

## ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОЗНАК ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

### Вступ

Відомо, що безпілотні літальні апарати (БПЛА) широко використовуються як у військових цілях для виконання розвідувальних дій, спостереження за полями бою або виконання бойових завдань, так і в цивільних, в тому числі, БПЛА широко використовуються в структурі Міністерства внутрішніх справ України для допомоги поліції, охоронним службам і службам з надзвичайних ситуацій, а також для охорони різних цивільних об'єктів [1, 2].

У даний час БПЛА займають видне місце серед авіаційної техніки в більш ніж сорока країнах світу, притому розроблено більше декілька сотень моделей, з яких понад близько ста перебувають на озброєнні армій різних країн [3, 4].

Таким чином, БПЛА можуть бути використані для розв'язку багатьох задач, виконання яких пілотованими літальними апаратами в силу різних причин неможливо. У число таких задач входить: моніторинг повітряного простору, земної та водної поверхні, екологічний контроль, управління повітряним рухом, контроль морського судноплавства, розвиток систем зв'язку, а також для, охорони об'єктів, регулювання транспортних потоків в великих містах тощо.

У даній роботі розглядається питання формування інформаційних ознак ефективності застосування безпілотних літальних апаратів із застосуванням математичного апарату теорії ймовірностей і математичної статистики, а також проводиться аналіз живучості безпілотних літальних апаратів шляхом розробки дворівневої системи управління безпілотним літальним апаратом із використанням нейромережевої системи управління ним.

### Постановка задачі

При розробці БПЛА або при прийнятті їх в експлуатацію важливе місце займає розв'язок задачі вибору його оптимального варіанта рішення, ефективного в заданому діапазоні умов застосування. Приймаємо, що є різні варіанти розв'язку задачі  $B_1, B_2, \dots, B_m$  і сукупність умов їх застосування:  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

Приймаємо, що  $W_{ij}$  – показник ефективності при застосуванні  $i$ -го рішення в  $j$ -х умовах [3]. Матриця ефективностей буде мати вигляд, представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Варіанти рішення	Варіанти умов			
	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$B_1$	$W_{11}$	$W_{21}$	...	$W_{1n}$
$B_2$	$W_{21}$	$W_{22}$	...	$W_{2n}$
...	...	...	...	...
$B_m$	$W_{m1}$	$W_{m2}$	...	$W_{mn}$

У низці випадків виникає задача визначення ймовірності або частоти появи тих чи інших умов  $p_1, p_2, \dots, p_n$  і вибрати те рішення, для якого осереднений і показник  $W_i$  буде найбільшим:

$$W_i = p_1 W_{i1} + p_2 W_{i2} + \dots + p_n W_{in}. \quad (1)$$

### Розв'язок задачі визначення ймовірності або частоти появи тих чи інших умов

Якщо ймовірності  $p_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) відомі і не змінюються в часі, то шукана ймовірність обчислюється з формулою (1), але отримати значення  $p_j$  з досліджень в низці випадків неможливо. Крім того, якщо в середньому кращим виявиться один з варіантів технічного рішення

(рис. 1), який приймається, то може виявитися, що цей варіант ефективний тільки в певних умовах роботи БПЛА, тому прийняте рішення виявиться ефективним на дуже короткий час. Таким чином, немає сенсу вибирати рішення відповідно до виразу (1) і отримати значення ефективності використання БПЛА на дуже короткий час.

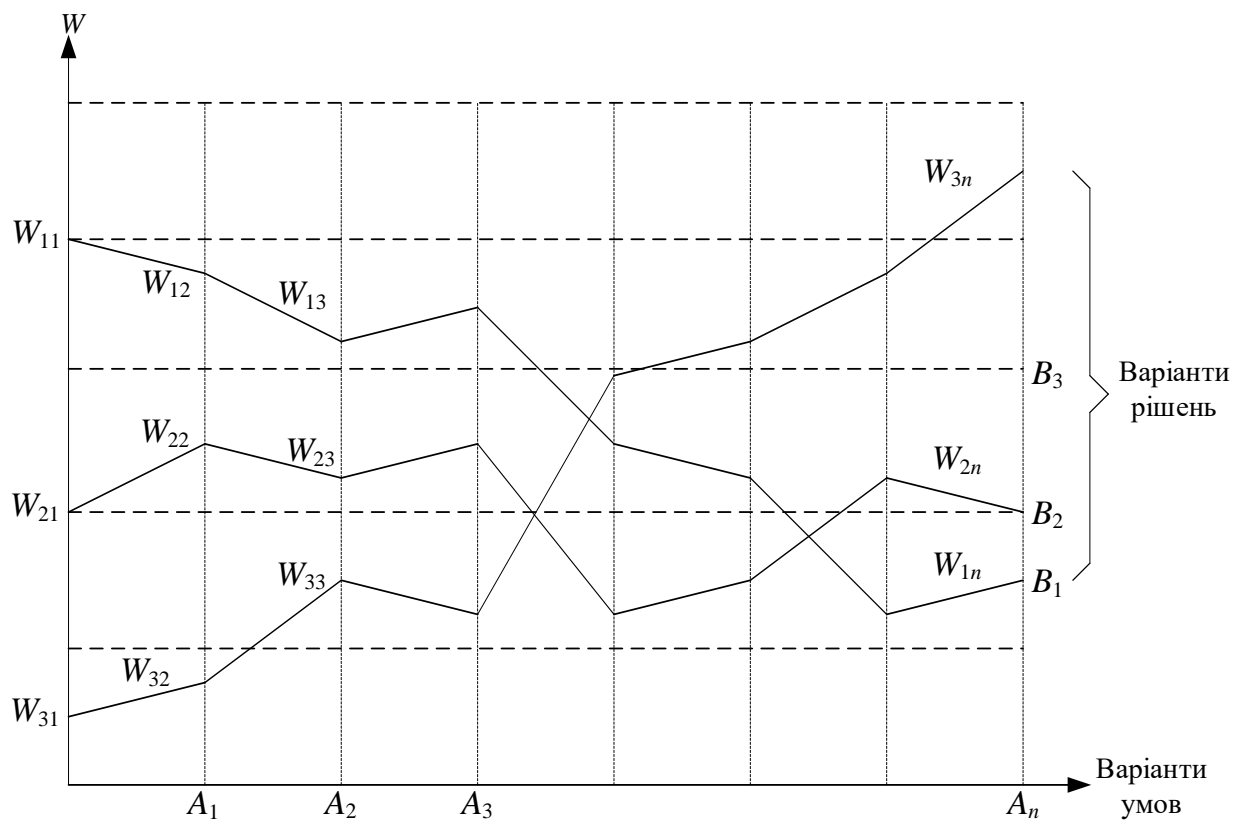


Рис. 1. Діаграма залежностей умов і рішень

Отже, ефективним є компромісне рішення, яке може бути, навіть, не будучи оптимальним в окремих діапазонах умов застосування, задовільним на всьому діапазоні умов, й ґрунтується на аналізі всієї матриці ефективності з урахуванням прогнозу зміни умов застосування БПЛА.

У загальному формулюванні основною задачею БПЛА є збір і доставка необхідної інформації з метою вироблення рішення відповідної організації (відомства, міністерства), в інтересах якої він застосовується. З даного загального формулювання йдуть основні принципи підходу до оцінки ефективності БПЛА, ефективність якого визначається якістю прийнятого рішення, ефективністю діяльності, організованої на основі отриманої інформації.

БПЛА, що діють в інтересах міністерства або відомства, зокрема Міністерства внутрішніх справ України, мають головну задачу, яка полягає в зборі відомостей про широке коло наземних об'єктів, в результаті чого має бути отриманий деякий образ реальної обстановки, необхідний для прийняття обґрунтованого рішення відповідним керівництвом. Таким чином, проблема оцінки ефективності БПЛА в загальному вигляді тісно пов'язана з проблемою відтворення образів за спостереженими ознаками:

1. Задача відтворення образу будь-якої складності має своєю основою конкретні відомості про його елементи. Для створення образу наземної обстановки у відповідному регіоні необхідні великі відомості про кількість, стан, координати наземних об'єктів тощо.

2. Необхідна повнота і подробиця відомостей про обстановку в регіоні в цілому і про окремі її елементи визначаються ступенем їх впливу на ефективність. Стосовно до БПЛА з цього випливає, що ефективність такої системи повинна вимірюватися збільшенням його ефективності, одержуваних в результаті використання доставленої інформації [3].

Інформація, яку поставляють БПЛА, дуже різноманітна, тому єдина задача доставки інформації про досліджуваний регіон зазвичай розділяється на декілька частинних задач, кожна з яких розв'язується різними підсистемами, що мають спеціальне обладнання [5].

Сформулюємо основні характерні задачі БПЛА і визначимо показники ефективності їх виконання. Однією з основних задач є визначення координат наземних об'єктів, які з'являються раптово, при цьому положення цих об'єктів може характеризуватися відповідними статистичними характеристиками невизначеностей. Прикладом такої задачі є задача знаходження людини в безпритомному стані.

Показником ефективності (виконання завдання) може служити збільшення ймовірності недопущення економічних втрат або математичного сподівання збережених ресурсів, що виходить в результаті обробки відповідної інформації. Ймовірність недопущення втрат  $W_n^{(i)}$  і математичне сподівання  $m_c^{(i)}$  збережених ресурсів з урахуванням відповідного інформаційного забезпечення можна записати в наступному вигляді:

$$W_n^{(i)} = W_n W^{(i)}, \quad (2)$$

$$m_c^{(i)} = m_c W^{(i)}, \quad (3)$$

де  $W_n, m_c$  – ймовірність недопущення втрат і математичне сподівання збережених ресурсів, що отримуються БПЛА,  $W^{(i)}$  – ймовірність виконання завдання БПЛА по отриманню та обробці відповідної інформації.

Приймаємо, що  $P_{mn}$  – ймовірність того, що з  $n$  БПЛА тільки  $m$  зможуть виконати завдання (визначити місце положення людини в безпритомному стані), а  $W^{(i)}(m)$  – умовна ймовірність виконання БПЛА завдання визначення. Тоді ймовірність виконання завдання БПЛА визначається за формулою повної ймовірності:

$$W^{(i)} = \sum_{m=1}^n P_{mn} W^{(i)}(m). \quad (4)$$

Приймаємо, що БПЛА, що знаходиться в польоті, передає інформацію про можливе знаходження людини в безпритомному стані. Між моментом виявлення людини і наданням першої допомоги є деякий випадковий час запізнювання, який визначається за формулою

$$T_{zn} = T_{oi} + T_{np} + T_{nk}; \quad (5)$$

де  $T_{oi}$  – час обробки інформації про знаходження людини в безпритомному стані,  $T_{np}$  – час, що йде на прийняття рішення і підготовку до надання їй медичної допомоги,  $T_{nk}$  – час прибуття швидкої (невідкладної) медичної допомоги і надання медичної допомоги людині.

Ймовірність своєчасного прибуття швидкої (невідкладної) медичної допомоги  $P_{nk}$  дорівнює ймовірності того, що час, що минув з моменту виявлення людини в безпритомному стані до моменту прибуття швидкої (невідкладної) медичної допомоги і надання медичної допомоги людині (час запізнювання)  $T_{zn}$ , виявиться менше, ніж час, протягом якого стан потерпілої людини може виявитися тяжким (зокрема летальним)  $T_y$ , тобто:

$$P_{nk} = P(T_{zn} < T_y). \quad (6)$$

Приймаємо, що  $f_{zn}(t)$  і  $f_y(t)$  – щільності розподілу випадкових величин  $T_{zn}$  і  $T_y$ . Тоді

$$P_{nk} = \int_0^{\infty} f_y(t) \int_0^t f_{zn}(\tau) d\tau dt. \quad (7)$$

Для отримання закону розподілу часу запізнювання  $T_{zn}$  необхідно знати закони розподілу часу обробки інформації  $T_{oi}$ , часу, що йде на прийняття рішення і підготовку до прибуття швидкої (невідкладної) медичної допомоги і надання медичної допомоги людині  $T_{np}$ , і часу

прибуття швидкої (невідкладної) медичної допомоги і надання медичної допомоги людині  $T_{нк}$ . Ці закони розподілу можуть бути отримані шляхом статистичного моделювання процесу передачі і подальшого використання інформації. Оскільки цей процес складається з низки послідовних операцій, то закон розподілу часу запізнювання при некорельованості складових його часів можна вважати приблизно нормальним з математичним сподіванням і дисперсією, які обчислюються за формулами:

$$m_{тзн} = m_{toi} + m_{тп} + m_{тнк}; \quad (8)$$

$$D_{тзн} = D_{toi} + D_{тп} + D_{тнк}; \quad (9)$$

де  $m_{toi}$ ,  $m_{тп}$ ,  $m_{тнк}$  – математичні сподівання,  $D_{toi}$ ,  $D_{тп}$ ,  $D_{тнк}$  – дисперсії випадкових величин.

Закон розподілу часу погіршення стану людини задається, виходячи з даних про можливі зміни його параметрів. Нехай цей закон вважається показовим з параметром, який дорівнює  $\frac{1}{\langle t_p \rangle}$ , де  $\langle t_p \rangle$  – середній час погіршення стану людини. При нормальному законі розподілу часу запізнювання і показовому законі часу погіршення стану людини для складових виразу (7) маємо:

$$\int_0^t f_{зн}(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{t - m_{тзн}}{\sqrt{2D_{тзн}}} \right) + \Phi \left( \frac{m_{тзн}}{\sqrt{2D_{тзн}}} \right) \right], \quad (10)$$

$$f_p = \frac{1}{\langle t_p \rangle} e^{-\frac{t}{t_p}}, \quad (11)$$

де  $\Phi(\dots)$  – функція Крампа (інтеграл ймовірностей) виду

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (12)$$

При цих припущеннях після підстановки (10) і (11) в (7) отримаємо вираз для ймовірності своєчасної надання медичної допомоги людині  $P_{тп}$ :

$$P_{тп} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_p \rangle} e^{-\frac{t}{t_p}} \left[ \Phi \left( \frac{t - m_{тзн}}{\sqrt{2D_{тзн}}} \right) + \Phi \left( \frac{m_{тзн}}{\sqrt{2D_{тзн}}} \right) \right] dt. \quad (13)$$

Визначимо математичне сподівання часу, потрібного для знаходження людини в безпритомному стані. У загальному випадку інтенсивність виявлення наземних об'єктів обчислюється за формулою [3]:

$$\gamma = \frac{V_{SE}}{S}, \quad (14)$$

де  $S$  – площа, яка припадає на один об'єкт (для даного прикладу – площа місцевості, де може перебувати потерпіла людина),  $V_{SE} = V_S P_e n_{БПЛА}$  – середня ефективна швидкості огляду,  $V_S$  – середня швидкість огляду земної поверхні апаратурою БПЛА,  $P_e$  – умовна ймовірність виявлення наземного об'єкта апаратурою БПЛА,  $n_{БПЛА}$  – кількість БПЛА, які проводять моніторинг (кількість вильотів одного БПЛА).

Нехай інтенсивність визначення місця перебування людини у безпритомному стані  $\gamma$  за допомогою апаратури БПЛА наближено відома, а достовірна інформація про пожежу надходить протягом часу  $t_n$ . Тоді умовне математичне сподівання часу, що пройшов до виявлення потерпілої людини, за умови, що вона була виявлена з ймовірністю  $W_e$  за час пошуку  $t_n$  визначається за формулою

$$m_{t_0} = \frac{1}{W_0(t_n)} \int_0^{t_n} t dW_0(t) = \frac{1}{W_0(t_n)} \left( t_n W_0(t_n) - \int_0^{t_n} 1 - e^{-\gamma t} dt \right) = \frac{1}{\gamma} - \frac{t_n}{e^{\gamma t_n} - 1}. \quad (15)$$

Оскільки  $\gamma$  є випадковою величиною, то визначимо ймовірність своєчасного надання медичної допомоги потерпілій людині. Для цього припустимо, що не тільки час погіршення стану людини  $T_p$ , але і час запізнювання  $T_{zn}$  підпорядкований показовому закону з математичним сподіванням рівним  $\langle t_{zn} \rangle$ . При цих припущень ймовірність своєчасного медичної допомоги потерпілій людині визначається за формулою

$$P_{тп} = \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_p \rangle} e^{-\frac{t}{t_p}} \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_{zn} \rangle} e^{-\frac{\tau}{t_{zn}}} d\tau dt = \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_p \rangle} e^{-\frac{t}{t_p}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{t_{zn}}} \right) dt = \frac{\langle t_p \rangle}{\langle t_p \rangle + \langle t_{zn} \rangle}. \quad (16)$$

Маючи інформацію про значення  $m_{t_0}$ ,  $P_{тп}$ ,  $\langle t_p \rangle$ ,  $\langle t_{zn} \rangle$ , можна проводити аналіз впливу інформаційної підсистеми БПЛА на ефективність виконання його завдання.

При розв'язку задачі в умовах наявності багатьох невизначеностей необхідно зробити оцінку достовірності інформації, необхідної для прийняття рішення. Приймається, що задача обробки і оцінки інформації про наземну обстановку формулюється наступним чином: є якісь відомості про елементи деякої системи (в даному випадку – системи розподілу наземних об'єктів), частина цих відомостей відома заздалегідь, частина доставлена додатково. Необхідно за цими відомостями скласти представлення про дійсний стан системи – створити «образ» системи, визначити в якому ступені створене представлення відповідає дійсному стану системи. Складність розв'язку цієї задачі залежить від того, що в даний час недостатньо вивчений механізм обробки інформації людиною. Тому представляється скрутним визначити порівняльну цінність різних відомостей і їх значення для створення «образу». Можна говорити лише про підхід до вирішення цієї проблеми і про розв'язки деяких частинних задач.

Нехай наземна обстановка (система)  $u$  може знаходитися в кінцевому числі стану:  $b_1, b_2, \dots, b_n$ . Кожне стан системи може, наприклад, характеризуватися кількістю об'єктів (елементів системи) і станом кожного об'єкта. Нехай ці попередні відомості дають можливість оцінити правдоподібність того чи іншого стану системи у вигляді ймовірностей станів. Позначимо ці ймовірності  $P_0(b_1), P_0(b_2), \dots, P_0(b_n)$ . У разі, коли заздалегідь важко віддати перевагу якомусь станом, можна покласти ці ймовірності рівними один одному.

Усі постачальники інформації БПЛА приносять деяку сукупність відомостей  $S$ . Нехай нам відомі умовні ймовірності сукупності відомостей (повідомлень)  $S$  за умови, що система знаходиться в даному стані  $P(\langle s \rangle | b_1), P(\langle s \rangle | b_2), \dots, P(\langle s \rangle | b_n)$ ,  $\langle s \rangle$  – середній обсяг повідомлень.

Визначимо ймовірність того, що система дійсно знаходиться в даному  $i$ -му стані  $b_i$ . Для цього скористаємося формулою Бейеса, що дає можливість уточнити ймовірність гіпотези з урахуванням нових відомостей. Відповідно до цієї формули, ймовірність  $i$ -го стану системи споживання після отримання сукупності відомостей  $S$  визначається за формулою

$$P_c(s | \langle b_i \rangle) = \frac{P_0 b_i P(s | \langle b_i \rangle)}{\sum_{j=1}^n P_0 b_j P(s | \langle b_j \rangle)}. \quad (17)$$

Апостеріорні ймовірності  $P(s | \langle b_i \rangle)$  можуть бути отримані шляхом обробки статистичних даних про стан наземних об'єктів, моніторинг яких проводиться за допомогою БПЛА.

У більш складних ситуаціях обчислення або отримання цих ймовірностей з дослідних даних вельми складно. Тому, як правило, задача практично розв'язується людиною без використання конкретних числових значень цих ймовірностей. У цьому випадку до інформацій-

ної системи пред'являються вимоги збору найбільш істотних відомостей, необхідних для створення уявлення про наземної обстановці, тобто отримання такої сукупності відомостей, при якій ймовірність похибки була б мінімальною.

### Аналіз живучості безпілотних літальних апаратів

Ефективне функціонування БПЛА при забезпеченні моніторингу оперативної обстановки передбачає безпечне його управління [6]. Важливу проблему представляє забезпечення живучості БПЛА внаслідок високої вартості БПЛА, відповідальності за якість виконуваних завдань в звичайних умовах і при агресивних впливах середовища.

Вирішити ці та деякі інші завдання можна за допомогою дворівневої (багаторівневої) організації управління, при якій другий (кожний наступний) рівень управління адаптує перший (попередній) рівень до конкретних заданих умов. Цю адаптацію можна представити як деяку перебудову параметрів або перехід до нової структури системи управління першого рівня.

Існує кілька сучасних інформаційно-технічних технологій, що дозволяють створювати дані системи управління (СУ): експертні системи, штучні нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми і ряд інших інформаційних технологій.

В інженерному контексті інтелектуальне управління БПЛА має володіти такими властивостями:

- живучістю (стійкістю до зовнішніх збурень);
- здатністю до навчання та адаптації;
- здатністю до включення нових компонентів;
- автономністю (при цьому враховується можливість втрати зв'язку з оператором), що забезпечується живучістю (СУ).

Системою управління БПЛА, що володіє властивостями, необхідними для застосування її в системах управління більш складного порядку (система управління аеромобільного комплексу спеціального призначення), можуть бути інтелектуальні системи управління, побудовані на нейроконтролері з гібридним керуванням [7].

На рис. 2 приведена функціональна схема системи управління БПЛА на основі інтелектуального управління.

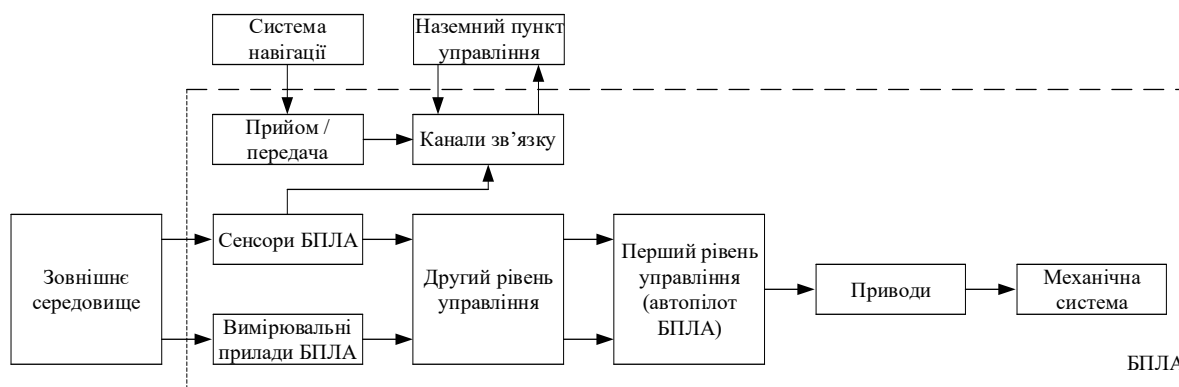


Рис. 2. Функціональна схема дворівневої системи управління безпілотним літальним апаратом

Система управління другого рівня (подальшого) відповідно до заданої програми і на підставі інформації, що надходить від навігаційної системи, сенсорних датчиків, вимірювальних приладів, формує керуючий вектор для першого рівня управління автопілота [8, 9].

Автопілот (АП) розв'язує задачі управління механічними системами БПЛА, а також забезпечує переміщення БПЛА з однієї точки простору в іншу за координатами, що видаються другим рівнем управління. АП, по суті – нейромережевий регулятор, виконаний за схемою нечіткого нейроемулатора і гібридного нейроконтролера зі зворотним зв'язком (рис. 3).

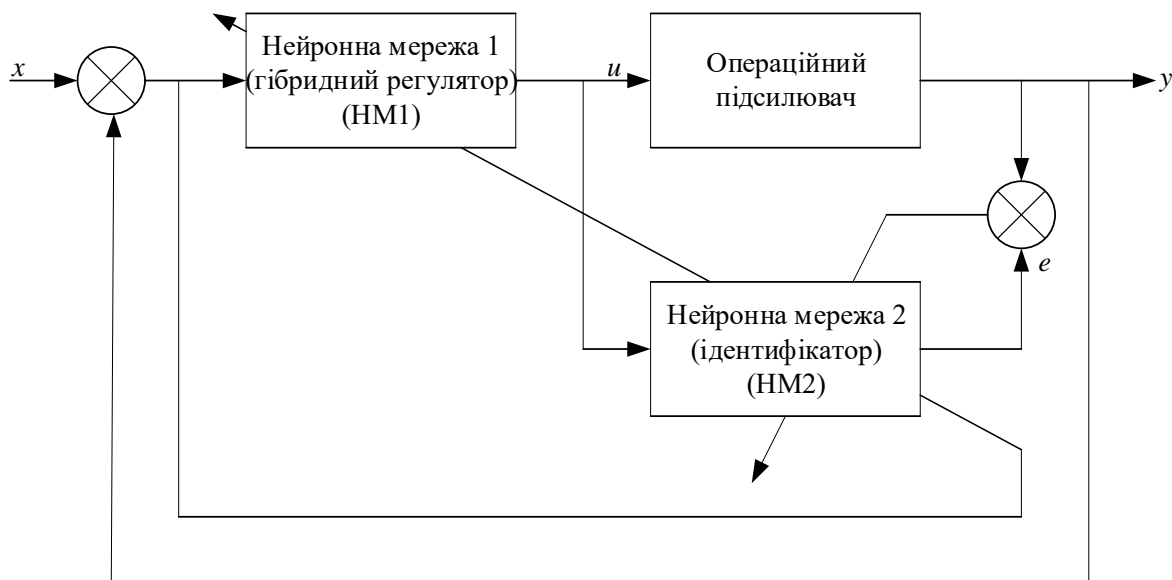


Рис. 3. Схема гібридного неймережевого управління БПЛА

У схемі використовується контролер зворотного зв'язку, виконаний як гібридний регулятор НМ1, який навчається через ідентифікатор НМ2. Навчання через ідентифікатор необхідне, щоб не заважати нормальному функціонуванню об'єкта тестовими діями, які використовуються для навчання. Крім того, така схема дозволяє реалізувати предикатне управління і підвищує безпеку БПЛА.

Дана схема управління (див. рис. 3) підвищує живучість і тим самим ймовірність виконання завдання. Схема нагадує структурне дублювання, однак у даному випадку маємо справу з тимчасовим резервуванням. Крім швидкодії системи, за рахунок чого створюється резерв часу, цей резерв часу може бути використаний для контролю, пошуку несправностей і відновлення працездатності та інших операцій, розрахунок нових траєкторій, спрямованих на забезпечення безпечного функціонування системи при впливі дестабілізуючих факторів [10, 11].

Безпека, як правило, не є метою операції, в якій використовується БПЛА. Однак властивість безпечного функціонування БПЛА створює необхідні умови для досягнення мети операції. У багатьох випадках отримання корисного ефекту операції може забезпечуватися тільки при виконанні вимог до показників її безпеки. Звідси випливає, що вимоги до значень показників безпеки БПЛА впливають з вимог до показника ефективності операції, в якій вона використовується.

Серед станів складної технічної системи зазвичай виділяється підмножина небезпечних станів, перехід в які вважається неприпустимим. Для БПЛА, наприклад, до їх числа можуть відноситися: порушення газодинамічної стійкості роботи силової установки БПЛА, отримання БПЛА в результаті зовнішніх впливів ушкоджень певного типу і розміру тощо.

У задачах безпечного використання БПЛА можна розглядати інтенсивність впливу як деяку характеристику збурень зовнішнього середовища, наприклад, політ БПЛА:

- ступінь турбулентності атмосфери;
- величину додаткової підйомної сили (моменту тангажу, моменту крену тощо), яку буде відчувати літальний апарат в даній точці простору;
- величину додаткового перевантаження (бічне або вертикальне);
- величину додаткових кутів атаки, ковзання або кутових швидкостей тощо.

Всі ці збурення й інші складають керуючий вектор  $i$ , якщо інтенсивність впливу буде більше заданої величини, то в системі управління спрацюють правила відновлення, що є основою знань самої системи управління, що характеризується як інтелект [12].

Якщо параметри об'єкта змінюються, можна скористатися методами оперативної ідентифікації. На цій основі можна здійснювати безперервне підстроювання параметрів нечіткого регулятора або окремих його частин.

Існують труднощі в обґрунтуванні стійкості складних нелінійних системах управління. Іноді БПЛА може перебувати в режимах роботи, які можуть виявитися критичними. З цієї причини для забезпечення стійкості системи доцільно використовувати додаткові стабілізуючі пристрої.

## Висновки

Сформовано інформаційні ознаки ефективності застосування безпілотних літальних апаратів із застосуванням математичного апарату теорії ймовірностей і математичної статистики, що дозволило отримати аналітичний вираз визначення часу передачі інформації безпілотним летальним апаратом, що є головним критерієм ефективності його застосування у тій чи іншій ситуації.

Проведено аналіз живучості безпілотних літальних апаратів шляхом розробки дворівневої системи управління безпілотним літальним апаратом із використанням нейромережевої системи управління ним, що дозволяє підвищити живучість і тим самим ймовірність виконання завдання безпілотним літальним апаратом.

Визначено, що суттєвою особливістю процесів функціонування БПЛА є їх випадковість, яка викликається неповною визначеністю умов, в яких ці процеси протікають, а також різними випадковими відхиленнями і помилками, що виникають при зборі інформації, вироблення керуючих сигналів і їх виконанні. Таким чином, результат функціонування БПЛА є випадковим і з кількісної сторони характеризується законами розподілу параметрів, що виражають цей результат.

## Список літератури:

1. Кучеренко Ю. Ф., Кірвас В. В., Фоменко Д. В., Денисова С. В. Вдосконалення управління безпілотними літальними апаратами при веденні сучасних війн // 36. наук. праць Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил. 2018. № 4 (58). С. 43–49.
2. Haridas V., Aa V. Longitudinal guidance of unmanned aerial vehicle using integral sliding mode control // Procedia Technology. 2016. No. 25. P. 36–43.
3. Kucherenko J. The conception of statutes on the creation automation control system operations command // Systems of arms and military equipment. 2014. No. 2 (38). Pp. 149–153.
4. Barnhart C., Belobaba P., Odoni A. R. Applications of operations research in the air transport industry // Transportation science. 2003. Vol. 37. No. 4. Pp. 368–391.
5. Бенкафо А. С., Лобатий А. А. Особливості застосування фільтрів Калмана-Бьюси в комплексах орієнтації і навігації // Доповіді БГУИР. 2013. № 5 (75). С. 67–71.
6. Shevchenko I., Tertyshnyi V., Koval, S. Designing a model of a decision support system based on a multi-aspect factographic search // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4. Issue 2 (88), Pp. 20–26, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108569>
7. Бодяньський Є. В., Тесленко Н. О., Дейнеко А. О. Еволюційна нейронна мережа з ядерними функціями активації й адаптивний алгоритм її навчання // Наук. праці. Комп'ютерні технології. 2011. Вип. 148. Т. 160. С. 53–58.
8. Юрков Н. К. Оцінка безпеки складних технічних систем // Надійність і якість складних систем. 2013. № 2. С. 15–21.
9. Que Q., Belkin M. Back to the Future: Radial Basis Function Networks Revisited // Appearing in Proceedings of the 19th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), Cadiz, Spain. JMLR: W&CP. 2016. Vol. 51. 13 p.
10. Горячев Н. В., Лысенко А. В., Граб И. Д., Юрков Н. К. Информационно-измерительный лабораторный комплекс исследования теплоотводов электрорадиоэлементов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. 2012. Т. 2. С. 239–240.
11. Затылкин А. В., Таньков Г. В., Бобров А. А. Индукционный виброметр для проведения амплитудно-частотного и модального анализа конструкций РЭС // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. 2013. Т. 2. С. 44–48.
12. Бецков А. В., Прокопьев И. В. Анализ живучести беспилотного летательного аппарата // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2 (6). С. 3–6.

*Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету  
внутрішніх справ*

*Надійшла до редколегії 19.09.2019*