

Леонід Михайлович Артюшин (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

Олексій Анатолійович Кононов (доктор технічних наук, доцент)<sup>2</sup>

Юрій Володимирович Шморгун (кандидат економічних наук)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

<sup>3</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## БАЗОВІ УМОВИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГРУПОВИМ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В статті розглядається актуальне наукове завдання створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням безпілотних літальних апаратів (БпЛА) з урахуванням можливості протидії засобів протиповітряної оборони (ППО). Розглядається початковий етап реалізації проекту групового застосування БпЛА – етап обґрунтування рішення щодо створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням. Визначаються принципово необхідні умови створення зазначеної системи.

Відмінністю підходу, що розроблено, є врахування максимально широкого спектру обставин можливого застосування: єдиною вимогою до функціонування системи “група БпЛА – засоби ППО – об’єкт застосування” приймається лише відповідність випадкового потоку подій марковським умовам. Розгляд тільки обмежень марковського випадкового потоку подій без врахування обмежень, пов’язаних із льотно-технічними, конструктивними, динамічними особливостями апаратів, специфікою схем застосування та управління, дозволяють поширити одержані результати на дуже широке коло перспективних проектів.

**Ключові слова:** автоматизована система управління груповим застосуванням безпілотних літальних апаратів, група безпілотних літальних апаратів, інтенсивність потоку подій, ймовірність виконання поставленого бойового завдання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Головною перевагою застосування сучасних безпілотних літальних апаратів є можливість виконання бойових завдань дистанційно, без загрози втрат особового складу, а головним недоліком – неможливість забезпечення необхідного рівня ймовірності виконання поставлених завдань в умовах протидії системи ППО противника.

Перспективним шляхом подолання цього недоліку є одночасне сумісне застосування значної кількості БпЛА. Цей шлях базується на добре відомій властивості добутку ймовірностей непов’язаних подій: нехай  $p$  – це ймовірність події, що засобами протиповітряної оборони противника буде знищений один безпілотний літальний апарат, тоді ймовірність події, що будуть одночасно знищені  $n$  безпілотних апаратів буде складати  $p^n$ . При  $p < 1$  і  $n \rightarrow \infty$  завжди буде виконуватися нерівність  $p \gg p^n$ , що теоретично надає можливість досягти бажаної ймовірності виконання поставленого завдання  $P^*$  в умовах протидії за рахунок збільшення кількості БпЛА.

Слід зазначити, що ця властивість не поширюється на застосування бойових порядків, де рух апаратів жорстко пов’язаний і втрата “ведучого” БпЛА може призвести до порушення порядку та втрати інших, “ведених” апаратів.

Тому справедливо вважається, що високу ймовірність виконання бойових завдань безпілотними літальними апаратами в умовах протидії противника доцільно забезпечити у

рамках концепції групового застосування безпілотних літальних апаратів.

Під “груповим застосуванням” розуміється сумісне, чітко скоординоване відносно цілі, функціонування декількох безпілотних літальних апаратів (з метою виявлення об’єкту противника, його ідентифікації та вибіркового ураження), які можуть бути різними за льотно-технічними характеристиками, навантаженням, траєкторіями руху тощо [1].

Концепція групового застосування БпЛА не заперечує можливість використання деяких апаратів групи у форматі бойових порядків, коли встановлюються задані інтервали, дистанції, перевищення між “ведучим” та “веденими” апаратами.

Сумісне застосування великої кількості апаратів дозволяє:

спеціалізувати окремі БпЛА у групі на окремих функціях – розвідки, зв’язку, радіоелектронної протидії тощо;

оперативно виявляти та вибірково уражати не тільки стаціонарні об’єкти, а й об’єкти без апріорно відомих координат (мобільні, замасковані об’єкти).

Можливість функціональної спеціалізації БпЛА у групі визначає доцільність розгляду варіанту групового застосування, коли умова виконання поставленого завдання буде еквівалентна досягненню зони об’єкту противника одразу декількома апаратами.

Варто зазначити, що поширення здатності нанесення гарантованого дистанційного удару на мобільні та замасковані об’єкти, які захищені засобами ППО, а також на об’єкти із апріорно

невідомими координатами, обумовлює значну зацікавленість провідних країн світу у реалізації ідеї групового застосування БпЛА.

У багатьох країнах світу розробляються власні програми створення комплексів групового застосування БпЛА, але досі немає підтверджених даних про значні позитивні результати у цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З 80-х років минулого століття – часу початку послідовних системних досліджень у галузі групового застосування рухомих робототехнічних об'єктів в умовах апріорної невизначеності [2], головним напрямом наукового пошуку було отримання успішної реалізації самої ідеї сумісного (групового) застосування. У той час, питання: які вимоги повинні забезпечуватися для результативності застосування групи – було неактуальним та фактично не розглядалось.

Наукові результати, що були отримані у рамках японської програми сумісного застосування мобільних роботів AMADEUS, французького проекту MARTHA, серії американських проектів агентства DARPA (Scout, GRAMMPS, MARS-2020, RoboCop Federation), інших проектів (достатньо повну англomовну бібліографію по даному напрямку досліджень приведено у [3, 4, 5], російськомовну – у [6, 7, 8]), стали теоретичним підґрунтям для розробки не тільки промислових комплексів групового застосування, а й – військового призначення. При цьому, розвиток мікропроцесорної техніки надав необхідні можливості для їх практичної реалізації.

На сьогодні завдання реалізації групового застосування рухомих об'єктів при апріорно відомих опорних траєкторіях руху вже є достатньо розробленими у науковому плані (так звані завдання оптимізації “у малому”), значний інтерес мають завдання автоматизованого управління груповим застосуванням при апріорно невідомих опорних траєкторіях, до яких відноситься завдання управління групою БпЛА в умовах протидії ППО противника.

В цих умовах пошук відповіді на питання, яким вимогам повинна відповідати майбутня система автоматизованого управління груповим застосуванням, щоб бути потенційно ефективною – став актуальним, а його результати важливими для втілення планів створення новітніх комплексів озброєння на базі БпЛА [9].

Враховуючи це, **метою статті** є відображення результатів дослідження авторів щодо визначення принципово необхідних умов створення автоматизованих систем управління груповим застосуванням БпЛА.

Формальна постановка зазначеного завдання полягає у визначенні умов виконання нерівності

$$P_n(t) \geq P^*, \quad (1)$$

де  $P_n(t)$  - ймовірність стану, що  $n$  БпЛА групи будуть у  $t$  момент часу знаходитися у зоні об'єкта противника;  $P^*$  - заданий рівень ймовірності виконання поставленої бойового завдання.

Особливе значення має рішення даної задачі при мінімальних обмеженнях та вимогах, без жорсткої прив'язки до конкретних технічних рішень, платформ та відповідних припущень.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Потреба врахування стохастичної вимоги (1) обмежує представлення системи “група безпілотних літальних апаратів – засоби протиповітряної оборони – об'єкт застосування” класом ймовірнісних моделей та визначає використання відповідних методів аналізу.

Для цього класу моделей, у подальшому, розглядається лише одне припущення: приймається, що випадковий потік подій у зазначеній системі є марковським, тобто має властивості стаціонарності, відсутності післядії та ординарності. Інші вимоги до властивостей випадкового потоку не задаються.

Слід зазначити, що прийняття зазначених припущень щодо властивостей випадкового потоку подій не є штучним, таким, що суперечить природі реальних фізичних процесів застосування групи БпЛА.

Дійсно, за проміжок часу бойового застосування групи не змінюється структура системи та її базові властивості, що дозволяє вважати потік випадкових подій стаціонарним; функціонування окремих БпЛА у групі (на відміну від бойових порядків) не є пов'язаним, залежним, втрати одного апарата у загальному випадку не призводять до втрати інших – випадковість подій визначається існуючим станом, а не історією подій; фактично, автономне функціонування великої кількості окремих, фізично нез'язаних об'єктів визначає відсутність закономірностей та випадковість подій у системі “група безпілотних літальних апаратів – засоби протиповітряної оборони – об'єкт застосування”.

Відомо, що для марковського випадкового процесу розподіл ймовірності часу виникнення подій  $F(t)$  буде відповідати показовому розподілу

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \text{ з щільністю } f(t) = \lambda e^{-\lambda \cdot t}, \text{ де } \lambda - \text{інтенсивність потоку випадкових подій, а ймовірність виникнення події на деякому часовому проміжку буде визначатись як } P(\Delta t) \approx \lambda \cdot \Delta t.$$

Зазначена властивість дозволяє описати процес зміни стану групи БпЛА моделлю ймовірнісної зміни дискретних станів у безперервному часі [10].

Розглянемо такі дискретні стани застосування групи БпЛА:

$S_0$  - стан, коли у зоні об'єкта застосування немає жодного БпЛА;

$S_1$  - стан, коли тільки один БпЛА з групи знаходиться у зоні об'єкта застосування;

$S_2$  - стан, коли тільки два БпЛА групи знаходиться у зоні об'єкта застосування;

$S_m$  - стан, коли тільки  $m$  БпЛА групи знаходиться у зоні об'єкта застосування;

$S_n$  - стан, коли у зоні об'єкта застосування знаходиться  $n$  і більше БпЛА зі складу групи.

Якщо  $n$  - кількість БпЛА, знаходження яких у зоні об'єкта гарантує виконання поставленої задачі щодо її виявлення, ідентифікації та ураження, то досягнення стану  $S_n$  буде еквівалентно виконанню поставленої бойової задачі, а ймовірність досягнення даного стану  $P_n$  буде відповідати ймовірності виконання поставленої бойової задачі.

Перехід між станами здійснюється під впливом потоку випадкових подій, які будемо

характеризувати тільки двома показниками:  $\mu$  - інтенсивністю притоку БпЛА групи в зону об'єкта застосування (далі - інтенсивність притоку) та  $\eta$  - інтенсивністю ураження БпЛА групи засобами ППО противника (далі - інтенсивність ураження).

Із урахуванням прийнятого припущення,  $\mu = \text{const}$  і  $\eta = \text{const}$ , а зміна ймовірностей перебування групи БпЛА у зазначених станах буде визначатися системою диференціальних рівнянь Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -\mu \cdot P_0 + \eta \cdot P_1 \\ \frac{dP_1}{dt} = -(\mu + \eta) \cdot P_1 + \mu \cdot P_0 + \eta \cdot P_2 \\ \frac{dP_2}{dt} = -(\mu + \eta) \cdot P_2 + \mu \cdot P_1 + \eta \cdot P_3 \\ \dots \\ \frac{dP_m}{dt} = -(\mu + \eta) \cdot P_m + \mu \cdot P_{m-1} + \eta \cdot P_{m+1} \\ \dots \\ \frac{dP_n}{dt} = -\eta \cdot P_n + \mu \cdot P_{n-1} \end{cases} \quad (2)$$

де  $P_i$  - імовірності подій, що система буде знаходитися у відповідному стані  $S_i$  ( $P_n$  - ймовірність виконання поставленого бойового завдання);  $t$  - час проведення операції від початкового значення  $t_0 = 0$  до кінцевого значення  $t_k$ , що визначає інтервал інтегрування системи рівнянь (2):  $t \in [0, t_k]$ .

Системі (2) відповідає граф станів, який наведено на рисунку 1.

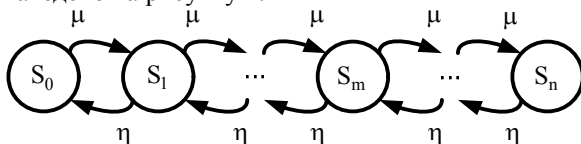


Рис. 1. Граф станів системи "група БпЛА - засоби ППО - об'єкт застосування"

В даній моделі важливим є те, що стани обрано таким чином, що вони складають повну групу подій і для будь-якого моменту часу  $t \in [0, t_k]$  є

справедливим виконання умови:  $\sum_{i=0}^n P_i = 1$ .

Слід зазначити, що моделі ймовірнісної зміни дискретних станів у безперервному часі мають значне поширення у багатьох галузях досліджень, вони є добре апробованими та достатньо вивченими.

Визначальною перевагою застосування зазначеної моделі є те, що в її рамках, завдання виконання стохастичної умови (1) буде відповідати завданню знаходження підмножини значень  $\mu$ , при яких система рівнянь (2) для деякого часового проміжку  $\Delta t$  ( $\Delta t \in [0, t_k]$ ) буде мати рішення, які будуть відповідати умові  $P_n(\Delta t) \geq P^*$ . Це дозволяє перейти від складної для врахування та аналізу стохастичної умови (1) до рівнозначної, але більш зручної для операцій детермінованої умови пошуку підмножини параметрів диференційного

рівняння, коли його рішення буде мати деякі особливості. Це вже є добре відомою задачею теорії динамічних систем, яка має багато різних за "потужністю" методів розв'язання. Слід зазначити, що застосування саме моделей ймовірнісної зміни дискретних станів у безперервному часі є одним із ефективних способів подолати складності оперування із стохастичними умовами.

Хоча система диференціальних рівнянь (2) є лінійною та стаціонарною (з постійними коефіцієнтами), але її зручне розв'язання в квадратурах існує тільки в особливих випадках при невеликих значеннях  $n$ .

На рисунках 2, 3 приведено результати інтегрування системи диференціальних рівнянь (2) для різних початкових умов та параметрів. В якості потрібного значення ймовірності  $P^*$  обрано значення 0,8.

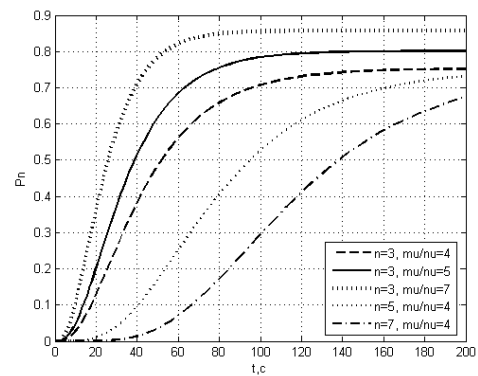


Рис. 2. Графіки залежності  $P_n(t)$  для випадку  $\mu \gg \eta$ .

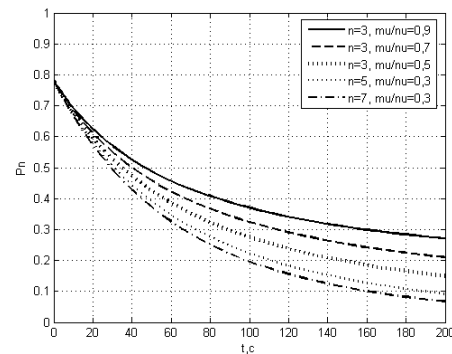


Рис. 3. Графіки залежності  $P_n(t)$  для випадку  $\mu \ll \eta$ .

Рисунок 2 ілюструє ситуацію, коли, навіть, при початковій відсутності БпЛА у зоні об'єкта ( $P_0(0) = 1$ ), висока інтенсивність притоку ( $\mu \gg \eta$ ) забезпечить виконання поставленого завдання (виконання нерівності (1)), навіть, за умови протидії ППО противника. Ця властивість зберігається при різних значеннях  $n$ , різних значеннях початкових умов  $P_i(0)$ .

Рисунок 3 відображає зміну ймовірності  $P_n$  у часі для початкової умови  $P_n(0) = 0,78$ , але для випадку, коли інтенсивність притоку є значно меншою ніж інтенсивність ураження ( $\mu \ll \eta$ ). Цей графік ілюструє ситуацію, коли у зоні об'єкта застосування і вже апріорно сконцентровано значну кількість БпЛА ( $P_n(0) = 0,78$ ), але

неприпустимо висока інтенсивність втрат обезцінює цю перевагу та не дозволяє виконати поставлене завдання (1).

Даний приклад наочно показує, що, навіть, при “хороших” початкових умовах, маленька інтенсивність притоку БПЛА у групу в умовах протидії засобів ППО противника не дозволить забезпечити виконання поставленого завдання при будь-якому автоматизованому управлінні.

Це дозволяє виділити необхідну умову створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням БПЛА: створення системи буде доцільним тільки при виконанні умови  $\mu > \eta$ , тобто, щоб інтенсивність притоку була більшою ніж інтенсивність втрат.

Це є природним обмеженням – якщо здібності засобів ППО щодо знищення БПЛА групи будуть кращі ніж здібності комплексу щодо відновлення, то не буде існувати жодної можливості забезпечити необхідний високий рівень ймовірності виконання поставленого завдання.

Зазначена умова вказує на принципово важливу властивість, яку необхідно забезпечити для того, щоб групове застосування БПЛА потенційно було результативним. Для цього необхідним є забезпечення інтенсивності притоку апаратів у групу значно більшої ніж можлива інтенсивність їх втрати внаслідок протидії засобів ППО противника.

Відомо [10], що для моделі (2) справедливим є твердження, що у випадку, коли кількість станів системи  $S$  є обмеженою і існує функціональний зв'язок між усіма станами, то дана система має граничні ймовірності станів та вони не залежать від початкових умов.

Відповідно до цього, гранична ймовірність  $P_0$  знаходження системи у стані  $S_0$  визначається через інтенсивності притоку  $\mu$ , ураження  $\eta$ , кількість апаратів, що необхідні для виконання завдання  $n$ , як

$$P_0(\mu, \eta, n) = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\eta} + \frac{\mu^2}{2!\eta^2} + \frac{\mu^3}{3!\eta^3} + \dots + \frac{\mu^n}{n!\eta^n}}, \quad (3)$$

а ймовірність, що у зоні об'єкта застосування буде знаходитися не більш ніж  $n$  апаратів групи, буде визначатися як [10]:

$$P_n(\mu, \eta, n) = \frac{\frac{\mu^n}{\eta^n}}{n! + \frac{n!\mu}{\eta} + \frac{n!\mu^2}{2!\eta^2} + \frac{n!\mu^3}{3!\eta^3} + \dots + \frac{\mu^n}{\eta^n}} \quad (4)$$

(відсутність в аргументах функції  $P_i(\dots)$  часу вказує, що це сталі значення, тобто значення при  $t \rightarrow \infty$ ).

Перевагою розгляду граничних значень ймовірностей станів є можливість виділити найбільш важливі вимоги до функціонування системи (2) без необхідності перманентного її інтегрування.

З (4) слідує, що інтенсивність притоку БПЛА, яка необхідна для досягнення бажаної ймовірності  $P^*$ , повинна відповідати рішенням відносно  $\mu$  рівняння (при  $\eta > 0$ )

$$(P^* - 1) \frac{\mu^n}{\eta^n} + \frac{n!P^* \cdot \mu^{n-1}}{(n-1)!\eta} + \dots + \frac{n!P^* \cdot \mu^3}{3!\eta^3} + \frac{n!P^* \cdot \mu^2}{2!\eta^2} + n!P^* \frac{\mu}{\eta} + n!P^* = 0. \quad (5)$$

При  $n = \text{const}$ ,  $\eta = \text{const}$  та  $P^* = \text{const}$  розв'язання відносно  $\mu$  цього алгебраїчного рівняння  $n$ -го порядку у загальному випадку можливо тільки чисельно.

На рисунку 4 приведено графіки залежності відношення  $\mu/\eta$  від  $P^*$  для обраних значень  $n$ , які отримано чисельним розв'язанням рівняння (5).

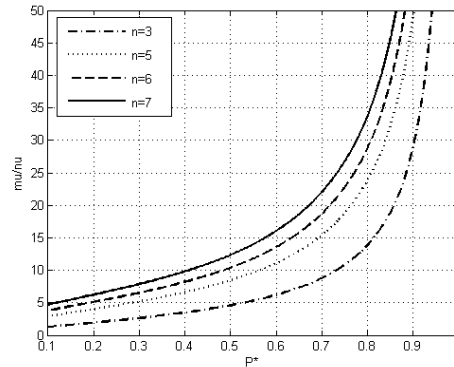


Рис.4. Графіки залежності  $\mu/\eta$  від  $P^*$  для різних значень  $n$ .

При визначенні залежності враховані лише дійсні позитивні корені рівняння (5), комплексні та негативні корені не розглядалися як такі, що не відповідають фізичному змісту задачі. Безперервність функціональної залежності (4) дозволяє вважати залежність  $\mu/\eta(P^*)$  також безперервною, принаймні, на проміжку визначення аргументу  $P^* \in ]0;1[$ . Випадки, коли аргумент буде приймати крайні значення ( $P^* = 0$ ,  $P^* = 1$ ) не є важливими у прикладному, інженерному плані, їх розгляд має виключно математичний інтерес, тому у подальшому не будуть розглядатися. З точки зору вирішення практичних питань створення системи математизованого управління групою БПЛА важливе значення має розгляд зазначеної функціональної залежності на проміжку  $P^* \in [0,5;1[$ . Забезпечення ймовірності виконання поставленого бойового завдання саме на цьому проміжку відповідає вимозі створення на базі групи БПЛА зразка високоточної зброї – кінцевої мети розробників. Це визначає прикладну важливість знайденої залежності  $\mu/\eta(P^*)$ .

Існує багато варіантів апроксимації залежності  $\mu/\eta(P^*)$ , але, на думку авторів, на проміжку  $P^* \in [0,5;1[$ , найбільш зручним є варіант апроксимації ступеневими функціями, наприклад функцією  $\mu/\eta = (P^*)^{k(n)}$ , де  $k(n)$  – коефіцієнт апроксимації, який буде залежати від  $n$ .

Рисунок 4 дозволяє у кількісній формі оцінити наскільки рівень інтенсивності притоку  $\mu$  повинен перевищувати рівень інтенсивності

ураження  $\eta$  щоб забезпечити заданий (бажаний) рівень ймовірності виконання поставленого бойового завдання  $P^*$  для фіксованих значень  $n$ .

Наприклад, якщо для виконання бойового завдання будуть потрібні 7 БПЛА у зоні об'єкта ( $n = 7$ ) і інтенсивність ураження апаратів засобами ППО складає  $\eta = 0,1c^{-1}$ , то для забезпечення ймовірності виконання завдання не менш ніж 0,8 ( $P^* \geq 0,8$ ), необхідно забезпечити інтенсивність притоку БПЛА не менш ніж  $3,5c^{-1}$ . При порушенні цієї умови група буде принципово не в змозі досягти поставлених вимог, навіть, у разі реалізації найкращого автоматизованого управління.

Якщо умова  $\mu > \eta$  є необхідною для забезпечення результативності застосування групи БПЛА в умовах протидії, то умови, що відображені на рисунку 4, є необхідними для забезпечення заданого (бажаного) рівня ймовірності виконання поставлених бойових завдань і є основою для вирішення питання про доцільність створення відповідної системи автоматизованого управління.

Слід відмітити, що залежність  $\mu/\eta$  від  $P^*$  дуже чутлива до зміни вимог до ймовірності виконання поставленого завдання. Наприклад, для  $n = 6$  при зменшенні цих вимог на 10% (з 0,8 до 0,7) необхідний рівень інтенсивності притоку апаратів зменшується більш ніж на 50% (з 30 до 18). Як наслідок, на таку частину можна зменшити і кількість БПЛА що є необхідною для виконання завдання (за припущення, що при цьому, час виконання завдання не зміниться). Цей результат чітко відповідає сутності фізичних процесів застосування групи БПЛА в умовах протидії: підвищення ймовірності виконання поставленого бойового завдання буде досягатися за рахунок можливих значних втрат апаратів групи.

Також важливим є те, що необхідна інтенсивність притоку суттєво залежить від потрібної кількості БПЛА у зоні об'єкта застосування для виконання завдання: збільшення  $n$  при  $P^* = \text{const}$  буде потребувати значного збільшення інтенсивності притоку, що також має просте пояснення: збільшення спеціалізації апаратів у групі буде потребувати їх більшої

кількості та, в умовах протидії, відповідно, можливих більших втрат.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Дослідження властивості групового застосування БПЛА в умовах протидії засобів ППО противника що проведено дозволяє зробити такі висновки:

необхідною умовою створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням БПЛА є забезпечення більшої інтенсивності відновлення чисельності групи (інтенсивності притоку) більше, ніж інтенсивність ураження апаратів засобами ППО противника (інтенсивності ураження);

необхідною умовою виконання автоматизованою системою управління груповим застосуванням БПЛА бойового завдання із бажаним рівнем ймовірності не менш ніж  $P^*$  є забезпечення інтенсивності відновлення чисельності групи (інтенсивності притоку) відповідно до залежності  $\mu/\eta(P^*)$  (рис.4);

приведені вимоги визначаються базовими інформаційно-енергетичними закономірностями предметної галузі, що розглядається, і не залежать від конкретних конструктивно-технологічних особливостей реалізації групового застосування БПЛА. Відповідно до цього, вони дозволяють апріорно формувати обрис майбутніх автоматизованих систем управління груповим застосуванням БПЛА, уточнювати технічні завдання для дослідно-конструкторських робіт щодо їх створення;

потенційні можливості використання моделей зміни дискретних станів марковських випадкових процесів для дослідження групового застосування БПЛА є значно більшими ніж тільки визначення необхідних умов створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням БПЛА. На думку авторів, перспективним є застосування зазначеного виду моделей для обґрунтування оптимального функціоналу апаратів групи, вимог до їх динамічних характеристик з позиції підвищення ефективності тощо.

### Література

1. Кононов О.А. Проблематика реализации совместного применения перспективных беспилотных авиационных комплексов / Машков О.А., Кононов О.А., Самборский И.И. // Арсенал XXI, №1-2. – К., 2008. – С. 36–41. 2. Артюшин Л.М. Методика структурного описания боевого порядка как объекта управления / Артюшин Л.М., Волошко И.И. // Повышение эффективности управления ВВС на основе применения вычислительной техники и АСУ. – Монино: ВВА им. Ю.А. Гагарина, 1987. – С. 23-31. 3. Kozlovski K.R. Robot Motion and Control. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. - 462p. 4. Asama H. Distributed Autonomous Robotic Systems 2 / Asama H., Fukuda T., Arai T., Endo I. - Springer Japan, 1996. - 442p. 5. Tsourdos A. Cooperative Path Planning of Unmanned Aerial Vehicles / Tsourdos A., White B., Shanmugavel M. - John Wiley & Sons, 2011. - 187p. 6. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / Каляев

И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 280с. 7. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде. - М.: Litres, 2017. - 413с. 8. Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр “Школа”, 2017. – 572с. 9. Артюшин Л.М. Математичний апарат багатокритеріального вибору розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів / Кириленко В.А., Артюшин Л.М., Стещенко П.М. // Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. № 1(75). – Хмельницький: Вид-во Нац. акад. ДПСУ, 2018. – С. 125-131. 10. Венцгель Е.С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения 2-е изд., стер. / Венцгель Е.С., Овчаров Л.А. – М.: Высшая школа, 2000.- 480с.

### БАЗОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУПОВЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Леонід Михайлович Артюшин (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

Алексей Анатольевич Кононов (доктор технічних наук, доцент)<sup>2</sup>

Юрій Владиславович Шморгу́н (кандидат економічних наук)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев, Украина

<sup>2</sup>Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев, Украина

<sup>3</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

В статье рассматривается актуальная научная задача создания автоматизированной системы управления групповым применением беспилотных летательных аппаратов с учетом возможности противодействия средств противовоздушной обороны. Рассматривается начальный этап реализации проекта группового применения беспилотных летательных аппаратов – этап обоснования решения на создание автоматизированной системы управления групповым применением. Определяются принципиально необходимые условия создания данных систем.

Особенностью разработанного подхода является возможность учета максимально широкого спектра условий возможного применения: единственным требованием к функционированию системы “группа беспилотных летательных аппаратов – средства противовоздушной обороны – объект применения” принимается только соответствие случайного потока событий марковским условиям. Рассмотрение только ограничений марковского случайного потока событий без учета ограничений, связанных с летно-техническими, конструктивными, динамическими особенностями аппаратов, специфику схем применения и управления, позволяют расширить полученные результаты на очень широкий круг перспективных проектов.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления групповым применением беспилотных летательных аппаратов; группа беспилотных летательных аппаратов, интенсивность потока событий; вероятность выполнения поставленного боевого задания.

## BASIC CONDITIONS FOR MAKING DECISION ON THE CREATION OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR GROUP APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Leonid Artyushin (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>

Aleksey Kononov (Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor)<sup>2</sup>

Yurii Shmorgun (Candidate of Economical Sciences)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

The article deals with the actual problem of creating an automated control system for group use of unmanned aerial vehicles under the conditions of counteraction of anti-aircraft defenses. The initial stage of the implementation of the project of group use of unmanned aerial vehicles is considered - the stage of substantiating the decision on the creation of an automated control system for group use. The fundamentally necessary conditions for the expediency of creating this system are determined.

A feature of the developed approach is the possibility of taking into account the widest possible range of conditions for possible use: the only requirement for the operation of the system “a group of unmanned aerial vehicles - anti-aircraft defense - the object of application” is accepted only according to a random stream of events with Markov conditions. Consideration of only the limitations of the Markovian random flow of events without regard to the limitations associated with the flight-technical, structural, dynamic features of the devices, the specificity of the application and control schemes allows to extend the results to a very wide range of promising projects.

**Keywords:** automated control system for group application of unmanned aerial vehicle; group of unmanned aerial vehicle; event flow rate; probability of accomplishment a combat mission.

## References

1. Kononov O.A., Mashkov O.A., Samborskiy I.I. (2008), The issue of the implementation of the joint use of promising unmanned aircraft systems. [Problematika realizatsii sovmestnogo primeneniya perspektivnykh bespilotnykh aviatsionnykh kompleksov], Arsenal XXI, No. 1-2, pp. 36–41. 2. Artyushin L.M., Voloshko I.I. (1987), Method of structural description of the combat order as a control object. [Metodika strukturnogo opisaniya boyevogo poryadka kak obyekt upravleniya], Using computer and automated control systems for increasing efficiency of the Air Force. Gagarin Air Force Academy, No. 1, pp. 23-31. 3. Kozlovski K.R. (2009), Robot Motion and Control: monograph, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 462p. 4. Asama H., Fukuda T., Arai T., Endo I. (1996), Distributed Autonomous Robotic Systems 2: monograph, Springer Japan, 442p. 5. Tsourdos A., White B., Shanmugavel M. (2011), Cooperative Path Planning of Unmanned Aerial Vehicles: monograph, John Wiley & Sons, 187p. 6. Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. (2009), Collective control models and algorithms in groups of robots: monograph. [Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniya v gruppakh robotov], FIZMATLIT, Moscow,

280p. 7. Abrosimov V.K. (2017). Group movement of intelligent aircraft in an antagonistic environment: monograph. [Grupповое dvizheniye intellektual'nykh letatel'nykh apparatov v antagonisticheskoy srede], Litres, Moscow, 413p. 8. Moiseyev V.S. (2017). Group use of unmanned aerial vehicles: monograph. [Grupповое primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov], Publishing centre “Shkola”, Kazan, 572p. 9. Artyushin L.M., Kirilenko V.A., Steshenko P.M. (2018), Mathematical apparatus of multicriteria selection of reconnaissance unmanned aircraft system. [Matematichnyi aparat bagatokriterial'nogo vyboru rozviduval'nykh bezpilotnykh aviatsionnykh kompleksiv], Collection of Scientific Articles of National Border Guard Academy of Ukraine. Part: Military and Technical Science, No. 1(75), pp. 125-131. 10. Venttsel E.S., Ovcharov L.A. (2000). Theory of random processes and its engineering applications: monograph. [Teoriya sluchaynykh protsessov i yeyo inzhenernyye prilozheniya], Vysshaya shkola, Moscow, 480p.