ним поставленого завдання. Оцінка ефективності виконується з використанням математичного апарату нечітких множин. Цей математичний апарат дозволяє формалізувати експертні оцінки, що застосовуються для формування безлічі критеріїв, що використовуються для оцінки безлічі параметрів реалізованої задачі, на основі яких визначається інтегральний (консолідований) критерій, який може використовуватися для оцінки ефективності виконання поставлених завдань. На основі вибору та оцінки безлічі критеріїв може бути побудована функція корисності. Така функція може бути побудована на основі методу ієрархічного аналізу (МІА), який є математичним підходом до прийняття рішень і може бути використаний для визначення максимуму корисності. Застосування методу, розглянутого у статті, дозволяє розробляти стратегії використання безпілотних літальних апаратів для багатьох практичних завдань, які враховують витрати на задіяння сил і засобів при виконанні практичних завдань та дозволяють максимізувати ефективність їх виконання.

Ключові слова: критична інфраструктура, ефективність, рівень результативності, управління ризиками, безпілотний літальний апарат, автоматизація, критерій, ваговий коефіцієнт, модель.

1. Znaczenie zarządzania kompleksami bezzałogowych statków powietrznych

Znaczenie zagadnień zarządzania bezzałogowymi systemami statków powietrznych w celu zapewnienia operacyjnego pokrycia przestrzenno-czasowego dużych obszarów podczas monitorowania parametrów środowiskowych w kontekście zapobiegania wypadkom (ES). Po pierwsze wynika to z ograniczonych możliwości pokrycia sieci sensorowej, a po drugie z konieczności ciągłej koordynacji działań zespołów poszukiwawczo-ratowniczych, ratowników indywidualnych oraz bezzałogowych systemów latających (UAV) [1, 2].

Problem trwałego zapewnienia zarządzania i przekazywania użytecznych informacji z bezprzewodowych sieci sensorowych podczas działań prewencyjnych przez jednostki Państwowego Pogotowia Ratunkowego wymaga naukowego uzasadnienia struktury i elementów funkcjonalnych

bazy ich organizacji dla różnych wariantów kompleksowego zastosowania BPAK i WSS. Dziś poświęca się temu problemowi znaczną uwagę w związku ze znaczną liczbą sytuacji kryzysowych na obszarze działania Sił Zjednoczonych.

Zapewnienie stabilności i łączności zarządzania wymaga wdrożenia BSM, z uwzględnieniem w każdym konkretnym przypadku możliwości wykorzystania BSP Państwowego Pogotowia Ratunkowego. Jeśli rozważymy bardziej szczegółowo możliwe opcje kompleksowego zastosowania BPAK, to w zależności od scenariusza rozwoju sytuacji konieczne jest wdrożenie określonych środków telekomunikacji i zarządzania operacyjnego jednostkami Państwowego Pogotowia Ratunkowego.

Aby wybrać alternatywną wersję systemu sterowania UAV, konieczne jest przeprowadzenie ich ekspertyzy. Jednym ze sprawdzonych podejść przy wyborze rozwiązań alternatywnych jest zastosowanie

metody analizy hierarchii. W zagranicznej i krajowej literaturze naukowej znajdują się odniesienia do przykładów zastosowania tej metody w różnych dziedzinach nauki i techniki.

2. Zadanie wielokryterialnej oceny charakterystyk użytkowych UAV

Rozważmy zadanie oceny wielokryterialnej, gdy czynniki i cechy oceny są podane niejasno, ale dla których funkcja użyteczności kryterium integralnego jest wyraźnie podana.

Do rozwiązania zadania oceny należy określić i zmaksymalizować funkcję użyteczności kryterium całkowego dla rozważanych obiektów oceny:

$$\max \{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\},$$

gdzie $z_i = f_i(y \in S)$, $i = 1 \dots k$ jest złożeniem wektora kryteriów, S jest zbiorem dopuszczalnych oszacowań.

Głównymi trudnościami, które pojawiają się przy rozwiązywaniu zadania, jest problem uzyskania matematycznego opisu funkcji użyteczności U kryterium całkowego. W teorii użyteczności funkcja użyteczności U jest rozważana i obliczana jako wartość prawdopodobieństwa, jednak dla wielu złożonych niesformalizowanych zadań oszacowanie wielowymiarowego rozkładu prawdopodobieństwa jest bardzo trudne, a nawet niewykonalne.

Funkcję użyteczności będziemy traktować nie jako wartość probabilistyczną, ale jako wartość rozmytą, a funkcje przynależności zbiorów rozmytych uważane są za subiektywne pomiary ekspertów.

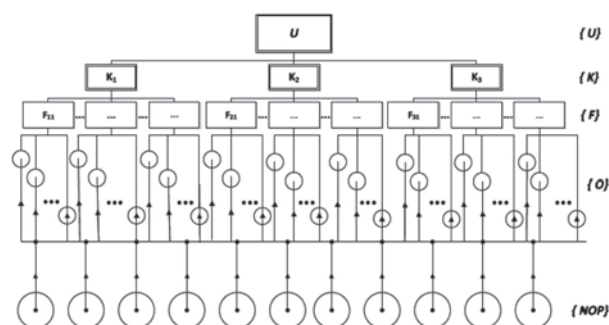
wielokryterialnej można przedstawić w formie hierarchicznej dekompozycji (rys. 1), gdzie zbiór kryteriów oceny to $\{K\}$, zbiór czynników oceny to $\{F\}$, zbiór cech oceny to $\{O\}$, a zbiór obiektów oceny to $\{NOP\}$.

Jeżeli kryterium integralne (cel oceny) wydaje się zbyt złożone, można je przedstawić w postaci hierarchii prostszych kryteriów podrzędnych.

Elementy hierarchii, czyli czynniki oceny i jej cechy oceny są zbiorami rozmytymi.

Metoda analizy hierarchii (MAH), będąca metodą rozwiązywania problemów wielokryterialnych w złożonym środowisku ze strukturami hierarchicznymi zawierającymi elementy nieformalizowane [2], jest w tym przypadku wykorzystywana jako pośrednia metoda wyznaczania funkcji przynależności rozmytych zestawy.

Funkcje przynależności zbiorów rozmytych, które formalizują każde kryterium (złożone, przedstawione w formie hierarchii lub proste) są określone na zbiorach czynników i cech oceny, natomiast zbiory zdefiniowane są podstawowe dla zbiorów rozmytych kryteriów.



Rys. 1. Hierarchiczna dekompozycja zadania oceny eksperckiej

Na każdym poziomie mamy różne odrębne uporządkowane zbiory, które składają się z elementów rozmytych (jakościowych) i zdefiniowanych przez własną funkcję przynależności. Elementy każdego poziomu są rozmytymi podzbiorami dobrze uporządkowanego zbioru i są dokładnie zdefiniowane w tym kontekście.

Procedury oceny eksperckiej z wykorzystaniem rozmytej metody analizy hierarchii pozwalają na zwiększenie wiarygodności i jakości oceny eksperckiej alternatywnych opcji wykorzystania BSM przy prowadzeniu prac lotniczych w celu zapobiegania awariom.

3. Wymagania dotyczące sposobów zastosowania i charakterystyki ruchu UAV w profilaktyce i likwidacji awarii

W celu uzasadnienia podstawowych wymagań dotyczących sposobów stosowania i charakterystyki ruchu UAV podczas ostrzegania o sytuacjach awaryjnych (monitoring, rozpoznanie lotnicze), głównym zakresem ich zastosowania będzie:

1) badanie operacyjne dużych obszarów i długich odcinków powierzchni ziemi, wody, morza i lodu;

2) monitorowanie sieci gazowych i naftowych, kontrola stanu rurociągów naftowych i gazowych, wykrywanie nieszczelności, nieautoryzowanych cięć w celu zapobiegania awariom spowodowanym przez człowieka w liniowych obiektach dalekiego zasięgu;

3) monitorowanie ruchu, kontrola stanu torów kolejowych, autostrad i dróg gruntowych, węzłów komunikacyjnych, mostów i innych drogowych obiektów inżynierskich w celu zapobiegania awariom spowodowanym przez człowieka na obiektach liniowych dalekobieżnych;

4) badanie terytoriów w celu szybkiego ostrzegania o pożarach (leśnych i miejskich), ochrony lasów i kontroli strefy szelfowej w celu zapobiegania awariom spowodowanym przez człowieka na dużych płaskich obiektach;

5) kontrola stanu linii elektroenergetycznych w celu zapobiegania awariom spowodowanym przez człowieka na długich obiektach liniowych.

Na podstawie analizy możliwych obszarów zastosowania UAV można sformułować listę przewidywanych warunków eksploatacji UAV.

BSP powinien być używany:

- w prostych i trudnych warunkach atmosferycznych;

- w różnych regionach geograficznych i klimatycznych globu, nad powierzchnią lądu, wody i morza;

- w warunkach terenu górskiego o wysokości stoków o zmiennej stromości do 4,5 km i kącie nachylenia stoku do 30°;

- dzień, noc i zmierzch;

- w temperaturze od minus 40 do plus 50°C,

- o wilgotności powietrza do 98%;

- przy prędkości wiatru przy powierzchni ziemi do 15 m/sw dowolnym kierunku.

Na podstawie podanej liczby sposobów wykorzystania UAV do realizacji ewentualnych zadań UAV z zakresu działania Państwowego Pogotowia Ratunkowego w odniesieniu do zapobiegania wypadkom, sformułujemy sformalizowane warunki dotyczące wykazu obszarów zastosowania, obiektów obserwacja, zadania do rozwiązania, przy rozwiązywaniu których charakterystyka ruchu UAV będzie adekwatna do charakterystyk podczas efektywnej aplikacji (tab. 1).

Analiza materiałów przedstawionych w tabeli. 1 można określić (wybierając najtrudniejsze z punktu widzenia kształtowania podstawowych wymagań dotyczących charakterystyk ruchu) możliwe zadania UAV:

1) obserwacja na lądzie (w tym górzystym), powierzchni wody, morza i lodu na dużym

obszarze lub długości, poszukiwanie i wykrywanie obiektu, rozpoznawanie i precyzyjne wyznaczenie jego współrzędnych. Najważniejszym wskaźnikiem podczas obserwacji jest brak przerwy w obserwacji, a podczas przeszukiwania – brak nieobserwowanych („wypadłych”) obszarów powierzchni;

2) obserwację obiektów stacjonarnych w długim okresie czasu;

3) obserwację poruszających się obiektów z okresowym (w razie potrzeby) wyznaczaniem ich współrzędnych.

Najważniejszym wskaźnikiem przy rozwiązywaniu zadań określonych w punktach 2 i 3 jest brak przerwy w obserwacji obiektów.

Uzasadnimy wymagania dotyczące charakterystyk ruchu UAV dla hipotetycznych UAV, których podsystemy ładunku mają wymienione powyżej charakterystyki. Dodatkowo, uzasadniając wymagania dotyczące charakterystyki ruchu UAV, rozważymy prowadzenie monitoringu z pionowym położeniem osi optycznej sprzętu monitorującego, co zapewnia najlepszą jakość obrazu.

Rozważmy osobliwości wyboru optymalnych charakterystyk trasy i profilu lotu UAV podczas badań operacyjnych długich obszarów powierzchni ziemi, wody, morza i lodu.

Zgodnie z Tabelą 1 rozważymy sposoby wykorzystania UAV w badaniach operacyjnych długich obszarów powierzchni ziemi, wody, morza i lodu, które występują podczas badania terytoriów w celu operacyjnego ostrzegania przed pożarami (las i miejskich), ochrona lasów i kontrola strefy szelfowej w celu zapobiegania awariom natury sztucznej na dużych obiektach płaskich.

Tabela 1

Obszary zastosowania UAV

Zakres zastosowania	Rozwiązane zadania	Obiekty obserwacji
Operacyjne badanie długich obszarów lądu, wody, morza i lodu	obserwacja	duży obszar powierzchni lądowej, wodnej, morskiej i lodowej
Monitoring dużych przedsiębiorstw przemysłowych, stacji kolejowych, portów itp. Kontrola stanu obiektów technicznych (mosty, zapory, wieżowce telewizyjne, wieżowce itp.)	obserwacja precyzyjne wyznaczenie współrzędnych części składowej złożonego obiektu,	kompleksowy obiekt monitoringu
Stały i długoterminowy monitoring obiektów stacjonarnych (obiekt pod ochroną, kontrola nad wykonaniem złożonej operacji inżynierskiej itp.)	obserwacja precyzyjne wyznaczenie współrzędnych	skomplikowany przedmiot prosty (punktowy) obiekt
Ciągły i długoterminowy monitoring obiektów ruchomych (transport kolejowy, drogowy, rzeczny, morski itp.)	obserwacja eskorta, precyzyjne wyznaczenie współrzędnych, prędkości i kierunku ruchu	prosty obiekt



Rysunek 2 - UAV klasy 1

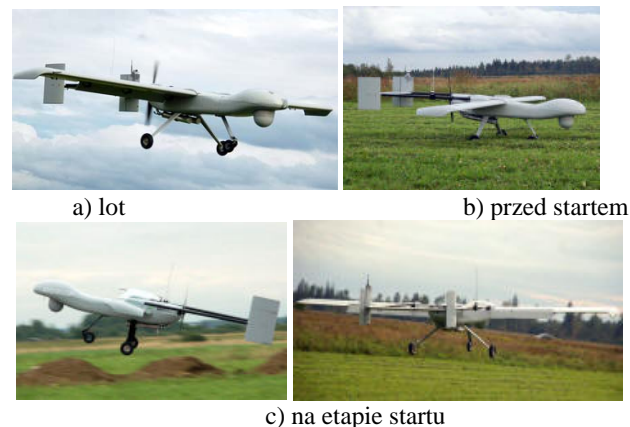
Rys. 2. UAV klasy 1

Klasa 2 – UAV typu samolotowego o masie startowej do 100 kg, 100 km/h silnikiem spalinowym mogą być wykorzystywane do monitorowania obiektów dalekiego zasięgu zgodnie z zasięgiem lotu takiego UAV. Kamera cyfrowa o wysokiej rozdzielczości lub kompleks fotogrametryczny, kamera termowizyjna, radiometr, analizator gazów są instalowane jako ładunek. Z obliczeń wynika, że wykorzystanie UAV klasy 2 może być najbardziej efektywne i ekonomicznie uzasadnione. UAV klasy 2 są zdolne do lotów trwających do 8–10 godzin, zapewniając do 100 000 zdjęć 500 km na lot. UAV o wadze do 100 kg są wystarczająco mobilne i kompaktowe oraz zdolne do szybkiej pracy bez specjalnej bazy lotniskowej z minimalnym zestawem infrastruktury naziemnej.

W celu prowadzenia działań monitoringu wizyjnego operator wstępnie planuje trasę lotu UAV, która uzależniona jest od przydzielonego zadania monitorowania danego obszaru i charakteru terenu. Za pomocą typowego algorytmu trybu obserwacji z powietrza obszaru terenu lub przeszukiwania obiektu, UAV jest kierowany na obszar monitorowania i leci tam zgodnie z programem ustawionym przez operatora. Podczas lotu w danym obszarze UAV w czasie rzeczywistym przesyła obrazy wideo obszaru i znajdujących się na nim obiektów do naziemnej stacji kontroli (GSC). Operator UAV ocenia napływające informacje, w razie potrzeby dostosowuje trasę lotu UAV i kontroluje pokładowe obciążenie docelowe (na przykład kamera wideo, kamera termowizyjna, kamera lotnicza lub inny ładunek).

Najważniejszą cechą nadzoru z wykorzystaniem UAV jest możliwość wielokrotnego powtarzania czynności na obiekcie lub jego poszczególnych elementach oraz uzyskanie obrazu wideo obiektu o określonej porze dnia.

Trasa lotu powinna być tak zaplanowana, aby zapewnić przegląd całego obszaru obserwacji roboczej (rys. 4).



Rys. 3. UAV klasy 2

4. Zalecenia dotyczące budowy trasy lotu

Zalecenia dotyczące budowy trasy lotu:

1) jako punkty zwrotne zaleca się stosowanie charakterystycznych punktów lub liniowych punktów orientacyjnych, które nadają się do nawigacji w locie (zakręty, skrzyżowania dróg, pojedyncze budynki, drogi, granice lasów itp.);

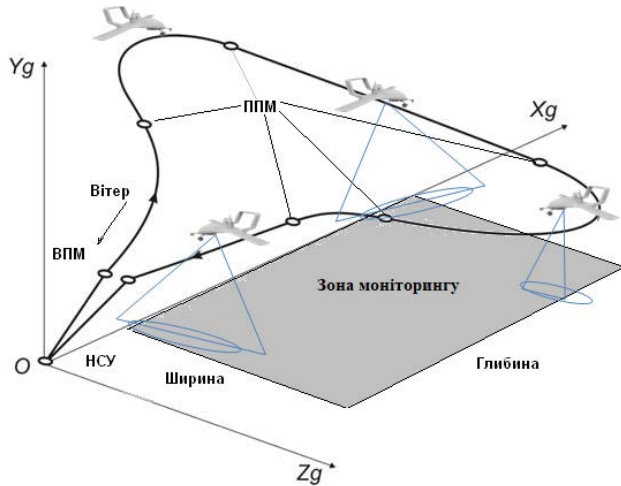
2) pierwszy punkt zwrotny trasy (punkt początkowy trasy (VPM) znajduje się obok punktu początkowego);

3) głębokość strefy pracy powinna mieścić się w granicach stabilnego odbioru sygnału wizyjnego i informacji telemetrycznych z UAV. (Głębokość strefy pracy to odległość od położenia anteny NSU do najbardziej odległego punktu zwrotnego na trasie. Strefa pracy to terytorium, na którym UAV wykonuje dany program lotu);

4) w miarę możliwości linie torowe nie powinny przebiegać w pobliżu linii elektroenergetycznych (linie elektroenergetyczne) dużej mocy oraz innych obiektów o wyższym poziomie promieniowania elektromagnetycznego niż w UAV (stacje radarowe, anteny odbiorcze -nadawcze itp.);

5) przewidywany czas lotu nie powinien przekraczać 2/3 maksymalnego czasu trwania deklarowanego przez producenta;

6) na start i lądowanie należy zapewnić co najmniej 10 minut czasu lotu.



Rys. 4. Schemat lotu UAV

Aby uzyskać ogólny przegląd terytorium, najbardziej odpowiednia jest zamknięta trasa okrężna. Główne zalety tej metody to pokrycie dużego obszaru, wydajność i szybkość monitoringu, możliwość badania trudno dostępnych obszarów terenu, stosunkowo proste planowanie zadania lotu oraz szybkie przetwarzanie otrzymanych wyników. Trasa lotu powinna zapewniać widok na cały obszar roboczy. W celu racjonalnego wykorzystania zasobów energetycznych UAV wskazane jest ułożenie trasy lotu z takimi obliczeniami, aby pierwsza połowa lotu UAV odbywała się pod wiatr.

Zdjęcia lotnicze terenów terenowych należy wykonywać rano i wieczorem, kiedy nie ma

wznoszących i opadających prądów powietrza wpływających na lot poziomy BSP.

Wnioski.

Biorąc pod uwagę kwestię praktycznego wykorzystania UAV, można wysnuć następujące wnioski:

- ekonomiczna opłacalność korzystania z BPAK wynika z łatwości obsługi, możliwości startu z dowolnego niezagospodarowanego miejsca, odmowy użycia materiałów paliwowych i smarych, możliwości lądowania na dowolnym wybranym terytorium;

- kompleksy bezałogowe są bezpieczne dla osób pracujących na ziemi w strefie przestrzeni powietrznej kompleksu;

- dowództwo operacyjne otrzymuje rzetelną informację wideo i fotograficzną, co pozwala na efektywne zarządzanie siłami oraz środkami lokalizacji i likwidacji sytuacji kryzysowych;

- możliwość przesyłania informacji wideo i zdjęć w czasie rzeczywistym oraz tworzenia map cyfrowych umożliwia szybkie wpływanie na zmiany sytuacji i podejmowanie właściwych decyzji zarządczych;

- możliwość ręcznego i automatycznego wykorzystania systemów bezałogowych pozwala zwiększyć obszar działania do 50 kilometrów.

Dotychczasowy rozwój gamy modelowej bezałogowych statków powietrznych pozwala wnioskować o możliwości ich wykorzystania przez organy zarządzania terenowego Państwowego Pogotowia Ratunkowego do prowadzenia rozpoznania stref zagrożenia, zwłaszcza w miejscach trudno dostępnych (nieдоступnych). promieniowanie i zanieczyszczenia chemiczne, silny dym, na duże odległości itp.).

Literatura:

1. Modele zastosowań technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych opartych na bezałogowych kompleksach powietrznych w sytuacjach awaryjnych [Tekst]: Mongr. / I. S. Romanchenko, O. I. Łysenko, S. M. Chumachenko. – K.: NAU, 2016. 335 s.

2. Saati T. Akceptacja rozwiązania. Metoda analizy hierarcha – M.: Radio i łączność, 1993. 320 s.

Chumachenko S.M., Popel V.A. SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF THE METHODS OF USING UNMANNED COMPLEXES FOR PREVENTING EMERGENCY SITUATIONS

In recent years, the use of unmanned aerial vehicles and related technologies to overcome the consequences of man-made accidents, catastrophes, and terrorist acts at critical infrastructure facilities has gained significant importance. Unmanned aerial vehicles are widely used for reconnaissance of the situation at objects, searching for victims, determining damage, detecting fires, destruction, mines, as well as other additional factors and threats that are important for choosing ways to overcome the consequences of emergency events, determining the necessary forces and means, cost optimization in case of liquidation of the consequences of accidents at critical infrastructure facilities. The purpose of this publication is to investigate the influence of the quality of control of an unmanned aerial vehicle on the overall effectiveness of its task performance. The evaluation of efficiency is performed using the mathematical apparatus of fuzzy sets. This mathematical apparatus allows you to formalize expert evaluations used to form a set of criteria used to evaluate a set of parameters of the implemented task, on the basis of which an integral (consolidated) criterion is determined, which can be

used to evaluate the effectiveness of the tasks. A utility function can be constructed based on the selection and evaluation of a set of criteria. Such a function can be constructed based on the Hierarchical Analysis (MIA) method, which is a mathematical approach to decision making and can be used to determine utility maximization. The application of the method discussed in the article makes it possible to develop strategies for the use of unmanned aerial vehicles for many practical tasks, which take into account the costs of using forces and means when performing practical tasks and allow to maximize the efficiency of their execution.

Key words: *critical infrastructure, efficiency, level of effectiveness, risk management, unmanned aerial vehicle, automation, criterion, weighting factor, model.*