

УДК 621.396.96

*Олександр Михайлович Сотніков  
Володимир Анатолійович Таршин  
Павло Вікторович Опенько*

## **ПРОБЛЕМИ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ КЕРОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

### **Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сучасний підхід до планування, підготовки та ведення бойових дій передбачає пошук нових способів створення та застосування систем озброєння. Останнім часом спостерігається стійка тенденція до збільшення частки систем озброєння та військової техніки, які здатні виконувати покладені на них завдання в автоматичному режимі. В першу чергу, мова йде про керовані засоби ураження (КЗУ) та безпілотні літальні апарати (БЛА), які застосовуються для подолання системи ППО противника, знищення важливих об'єктів інфраструктури без входу до зон ураження вогневих засобів. На основі таких ЛА можуть реалізуватися наступні системи:

- розвідки та цілевказівки;
- підготовки політних завдань;
- високоточної геопросторової прив'язки;
- високоточної зброї;
- перспективні робототехнічні комплекси та ін.

Про існування стійкої тенденції щодо збільшення частки КЗУ та БЛА у складі збройних сил провідних країн світу свідчить аналіз світового ринку торгівлі зброєю, який періодично проводиться та публікується російським "Центром аналізу мирової торгівлі оружием" [1]. За прогнозами на період до 2015 року [1] очікується збільшення об'ємів продаж КЗУ та БЛА (керованих ЛА). Такий варіант розвитку ситуації навколо ринку продажу зброї свідчить про безумовну цікавість до створення сучасних авіаційних систем озброєння, КЗУ повітряного та наземного (морського) базування.

Застосування керованих ЛА для вирішення наведеного, але достатньо не повного, переліку задач потребує використання сучасної високоточної системи наведення (навігації), яка б дозволила виконувати цільові завдання в умовах невідомої та змінної обстановки.

Для визначення місцеположення сучасних керованих ЛА використовуються, у більшості випадків, інерційні навігаційні системи (ІНС), робота яких коректується навігаційними системами вищого порядку точності. Найчастіше для корекції ІНС застосовуються супутникові навігаційні системи (СНС) та кореляційно-екстремальні системи навігації (КЕСН). Найкращу точність наведення на ціль забезпечує комплексне

застосування ІНС та СНС [2] з остаточним наведенням на кінцевій ділянці траєкторії з використанням оптичної системи.

Однак, забезпечуючи високу точність наведення, СНС не дозволяють відслідковувати зміни природного та штучного характеру на поверхні візування. Перш за все, це:

зміна погодних, сезонних та добових умов наведення керованого ЛА;

застосування заходів маскування цілей шляхом впливу на поверхню візування, середовище поширення електромагнітних хвиль та керований ЛА;

зміна цільової обстановки, а також наявність у районі бойових дій засобів протиповітряної та протиракетної оборони.

Сучасні вимоги до побудови та застосування СН ЛА повинні передбачати можливість виконання завдань за призначенням з заданими показниками якості у будь-яких умовах навколишньої обстановки та впливу на ЛА.

Враховуючи це, провідні країни світу, у тому числі країни-власники СНС, протягом тривалого часу інтенсивно розвивають КЕСН КЗУ, БЛА. Про це свідчить аналіз розробок та відкритих джерел інформації [3 – 5].

Порівняльний аналіз КЕСН з іншими системами визначення місцеположення керованих ЛА наведений у [6]. Показано, що застосування КЕСН для управління ЛА дозволяє реалізувати ряд переваг, серед яких основними є:

забезпечення автономності визначення місцеположення цілі, на відміну від радіотехнічних та супутникових систем навігації [7];

відсутність ефекту накопичення помилок визначення координат, що характерно для інерційних навігаційних систем. Для корекції інерційних навігаційних систем у тому числі використовуються КЕСН [6];

отримання інформації про навколишню обстановку від власних датчиків, що визначає можливість відповідної реакції на зміну фоново-цільової та оперативної-тактичної обстановки навколо ЛА, а також отримання розвідувальної інформації про район застосування [6, 7]. При забезпеченні цієї переваги КЕСН фактично виконує функції системи технічного зору [5];

підвищення безпеки пілотованих ЛА в умовах поганій видимості, коли за допомогою систем

технічного зору, що використовують датчики однакової (ДОФП) та різної фізичної природи (ДРФП) пілоту надається покращене зображення ділянки місцевості під ЛА. Це дозволяє пілоту краще оцінити обстановку та обрати правильний варіант дій [5, 8, 9].

застосування КЕСН є основою створення інтелектуальних систем зброї, бойових роботів, та ін.

Сучасні наукові дослідження у галузі КЕСН спрямовані на покращення ефективності застосування кореляційно-екстремальних систем та розширення їх властивостей. Про актуальність розвитку КЕСН свідчить велика кількість публікацій, державна підтримка розробок КЕСН у Росії [10] та інших країнах світу, впровадження галузевих конференцій, цілком присвячених питанням розвитку КЕСН та систем технічного зору (СТЗ) [5, 8].

Не зважаючи на наявність власних супутникових навігаційних систем провідні країни світу, зокрема США та Росія, продовжують розвивати КЕСН та декларують свої наміри щодо створення, випробувань та прийняття на озброєння сучасних КР з КЕСН [2, 3]. До цих країн долучаються Пакистан [4], Китай та ін.

Досвід останніх збройних конфліктів, зміна поглядів на застосування керованих ЛА, інтенсивний розвиток цифрових технологій вимагає перегляду основних принципів побудови та застосування КЕСН.

Вагомий внесок у становлення та розвиток КЕСН зроблено вітчизняними вченими, які достатньо глибоко розвинули теорію побудови та застосування радіометричних кореляційно-екстремальних систем для управління ЛА [11, 12, 13].

На даний час достатньо добре розглянуті питання розробки систем первинної обробки зображень у одноканальних, багатоканальних [5, 14, 15] КЕСН та комбінованих СТЗ [5, 8, 16], методи отримання та обробки зображень [5, 8, 16, 17, 18 та ін], але питання обробки зображень не в повній мірі враховують потреби розвитку КЕСН.

Розглянуті [14, 15, 19] системи кореляційно-екстремальної обробки, як правило, будуються на основі використання інформації від ДОФП, що, в принципі, накладає обмеження на подальше удосконалення їх тактико-технічних характеристик.

Розглянуті у [5] СТЗ передбачають отримання зображень об'єктів з використанням ДРФП, однак наведені результати досліджень обмежуються процедурами отримання покращених (у візуальному сенсі) зображень об'єктів.

Проблеми зменшення впливу заважаючих факторів на роботу КЕСН розглядаються у [10], однак автор обмежується випадком розгляду інваріантних до сезонних та добових змін КЕСН оптичного діапазону. Разом з тим детальної проробки потребують питання зменшення добових, сезонних та погодних змін на роботу КЕСН у інших діапазонах хвиль та, зокрема, комбінованих КЕСН.

## Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Метою статті є визначення проблем та обґрунтування напрямків розвитку КЕСН для покращення точності та надійності наведення ЛА.

Для визначення проблем та шляхів розвитку КЕСН, перш за все, доцільно провести уточнення термінології, яка використовується різними вченими при розгляді питань навколо КЕСН. Для цього введемо ряд визначень та уточнень.

Кореляційно-екстремальні системи наведення (навігації) – системи, що передбачають обчислення взаємної кореляції еталонного (отриманого заздалегідь будь, яким способом, у тому числі за даними різних джерел розвідувальної інформації) та поточного (отриманого від власних датчиків інформації у поточний момент часу) зображень (ЕЗ та ПЗ), на основі чого формується вирішальна функція, як сигнал управління ЛА (корекції ІНС) [14, 15, 19].

Системи технічного зору (СТЗ) – сучасний, але більш загальний, термін яким також можуть позначатися КЕСН. Зображення, отримані СТЗ можуть бути використані для формування сигналів управління в автоматичних комплексах наведення (навігації) об'єктів (ЛА), а також дозволяють отримувати поточні зображення навколишнього середовища покращеної якості, на більшій відстані або надавати отриманим зображенням нових властивостей. У випадку автоматичної обробки зображень та формуванні сигналу управління об'єктом поняття СТЗ та КЕСН еквівалентні. У останньому випадку, в залежності від способу обробки поточного зображення та подання його пілоту, СТЗ поділяються на [9]:

- системи покращеного зору (EVS);
- системи штучного зору (SVS);
- комбіновані системи штучного зору (CVS);
- бортові системи збільшення дальності зору (EFVS).

Пропонується перелічені вище системи EVS, SVS, CVS та EFVS позначати загальним терміном систем покращеного зору (СПЗ). У [9] вказані мінімальні стандарти характеристик СПЗ, які прийняті за основу міждержавним авіаційним комітетом.

Спільними рисами КЕСН та СПЗ є те, що при створенні цих систем можуть бути застосовані однакові підходи до вибору сукупності

інформативних ознак, датчиків інформації а також деяких методів первинної обробки поточних зображень.

Відмінною рисою КЕСН є те, що ПЗ обробляється автоматично і сигнали управління ЛА (КЗУ) формуються без участі оператора у режимі реального часу. Відповідно, КЕСН мають обмеження на: кількість інформації, яка може бути оброблена у режимі реального часу; якісний склад отриманої інформації та якість алгоритмів обробки інформації для забезпечення точного та надійного управління ЛА.

Подальший розвиток КЕСН передбачає набуття ними переваг властивих СТЗ, тобто автономне управління ЛА з високою точністю на основі

отримання та вторинної обробки інформації від ДРФП, тобто створення комбінованих КЕСН.

Для систем військового призначення надзвичайно актуальним є розв'язання проблем забезпечення захищеності ЛА від впливу та навмисних перешкод, а також заважаючих факторів природного характеру.

Для зменшення впливу природних заважаючих факторів на роботу комбінованих КЕСН можуть бути використані положення, розроблені для систем оптичного діапазону [10], однак створення інваріантних комбінованих КЕСН потребує детального вивчення прояву природних заважаючих факторів на роботу ДРФП та визначення шляхів їх усунення.

На даний час відсутні методологічні основи: створення високоточних комбінованих КЕСН керованих ЛА;

вибору системи інформативних ознак для забезпечення роботи КЕСН ЛА різного призначення;

формування ЕЗ у різних діапазонах хвиль, вибору об'єктів прив'язки;

визначення оптимального співвідношення між розмірами ЕЗ та ПЗ;

створення КЕСН, стійких до впливу адитивних та мультиплікативних перешкод на поверхню візування, середовище поширення та об'єкт наведення;

побудови систем вторинної обробки інформації КЕСН.

Цілком зрозуміло, що застосування комбінованих КЕСН повинно передбачати використання єдиного для роботи усіх каналів КЕСН (універсального) еталону (УЕЗ) [5, 14]. Передумовою створення УЕЗ повинен бути обґрунтований аналіз апріорної інформації з визначенням стійких у різних діапазонах хвиль опорних орієнтирів, по яких може бути здійснене наведення ЛА з заданими показниками якості. На даний час існує надзвичайно широкий апарат методів аналізу зображень [17], однак немає єдиного рецепту застосування цих методів у залежності від умов отримання зображень. Також слід мати на увазі, що апріорна інформація для формування ЕЗ для комбінованих КЕСН може бути отримана з використанням датчиків інших діапазонів хвиль.

Для створення сучасної СН керованих ЛА, на думку авторів, необхідно у першу чергу вирішити наступні завдання, які передують етапу практичної реалізації і мають наступне розширене трактування:

Аналіз та обґрунтування сучасних вимог до СН керованих ЛА військового призначення. Обґрунтування таких вимог передбачає: аналіз принципів побудови, функціонування та тактико-технічних характеристик сучасних СН керованих ЛА; аналіз стану розвитку методологічних основ побудови та застосування керованих ЛА з КЕСН в різних умовах оперативної-тактичної та фонові-цільової обстановки; аналіз факторів, що впливають на функціонування СН та формування команди управління ЛА; обґрунтування тактико-технічних вимог СН керованих ЛА відповідно до сучасного рівня ведення бойових дій; аналіз підходів до реалізації сучасних автономних навігаційно-інформаційних систем.

Обґрунтування найбільш доцільних напрямків розвитку комбінованих КЕСН вимагає: розробки і аналізу узагальненої моделі процесу керування ЛА з використанням різних типів інформаційних полів та формування команди управління; визначення принципів побудови та обґрунтування вимог до системи вторинної обробки різних типів інформаційних полів комбінованих КЕСН; аналізу моделей представлення ЕЗ та ПЗ, отриманих за допомогою різних інформаційних каналів; аналізу інформаційних ознак та обґрунтування можливості їх сумісного використання в комбінованих КЕСН; обґрунтування обмежень та припущень, які повинні бути враховані при проектуванні КЕСН керованих ЛА.

Розробка моделей функціонування комбінованих КЕСН з урахуванням динаміки польоту ЛА, обмежень на отримання інформації та спотворень поверхні візування. При розробці узагальненої та часткових моделей процесу функціонування КЕСН необхідно провести: обґрунтування вибору системи інформаційних ознак для синтезу алгоритмів комбінованих КЕСН ЛА на слабконтрастних та спотворених ділянках місцевості; синтез еталонних зображень поверхні візування для комбінованих КЕСН ЛА; аналіз впливу динаміки польоту ЛА на формування ПЗ та вирішальної функції комбінованих КЕСН; аналіз впливу обмежень на отримання інформації, а також спотворень поверхні візування на структуру і функціонування моделей комбінованих КЕСН ЛА; розробку методів спільної обробки ЕЗ та ПЗ від ДРФП у комбінованих КЕСН на спотворених поверхнях візування з урахуванням динаміки польоту ЛА; розробку узагальненої моделі процесу навігації ЛА з використанням різних типів інформаційних полів та формування команди управління ЛА; обґрунтування вимог до якості вхідних даних системи вторинної обробки навігаційної інформації.

Синтез методів та адаптивних алгоритмів вторинної обробки різномірної інформації для високоточного місцевизначення керованого ЛА з КЕСН в умовах складної оперативної-тактичної та фонові-цільової обстановки. Цей етап розвитку КЕСН передбачає: чітке формулювання задачі вторинної обробки інформації стосовно комбінованих КЕСН ЛА; обґрунтування критеріїв ефективності вторинної обробки інформації; синтез алгоритмів обробки інформації від ДРФП, стійких до впливу на поверхню візування; синтез алгоритмів первинної обробки інформації від ДРФП, стійких до впливу на об'єкт наведення; синтез алгоритмів обробки інформації стійких до заважаючого впливу на систему вторинної обробки; синтез адаптивних алгоритмів формування вирішальної функції з урахуванням системи впливів на функціонування автономних комбінованих КЕСН ЛА.

Обґрунтування критеріїв та розробка методики оцінки імовірності місцевизначення керованих ЛА з високоточними автономними комбінованими КЕСН повинно передбачати: імітаційне (фізичне) моделювання роботи комбінованих КЕСН ЛА; оцінку ефективності місцевизначення керованих ЛА на основі синтезованих алгоритмів обробки високоточних комбінованих КЕСН; оцінку перешкодостійкості та ймовірності місцевизначення ЛА на основі синтезованих

алгоритмів обробки інформації КЕСН, а також розробку рекомендацій щодо ефективного застосування керування ЛА з комбінованою КЕСН в умовах складної фоново-цільової обстановки та інформаційно-просторових обмежень.

### Висновки

У результаті розв'язання існуючих проблем, характерних для існуючого стану розвитку кореляційно-екстремальних систем наведення ЛА, відповідно до запропонованих авторами напрямків, можливе отримання наступних результатів:

удосконалення моделі процесу функціонування комбінованої КЕСН шляхом впровадження спільної обробки різних типів інформаційних полів для управління ЛА в складних умовах фоново-цільової обстановки;

розвиток методів підвищення імовірності місцевизначення ЛА з автономними комбінованими

КЕСН в умовах спотворення району місцевизначення при інформаційних та часових обмеженнях;

розвиток нових методів представлення та обробки еталонних та поточних зображень у комбінованих КЕСН ЛА в умовах комплексного впливу на поверхню візування, середовище поширення хвиль та об'єкт наведення;

синтез нових алгоритмів вторинної обробки навігаційної інформації з урахуванням обмежень, обумовлених особливостями застосування керування ЛА та обраних для рішення задачі наведення інформаційних ознак;

обґрунтування критеріїв та розробка методик оцінки імовірності місцевизначення ЛА з високоточними автономними комбінованими КЕСН з використанням синтезованих перешкодостійких алгоритмів вторинної обробки різномірної інформації.

### Література

1. **Ежегодник ЦАМТО-2012:** статистика и анализ мировой торговли оружием. [Электронный ресурс]. Центр анализа мировой торговли оружием. Режим доступа: <http://www.armstrade.org/pages/main/magazines/yearly/report/index.shtml>. 2. **Крылатое** будущее ядерной дубинки России. [Электронный ресурс]. Pravda.ru Режим доступа: [http://www.pravda.ru/science/technologies/28-05-2013/1157914-x\\_101\\_102-0](http://www.pravda.ru/science/technologies/28-05-2013/1157914-x_101_102-0). 3. **Ракета X-59МК2.** [Электронный ресурс]. ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» Режим доступа: <http://www.ktrv.ru/production/68/675/803/>. 4. **Пакистан** испытал новую крылатую ракету Hatf-VII. [Электронный ресурс]. Армейский вестник. Режим доступа: <http://army-news.ru/2011/11/pakistan-ispytal-raketu-hatf-vii/>. 5. **Техническое** зрение в системах управления мобильными объектами-2010: Труды научно-технической конференции-семинара. Вып. 4 / Под ред. Р. П. Назирова.— М.: КДУ, 2011.— 328 с. 6. **Сотников А.М.** Проблемы и перспективы развития навигационного обеспечения летательных аппаратов / А.М. Сотников, В.А. Таршин // Сборник научных трудов ХУПС. — 2013. — № 3(36). — С. 57-63. 7. **Радиометрические** корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин.— Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина. 2008. — 356 с. 8. **Техническое** зрение в системах управления 2011: Сборник трудов научно-технической конференции. / Под ред. Р. П. Назирова. М.: Механика, управление и информатика, 2012. 236 с. 9. **Руководство № 315** по минимальным стандартам характеристик авиационных систем (MASPS) для систем улучшенного видения, систем искусственного видения, комбинированных систем искусственного видения и бортовых систем увеличения дальности видения [Электронный ресурс]. Межгосударственный Авиационный Комитет. Режим доступа: [http://www.mak.ru/russian/info/add\\_doc/files/r315masps.pdf](http://www.mak.ru/russian/info/add_doc/files/r315masps.pdf).

10. **Щербинин В.В.** Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В. В. Щербинин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 230 с. 11. **Сотников А.М.** Обобщенная математическая модель решающей функции радиометрической системы навигации с подсветкой объекта привязки / А.М. Сотников, В.И. Барсов, Ю.В. Самсонов // Системы озброєння і військова техніка. — 2011. — № 4(28). — С. 87-89. 12. **Антюфеев В.І.** Принципи побудови високоточної системи управління високошвидкісних літальних апаратів / В.І. Антюфеев, В.М.Биков, А.М. Гричанюк // Системы озброєння і військова техніка. Науковий журнал. — № 1 (5). — ХУПС Харків. — 2006. — С. 7 — 12. 13. **Сотников А.М.** Оценка вероятности распознавания объекта радиометрической системой при поста-новке маскирующих помех. А.М. Сотников, А.Б. Гаврилов // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. Науковий журнал. № 3 (11). —Харків, ХАІ. — 2005. — С. 10 — 14. 14. **Баклицкий В. К.** Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В. К. Баклицкий — Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. — 360 с. 15. **Основы** теории систем управления высокоточных ракетных комплексов Сухопутных войск. // Под редакцией В.Л. Солунина М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 328 с. 16. **Техническое** зрение в системах управления 2012: Сборник трудов научно-технической конференции. // Под ред. Р. П. Назирова. М.: Механика, управление и информатика, 2012. 294 с. 17. **Новейшие** методы обработки изображений. // Под ред. А.А.Потапова М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 496 с. 18. **Яне Б.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584 с. 19. **Белоглазов И.Н.** Основы навигации по геофизическим полям/ И.Н. Белоглазов, Г.И. Джанджгава, Г.П.Чигрин. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 328 с.

На основе анализа научных достижений в области корреляционно-экстремальных систем управляемых летательных аппаратов и особенностей их применения рассматриваются существующие проблемы и пути обеспечения возможностей высокоточного наведения летательных аппаратов.

*Ключевые слова:* корреляционно-экстремальная система наведения, система технического зрения, эталонное изображение, текущее изображение, летательный аппарат, беспилотный летательный аппарат, управляемое средство поражения.

On the basis of analysis of scientific achievements in the field of correlation-extremal systems of piloted aircraft and the peculiarities of their application are discussed existing problems and ways to enable high-precision guidance of aircraft.

*Key words:* correlation-extremal navigation system, technical vision system, reference image, current image, aircraft, drone, managed defeat.