

DOI 10.33099/2618-1614-2021-17-4-34-43

УДК: 355.469:623.746

**В. В. Коваль,***кандидат військових наук, старший науковий співробітник, заступник начальника Генерального штабу Збройних Сил України, полковник,***Л. М. Артюшин,***доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут авіації України,***Б. Й. Семон,***доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-методичного центру організації наукової та науково-технічної діяльності, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,***А. А. Лобанов,***доктор військових наук, професор, професор кафедри стратегії національної безпеки і оборони, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,***В. В. Герасименко,***кандидат військових наук, докторант науково-методичного центру організації наукової та науково-технічної діяльності, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського*

## Підходи до формулювання стратегії управління спільними бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації

У статті наведені підходи до формулювання стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації для подальшої централізації управління ними. Реалізація методологічного апарату дасть змогу обґрунтувати нові закономірності, принципи й тактичні прийоми спільного застосування пілотованої та безпілотної авіації, підходи до управління спільними бойовими порядками, які складатимуть основу для формулювання стратегії управління спільними бойовими порядками, та надати рекомендації щодо централізації управління під час застосування спільних авіаційних груп.

**Ключові слова:** пілотована та безпілотно авіація, спільний бойовий порядок, спільне застосування, математичне моделювання, стратегія управління, централізація управління.

© В. В. Коваль, Л. М. Артюшин, Б. Й. Семон, А. А. Лобанов, В. В. Герасименко, 2021

У сучасному світі збройне протидія характеризується рішучістю в досягненні поставлених цілей збройної боротьби, що забезпечується, як правило, масованим застосуванням авіації. Разом з тим, істотно зросла питома вага безпілотної авіації в досягненні у взаємодії з пілотованою авіацією визначених спільних цілей, тобто об'єктивно виникає проблема забезпечення централізованого одночасного управління пілотованою та безпілотною авіацією [1, 2] (рис. 1).

Водночас процеси такого спільного застосування теоретично і практично малодосліджені та є предметом інтелектуальної власності держав-розробників.

Спільне застосування пілотованої та безпілотної авіації, іншими словами, концепція *Loyal wingman*, бере свій початок від 1936 р., коли капітан-лейтенант військово-морського флоту США Делмар С. Фарней [3, 4] висловив ідею застосовувати безпілотної літальний апарат-торпедоносець (рис. 2), керований по радіо з борту пілотованого літака (рис. 3) спеціально призначеним оператором, для ураження морських цілей військово-морського флоту Японії в Тихому океані, забезпечуючи тим самим безпеку пілотованих літаків від ураження засобами протиповітряної оборони, розташованими на кораблях противника.

Ця ідея була реалізована лише в 1944 р., а ефективність бойового застосування безпілотної літальних апаратів (БПЛА) для ураження морських цілей на відстані 20...30 км становила 0,42 і була визнана фахівцями як доволі висока. Але через технічну складність серійного виробництва проекту він був згорнутий. До спільного застосування пілотованої та безпілотної авіації повернулись у 50-х рр. ХХ ст., і до наших днів воно постійно набуває нового змісту [5–11].

Підвищення ефективності застосування авіаційного озброєння, збереження життя льотного складу, ураження об'єктів у режимі *online*, економічна привабливість цього способу виконання бойових завдань, з одного боку, та організаційні, управлінські й технічні складнощі реалізації цієї ідеї, з другого боку, змушували науковців, державне та військово керівництво провідних країн світу шукати шляхи та способи втілення цієї ідеї в життя. Але бойове застосування як пілотованої, так і безпілотної авіації вимагає різних підходів до управління бойовими порядками пілотованої авіації [12] та бойовими порядками безпілотної авіації [13]. Отже, потреба в централізації управління бойовим порядком спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації під час виконання завдань і відсутність методологічного апарату централізації управління таким бойовим порядком через відмінності у стратегіях управління пілотованою та безпілотною авіацією породжують актуальну наукову проблему щодо розроблення стратегії управління спільним бойовим порядком пілотованої та безпілотної авіації. А розмаїття умов, способів, завдань, тактичних прийомів під час спільного бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації потребують урахування шляхом синтезу



Рис. 1. Реалізація концепції Loyal wingman між ведучими пілотованими літаками F-35 та веденими безпілотними літальними апаратами Kratos UTAР-22 Mako, керованих штучним інтелектом системи Skyborg [2]

стратегій управління пілотованої та безпілотної авіації, що й зумовлює актуальність дослідження.

Отже, метою статті є визначення та опис підходів до формулювання стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації для подальшої централізації управління ними.

Для розв'язання вказаної проблеми потрібно визначитися зі складовими, які стануть основою стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп. Згідно із [14, 15] стратегія – це генеральний план дій, який визначає пріоритети стратегічних завдань, ресурси і послідовність кроків для досягнення стратегічних цілей. Спираючись на наведене визначення, у [16] розділені поняття стратегічного плану та стратегії, під якою розуміють модель дій, набір певних правил і принципів, використання котрих має забезпечити досягнення бажаних результатів.

Для формулювання стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп потрібно визначитися з: ресурсами, застосування яких слід здійснити раціональним складом, завданнями, котрі мають бути досягнуті за допомогою цих ресурсів, а також певною послідовністю виконання завдання. Під ресурсом розумітимемо спільну авіаційну групу пілотованої та безпілотної авіації, яку потрібно сформулювати [17]. У подальшому здійснимо пошук раціонального складу бойового порядку спільної авіаційної групи, управління яким здійснюватиметься для виконання певного завдання [18]. Пошук певної доцільної послідовності здійснимо за допомогою математичної моделі функціонування бойового порядку спільної авіаційної групи на всіх етапах бойового польоту [19]. У результаті моделювання будуть виявлені нові закономірності бойового застосування спільних авіаційних груп, на підставі яких будуть розроблені принципи, правила, що становитимуть основу формулювання стратегії управління спільними бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації.

Для розкриття логіки дослідження в статті використовується така термінологія:



Рис. 2. Безпілотний літак Interstate TDR-1 (Photo: US Navy)



Рис. 3. Пілотований літак з оператором управління ВПЛА Grumman TBF-3 (Photo: US Navy)

- пілотована авіація – літальні апарати, пілотовані людиною (льотчиком), яка перебуває на борту літального апарату;
- безпілотна авіація – літальні апарати, пілотовані людиною (зовнішнім пілотом), яка перебуває поза бортом безпілотної літального апарату;
- бойовий порядок авіації – взаємне розташування літальних апаратів (груп тактичного призначення) в повітрі для виконання спільного бойового завдання;
- управління бойовим порядком – процес передачі керуючих команд витримування параметрів бойового порядку з пункту управління на борт літального апарату;
- спільний бойовий порядок – бойовий порядок пілотованих та безпілотної літальних апаратів для виконання спільного бойового завдання;
- спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації – група пілотованих та безпілотної літальних апаратів, утворена для виконання спільного бойового завдання;
- стратегія управління бойовим порядком пілотованої авіації – це загальна модель дій, набір певних закономірностей, принципів і правил, використання яких повинне забезпечити досягнення бажаної мети застосування бойового порядку пілотованої авіації;
- стратегія управління бойовим порядком безпілотної авіації – це загальна модель дій, набір певних закономірностей, принципів і правил, використання яких повинне забезпечити досягнення бажаної мети застосування бойового порядку безпілотної авіації.

Результатом синтезу стратегій управління бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації буде стратегія управління спільним бойовим порядком пілотованих та безпілотної літальних апаратів, що, по суті, являє собою загальну модель дій, набір певних закономірностей, принципів і правил, використання яких має забезпечити досягнення бажаної мети застосування бойового порядку спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації.

**Методи дослідження.** Для досягнення визначених цілей використовуватимемо такі наукові теорії, закони й методи дослідження:

- системний підхід – для розчленування проблеми на низку задач, що розв’язуються незалежно одна від одної;
- класична механіка твердих тіл та динаміка польоту – для опису конфігурацій складних механічних систем, для опису руху системи елементів із заданою конфігурацією;
- складні системи та управління – для змістовного, конкретного та конструктивного опису бойового порядку як об’єкта управління конфігурацією складної механічної системи та існуючих інформаційних аспектів;
- пряма та обернена задачі динаміки керованих механічних систем – для пошуку керуючих сил, що забезпечують рух системи матеріальних точок із заданою конфігурацією, зумовленою метою руху системи;
- теорія стратегічного планування – для формулювання стратегії управління спільними бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації.

### Виклад основного матеріалу

**Формування спільного бойового порядку.** За результатами пошуку оптимальної конфігурації складної механічної системи, тобто спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації [17], як одиницю ресурсу обрано тактичний авіаційний підрозділ найбільш раціонального складу – ланка, в бойовому порядку – клин (рис. 4), для нашого випадку – спільна авіаційна група у складі клину ланки пілотованих літаків та клину ланок безпілотної авіації [18].

Розглянемо три рівні ієрархічної структури для пілотованої авіації: система – ланка, підсистема – пара, елемент – літальний апарат; для безпілотної авіації: система – ескадрилья, підсистема – ланка, елемент – літальний апарат. У такому складі для безпілотної авіації неподільною підсистемою є ланка. Ланки можуть виконувати різні завдання, отже, і характер зв’язків управління між ланками може змінитися. Тому для відображення зв’язків управління елементами системи ( $i$ ) формуються матриці структур підсистем (1) для кожної з ланок безпілотної літальних апаратів – чотирьох підсистем  $E_1, E_2, E_3, E_4$ ,

$$S_i = \begin{bmatrix} S_1 & S_{12}^{(i)} & S_{13}^{(i)} & S_{14}^{(i)} \\ S_{21}^{(i)} & S_2 & S_{23}^{(i)} & S_{24}^{(i)} \\ S_{31}^{(i)} & S_{32}^{(i)} & S_3 & S_{34}^{(i)} \\ S_{41}^{(i)} & S_{42}^{(i)} & S_{43}^{(i)} & S_4 \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

у якій кожен елемент системи має властивий йому внутрішній закон руху.

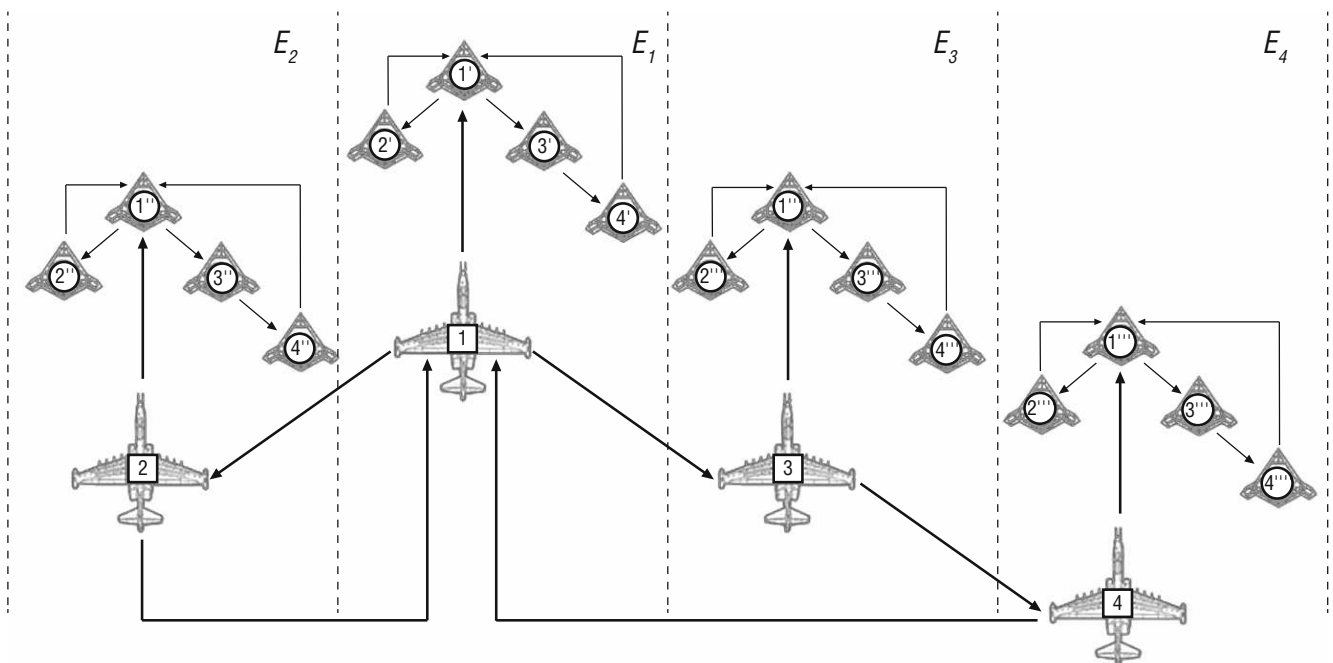


Рис. 4. Бойовий порядок ланки пілотованої авіації (1,2,3,4) – клин; безпілотної авіації (' , ' ' , ' ' ' , ' ' ' ' ) – клин ланок [18]

Тоді, повторивши всі операції, що проводяться вище стосовно ланки, для системи загалом отримаємо оперативного-структурне перетворення всього бойового порядку – клин ланок. Рівняння зв'язків системи одержуються формально з використанням матричного алгоритму. При цьому ступінь деталізації структури бойового порядку визначається з міркувань тактики дії підрозділу під час виконання бойового завдання самостійно або у складі більших формувань. Зміна опису системи відповідно до перебудови її структури здійснюється переконструюванням матриць зв'язку (1). Причому, маючи на увазі реалізацію такого порядку в системі управління, ці матриці можуть бути або визначені заздалегідь і відповідати множині можливих режимів (різної конфігурації строю під час виконання різних завдань) системи, або змінюватись у процесі роботи у функції деяких заданих параметрів [18].

**Управління спільним бойовим порядком.** У рамках розроблюваної стратегії управління бойовим порядком спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації, з урахуванням сучасних уявлень про елементи поля управління [10, 20], єдине інформаційно-управлінське поле (ЄІУП), у якому функціонує бойовий порядок спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації, описується як багаторівнева ієрархічна система, що об'єднує два компоненти:

- квазістаціонарний компонент, що генерує незмінні дані в процесі діяльності спільної авіаційної групи;
- нестаціонарний (просторово-часовий) компонент, на виході якого є інформація, що безперервно оновлюється із часом з урахуванням зміни просторового положення джерел і споживачів інформації ЄІУП у процесі виконання цільового завдання спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації. Структура перелічених вище компонентів наведена на *рисунках 5 і 6*.

Квазістаціонарний компонент ЄІУП охоплює незмінні в процесі виконання бойового завдання характеристики штучних (створюваних глобальними супутниковими навігаційними системами GPS/GALILEO) і природних (магнітного, гравітаційного, поверхневого, оптичного, теплового, радіолокаційно-контрастного) навігаційних полів; метеорологічну, картографічну інформацію, просторово-енергетичні цифрові моделі фонові обстановки (для стаціонарних цілей).

Джерелами вказаної інформації є угруповання розвідувальних штучних супутників Землі (ШСЗ) і повітряні засоби розвідки, дані яких надходять до наземних пунктів прийому розвідувальної інформації та після їх попередньої обробки й аналізу прямують у наземний командний пункт, де накопичуються в структурах відповідних інтегрованих баз даних і використовуються для цілей планування діяльності спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації та їх оперативної підтримки в процесі виконання бойових завдань.

Нестаціонарний (просторово-часовий) компонент ЄІУП об'єднує оновлювану в процесі діяльності авіаційної групи інформацію, яку зручніше представити у вигляді ієрархічно впорядкованих блоків (локальних ЄІУП):

- локальне ЄІУП конкретного театру воєнних дій, сформоване космічними, авіаційними пілотованими і безпілотними засобами навігації спостереження і розвідки (глобальні супутникові навігаційні системи GPS/GALILEO та їхні функціональні космічні й регіональні елементи, літаки дальнього радіолокаційного виявлення та управління, висотні пілотовані і безпілотні літаки-розвідники тощо);
- локальне ЄІУП, що безпосередньо підтримує виконання бойового завдання спільної авіаційної групи. Структурні параметри цього локального ЄІУП залежать

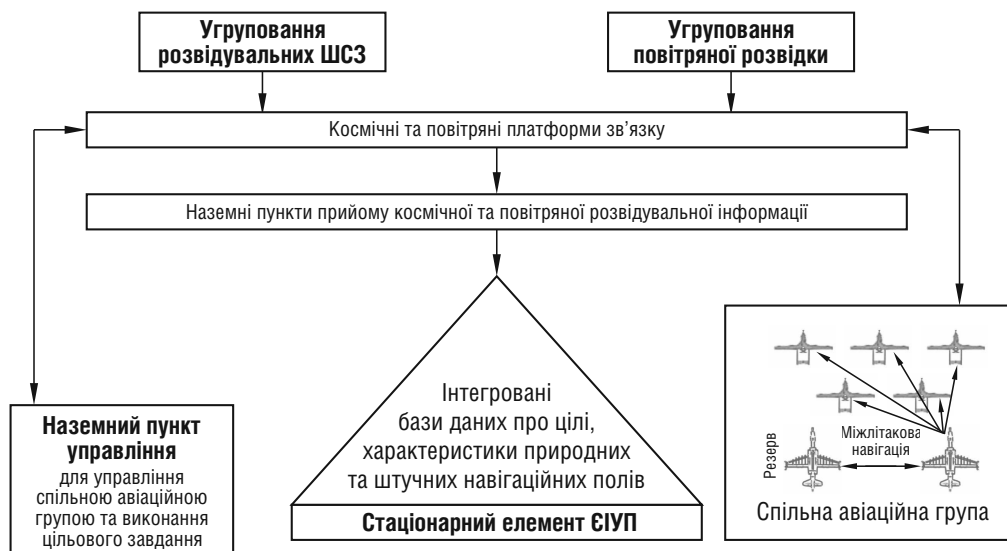


Рис. 5. Структура квазістаціонарного компонента ЄІУП

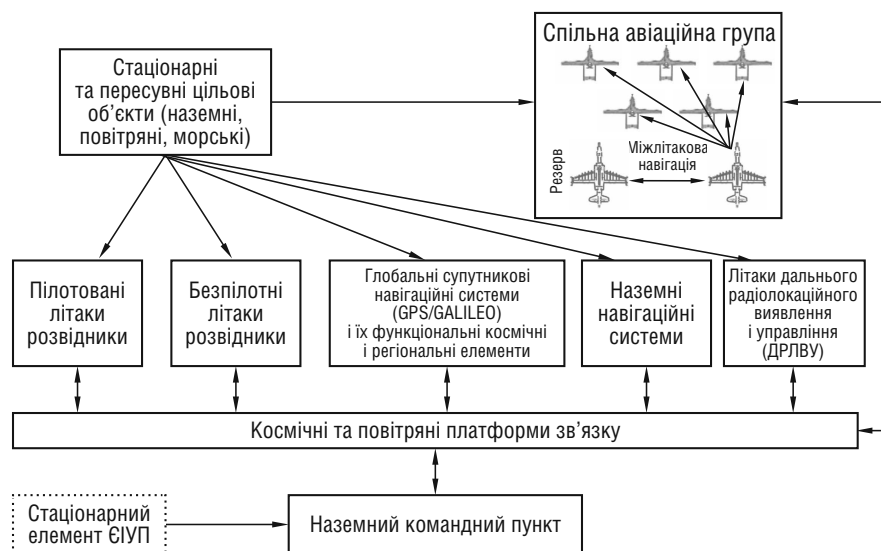


Рис. 6. Структура нестационарного компоненту ЄІУП

від конкретного бойового завдання, окремого етапу його виконання, способу бойових дій, характеристик засобів ураження літальних апаратів спільної авіаційної групи, типу і складу взаємодіючих сил і засобів. Вигляд зазначеного локального ЄІУП має формуватися на етапі планування виконання бойового завдання і підготовки польотних завдань для літальних апаратів, задіяних у виконанні завдань.

При вирішенні завдання забезпечення заданого відносного положення літаків у бойовому порядку, управління яким відбувається у створеному ЄІУП, природним представляється розкрити питання опису їх спільного руху. Причому прийняте уявлення руху в основному

визначить особливості відповідної системи управління. Вдалий вибір системи координат на цьому попередньому етапі дає істотні переваги на всіх наступних етапах виконання завдання.

Незалежно від причин відхилення параметрів бойового порядку від програмних, неузгодженість, що виникає, усувається за рахунок зміни режиму польоту ведених літаків. Це основний аргумент, що впливає із сутності процесу, на користь організації управління маневруванням літаків у бойовому порядку в траєкторній системі координат  $O_i X_k Y_k Z_k$ , пов'язаний з  $i$ -м веденим безпілотним літаком (рис. 7).

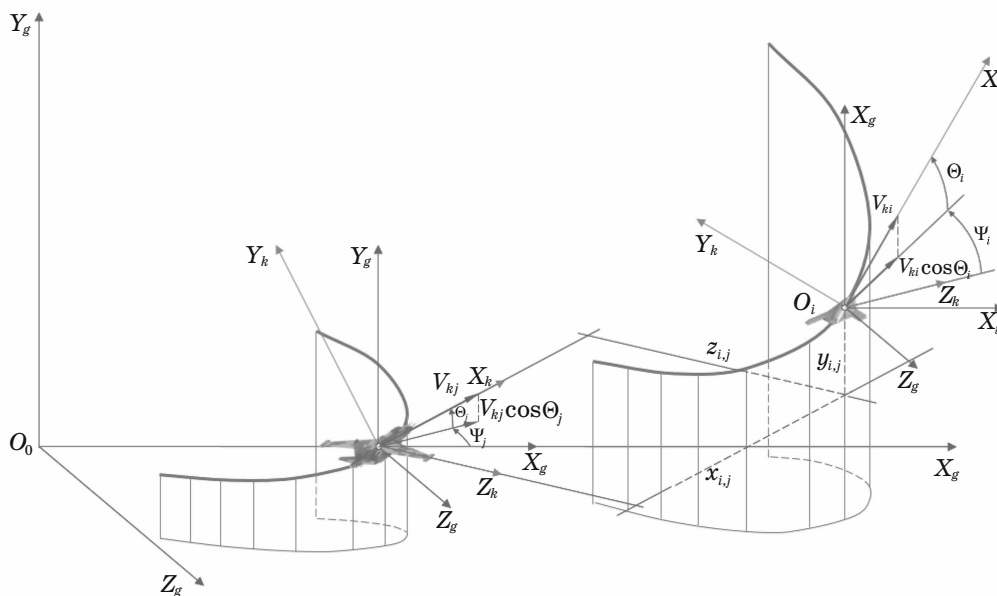


Рис. 7. Схема сил на маневрі, що діють на пілотований літак ведучого та ведений безпілотний літак відносно траєкторної системи координат веденого [19]

Як скоро ведений літак оцінює стан ведучого у «своїй» системі координат і відповідно до цього здійснює рух, процес організації управління маневруванням літаків у бойовому порядку позбавлений труднощів, пов'язаних з додатковими перетвореннями координат. Крім того, інформація про швидкість ведучого літака дає змогу контролювати траєкторію руху веденого літака.

Формування на борту веденого літака необхідних значень керуючих функцій забезпечує ув'язку розв'язання задачі управління рухом літаків у бойовому порядку з практикою групового маневрування, відповідно до якої саме ведені літаки виконують необхідні для витримування заданого бойового порядку маневри. Використання траєкторної системи координат веденого пов'язане з необхідністю передачі додаткової інформації з ведучого пілотованого літака на ведений безпілотний літальний апарат або заданих значень керуючих функцій, або інформації про кутове положення і швидкості польоту ведучого літака [12, 19].

**Математична модель функціонування бойового порядку спільної авіаційної групи.** Складність структури процесів та взаємозв'язків між моделями математичного опису етапів функціонування бойового порядку може бути представлена множиною часткових моделей, які утворюють банк моделей [19]. Рівняння відносного руху в обраній системі координат (2) покладені в основу алгоритмів управління відносним рухом літальних апаратів і є суттєвою складовою математичної моделі бойового порядку спільної авіаційної групи:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= a_{ix} - \dot{V}_j + \ddot{\theta}_j y - \ddot{\psi}_j z \cos \theta_j - \frac{1}{2} \dot{\psi}_j^2 y \sin 2\theta_j - \\ &- \dot{\psi}_j \dot{\theta}_j z \sin \theta_j + \dot{\psi}_j^2 x \cos^2 \theta_j + \dot{\theta}_j^2 x - 2\dot{\psi}_j z \cos \theta_j + 2\dot{\theta}_j y; \\ \ddot{y} &= a_{iy} - \dot{\theta}_j \dot{V}_j + \ddot{\theta}_j x + \ddot{\psi}_j z \sin \theta_j - \frac{1}{2} \dot{\psi}_j^2 x \sin 2\theta_j - \\ &- \dot{\psi}_j \dot{\theta}_j z \cos \theta_j + \dot{\psi}_j y \sin^2 \theta_j + \dot{\theta}_j^2 y - 2\dot{\theta}_j^2 x + 2\dot{\psi}_j z \sin \theta_j; \\ \ddot{z} &= a_{iz} - \dot{\psi}_j \dot{V}_j \cos \theta_j - \ddot{\psi}_j y \sin \theta_j + \ddot{\psi}_j x \cos \theta_j - \\ &- \dot{\psi}_j \dot{\theta}_j z \sin \theta_j - \dot{\psi}_j \dot{\theta}_j y \cos \theta_j + \dot{\psi}_j^2 z - 2\dot{\psi}_j y \sin \theta_j + 2\dot{\psi}_j x \cos \theta_j, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $i, j$  – ведений та ведучий літальні апарати відповідно;  $x, y, z$  – координати  $i, j$  літальних апаратів відносно осей  $Oxyz$ ;

$a_{ix}, a_{iy}, a_{iz}$  – відносні прискорення веденого літального апарату як матеріальної точки відносно осей  $Oxyz$ ;

$V_j$  – поточна швидкість ведучого літального апарату;

$\theta_j$  – поточний тангаж ведучого літального апарату;

$\psi_j$  – поточний курс ведучого літального апарату.

Вихідним положенням для побудови системи моделей є множина цілей, для досягнення яких формується бойовий порядок спільної авіаційної групи. Таким чином, першою базовою моделлю бойового порядку спільної авіаційної групи вважатимемо модель динамічної опера-

ції, що здійснюється для досягнення визначеної цілі із загальної множини цілей.

Для заданої послідовності цілей, яких необхідно досягти, будується відповідна послідовність динамічних операцій, що розглядаються як деяка цільова структура, тобто пакет операцій для досягнення конкретних цілей. Моделі динамічних операцій описують функціональну динаміку бойового порядку спільної авіаційної групи, що в загальному вигляді описується в математичній моделі функціонування бойового порядку спільної авіаційної групи з урахуванням обстановки. Другою базовою моделлю бойового порядку спільної авіаційної групи є модель структури бойового порядку, що представлена у класі відносин «частина – ціле» [18, 19].

Положеннями класичної теорії управління, що описують управління бойовим порядком спільної авіаційної групи геометрично визначеною сукупністю рухомих тіл, неможливо відобразити ієрархічність управління та координацію взаємодії в групі пілотованих та безпілотних літальних апаратів, а також ввести в модель відповідну категорію цілей для бойового порядку взагалі та декомпованих підцілей для кожного окремого пілотованого чи безпілотного літального апарату. Дана задача може бути розв'язана в разі застосування підходу та апарату логіко-динамічних моделей (ЛДМ) та теорії логіко-динамічних систем [21, 22].

Задача синтезу ЛДМ полягає в поєднанні розділених станів елементів бойового порядку спільної авіаційної групи у вихідній моделі в сукупність структурних станів (режимів), причому кожен елемент бойового порядку в кожному структурному стані розглядається як незалежний, такий, що функціонує самостійно.

Моделювання кожного зі станів полягає в об'єднанні низки режимів, що характеризуються постійним значенням аеродинамічних характеристик пілотованих та безпілотних літальних апаратів залежно від значення функцій предикат змінних  $M$  та  $H$ . При такій характеристиці режиму польоту літального апарату коефіцієнти, що входять до логічних рівнянь моделі, представляються у вигляді

$$Z_n(H, M) = \sum_{n=1}^N L_{nm}(H, M) K_{nm}, \quad (3)$$

де  $Z_n(H, M)$  – мета (завдання) функціонування літального апарату, як функція предикат дійсних змінних  $M$  та  $H$ ;  $L_{nm}(H, M)$  – логічні змінні, що є функціями предикат дійсних змінних  $M$  та  $H$ ;  $H, M$  – змінні, що входять до формул визначення аеродинамічних характеристик пілотованих та безпілотних літальних апаратів залежно від мети функціонування  $Z_n$ ;  $K_{nm}$  – значення відповідних коефіцієнтів при  $H$  та  $M$  (залежать від типу літального апарату та режиму польоту);  $n$  – номер пілотованого або безпілотного літального апарату в бойовому порядку;  $m$  – номер режиму.

Відповідно до такого підходу модель виконання бойового завдання спільною авіаційною групою пілотованої

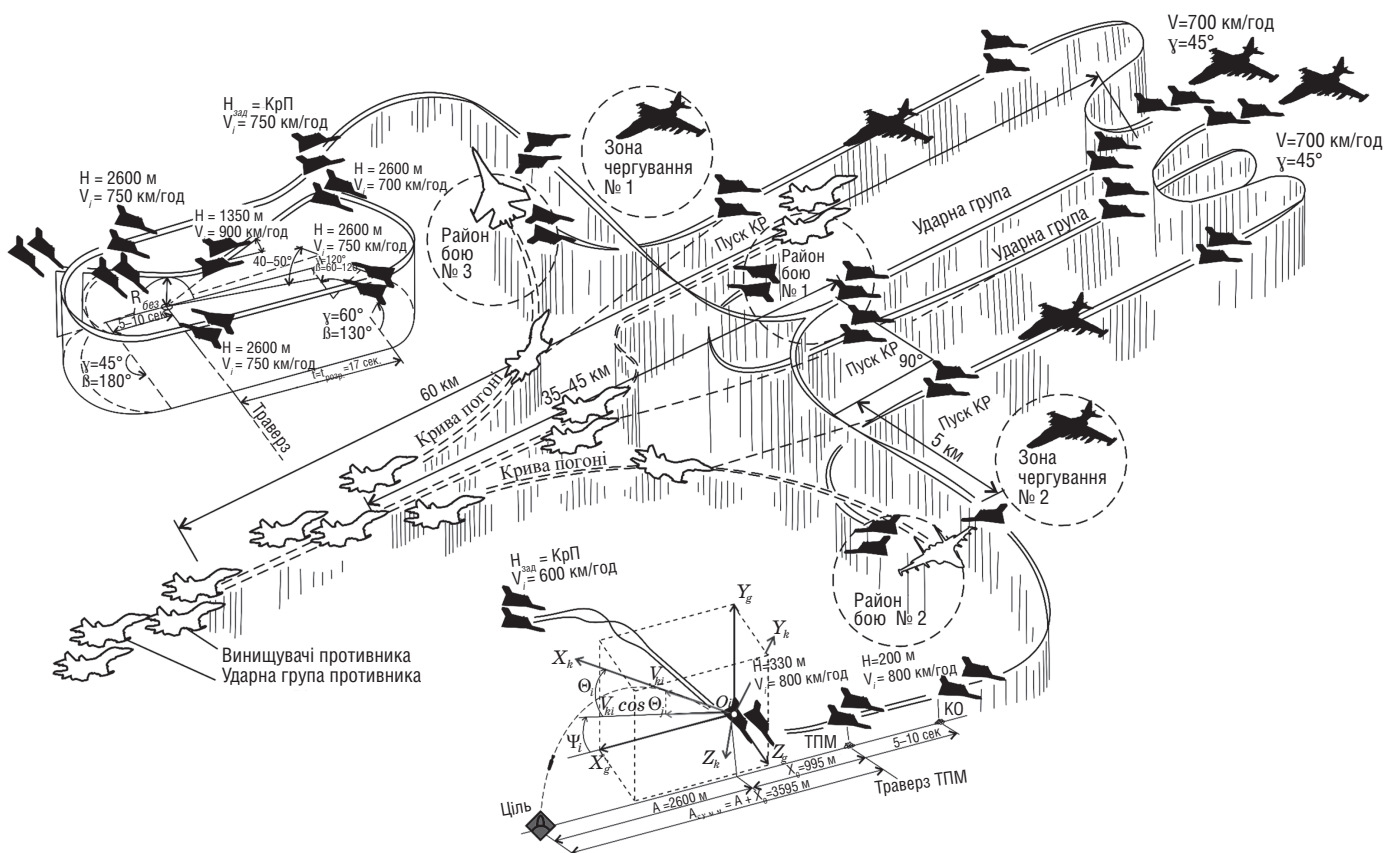


Рис. 8. Модель виконання бойового завдання спільною авіаційною групою на різних етапах польоту (варіант)

та безпілотної авіації розбивається на низку етапів (рис. 8): зліт; збір у повітрі та побудова бойового порядку спільної авіаційної групи; політ у район виконання завдання; виконання завдання; повернення на аеродром посадки; розпуск бойового порядку та захід на посадку; посадка [23].

Кожен з етапів бойового польоту містить виконання одного або декількох визначених маневрів з відповідною схемою сил в опорних точках для кожного маневру [24, 25]. Моделювання кожного зі станів полягає в об'єднанні низки режимів, що характеризуються постійним значенням аеродинамічних характеристик пілотованих та безпілотових літальних апаратів для кожного маневру, причому траєкторія руху на маневрі задається законом змінення перевантаження за відповідними осями [26].

Наведений на рисунку 8 варіант подрібнення моделі виконання бойової задачі групою пілотованих та безпілотових літальних апаратів на етапи є основою логічної частини моделювання. Логічними операціями відбувається «зшивання» режимів у стани, станів – у маневри тощо. На рисунку 9 представлена структурно-логічна схема виконання бойової задачі пілотованою та безпілотною авіацією.

Узагальнюючи наведене, а також використовуючи результати і позначення [19], представимо на рисунку 10 узагальнену логіко-математичну модель бойового порядку спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної

авіації, що містить моделі пілотованих і безпілотових літальних апаратів ( $Q$ ) та систем управління ними ( $S$ ), структурну та логічну частину з вхідними ( $x$ ) та вихідними ( $y$ ) станами пілотованих та безпілотових літальних апаратів у бойовому порядку, а також кількість станів бойового порядку ( $'$ ), що змінюються в межах від 1 до  $n$ .

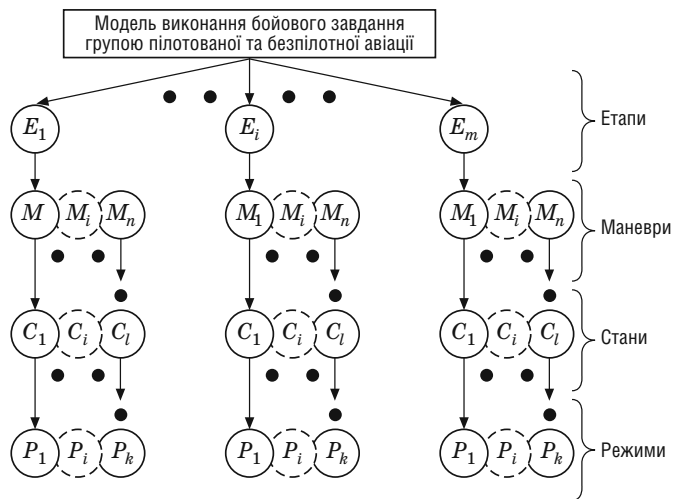


Рис. 9. Структурно-логічна схема виконання завдання групою пілотованої та безпілотної авіації [19]

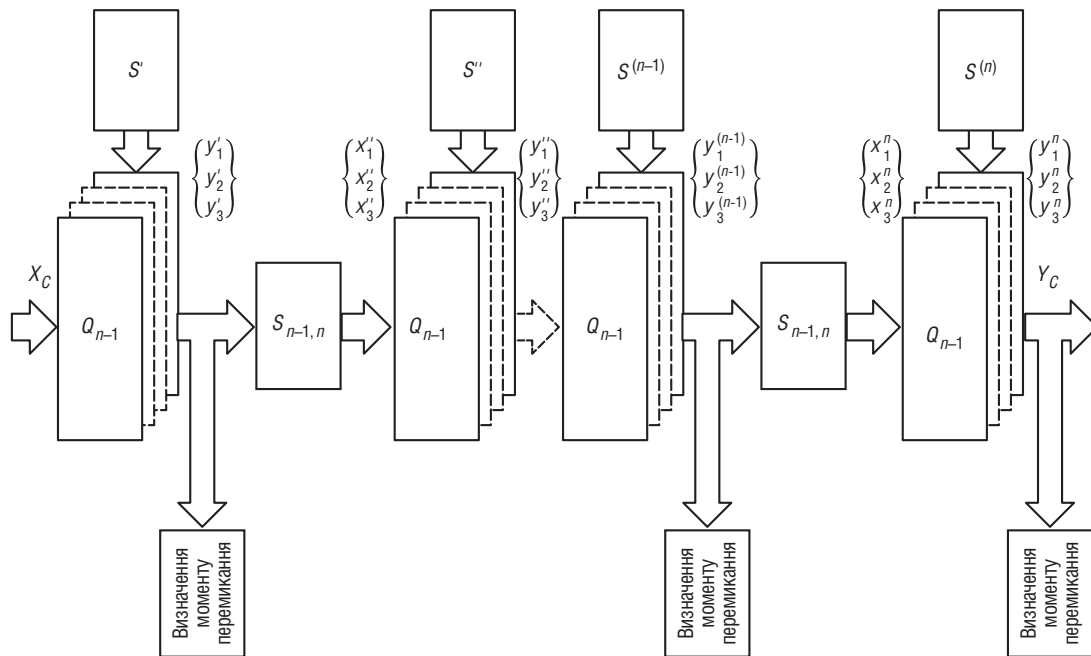


Рис. 10. Структурна та логічна частини узагальненої логіко-математичної моделі бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації [19]

Зміст задачі дослідження передбачає використання достатньо повної нелінійної моделі динаміки польоту без розділення руху на повздовжній та боковий, а рівняння динаміки польоту можуть бути прийняті відповідно до [27, 28]. При цьому приймаються такі припущення: літальний апарат розглядається як тверде тіло (матеріальна точка); політ виконується над плоскою Землею, що не обертається; центробіжні моменти інерції дорівнюють 0; тяга двигунів спрямована вздовж повздовжньої осі літального апарату. Таким чином, на базі запропонованої системи моделей можливе дослідження процесів управління та бойового застосування спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації для подальшого обґрунтування виявлених закономірностей, принципів і тактичних прийомів для формування стратегії управління бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації.

**Висновки**

Підсумовуючи, можна сказати, що системи вищих порядків, як-от спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації [17], за аналогією з підсистемами  $E_i$  (рис. 4), конфігурації (структури) яких мають нові властивості, мають власний спосіб дії (закон руху), що залежить не лише від способів дії систем першого порядку, а й від структури взаємозв'язків елементів різних підсистем першого порядку, що врешті-решт є проявом емерджентності. Ці зв'язки відображаються в матрицях структур елементів підсистем (1) [18].

Таким чином, рух системи вищого порядку з використанням (2), математична модель якої наведена у [19], можна описати системою рівнянь руху системи елементів у заданій конфігурації:

$$\begin{cases} \bar{X} = S_{\bar{X}\bar{X}}\bar{X} + S_{\bar{X}Y}\bar{Y} + S_{\bar{X}\bar{X}_c}\bar{X}_c + S_{\bar{X}Y_c}\bar{Y}_c \\ \bar{Y}_c = S_{Y_c\bar{X}}\bar{X} + S_{Y_c\bar{Y}}\bar{Y} + S_{Y_c\bar{X}_c}\bar{X}_c + S_{Y_cY_c}\bar{Y}_c, \\ \bar{Y} = T\bar{X} \end{cases} \quad (4)$$

де  $\bar{X}$  та  $\bar{Y}$  – початковий стан входів та виходів усіх елементів системи, які є наявним ресурсом;  
 $\bar{X}_c$  та  $\bar{Y}_c$  – вхід та вихід системи;  
 $S_{\bar{X}Y}$  – матриця структури зв'язків елементів системи, що дає змогу одержати раціональну структуру бойового порядку спільної авіаційної групи;  
 $T$  – матриця способів дій елементів системи, що дає можливість одержати раціональну послідовність дій під час виконання завдання.

Рішення системи рівнянь (4) лежить в основі формулювання та конкретизації стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації.

Реалізація одержаних за результатами моделювання оптимізаційних процедур сприятиме створенню інформаційного середовища, що дасть змогу здійснити управління спільними бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації, яка є складовою синтезу стратегії управління бойовими порядками спільних авіаційних груп, та звузити область пошуку раціональних структур бойових порядків пілотованої та безпілотної авіації для виконання поставленого завдання. Проведення складних обчислень під час синтезу логіко-динамічних моделей різних етапів польоту в банку моделей з використанням штучних нейронних мереж дасть змогу пришвидшити й раціоналізувати процес прийняття рішень під час



управління спільними авіаційними групами пілотованої та безпілотної авіації та підвищити ефективність їхнього спільного застосування.

Подальші дослідження, спрямовані на конкретизацію динамічних характеристик літальних апаратів у бойових порядках спільних авіаційних груп згідно з Курсами бойової підготовки родів авіації за всіма етапами польоту в різних умовах обстановки та одержання нових закономірностей спільного застосування пілотованої та безпілотної авіації, які будуть покладені в основу нових чи вдосконалених принципів, тактичних прийомів спільного бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації, синтезу стратегії управління бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації, проводитимуться із залученням математичного апарату асоціативних правил, теорії нечіткої логіки та штучних нейронних мереж.

### Перелік літератури

1. Reim G. Skyborg autonomy 'brain' flies for first time aboard Kratos UTAР-22 UAV [Електронний ресурс] / G. Reim // FlightGlobal. – Режим доступу : <https://www.flightglobal.com/military-uavs/skyborg-autonomy-brain-flies-for-first-time-aboard-kratos-utap-22-uav/143635.article>.
2. Raytheon тестує програму управління ведених БПЛА [Електронний ресурс] // Мілітарний. – Режим доступу : <https://mil.in.ua/uk/news/raytheon-testuye-programu-upravlinnya-vedenyh-bpla>.
3. Fahrney D. S. The History of Pilotless Aircraft and Guided Missiles / D. S. Fahrney ; US Navy Department, Bureau of Aeronautics. – [Washington] : BuAer, 1958. – 2768 p.
4. Chandler K. F. Drone Flight and Failure: the United States' Secret Trials, Experiments and Operations in Unmanning, 1936-1973 / K. F. Chandler [Електронний ресурс] : a dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Rhetoric and the Designated Emphasis in New Media / Chandler Katherine Fehr ; University of California. – Berkeley, 2014. – vi, 145 p. – Режим доступу : <https://escholarship.org/uc/item/0fg216f7>.
5. Robertson J. Systems theoretic process analysis applied to manned-unmanned teaming [Електронний ресурс] : a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Aeronautics and Astronautics / Jeremiah Robertson ; MIT. – Massachusetts, 2019. – xi, 149 p. – Режим доступу : <http://sunnyday.mit.edu/Jeremiah-thesis.pdf>.
6. Strenzke R. Cooperation of human and artificial intelligence on the planning and execution of manned-unmanned teaming missions in the military helicopters domain: concept, requirements, design, validation [Електронний ресурс] : a dissertation submitted to obtain the academic degree of doctoral engineer / Ruben Strenzke ; Bundeswehr University Munich. – Munich, 2019. – XVI, 202 p. – Режим доступу : <https://athene-forschung.unibw.de/doc/130865/130865.pdf>.
7. Autonomous Horizons [Електронний ресурс] : System Autonomy in the Air Force – A Path to the Future. Volume 1 : Human Autonomy Teaming : AF/ST TR 15-01 / Office of the USAF Chief Scientist // Official United States Air Force Website. – Режим доступу : <https://www.af.mil/Portals/1/documents/SECAF/AutonomousHorizons.pdf?timestamp=1435068339702>.
8. Zacharias G. L. Autonomous Horizons [Електронний ресурс]. Volume 2 : The Way Forward / G. L. Zacharias ; Office of the USAF Chief Scientist. – Maxwell AFB, Alabama : Air University Press, 2019. – xxix, 388 p. – Режим доступу : [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/b\\_0155\\_zacharias\\_autonomous\\_horizons.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/b_0155_zacharias_autonomous_horizons.pdf).
9. Symbiotic Autonomous Systems [Електронний ресурс] : White Paper III / S. Boschert, T. Coughlin, M. Ferraris and oth. ; ed. by T. Cavrac // IEEE Digital Reality. – Режим доступу : [https://digitalreality.ieee.org/images/files/pdf/1SAS\\_WP3\\_No\\_v2019.pdf](https://digitalreality.ieee.org/images/files/pdf/1SAS_WP3_No_v2019.pdf).
10. Евдокименков В. Н. Управление смешанными группами пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов в условиях единого информационно-управляющего поля / В. Н. Евдокименков, М. Н. Красильщиков, С. Д. Оркин. – М. : МАИ, 2015. – 272 с.
11. Стрельников Д. Совместное применение пилотируемой и беспилотной авиации США в первой половине XXI века / Д. Стрельников, А. Сидоров, Ю. Мгимов // Зарубежное военное обозрение. – 2018. – № 4. – С. 52-59.
12. Тарасов В. Г. Межсамолетная навигация / В. Г. Тарасов. – М. : Машиностроение, 1980. – 184 с.
13. Про затвердження правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України [Електронний ресурс] : наказ Міністерства оборони України № 661 від 8 грудня 2016 р. // Верховна Рада України. Законодавство України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0031-17>.
14. Гордієнко П. Л. Стратегічний аналіз : навч. посіб. / П. Л. Гордієнко. – К. : Алерга, 2006. – 404 с.
15. Управление организацией : учебник / под ред. А. Поршнева, З. Румянцевой, Н. Саломатина. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 735 с.
16. Свистович М. Б. Сутність та основні поняття стратегічного планування [Електронний ресурс] / М. Б. Свистович // Державне управління: теорія та практика. – 2013. – № 2. – С. 37-43. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Dutp\\_2013\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Dutp_2013_2_6).
17. Артюшин Л. М. Метод формування спільної авіаційної групи [Електронний ресурс] / Л. М. Артюшин, В. В. Герасименко, В. В. Коваль // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2021. – № 1 (40). – С. 63-68. – Режим доступу : <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-63-68>.
18. Артюшин Л. Синтез раціональних структур бойових порядків спільних авіаційних груп [Електронний ресурс] / Л. Артюшин, В. Герасименко, В. Коваль // Соціальний розвиток та безпека. – 2021. – № 3 (11). – С. 209-220. – Режим доступу : <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.3.20>.
19. Артюшин Л. Математична модель побудови бойового порядку спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації [Електронний ресурс] / Л. Артюшин, А. Лобанов, В. Герасименко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2021. – № 2 (41). – С. 23-30. – Режим доступу : <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-41-2-23-30>.
20. Carpenter T. R. Command and Control of Joint Air Operations through Mission Command [Електронний ресурс] / T. R. Carpenter // Air&Space Power Journal. – 2016. – № 2 (30). – С. 48-64. – Режим доступу : [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-30\\_Issue-2/F-Carpenter.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-30_Issue-2/F-Carpenter.pdf).

21. *Жук К. Д.* Исследование структуры и моделирование логико-динамических систем / К. Д. Жук, А. А. Тимченко, Т. И. Доленко – К. : Наукова думка, 1975. – 197 с.

22. *Жук К. Д.* Автоматизированное проектирование логико-динамических систем / К. Д. Жук, А. А. Тимченко – К. : Наукова думка, 1981. – 320 с.

23. Про затвердження правил виконання польотів державної авіації України [Електронний ресурс] : наказ Міністерства оборони України № 2 від 5 січня 2015 р. // Верховна Рада України. Законодавство України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0082-15#Text>.

24. *Крюков Н. П.* Методом опорных точек / Н. П. Крюков, М. А. Кремень // Авиация и космонавтика. – 1983. – № 6. – С. 26.

25. *Крюков Н. П.* Методом опорных точек / Н. П. Крюков, М. А. Кремень // Авиация и космонавтика. – 1983. – № 7. – С. 28–29.

26. *Лебедь В. Г.* Аерогідрогазодинаміка. / В. Г. Лебедь, Ю. І. Миргород, Є. О. Українець – Харків : ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011. – 415 с.

27. *Немешілов Ю. О.* Моделі систем управління літальними апаратами та методи експериментальних досліджень : навч. посібн. / Ю. О. Немешілов. – Харків : Нац. аерокосмічн. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2019. – 160 с.

28. *Силков В. И.* Динамика полета и боевого маневрирования летательных аппаратов. Часть 2. Устойчивость и управляемость. Учебное пособие / В. И. Силков – К. : КВВАИУ, 1984. – 318 с.