

Б.Ю. Наусенко¹, Я.В. Ярошенко²

¹Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

²Національний університет оборони України, Київ

УДОСКОНАЛЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ БОЙОВИМ ЗАСТОСУВАННЯМ СПІЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРУПИ ПІЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ

У статті представлена удосконалена математична модель управління бойовим застосуванням пілотованою та безпілотною авіацією під час їх спільних дій, яка враховує показники середнього часу циклу управління спільною авіаційною групою, рівня ситуаційної обізнаності командира групи, рівня ентропії координат цілі, рівня підготовки посадових осіб, що залучаються до управління бойовим польотом спільної авіаційної групи, ймовірності неподавлення системи управління спільної авіаційної групи засобами радіоелектронної боротьби противника. Під математичною моделлю розуміється опис показників ефективності управління бойовим застосуванням спільної авіаційної групи, які потрібні для підвищення ефективності виконання бойового завдання. Удосконалена математична модель дає змогу оцінювати ефективність управління бойовим застосуванням спільної авіаційної групи та може стати основою для методики оцінювання ефективності управління пілотованою та безпілотною авіацією під час їх спільних дій.

Ключові слова: пілотована авіація, безпілотна авіація, спільна авіаційна група, ефективність бойового застосування, коефіцієнт ефективності управління, ймовірність виконання завдання.

Вступ

Постановка проблеми. Темпи розвитку авіаційної техніки підштовхують керівництво збройних сил (ЗС) провідних країн світу до теоретичного обґрунтування і практичної розробки питань спільного застосування пілотованої (ПЛА) та безпілотної авіації (БПА) у єдиному бойовому порядку (БП). На сьогодні основною метою досліджень спільного застосування пілотованих та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є підвищення ефективності виконання бойових завдань та дій авіації щодо одночасного забезпечення зниження ризику втрат екіпажів і дороговартісної пілотованої авіаційної техніки (АТ) та скорочення матеріальних витрат на експлуатацію та обслуговування пілотованої АТ. Для досягнення цієї мети до виконання вказаних завдань залучаються безпілотні авіаційні комплекси (БПАК), які діють у спільних БП ПЛА і БПА. У той же час подібне спільне застосування літальних апаратів (ЛА) різного типу, класу і належності до видів ЗС є лише проміжним етапом на шляху створення спільних груп БПЛА як самостійних тактичних підрозділів, здатних діяти з високим ступенем автономності й самостійно приймати рішення з урахуванням повітряної обстановки. Тому в майбутньому виконання основних завдань авіації буде притаманно не тільки ПЛА, а здебільшого БПА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз результатів досліджень і публікацій [1...4] свідчить, що науково-практичним питанням аналізу досвіду застосування, перспектив розвитку БПЛА як елементу сучасних систем розвідки та ураження в сучасних збройних конфліктах приділяється значна увага. У той же час можна стверджувати, що в теоретичному плані існує потреба в узагальненні провідного досвіду та особливостей застосування БПЛА для виконання бойових завдань. Зокрема, спільно з пілотованою авіацією в умовах економічних складнощів та обмеженого фінансування саме масоване застосування БПЛА як суттєво дешевшої зброї, дасть змогу виконувати завдання на належному рівні. Інший важливий ефект від такого підходу – збереження життя льотного складу і дороговартісної АТ ПЛА за одночасного зниження експлуатаційних витрат.

Мета статті – запропонувати удосконалену математичну модель застосування ПЛА та БПА, яка буде враховувати показники середнього часу циклу управління спільною авіаційною групою (САГ), рівня ситуаційної обізнаності командира групи, рівня ентропії координат цілі, рівня підготовки посадових осіб, ймовірності неподавлення системи управління САГ засобами радіоелектронної боротьби противника. Під математичною моделлю розуміється опис показників ефективності управління бойовим застосуванням спільної

авіаційної групи, які потрібні для підвищення ефективності виконання бойового завдання. Модель буде давати змогу оцінювати ефективність управління бойовим застосуванням САГ та може стати основою для методики оцінювання ефективності управління ПЛА та БПА під час їх спільного бойового застосування.

Виклад основного матеріалу

Ефективність бойового застосування САГ пілотованої та безпілотної авіації, завданням якої є ураження визначеної одиночної наземної цілі, можна оцінювати за допомогою відношення показника ймовірності виконання бойового завдання САГ до показника максимальної ймовірності виконання бойового завдання САГ [5, с. 227; 6, с. 30]:

$$E_{БЗ} = \frac{P_{\text{вик. БЗ САГ}}}{P_{\text{max. вик. БЗ САГ}}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{вик. БЗ САГ}}$ – ймовірність виконання бойового завдання САГ; $P_{\text{max. вик. БЗ САГ}}$ – задана ймовірність виконання бойового завдання САГ.

Також у знаменнику відношення (1) може бути задана або потрібна ймовірність виконання завдання, $P_{\text{н. вик. БЗ САГ}}$. Відповідно до [7, с. 44] для звичайних цілей потрібна ймовірність ураження цілі складає – $P_{\text{н. вик. БЗ САГ}} \geq 0,8$, для особливо важливих – $P_{\text{н. вик. БЗ САГ}} \geq 0,95$.

Відповідно до виразу (1) ймовірність $P_{\text{потр. вик. БЗ САГ}}$ залежить від ймовірностей виконання бойового завдання групами тактичного призначення

$$P_{\text{н. вик. БЗ САГ}} = \prod_{i=1}^N P_{\text{вик. БЗ}_i}, \quad (2)$$

де $P_{\text{вик. БЗ}_i}$ – ймовірність виконання бойового завдання i -ю групою тактичного призначення зі складу САГ; N – кількість груп тактичного призначення у складі САГ.

Ймовірність виконання i -ю групою тактичного призначення завдання визначається ймовірністю виконання етапів бойового польоту [5, с. 227; 8, розд. 2.1.4]

$$P_{\text{вик. БЗ}_i} = P_{\text{зл}} \cdot P_{\text{под. ППО}} \cdot P_{\text{вияв. ц.}} \cdot P_{\text{ур}} \cdot P_{\text{пов}} \cdot P_{\text{пос}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{зл}}$ – ймовірність виконання зльоту та польоту в район виконання бойового завдання; $P_{\text{под. ППО}}$ – ймовірність подолання ППО; $P_{\text{вияв. цілі}}$ – ймовірність виявлення цілі; $P_{\text{ур}}$ – ймовірність ураження цілі; $P_{\text{пов}}$ – ймовірність подолання ППО

на зворотному шляху і польоту в район аеродрому; $P_{\text{пос}}$ – ймовірність посадки.

На кожному етапі бойового польоту САГ здійснюється управління визначеними посадовими особами. Від ефективності управління буде залежати ймовірність виконання етапів бойового польоту. Тому під час оцінювання ефективності бойового застосування САГ слід враховувати не тільки показник ймовірності виконання бойового завдання, а й показник ефективності управління САГ:

$$E_{БЗ} = \frac{P_{\text{вик. БЗ САГ}}}{P_{\text{max. вик. БЗ САГ}}} \cdot K_{\text{упр}}, \quad (4)$$

де $K_{\text{упр}}$ – коефіцієнт управління бойовим польотом САГ.

Для оцінювання ефективності бойового застосування САГ по груповій цілі доцільно застосовувати відношення показника математичного сподівання кількості уражених елементарних цілей до показника кількості втрачених повітряних суден [5, с. 227; 6, с. 30]:

$$E_{БЗ} = \frac{M_{\text{кільк. ур. ц. САГ}}}{N_{\text{втр}}} \cdot K_{\text{упр}}, \quad (5)$$

де $M_{\text{кільк. ур. ц. САГ}}$ – математичне сподівання кількості уражених цілей САГ; $N_{\text{втр}}$ – кількість втрачених повітряних суден.

Ефективність управління пілотованою та безпілотною авіацією під час їх спільного бойового застосування оцінюється на основі певної сукупності показників ефективності управління, які характеризують вимоги до управління, це – оперативність, якість, стійкість, безперервність та скритність [9, с. 87]. Найскладнішим етапом управління САГ є бойовий політ, розглянемо показники, за якими оцінюється ефективність бойового польоту САГ. Узагальненим показником ефективності управління є коефіцієнт управління ($K_{\text{упр}}$).

Частковими показниками ефективності управління бойовим польотом САГ доцільно вважати оперативність управління, тобто час циклу управління від моменту отримання бойового завдання до завершення аналізу виконаного завдання та якості управління, яка залежить від показників: ситуаційної обізнаності осіб, що приймають рішення (в роботі розглядатимемо ситуаційну обізнаність командира групи); ймовірності неподавлення системи управління засобами РЕБ противника; ентропії координат цілі; рівня підготовки посадових осіб, що залучаються до управління бойовим польотом САГ. Показники стійкості, безперервності та скритності винесемо

в обмеження, тому що під час бойового польоту, у разі втрати або виходу з ладу наземних або повітряних пунктів управління, командири груп тактичного призначення здійснюють управління та взаємодію між групами тактичного призначення в повітрі. Вважатимемо що під час бойового польоту радіообмін обмежений та, у разі виходу в ефір, використовуються кодовані карти та сигнали. Математична модель управління бойовим порядком у групі тактичного призначення детально розглянута в [10, 11]. Отже, ефективність управління бойовим польотом є функція, яка залежить від коефіцієнтів оперативності та якості:

$$K_{упр} = f(K_{оп}, K_{як}), \quad (6)$$

де $K_{упр}$ – коефіцієнт ефективності управління бойовим польотом САГ; $K_{оп}$ – коефіцієнт оперативності управління бойовим польотом САГ; $K_{як}$ – коефіцієнт якості управління бойовим польотом САГ.

Коефіцієнт ефективності управління пропонується розраховувати за допомогою виразу

$$K_{упр} = K_{оп} \cdot K_{як} \quad (7)$$

Під час визначення $K_{оп}$ вважається, що час циклу управління від моменту отримання бойового завдання до моменту завершення аналізу результатів його виконання не перевищить заданий вищим органом військового управління час циклу управління.

Оперативність управління можна оцінювати співвідношенням [9, с. 104]

$$K_{оп} = \Phi \cdot \left[\frac{6(t_{зад} - t_{ЦУ})}{t_{\max ЦУ} - t_{\min ЦУ}} \right], \quad (8)$$

де Φ – рівняння Лапласа; $t_{\max ЦУ}$ – максимальна тривалість циклу управління САГ; $t_{\min ЦУ}$ – мінімальна тривалість циклу управління САГ; $t_{зад}$ – заданий час циклу управління САГ.

Високої оперативності управління досягають при $t_{ЦУ} \rightarrow t_{\min ЦУ}$, цикл управління вважається прийнятним при умові $t_{ЦУ} \leq t_{зад}$, відповідно до цього $K_{оп} \rightarrow \max$ [9, с. 104].

Тривалість циклу управління САГ можна представити у вигляді сукупності часових показників: часу планування і підготовки бойового польоту САГ, часу бойового польоту, часу аналізу виконаного завдання

$$t_{ЦУ} = t_{план. БП САГ} + t_{БП САГ} + t_{ан. завд.} \quad (9)$$

де $t_{план. БП САГ}$ – час, необхідний на планування і підготовку бойового польоту САГ, хв.; $t_{БП САГ}$ – час, необхідний на виконання бойового польоту

САГ, хв.; $t_{ан. завд.}$ – час, необхідний на аналіз виконаного завдання, хв.

Під якістю управління бойовим польотом розуміється те, що командир групи САГ, на основі інформації, яка циркулює в системі управління, приймає рішення щодо застосування АЗУ. Якість цього рішення залежить від рівня його ситуаційної обізнаності, рівня ентропії координат цілі, ймовірності неподавлення системи управління засобами РЕБ противника, а також від рівня підготовки посадових осіб, що здійснюють управління бойовим польотом САГ.

$$K_{як} = K_{ситу. об.} \cdot K_{ен. к. ц.} \cdot K_{п. о/с} \cdot K_{неп. РЕБ}, \quad (10)$$

де $K_{ситу. об.}$ – коефіцієнт ситуаційної обізнаності командира групи САГ; $K_{ен. к. ц.}$ – коефіцієнт ентропії координати цілі; $K_{п. о/с}$ – коефіцієнт підготовки посадових осіб, що залучаються до управління бойовим польотом САГ; $K_{неп. РЕБ}$ – ймовірність неподавлення системи управління САГ засобами РЕБ противника.

Отже, логічним є те, що якщо командир групи, навіть маючи повну інформацію про ціль (ситуаційно обізнаний), має низький рівень особистої підготовки, то ймовірність того, що він прийме правильне рішення зменшується.

Оскільки максимальна ефективність досягається при максимальних значеннях показників оцінювання ефективності управління, показник якості управління повинен прагнути досягти максимуму $K_{як} \rightarrow \max$.

Для прийняття раціонального рішення необхідно визначити показник ситуаційної обізнаності особи, що приймає рішення. Такий показник доцільно визначити співвідношенням кількості інформації про ціль, повітряну та наземну обстановку в районі виконання завдання, яка є на момент прийняття рішення командиром групи, $I_{ц}$ до загальної кількості інформації в системі управління, яка має відношення до прийняття рішення, $I_{\Sigma СУ}$ [12, розд. 1.1]:

$$K_{ситу. об.} = \frac{I_{ц}}{I_{\Sigma СУ}}. \quad (11)$$

Для визначення кількості інформації, яка передається від джерела до користувача, необхідно звернутися до теорії інформації [12...15]. Кількісна оцінка інформації пов'язана з поняттям інформаційної ентропії, яка є мірою невизначеності, непрогнозованості ситуації. Зменшення інформаційної ентропії, що відбулось завдяки деякому повідомленню, точно збігається з

кількістю інформації, яка міститься в цьому повідомленні.

Отже, кількість інформації про цілі, яка надходить до користувача, визначається за формулою

$$I_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n H_{i_{\text{ц}}}, \quad (12)$$

де $H_{i_{\text{ц}}}$ – ентропія i -го джерела інформації про цілі.

Відповідно загальна кількість інформації в системі управління САГ визначається за формулою

$$I_{\Sigma CV} = \sum_{i=1}^n H_i, \quad (13)$$

де H_i – ентропія i -го джерела інформації про наземні й повітряні цілі та обстановку в районі виконання завдання.

Для дискретного джерела інформації ентропія визначається за таким виразом

$$H_i = -\sum_{i=1}^m p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i), \quad (14)$$

де x_i – значення безумовних ймовірностей $p(x_i)$ виникнення символів $x_i, i=1, 2, 3, \dots, m$ на його виході.

Зазначимо, що H не залежить від того, якими є випадкові події або величини (якщо x_i – випадкова величина), а визначається тільки значеннями ймовірностей. Це означає, що ентропія є характеристикою розподілу ймовірностей подій або значень.

Значення H показує, яку кількість інформації в середньому дає поява одного символу на виході дискретного джерела інформації. Оскільки для ударної групи основною інформацією є координати цілі, то прийемо, що поява координат цілі є поява одного символу на виході з джерела інформації.

Основа логарифма у виразі (14) дорівнює двом, тому одиницями вимірювання H_i , а також кількості інформації є біти або двійкові одиниці. Зазначимо, що біти є умовними величинами, які призначені для проведення моделювання об'єму інформації, що передається.

Припустимо, що отримання інформації користувачем від джерела є рівноймовірною подією, тоді ймовірність її отримання буде дорівнювати відношенню одиниці до кількості джерел, від яких отримує інформацію користувач, і буде залежати від варіанта побудови СУ бойовим польотом. Ентропія дискретного розподілу ймовірностей завжди невід'ємна і набуває максимального значення $H_{\max}$, коли всі $p(x_i)$ мають однакові значення.

Коефіцієнт ентропії координати цілі розраховується як відношення ентропії координати цілі при виявленні їх i -м джерелом інформації, включеним у систему управління (наприклад,

БПЛА, ПАН, засіб розвідки) до ентропії координати цілі при виключеній системі управління, тобто цілі знаходяться в певному районі, який обмежений колом радіусом, наприклад, 100 м, та джерела інформації, які забезпечують систему управління, не впливають на її виявлення:

$$K_{\text{ентр кц}} = \frac{H(x, y)_i}{H(x, y)_0}, \quad (15)$$

де $H(x, y)_i$ – ентропія координати цілі при виявленні їх i -м джерелом інформації, включеним у систему управління; $H(x, y)_0$ – ентропія координати цілі при виключеній системі управління.

Звідси, ентропія координати цілі при виявленні їх i -м джерелом інформації, включеним у систему управління, та ентропія координати цілі при виключеній системі управління визначається за формулами:

$$H(x, y)_i = \log_2(\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi e}) + \log_2(\sigma_y \cdot \sqrt{2\pi e}), \quad (16)$$

де σ_x, σ_y – середньоквадратичне відхилення координат цілі відповідно до нормального закону розподілу випадкової величини при виявленні їх i -м джерелом інформації, включеним у систему управління;

$$H(x, y)_0 = \log_2(\sigma_{x0} \cdot \sqrt{2\pi e}) + \log_2(\sigma_{y0} \cdot \sqrt{2\pi e}), \quad (17)$$

де σ_{x0}, σ_{y0} – середньоквадратичне відхилення координат цілі відповідно до нормального закону розподілу випадкової величини при виключеній системі управління.

Даний коефіцієнт показує рівень ентропії координат цілі залежно від джерела інформації, що їх визначає, його технічних характеристик та дає змогу спрогнозувати точність виявлення координат цілі від джерел інформації, які включені або забезпечують систему управління САГ.

Показник ймовірності неподавлення СУ бойовим польотом САГ засобами РЕБ противника можна визначити як:

$$P_{\text{неп. РЕБ}} = 1 - P_{\text{вл. РЕБ}}, \quad (18)$$

де $P_{\text{вл. РЕБ}}$ – ймовірність впливу засобів РЕБ противника на систему управління бойовим польотом САГ.

Під час бойового польоту на систему управління САГ противник може здійснювати вплив засобами РЕБ. Перешкоди можуть впливати на канали управління, канали навігації, канали зв'язку та канали радіолокації. Цей вплив може бути як комплексний, так і спрямований на подавлення певної складової СУ, може призводити до повної або часткової втрати інформації в системі управління та, в свою чергу, до зниження якості управління. Тому доцільно показник ймовірності

впливу засобів РЕБ противника розраховувати за формулою

$$P_{\text{впл. РЕБ}} = \prod_{j=1}^k P_{\text{под. к. н.}} \cdot P_{\text{под. к. упр.}} \cdot P_{\text{под. к. зв.}} \cdot P_{\text{под. к. РЛ}}, \quad (19)$$

де $P_{\text{под. к. н.}}$ – ймовірність подавлення каналу навігації засобами РЕБ противника; $P_{\text{под. к. упр.}}$ – ймовірність подавлення каналу управління засобами РЕБ противника; $P_{\text{под. к. зв.}}$ – ймовірність подавлення каналу зв'язку засобами РЕБ противника; $P_{\text{под. к. РЛ}}$ – ймовірність подавлення каналу радіолокації засобами РЕБ противника.

Методика визначення коефіцієнту підготовки особового складу, що залучається до управління бойовим застосуванням САГ, розглянута в [16].

Відповідно до формул (8) і (10) коефіцієнт управління визначається за формулою

$$K_{\text{упр}} = \Phi \cdot \left[\frac{6(t_{\text{зад}} - t_{\text{ЦУ}})}{t_{\text{max ЦУ}} - t_{\text{min ЦУ}}} \right] \cdot K_{\text{сум.об.}} \cdot K_{\text{ен.к.ц.}} \cdot K_{\text{н.о/с}} \cdot K_{\text{неп. РЕБ}}. \quad (20)$$

Логічним буде твердження, що якщо показник ефективності управління застосуванням прагне до максимуму $K_{\text{упр}} \rightarrow \max$, то ефективність бойового застосування також буде підвищуватись $E_{\text{БЗ}} \uparrow$ та

прагнути до певного максимально можливого значення $E_{\text{БЗ}} \rightarrow \max$.

Висновки

Удосконалена математична модель управління пілотованою та безпіотною авіацією під час їх спільного бойового застосування в операціях сил оборони, на відміну від існуючих, враховує показники середнього циклу управління САГ, рівня ситуаційної обізнаності командира групи, рівня ентропії координат цілі, рівня підготовки посадових осіб, що залучаються до управління бойовим польотом САГ, ймовірності неподавлення системи управління САГ засобами РЕБ противника. Удосконалена математична модель дає змогу оцінювати ефективність управління бойовим польотом САГ та може стати основою для методики оцінювання ефективності управління пілотованою та безпіотною авіацією під час їх спільного бойового застосування.

Подальші дослідження доцільно проводити щодо забезпечення стійкості та безперервності управління САГ, зокрема підвищення автономності управління САГ, тобто коли командир групи управляє спільними БП з повітря без впливу наземних пунктів управління авіації, а також дослідження питань управління БпЛА з борту пілотованого літака.

Список літератури

1. Artyushin L.M., Solov'ev V.I. Performance monitoring for joint operation by a group of moving objects / Kibernetika i Vychislitel'naya Tekhnika, 1987, pp. 67-70.
2. Артюшин Л.М., Кононов О.А., Герасименко В.В., Наусенко Б.Ю. Метод вибору варіанта реалізації групового застосування безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2022. № 2 (44). С. 10-20. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-44-2-10-20>.
3. Артюшин Л., Кононов О., Шморгун Ю. Базові умови прийняття рішення щодо створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2019. № 2 (35). С. 49-54. DOI: [10.33099/2311-7249/2019-35-2-49-54](https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-35-2-49-54).
4. Kharchenko O.V., Artushin L.M., Kononov O.A. Prospects for the joint use of unmanned aerial vehicles. 36. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2022. № 18 (25). С. 7-13 DOI: [10.54858/dndia.2022-18-1](https://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-1).
5. Улещенко О. А., Храшевський Р. В. Ефективність бойового застосування авіації. Київ: НАОУ, 2007. 460 с.
6. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Вид. офіц. Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2016. – 49 с.
7. Тактика бомбардувальної авіації. Ч. 1. Основи тактики підрозділів бомбардувальної авіації: навч. посіб. / О.Б. Котов та ін. Харків: ХНУПС, 2018. – 164 с.
8. Герасименко О. І. Тактика авіації Повітряних Сил. Навчальний посібник. Київ: НАУ, 2006. – 134 с. URL: <https://studfile.net/preview/5376215/>. (дата звернення: 10.05.2023).
9. Загорка О.М., Корєцький А.А., Павліковський А.К., Загорка І.О. Теоретичні основи управління угрупованням військ (сил) у сучасних умовах збройної боротьби: монографія / за заг. ред. І. С. Руснака. Київ: НУОУ, 2020. – 248 с.
10. Артюшин Л. М., Лобанов А. А., Герасименко В. В. Математична модель побудови бойового порядку спільної авіаційної групи пілотованої та безпіотної авіації. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2021. № 2(41). С. 23-30. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-41-2-23-30>.
11. Герасименко В. В., Артюшин Л. М., Єрко В. О., Наусенко Б. Ю. Дослідження процесів керування авіаційними бойовими порядками різних структур. Social Development and Security: Journal of Scientific Papers. 2021. Vol. 11, No. 5. P. 221–234. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.21>.
12. Жураковський Ю. П., Гніліцький В. В. Теорія інформації та кодування в задачах: навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2002. – 230 с.

13. Каліновський Д. О., Осієвський С. В., Дзюба І. В. Розробка моделі прийняття рішення з використанням гнучких методологій. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2022. № 3 (45). С. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-45-3-11-16>.

14. Теорія прийняття рішень підручник. / за заг. ред. Бутка М.П. Київ: “Центр учбової літератури”, 2015. 360 с.

15. Волошин О. Ф., Машенко С. О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2010. – 336 с.

16. Ярошенко Я. В. Удосконалена часткова методика оцінювання рівня підготовки посадових осіб, що залучаються до управління бойовим польотом спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони 2023. № 2(47). С. 48–54. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-47-2-48-54>.

Надійшла до редколегії 04.12.2023

Схвалена до друку 20.12.2023

Відомості про авторів:

Наусенко Богдан Юрійович

ад'юнкт
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7208-1116>

Ярошенко Ярослав Віталійович

ад'юнкт
інституту авіації та протиповітряної оборони
Національного університету оборони України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8651-4920>

Information about the authors:

Bohdan Nausenko

PhD student
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7208-1116>

Yaroslav Yaroshenko

PhD student
of Aviation and Air Defence Institute
of National Defence University of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8651-4920>

**IMPROVED MATHEMATICAL MODEL MANAGEMENT
OF THE COMBAT APPLYING OF THE JOINT AVIATION GROUP
OF MANNED AND UNMANNED AVIATION**

B. Nausenko, Y. Yaroshenko

The rate of development of aviation technology pushes the leadership of the armed forces of the leading countries of the world to theoretical justification and practical development of the issues of joint usage of manned and unmanned aircraft in a single combat order. Today, the main goal of research into the joint usage of manned and unmanned aerial vehicles is to increase the effectiveness of combat missions and aviation actions in order to simultaneously ensure the reduction of the risk of loss of crews and expensive manned aircraft and reduce the material costs for the operation and maintenance of manned aircraft. To achieve this goal, unmanned aviation complexes operating in joint battle formations of manned and unmanned aviation are involved in the performance of the specified tasks. The analysis of the results of research and publications shows that significant attention is paid to the scientific and practical issues of analyzing the experience of application, prospects for the development of unmanned aerial vehicles as an element of modern intelligence and defeat systems in modern armed conflicts. At the same time, it can be argued that, theoretically, there is a need to generalize the leading experience and features of the usage of unmanned aerial vehicles to solve combat tasks, in particular together with manned aviation. in the conditions of economic difficulties and limited funding of the armed forces of Ukraine, it is the massive usage of unmanned aerial vehicles, as a significantly cheaper weapon, that will allow the task to be performed at the appropriate level.

The article presents an improved mathematical model for managing the combat use of manned and unmanned aircraft during their joint actions, which takes into account the indicators of the average time of the management cycle of a joint aviation group, the level of situational awareness of the group commander, the level of entropy of target coordinates, the level of training of officials involved in management combat flight of the joint aviation group, the probability of failure to suppress the control system of the joint aviation group by means of the enemy's electronic warfare. A mathematical model is a description of the indicators of the effectiveness of managing the combat use of a joint aviation group, which are needed to improve the effectiveness of the combat mission. The improved mathematical model allows to evaluate the effectiveness of managing the combat use of a joint aviation group and can become the basis for the methodology for evaluating the effectiveness of managing manned and unmanned aircraft during their joint combat use.

Keywords: manned aviation, unmanned aviation, joint aviation group, effectiveness of combat usage, coefficient of effectiveness of management, probability of completion of the task.