

УДК: 355:45

DOI: 10.33099/2311-7249/2025-54-3-163-171

ПЕРМЯКОВ Олександр Юрійович,

доктор технічних наук, професор,
Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<http://orcid.org/0000-0002-2206-3761>

КІЛЬМЕНІНОВ Олексій Анатолійович,

кандидат технічних наук,
Національний університет оборони України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2193-9725>

ЧОПА Дмитро Анатолійович,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Національний університет оборони України,
<https://orcid.org/0000-0003-3267-1645>

ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ В ІМІТАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ JCATS

У сучасних умовах безпілотні системи (авіаційні, наземні, морські) набувають статусу основних засобів розвідки, вогневого ураження, логістики та інших видів підтримки. Зазначені класи озброєння та військової техніки постійно вдосконалюються, розробляються і приймаються на озброєння нові зразки, проводиться модернізація та удосконалення існуючих. Створення окремого роду військ – Сил безпілотних систем, формування бригад, полків, окремих батальйонів ставлять перед дослідниками досить складні завдання щодо оцінювання ефективності застосування не тільки окремих зразків безпілотних систем, а й підрозділів безпілотних систем в цілому. Одним із можливих шляхів вирішення цих завдань є використання системи імітаційного моделювання JCATS як інструмента, за допомогою якого можливо отримати кількісні значення показників ефективності застосування підрозділів безпілотних систем за результатами моделювання процесів їх функціонування в імітаційному середовищі. **Метою** статті є розгляд основ моделювання дій підрозділів безпілотних систем в імітаційному середовищі JCATS для подальшого оцінювання ефективності їх застосування за результатами моделювання.

Методи дослідження. Під час написання статті застосовано такі методи: аналіз, синтез, спостереження, експеримент, опис. Зазначені методи досліджень дали змогу визначити методичний підхід щодо моделювання дій підрозділів безпілотних систем, який враховує особливості процесів функціонування зазначених підрозділів в імітаційному середовищі та отримувати показники, які дають змогу оцінювати ефективність застосування цих підрозділів за результатами моделювання в системі імітаційного моделювання JCATS.

Отримані результати дослідження. Авторами статті запропонований методичний підхід щодо оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних систем за результатами моделювання їх дій в складі загальновійськового підрозділу (угруповання). Обґрунтована доцільність проведення оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних систем за результатами моделювання процесів їх застосування в імітаційному середовищі через порівняння розрахункових статичного та динамічного бойових потенціалів угруповання військ із результатами моделювання процесів їх застосування. Обґрунтовано доцільність введення до існуючого математичного апарату розрахунку бойових потенціалів запропонований авторами статті інтегральний коефіцієнт, який характеризує ступінь реалізації розрахованого статичного бойового потенціалу підрозділу безпілотних систем під час виконання бойових завдань загальновійськовим угрупованням військ в конкретний момент часу.

Елементом наукової новизни є те, що запропонований підхід забезпечить проведення досліджень з питань оцінювання ефективності застосування перспективних підрозділів безпілотних систем за результатами моделювання процесів їх функціонування з використанням можливостей системи імітаційного моделювання JCATS.

Теоретична та практична значущість статті. Зазначений підхід може бути реалізований під час проведення досліджень форм і способів застосування підрозділів безпілотних систем, визначення їх раціонального складу для виконання бойових завдань. Отримані результати дослідження забезпечать: можливість використання системи імітаційного моделювання JCATS в якості полігону для проведення досліджень застосування підрозділів безпілотних систем, визначення форм і способів їх застосування на тактичному та оперативному рівнях.

Ключові слова: ефективність застосування, безпілотні системи (комплекси), система імітаційного моделювання, ситуаційна обізнаність.

Вступ

З початку повномасштабної війни російської федерації проти України важливого значення набув розвиток безпілотних систем (далі – БпС), характерною рисою якого є масове застосування зазначеного класу озброєння обома сторонами. Ця тенденція обумовлює необхідність активізації досліджень, що пов'язані зі змінами форм і способів застосування підрозділів Збройних Сил України (далі – ЗС України) як на тактичному, так і на оперативному рівнях.

Здобутий досвід ведення бойових дій під час повномасштабного вторгнення російської федерації свідчить про подальше зростання активного впливу БпС на результати бойових дій. Наявний спектр засобів ураження на полі бою в сучасних умовах змушує командирів як тактичної ланки управління, так і оперативної переглядати питання формування своїх бойових порядків та оперативних побудов відповідно, за відсутності відповідних керівних документів з планування та управління діями підрозділів (частин) БпС, безпосередньо під час ведення того чи іншого виду бойових дій. Також змінюються підходи до порядку планування та виконання завдань з вогневого ураження противника підрозділами, що залучаються до виконання завдань об'єднаної вогневої підтримки, де важливу роль виконують БпС.

Аналітичні дані підтверджують тенденцію збільшення частки виконаних завдань вогневого ураження противника на користь БпС. Ця тенденція обумовлена не тільки дефіцитом снарядів до артилерійських систем, а й ефективністю БпС, що застосовуються в ході ведення бойових дій. Гнучкість підготовки БпС до виконання завдань, можливість комплектування необхідною бойовою частиною безпосередньо перед виконанням завдань, час реакції БпС на динамічну зміну оперативної обстановки роблять зазначений клас озброєння свого роду конструктором, який в найкоротші терміни готовий до ураження різноманітних цілей. Основними недоліками застосування БпС є обмеження радіуса дії системи управління, погодні умови та залежність від впливу засобів радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ) противника. По суті, БпС – це, на сьогоднішній день, найефективніший засіб вогневого ураження з багатьох причин. По-перше і найважливіше – максимальне збереження життя військовослужбовців ЗС України. По-друге – мінімальний час на підготовку системи до виконання завдань. По-третє – співвідношення «вартість засобу ураження – знищена ціль». Також, аналітичні дані, що зібрані командуванням Сил безпілотних систем за період з 2022 по 2025 роки, наочно підтверджують тенденцію збільшення частки виконання завдань не тільки об'єднаної вогневої підтримки загальновійськових підрозділів, а й безпосереднього ураження живої сили та техніки саме на лінії бойового зіткнення. Але ці тенденції обумовлюють і низку проблемних питань, що пов'язані з оцінюванням ефективності застосування підрозділів БпС, та є критично важливими для

розвитку та набуття спроможностей Силами БпС ЗС України. Одним із можливих шляхів вирішення цього питання є використання системи імітаційного моделювання бойових дій (далі – СИМ) JCATS (Joint conflict and tactical simulation – Об'єднаний імітатор конфліктних і тактичних ситуацій) для проведення досліджень щодо оцінювання ефективності застосування підрозділів БпС за результатами моделювання процесів їх функціонування.

Постановка проблеми. Президент України своїм указом №382/2024 затвердив створення Сил БпС у структурі ЗС України. Окремий рід сил створений з метою нарощення спроможностей ЗС України щодо використання повітряних, морських надводних і підводних, а також наземних безпілотних та роботизованих систем. На структуру покладено завдання із забезпечення підрозділів дронами, їх технічної підтримки, рекрутингу та підготовки фахівців, а також планування бойового застосування підрозділів безпілотних систем [5].

Одним із факторів набуття спроможностей з виконання завдань за призначенням підрозділів Сил БпС є наявність нормативних документів, які визначають форми та способи застосування підрозділів, що мають ґрунтуватися на результатах не лише статистичних даних реального застосування окремих систем під час виконання бойових завдань, а й на теоретичних розрахунках. Одним із методів обґрунтування теоретичних підходів на яких базуються нормативні документи є імітаційне моделювання процесів функціонування зазначених підрозділів. Кажучи про моделювання, важливим та складним питанням є визначення показника, або групи показників за допомогою яких буде формуватися оцінка ефективності застосування підрозділів в структурах, що змінюються в реальному часі. Загальновідомим розрахунковим показником, який характеризує спроможності підрозділу щодо виконання бойового завдання в реальній обстановці, конкретних погодних умовах та умовах місцевості є бойовий потенціал. Але на сьогоднішній день в своєму класичному вигляді математичний апарат не враховує низку факторів, таких як зміни форм та способів здійснення об'єднаної вогневої підтримки; зміна порядку знищення цілей на полі бою; зміна тактичних прийомів; швидкість зміни обстановки на полі бою.

Тому, актуальним напрямом досліджень є розгляд питань моделювання дій підрозділів безпілотних систем в імітаційному середовищі JCATS для подальшого оцінювання ефективності їх застосування за результатами моделювання на основі адаптування математичного апарату розрахунку бойових потенціалів шляхом введення відповідних показників, які описують реальні умови функціонування підрозділів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] було розглянуто достатньо нові підходи щодо визначення таких понять як бойовий потенціал та динамічний бойовий потенціал підрозділу. Автори

пропонують розглядати бойовий потенціал формування як інтеграцію незалежних один від одного різних показників і факторів та пропонують визначати його за етапами:

перший – визначення статичного потенціалу з урахуванням незмінних або слабо змінних показників і факторів, зокрема, бойова ефективність ОВТ, бойовий потенціал військовослужбовців, умови місцевості, погодні умови, здатність органів управління здійснювати управління;

другий – визначення динамічного бойового потенціалу з врахуванням швидко змінних умов бойових дій. Такий підхід дає змогу не перераховувати статичний потенціал підрозділу під час ведення бойових дій, а врахувати саме тенденції зміни статичного потенціалу.

У роботі [2] авторами запропоновані методичні підходи щодо оцінювання бойових потенціалів безпілотних авіаційних комплексів (далі – БпАК), але не враховується динаміка ведення бойових дій всім складом угруповання військ, тобто автори розглядають БпАК, БпС, підрозділи та угруповання як самодостатні елементи бойового порядку (оперативної побудови) угруповання військ, але не враховуються завдання загальновійськового угруповання, що на наш погляд, не дає об'єктивну оцінку бойової ефективності підрозділу БпС у складі угруповання військ. Розрахунковий бойовий потенціал зразка ОВТ, групи зразків, підрозділу, оснащених БпС буде впливати на загальний бойовий потенціал загальновійськового угруповання і розглядатись як сума потенціалів усіх підрозділів, що входять до складу угруповання під час виконання конкретного завдання. Динаміка зміни бойового потенціалу угруповання під час ведення операції прямо залежить від поточного бойового потенціалу підрозділу БпС у конкретний момент часу. Методичний підхід, що запропонований у роботі [2], враховує низку показників, що характеризують процеси функціонування БпАК лише в повітрі під час виконання завдань як окремих одиниць так і підрозділів та може бути використаний як базовий підхід для визначення бойового потенціалу підрозділу БпС.

У роботах [3; 4] розглядалися підходи щодо визначення показників оцінювання ефективності окремих зразків ОВТ, розглянуті деякі аспекти щодо формування (визначення) потрібних чисельних показників, які характеризують зразок ОВТ для оцінювання ефективності процесів функціонування його в імітаційному середовищі (далі – ІС).

Незважаючи на низку наукових публікацій, що присвячені дослідженням застосування БпС, предметом уваги були авіаційні системи (комплекси). Питання оцінювання ефективності комплексного застосування різнорідних БпС – авіаційних, наземних і морських не розглядалися. Також не ставились питання щодо можливості використання СИМ JCATS для оцінювання ефективності застосування підрозділів БпС. Тому дослідження, що присвячені питанням оцінювання ефективності застосування підрозділів

БпС на основі моделювання процесів їх функціонування в ІС є актуальними.

Метою статті є розгляд основ моделювання дій підрозділів безпілотних систем в імітаційному середовищі JCATS для подальшого оцінювання ефективності їх застосування за результатами моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Ефективне і цілеспрямоване проведення досліджень можливе лише за наявності чіткої системи показників, які характеризують процеси і явища, що вивчаються. Цільова функція системи військового призначення (у нашому випадку підрозділ БпС) проявляється через сукупність її властивостей по відношенню до об'єктів, з якими вона починає взаємодію. Ступінь прояву тієї чи іншої властивості виражається відповідним частковим показником і визначається тактико-технічними характеристиками як системи в цілому, так і її окремих елементів. Для оцінювання ефективності застосування бойової системи можуть бути використані функціональні і бойові показники.

Основне призначення бойової системи зводиться до ураження сил (військ) та інших об'єктів противника з нанесенням йому матеріальних збитків. Тому, бойова ефективність системи, як ступінь її відповідності призначенню, визначається переважно через збиток, що завдається силам (військам) противника. Як показник бойової ефективності зазвичай використовується ймовірність ураження цілі, математичне сподівання кількості знищених цілей або математичне очікування запобігання шкоди.

Розглянемо деякі визначення, що наведені в [5].

Безпілотні системи сил оборони України – сукупність безпілотних авіаційних, безпілотних наземних систем (далі – БпНС) та морських безекіпажних систем (далі – МБес) зі складу Збройних Сил України (далі – ЗС України) та інших складових Сил оборони України.

Безпілотна авіаційна система (далі – БпАС) – сукупність безпілотних авіаційних комплексів та окремих безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) різного призначення взаємопов'язаних єдиним принципом застосування, побудови, управління та контролю за їх функціонуванням.

Безпілотний авіаційний комплекс – один або декілька безпілотних літальних апаратів, пов'язані з ним пункти дистанційного пілотування (станції наземного керування), необхідні лінії керування і контролю та інші елементи, що забезпечують функціонування комплексу. Аналогічні за структурою, але різні за сферою застосування БпНС та МБес. Типовими організаційними структурами, що застосовують БпС є: бригади (полки), ескадрильї у складі Сил БпС, та батальйони (роты, взводи) у складі загальновійськових частин. Основною організаційною структурою військових частин (підрозділів), що застосовують БпНС є: батальйон (рота); МБес – бригада, що складається з дивізіонів, ланок, груп.

Авторами статті пропонується для оцінювання ефективності бойового застосування підрозділу БпС за результатами моделювання процесів їх функціонування в ІС використовувати відомі методичні апарати визначення бойового потенціалу підрозділу та динамічного бойового потенціалу. Тобто, під час проведення моделювання процесів функціонування підрозділів БпС будуть оцінюватись саме зміни прогнозованого бойового потенціалу підрозділу БпС у складі загальновійськового угруповання військ відносно виконаних завдань підрозділом в ІС у реальному масштабі часу, з урахуванням впливу противника [1]:

Бойовий потенціал – узагальнена характеристика бойових можливостей (вогневих, ударних і маневрених) військового формування (об'єднання, з'єднання, частини або підрозділу) або зразка ОВТ у певному виді бойових дій (наступі, обороні тощо), який визначається математично та характеризується відповідним числовим значенням.

Бойовий потенціал підрозділу (угруповання) – характеризує можливість виконання завдання в

реальній обстановці, конкретних погодних умовах та конкретних умовах місцевості.

Бойові можливості – узагальнена характеристика кількісно-якісних показників, що характеризують можливості підрозділів, частин (кораблів), з'єднань і об'єднань виконувати певні бойові завдання за встановлений час у конкретних умовах обстановки.

Динамічний бойовий потенціал – величина, що характеризує бойову ефективність підрозділу в реальному часі та умовах з урахуванням його поточного стану, взаємодії з противником та впливу зовнішніх факторів.

Слід також зазначити, що наведені показники є інтегральними, складові яких можуть бути визначені за допомогою диференціальних рівнянь, використання Марківських моделей, багатокритеріального аналізу, теорії ігор та імітаційного моделювання. Бойовий потенціал підрозділу вимірюється в розрахункових одиницях та порівнюється відносно визначеної розрахункової одиниці.

Загальний вираз визначення статичного бойового потенціалу підрозділу виглядає так [1]:

$$G_s = I \times U \times \sum_j D_j \times Y M_j \times H_j \times \sum_{i=1}^{N_j} E_i \times P, \quad (1)$$

де I – вміння управляти (характеризує підготовленість командира та штабу підрозділу (угруповання) та їх здатність управляти);

U – рівень злагодженості підрозділу;

D_j – рівень впливу типу бою на тип зброї підрозділу;

$Y M_j$ – коефіцієнт впливу місцевості на конкретний тип зброї;

H_j – коефіцієнт впливу погодних умов на конкретний тип зброї;

E_i – коефіцієнт ефективності i -ої зброї j -ої категорії;

N_j – кількість зброї j -ої категорії;

P_i – бойовий потенціал військовослужбовця з i -ю зброєю j -ої категорії.

Для визначення динамічного бойового потенціалу підрозділу авторами пропонується такий вираз [1]:

$$G_D = G_s \times K \times C \times F \times M \times S \times T \times YMB \times HD, \quad (2)$$

де G_s – статичний бойовий потенціал підрозділу;

K – коефіцієнт впливу комплектації матеріальними ресурсами на бойові можливості;

C – стан особового складу підрозділу;

F – коефіцієнт, який враховує час для підготовки району до ведення бойових дій;

M – наявність інженерних загороджень та їх цільність;

S – коефіцієнт, який враховує час доби;

T – коефіцієнт впливу різномірності формувань, що беруть участь в бойових діях;

YMB – коефіцієнт впливу умов місцевості на вид бойових дій;

HD – коефіцієнт впливу погодних умов.

Слід зазначити, що всі показники, які містяться у виразі (2), є безрозмірними.

Запропонований у [1] методичний підхід дає змогу врахувати не лише вплив зовнішніх факторів на спроможність підрозділу виконувати поставлене завдання, а й різномірність зразків ОВТ у підрозділі, врахувати вплив одного типу озброєння на інший. Також, зазначений математичний апарат може бути використаний для визначення не тільки бойового потенціалу своїх військ, а й військ противника.

У роботі [2] автори запропонували математичний апарат визначення бойового потенціалу БпС,

підрозділу, угруповання, який на відміну від інших методик оцінювання ефективності застосування пілотованої авіації, враховує специфічні особливості сучасних БпС, а саме:

наявність у складі БпС станції наземного керування, що може бути уражена противником;

наявність у складі комплексу декількох літальних апаратів, що можуть застосовуватись послідовно або одночасно;

суттєву залежність ефективності бойового застосування від погодних умов.

Загальний вигляд виразу визначення бойового потенціалу угруповання БпС наведено нижче, що є сумою бойових потенціалів підрозділів, оснащених конкретними типами ударних БпЛА:

$$B\P_y = \sum_{j=1}^{N\P} B\P_{\Pi_j}, \quad (3)$$

де $N\P$ – кількість підрозділів ударних БпС в угрупованні;

$B\P_{\Pi_j}$ – узагальнений бойовий потенціал j -го підрозділу ударних БпС.

У свою чергу, бойовий потенціал j -го підрозділу визначається за виразом:

$$B\P_{\Pi} = \sum_{j=1}^{N\P_{AK}} m_j \frac{n_{6kj}}{n_r} (1 - P_{\Pi j}), \quad (4)$$

де $N_{\text{БпАК}}$ – кількість БпС у підрозділі;

m_j – умовна середня кількість пусків (польотів БпЛА) j -м БпС;

$n_{\text{бк}j}$ – боекомплект j -го БпС;

$P_{\text{ПЛ}j}$ – ймовірність невиконання бойового завдання через погодні умови j -м БпС.

Слід зазначити, що запропонований підхід у [2] дає змогу врахувати умови бойового застосування, а саме: наявність хибних об'єктів противника та їх маскування; наявність в складі угруповання БпС різного призначення і особливості їх спільного застосування; фактори впливу засобів РЕБ противника на систему управління БпС, тому може бути використаний для визначення статичного бойового потенціалу саме підрозділу БпС.

Також слід зауважити, що у методичному підході, наведеному в [2] підрозділ БпС розглядається як окремий підрозділ, здатний вести бойові дії самостійно. Аналіз досвіду російсько-української війни свідчить, що розглядати бойовий потенціал підрозділу БпАК без урахування його впливу на бойовий потенціал загальновійськового підрозділу не має сенсу. По-перше, в загальновійськовому угрупованні військ (сил), склад якого містить підрозділи БпАК, визначення бойового потенціалу має враховувати бойовий потенціал підрозділу БпАК, а отже і оперативна побудова угруповання буде залежати від бойових можливостей підрозділів БпАК. По-друге, автори розглядають угруповання БпАК як підрозділи, оснащені повітряними засобами ураження, не враховуючи БпАК наземного та морського типу та не враховують одночасне застосування повітряних, наземних та морських безпілотних комплексів в рамках однієї операції. По-третє, ефективність засобів ураження безпілотного типу напряму буде залежати від можливостей доставити цей засіб ураження до цілі, цей факт підтверджуються статистичними даними застосування БпС в реальних бойових умовах.

Виходячи з мети статті, для адекватного моделювання процесів застосування підрозділів БпС пропонується ввести до існуючого математичного апарату визначення динамічного бойового потенціалу загальновійськового угруповання військ [1], який містить у собі статичний бойовий потенціал підрозділу БпС, інтегральний коефіцієнт $W(t)$, що характеризує

ступінь реалізації статичного бойового потенціалу підрозділу БпС під час виконання бойових завдань у складі загальновійськового угруповання військ у конкретний момент часу. Зазначений коефіцієнт буде містити три складові, що описують ймовірність формування умов, за яких реалізації статичного бойового потенціалу підрозділу БпС будуть досягати максимальних значень:

$$W(t) = SA(t) NP(t) YP(t), \quad (5)$$

де $SA(t)$ – ймовірність формування поля ситуаційної обізнаності в часі;

$NP(t)$ – ймовірність формування навігаційного поля в часі;

$YP(t)$ – ймовірність стійкості системи управління БпС в часі.

Розглянемо показники, наведені у виразі (5).

$$SA(t) = F(t)R(t)P_{\text{ВЗ}}(t)C(t)K(t), \quad (6)$$

де $F(t)$ – коефіцієнт, що характеризує ймовірність формування каналів інформації в часі під час виконання конкретного завдання;

$R(t)$ – коефіцієнт, що характеризує здатність підрозділу сприймати інформацію (залежить від швидкості прийняття рішення на основі отриманих даних);

$C(t)$ – функція кореляції між інформацією, що оброблена та інформацією, отриманою за результатами виконаних дій;

$P_{\text{ВЗ}}(t)$ – ймовірність виявлення майбутніх загроз;

$K(t)$ – коефіцієнт інтегрованості інформації між різними підрозділами.

$$NP(t) = N(t) Q(t) M(t), \quad (7)$$

де $N(t)$ – ймовірність функціонування навігаційних джерел;

$Q(t)$ – ймовірність функціонування каналів зв'язку не тільки між БпС – оператор, а й між комплексами включно;

$M(t)$ – ймовірність прохідності середовища в якому застосовуються БпС (визначається умовами місцевості).

$$YP(t) = A_{\text{ЗВ}}(t) (1 - P_{\text{РЕБ}}(t))(1 - P_{\text{ВС}}(t))(1 - P_{\text{КЕР}}(t))(1 - P_{\text{ТЗ}}(t))(1 - P_{\text{ПОМ}}(t)), \quad (8)$$

де $A_{\text{ЗВ}}$ – ймовірнісний показник формування каналів зв'язку;

$P_{\text{РЕБ}}(t)$ – ймовірнісний показник впливу РЕБ противника на систему управління оператор – БпС;

$P_{\text{ВС}}(t)$ – ймовірнісний показник втрати сигналів управління через природні або штучні перешкоди;

$P_{\text{КЕР}}(t)$ – ймовірнісний показник втрати керованості БпК за рахунок швидкості та напрямку руху та виходу з зони впевненого управління;

$P_{\text{ТЗ}}(t)$ – ймовірнісний показник впливу ресурсу роботи, часу, зовнішніх температур, погодних умов, стану елементів живлення;

$P_{\text{ПОМ}}(t)$ – ймовірнісний показник програмних або системних помилок.

Розглянемо, як коефіцієнт $W(t)$ може бути отриманий в ІС та визначимо показники $SA(t)$, $NP(t)$, $YP(t)$, що формують умови реалізації статичного бойового потенціалу підрозділу БпС у базі даних СІМ ІСATS з подальшим моделюванням бойових дій в ІС у реальному масштабі часу, що відповідає умові формування зазначених показників в певний момент часу. Показник $SA(t)$, який характеризує ймовірність формування поля ситуаційної обізнаності підрозділу БпС, за суттю, ґрунтується на кількості каналів, що формують інформаційні потоки про поточну ситуацію на полі бою, рух противника, його бойові порядки, склад сил і засобів та здатності обробляти зазначену інформацію [5]. В СІМ ці показники формуються через

тактико-технічні характеристики (далі – ТТХ) сенсорів та систему звітів [6].

Слід зазначити, що СІМ JCATS використовує 3D рельєф місцевості для реалізації алгоритмів Line of Sight (LOS) – прямої видимості, Ray Tracing – трасування променів, Digital Elevation Model (DEM) – цифрове представлення рельєфу земної поверхні. Тому, для кожного сенсора, наприклад, радар чи системи візуального спостереження тощо, в першу чергу перевіряється наявність LOS з урахуванням цифрового рельєфу місцевості. Якщо перешкода блокує LOS, то виявлення не відбувається і як наслідок системи не можуть спостерігати за ціллю та відповідно відкривати вогонь на ураження в автоматичному режимі. В налаштуваннях кожного типу сенсора доступні такі характеристики: дальність виявлення, висота розміщення, поле зору, кут огляду по горизонталі та вертикалі, відповідно до вбудованого класифікатора систем у СІМ типи виявлених об'єктів, вплив погодних умов.

Показник $NP(t)$ характеризує ймовірність формування навігаційного поля. В системі імітаційного моделювання JCATS достатньо достовірно реалізовані алгоритми позиціонування системи в просторі. Доступні функції побудови маршруту руху одиниці, визначення її положення в просторі як за висотою, так і за напрямком руху, визначення швидкості, прискорення. Також реалізовані алгоритми врахування впливу рельєфу місцевості, погодних умов, часу доби, пори року не тільки на швидкість руху системи (окремого солдата, зразка ОБТ), а й на здатність системи досягати контрольних точок запланованого маршруту. Виходячи з цього, можна, змінюючи ТТХ одиниці, 3D карти рельєфу місцевості, погодні умови, впливати на здатність системи орієнтуватись у просторі, будувати маршрути руху, впливати на високоточні системи ураження, тим самим відтворювати (формувати в ІС) навігаційні поля. Прикладом може бути вплив засобів РЕБ на застосування БпС, що створена в імітаційному середовищі у вигляді системи: пульт керування, безпосередньо БпЛА, бойова частина (боєприпас), оптичні та навігаційні сенсори. Під час моделювання бойових дій оператор робочої станції СІМ JCATS планує застосування БпС. На початку визначається ціль, яку оператор має уразити. Використовуючи пульт керування, оператор вибирає в базі даних СІМ JCATS відповідний засіб ураження та прокладає маршрут руху до цілі та навколо неї. За допомогою потрібної функції оператор визначає як буде уражена ціль: методом скидання боєприпасу або методом прямого влучання (зокрема дроном-камікадзе) та натискає кнопку старт. Оператор може спостерігати на екрані за рухом БпС відповідно до визначеного маршруту. Якщо оператор не врахував умови маршруту та не налаштував відповідні функції, БпС може зустріти перешкоду або зупинитись для очікування наступних команд. Це відтворює події, які можуть відбуватися в реальних бойових умовах під час застосування БпС.

Засоби РЕБ також передбачені в базі даних СІМ JCATS на основі наявних тактико-технічних

характеристик та мають відповідні налаштування. Якщо противник вмикає засоби РЕБ, то оператор може втратити зв'язок між пультом керування та БпС. Далі поведінка самої БпС залежить від налаштувань СІМ, або БпЛА падає (втрачає орієнтацію), або продовжує виконувати поставлене завдання в автоматичному режимі, але в цьому випадку оператор не може впливати на БпС та не спостерігає обстановку на маршруті руху БпС. Такі можливості з моделювання будуть використовуватися і для визначення показника $YP(t)$. Слід зазначити, що в СІМ JCATS відсутня можливість безпосереднього моделювання процесів функціонування систем GPS і зв'язку, але є достатньо інструментів для врахування впливу навігаційних умов і зв'язку на моделювання дій БпС в ІС [6].

Наявність в СІМ JCATS алгоритмів LOS, Ray Tracing, DEM дає змогу аналізувати здатність системи в ІС спостерігати за противником в конкретний момент часу залежно від положення в ІС та адекватно визначати коефіцієнт $W(t)$, який характеризує ймовірність формування умов для реалізації статичного бойового потенціалу підрозділів БпС під час виконання завдань у реальному масштабі часу в складі загальновійськового угруповання за результатами моделювання процесів їх функціонування. Інший варіант – коефіцієнт $W(t)$ призначається замовником досліджень, а результатами моделювання будуть визначений потрібний склад сил і засобів завдяки якому досягається необхідне значення коефіцієнта $W(t)$.

Відповідно до мети статті пропонується розглянути порядок моделювання дій підрозділів БпС в ІС для проведення досліджень з оцінювання ефективності застосування. За результатами моделювання процесів застосування підрозділів БпС є можливість обґрунтовувати найбільш доцільні форми та способи застосування підрозділів БпС під час виконання завдань в інтересах загальновійськового угруповання військ (сил). Для цього визначаються вхідні значення наведених вище показників і отримується коефіцієнт W за виразом (5). Значення показників $SA(t)$, $NP(t)$, $YP(t)$ обумовлюються із урахуванням наявних сил і засобів, або можуть бути визначені результатами моделювання, що відповідають за створення поля ситуаційної обізнаності, навігаційного поля та систем зв'язку. Наступним кроком є розроблення бази даних у СІМ, формування оперативної побудови угруповання військ відповідно до завдань, які будуть виконуватися. За результатами розіграшу (моделювання бойових дій) можна буде оцінити стан і положення військ, час виконання завдання, глибину просування, втрати своїх військ та військ противника, ступінь виконання завдань. Аналізуючи отримані результати можна визначити:

відповідність розрахованого статичного бойового потенціалу певного угруповання військ результатам моделювання;

ступінь реалізації розрахованого статичного бойового потенціалу підрозділу БпС та за який час $W(t)$;

доцільність використання того чи іншого варіанта застосування (тактики) підрозділу БпС під час виконання завдань в ІС;

відповідність бойового чисельного складу завданню, що виконувалося;

ефективність застосування не тільки підрозділу БпС, а й угруповання військ у цілому, або на яку частку збільшився статичний бойовий потенціал

загальновійськового угруповання військ (сил) завдяки застосуванню приданого підрозділу БпС;

потрібний бойовий чисельний склад підрозділів БпС для виконання визначених завдань;

обґрунтовані тактико-технічні вимоги до нових (перспективних) зразків ОВТ.

Схема проведення моделювання дій підрозділів БпС в ІС наведена на рис. 1.

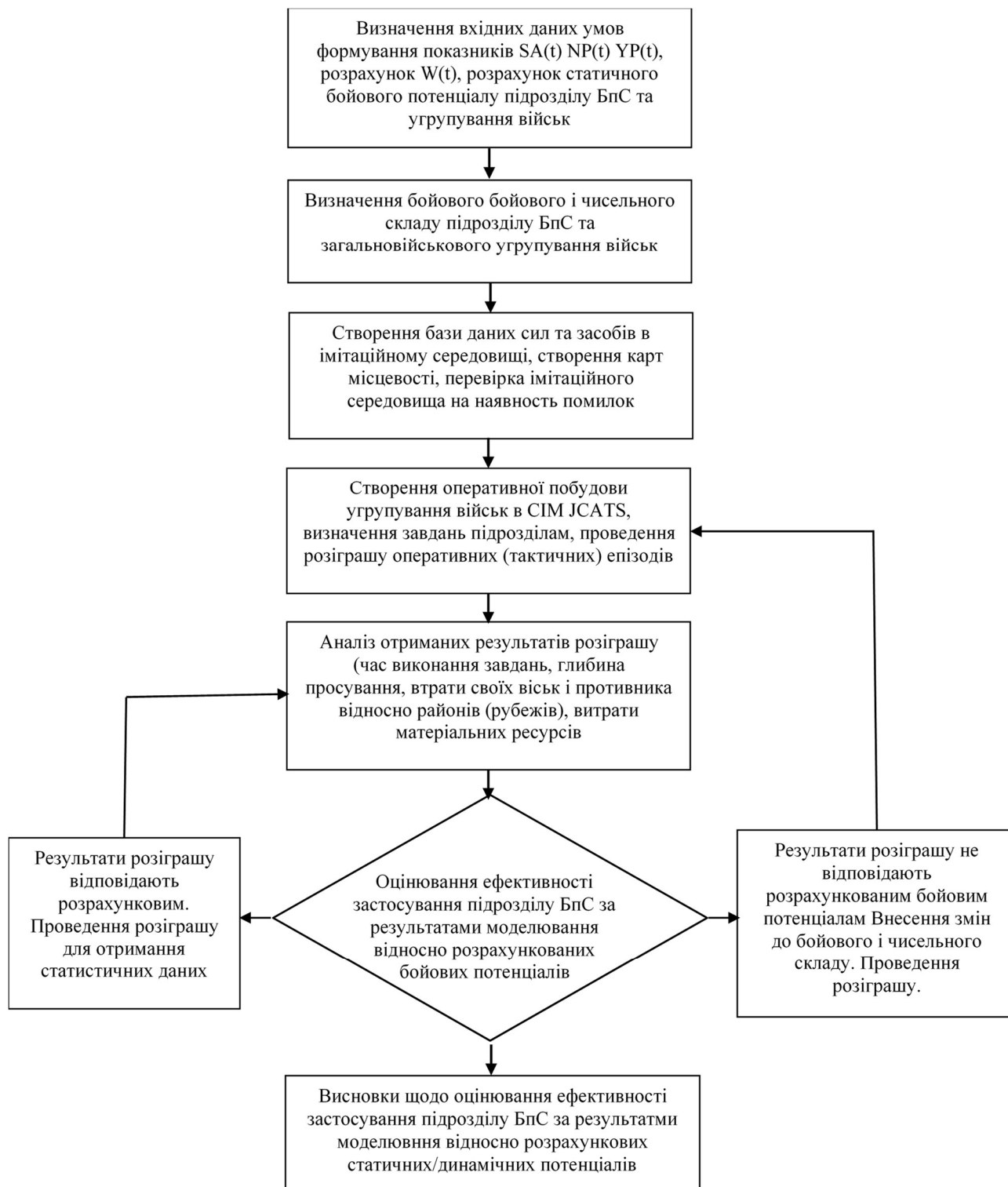


Рисунок 1 – Схема проведення моделювання

Висновки й перспективи подальших досліджень

Характерною рисою сучасних бойових дій є масове застосування різноманітних типів безпілотних систем: повітряних, наземних та морських. Одним із методів обґрунтування нормативних документів (положень, директив, статутів) є імітаційне моделювання процесів функціонування частин (підрозділів) безпілотних систем, оцінювання ефективності застосування за результатами моделювання шляхом порівняння розрахункових значень бойових потенціалів підрозділів (спроможність виконання поставленого завдання в конкретних умовах обстановки) з отриманими результатами моделювання.

Розглянуті основи моделювання дій підрозділів безпілотних систем в імітаційному середовищі та запропоновано методичний підхід оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних систем за результатами моделювання шляхом визначення змін бойового потенціалу загальновійськового підрозділу, до складу якого входить підрозділ безпілотних систем, під час ведення загальновійськового бою (бойових дій, операцій). Мету статті можна вважати досягнутою.

Напрямами подальших досліджень слід вважати:

Список бібліографічних посилань

1. Алиев А. А., Байрамов А. А. Визначення бойового потенціалу військового формування. *Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень НУОУ*. 2018. № 3(64). С. 121–130. 2. Шалигін А. А., Нерубацький В. О., Смик С. І. Методичний підхід до оцінки бойових потенціалів безпілотних авіаційних комплексів, їх підрозділів і угруповань. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2021. № 2(43). С. 73–79. 3. Чопа Д. А., Кільменінов О. А. Використання системи імітаційного моделювання JCATS для оцінювання ефективності бойового застосування зразків озброєння. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2023. № 1 (46). С. 69–72. 4. Чопа Д. А., Кільменінов О. А., Лаврінчук О. В. Підхід щодо формування системи показників для створення зразка артилерійського озброєння

створення динамічних моделей, які дають змогу формувати нові підходи не тільки в питаннях досліджень форм і способів застосування підрозділів безпілотних систем самостійно, а й у складі загальновійськового підрозділів та дозволить обґрунтовувати теоретичні підходи розрахунку бойових потенціалів військових формувань з урахуванням особливостей сучасної війни. Це, у свою чергу, дасть змогу прогнозувати подальший розвиток не тільки систем озброєння та військової техніки, а й форми і способи застосування підрозділів безпілотних систем в майбутніх операціях (бойових діях) та проводити оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних систем в складі загальновійськового угруповання військ за результатами моделювання процесів їх функціонування;

формування (створення) бази даних зразків безпілотних систем різного призначення повітряного, наземного та морського типів в системі імітаційного моделювання Об'єднаного імітатора конфліктних і тактичних ситуацій (JCATS) для проведення досліджень з оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних систем в імітаційному середовищі.

в імітаційному середовищі. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2023. № 3(48). С. 107–114. 5. Доктрина «Застосування безпілотних систем у силах оборони України». ОП 3-0 (46). Затверджена Головнокомандувачем ЗС України 01.01.2024. Київ: Центральне управління безпілотних систем ГШ ЗС України спільно із ЦНДІ ЗС України. 59 с. 6. Jeannot E., Kelly C., Thompson, D. The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems. European Organisation for the Safety of Air Navigation. Edition Number:1.0. 2003. Brussel. 82 с. 7. VISTA (SCENARIO) EDITOR USER GUIDE version 17.0, Controlled Distribution LLNL-TM-742604, 2022: технічна документація до системи імітаційного моделювання JCATS. 590 с.

BASICS OF MODELLING THE OPERATIONS OF UNMANNED SYSTEMS SUBDIVISIONS IN THE JCATS SIMULATION ENVIRONMENT

PERMYAKOV Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-2206-3761>

KILMENINOV Oleksii, Candidate of Technical Sciences, National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-2193-9725>

CHOPA Dmytro, candidate of technical sciences, senior researcher, National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-3267-1645>

Formulation of the problem in general. Analysis of the execution of tasks for fire destruction of the enemy on the battlefield not in the traditional (classical) form, but using fairly cheap, in terms of the ratio of the cost of the means – the cost of the destroyed target, means of destruction such as unmanned systems, poses quite complex tasks for researchers to assess the effectiveness of the use of not only individual samples of unmanned systems, but also units of unmanned systems as a whole. Separate issues include assessing the effectiveness of the combat use of a combined-arms unit, which incorporates a unit of unmanned systems, and determining the optimal composition of forces and means within unmanned systems units, along with defining their combat orders. Trends in the development of unmanned systems and their forms

and methods of use indicate that, in the near future, units that operate simultaneously in the air, on land, and on water will be utilised on the battlefield. The purpose of this article is to propose a methodological approach for modelling the actions of unmanned systems units in the JCATS simulation environment, facilitating further evaluation of their effectiveness based on the modelling results.

Research methods. In writing the article (conducting the study), the following methods were used: analysis, systematisation, observation, improvement, justification, evaluation, comparison, and prediction. This methodical approach enabled the creation of a model that describes the functioning processes of unmanned units in a simulation environment and determines indicators for evaluating the effectiveness of unmanned unit systems based on modelling results in the JCATS simulation modelling system.

Literature review. Despite the large number of scientific publications devoted to studies on the use of unmanned systems, the subject of attention has been aviation systems (complexes). Issues related to evaluating the effectiveness of the complex application of various unmanned systems, including aviation, land, and sea, were not considered. Additionally, questions about the potential of using the JCATS simulation modelling system to assess the effectiveness of sub-unit unmanned systems (complexes) were not addressed. Therefore, research devoted to evaluating the effectiveness of unmanned systems is relevant, particularly when modelling their functioning processes in a simulated environment.

Research results. In the article, a methodological approach to assessing the effectiveness of using unmanned systems units is proposed, based on the results of modelling their actions as part of a combined arms unit (group).

Research novelty. The authors propose to introduce into the existing mathematical apparatus for calculating the dynamic combat potential of the combined force grouping of troops, which includes the static combat potential of the unmanned systems unit, the integral coefficient, which characterizes the degree of formation of conditions for the realization of the static combat potential of the unmanned systems unit when performing combat tasks by the combined force grouping of troops.

Theoretical and practical significance. This approach can be implemented both in the educational process of the National University of Defence of Ukraine and during research into the forms and methods of using unmanned systems, determining their rational composition for combat tasks. The obtained research results will provide an opportunity to use the JCATS simulation modelling system for conducting research on the use of unmanned systems at the tactical and operational levels.

Conclusions and future work. A methodical approach to evaluating the effectiveness of unmanned systems units is proposed by determining the changes in a military unit's combat potential resulting from their use. The direction of further research is the formation (creation) of a database of various types of air, ground and sea unmanned systems in the JCATS simulation modelling system for conducting research on the evaluation of the effectiveness of the use of unmanned systems.

Keywords: effectiveness of use, unmanned systems (complexes), simulation modelling system, situational awareness.

References

1. Aliyev, A. A., Bayramov, A. A., (2018). Determination of the combat potential of the military. *Collection of scientific works of the Centre for Military-Strategic Research of the National University of Ukraine*. 3(64), 121-130.
2. Shalygin, A. A., Nerubatsky, V. O., Smyk, S. I., (2021). Methodical approach to assessing the combat potential of unmanned aviation complexes, their units and groups. *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. 2(43), 73-79.
3. Chopa, D. A., Kilmeninov, O. A., (2023). Using the JCATS simulation modelling system to evaluate the effectiveness of the combat use of weapons samples. *Modern Information Technologies in the Field of Security and Defence*. 1(46), 69-72.
4. Lavrinchuk, O., Chopa, D., Kilmeninov, O., (2024). Approach to forming a system of indicators for creating a sample of artillery weapons in a simulation environment. *Modern Information Technologies in the Field of Security and Defence*. 3(48), 107-114.
5. Jeannot, E., Kelly, C., Thompson, D., (2003). The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems. European Organisation for the Safety of Air Navigation. Edition Number:1.0. Brussels. 82.
6. Vista (scenario) editor user guide version 17.0, Controlled Distribution LLNL-TM-742604, 2022: Technical Documentation for the JCATS Simulation Modelling System, 590.

Рукопис надійшов до редакції 10.09.2025
 Рукопис прийнято до друку після рецензування 19.11.2025
 Дата публікації 30.12.2025