

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. *Абдаллах Р.* Оцінка точності топографічних растрових карт Іраку / Р. Абдаллах // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Вип. 1. – С. 152–155.

4. *Лубенець Л. С.* До питання точності паперових та електронних карт / Л. С. Лубенець, О. І. Мороз, З. Р. Таргачинська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип. 74. – С. 44–47.

5. *Сосса Р.* Куди рухаються геодезія і картографія в Україні? [Електронний ресурс] / Р. Сосса, І. Тревого // Дзеркало тижня. – 2016. – 29 січня (№ 3). – Режим доступу : [http://gazeta.dt.ua/technologies/kudi-ruhayutsya-geodeziya-i-kartografiya-v-ukrayini-\\_html](http://gazeta.dt.ua/technologies/kudi-ruhayutsya-geodeziya-i-kartografiya-v-ukrayini-_html).

6. *Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500* [Електронний ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 3 від 24.01.94 р. – Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php#p6>.

7. *Корнієнко І. В.* Підхід до розв'язування задачі розподілу ресурсу в неточно визначених умовах / І. В. Корнієнко, В. М. Лось, С. П. Корнієнко // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. – 2011. – № 83 – С. 36–39.

8. *Корнієнко І. В.* Спосіб автоматизації процесу експертного оцінювання земельних ресурсів / І. В. Корнієнко // Технічні науки та технології. – 2015. – № 2 (2). – С 129–134.

**Корнієнко Ігор Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Корниенко Игорь Валентинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Korniienko Ihor** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Geodesy, Cartography and Land Planning Department, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: [cornel@ukr.net](mailto:cornel@ukr.net)

**Розумець Володимир Валерійович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Розумец Владимир Валерьевич** – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Rozumets Volodymyr** – student, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: [rozumez@ukr.net](mailto:rozumez@ukr.net)

УДК 629.7.01

*Сергій Нестеренко, Андрій Акименко, Оксана Герасименко,  
Юрій Камак, Максим Геращенко*

## **ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРАТИФІКАЦІЯ СТРУКТУР СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ**

*Сергей Нестеренко, Андрей, Акименко, Оксана Герасименко,  
Юрий Камак, Максим Геращенко*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Sergiy Nesterenko, Andrii Akymenko, Oksana Gerasimenko, Yuri Kamak, Maksim Gerashchenko*

## **FUNCTIONAL STRATIFICATION OF THE UNMANNED AVIATION VEHICLES CONTROL SYSTEM'S STRUCTURES**

*Наявні структури систем керування сучасних безпілотних авіаційних міні- та мікрокомплексів (МБПАК) відповідають способам їх практичного використання, які стали типовими на цей час. Разом з тим зростання вимог до автономності та оперативності функціонування останніх вимагає розширення функціональної структури систем керування МБПАК.*

*Роботу присвячено описові розширеної функціональної структури системи керування, яка одержується через введення додаткового о інтелектуального рівня до наявних рівнів напівавтоматичного та ручного керування МБПАК. Наведено переліки типових можливих операцій (команд) на кожному рівні запропонованої функціональної структури.*

**Ключові слова:** безпілотні авіаційні комплекси, системи керування, функціональна стратифікація.

*Рис.: 2. Бібл.: 8.*

Существующие структуры систем управления современных беспилотных авиационных мини- и микрокомплексов (МБПАК) соответствуют способам их практического использования, которые стали типичными в настоящее время. Вместе с тем рост требований к автономности и оперативности функционирования последних требует расширения функциональной структуры МБПАК.

Работа посвящена описанию расширенной функциональной структуры системы управления, которая получается путем введения дополнительного интеллектуального уровня к существующим уровням полуавтоматического и ручного управления МБПАК. Приводятся перечни типовых возможных операций (команд) на каждом уровне предложенной функциональной структуры.

**Ключевые слова:** беспилотные авиационные комплексы, системы управления, функциональная стратификация.

Рис.: 2. Библ.: 8.

The existing structures of modern control systems of unmanned aviation mini and micro systems (MUAS) correspond to their practical use that have become typical at this time. However, the growing requirements of autonomy and efficiency of their operation require the further expansion of the functional structure MUAS.

The work describes the extended functional structure of the control system, which is obtained by introducing additional intellectual level to the existing levels of semi-automatic and manual MUAS control. The lists of possible standard operations (commands) at each level of the proposed functional structure are given as well.

**Key words:** unmanned aviation systems, control systems, functional stratification.

Fig.: 2. Bibl.: 8.

**Постановка проблеми.** Безпілотні лігальні апарати (БПЛА) набули сьогодні широкого розповсюдження як у цивільній сфері [1], так і для вирішення специфічних завдань [2; 3]. Застосування безпілотних лігальних апаратів вимагає наявності значної кількості допоміжних технічних засобів, тому зазвичай розглядаються не ізольовані БПЛА, а безпілотні авіаційні комплекси (БпАК), куди БПЛА входять як головний компонент. Особливого розповсюдження набули БпАК на базі малих та середніх БПЛА завдяки їх порівняно меншій вартості та більш простого використання. У цій статті досліджується структура систем керування (СК) саме цього класу БпАК.

Типові способи використання БпАК, які склалися у практиці на цей період їх технічної еволюції, не повністю відповідають вимогам підвищення оперативності використання БпАК та ускладнюють їх (вбудову) інтеграцію до сучасних автоматизованих (інтелектуальних) систем керування вищих рівнів (СКВР). Тому актуальним є завдання розроблення перспективних, більш розвинених, структур систем керування безпілотними авіакомплексами, здатних більш адекватно реагувати на сучасні виклики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Системи керування робототехнічними комплексами з самого початку кваліфікувались як складні, тому дослідники докладали значних зусиль у намаганнях виконати їх ефективну декомпозицію з метою звести рішення великих проблем до суми вирішень більш простих складових.

Широко цитована робота Е. Гата [4] присвячена опису методології та результатів досліджень СК роботів, які ґрунтуються як на критикованому ним підході «відчуття-планування – дія», так і на концепції «архітектури підпорядкування», в якій верхній рівень керування має більший пріоритет, ніж підпорядкований йому, і має можливість нав'язувати останньому певну поведінку. Аналізуючи характер алгоритмів, які практично використовуються у СК роботів, автор доходить висновку, що їх можна стратифікувати на такі рівні:

а) «реактивні» керуючі алгоритми, які не зберігають інформацію про внутрішній стан робота і напряму відображають дані сенсорів на виконавчі сервоприводи (актуатори);

б) алгоритми, які значною мірою використовують інформацію про внутрішній стан робота, організують виконання послідовностей підпрограм керування його поведінкою, але не виконують часозатратних операцій інформаційного пошуку;

в) часовитратні (порівняно зі швидкістю зміни навколишнього середовища) алгоритми, виконання яких вимагає операцій інформаційного пошуку.

Рівень (а) автор [4] називає «контроллер» (Controller – «той, що керує»), рівень (б) – «сенсор» (Sensor – «виконує послідовностей»), а рівень (в) – «делібератор» (Deliberator – «розмірковувач»). Перелічена послідовність відповідає зростанню ступеня абстракції керування, відповідно – зростанню архітектурного рівня.

Описана в [5] еталонна архітектурна модель 4D/RCS створювалась, на думку її авторів, щоб «включати до себе всі системи, які знадобляться для досягнення в майбутньому певних цілей або кінцевих результатів» у галузі проектування та інтеграції програмного забезпечення для безпілотних транспортних засобів. Тобто робота [5] деякою мірою претендує на певну багатоосязність. Як одна з головних концепцій 4D/RCS постулює планування поведінки системи, ґрунтуючись, скоріше, на побудованій моделі світу, ніж тільки на обробленні вихідних сигналів датчиків.

Незважаючи на порівняно глибоку теоретичну проробленість архітектури 4D/RCS, вона є справедливо критикованою з двох причин. Перша причина – те, що планування поведінки об'єкта керування в цій архітектурі виконується на основі знання не про реальний світ, а про його побудовану модель. Друга причина критики у своїй основі має помітні часові витрати на виконання обчислень. Оскільки зовнішнє оточення динамічно змінюється, то результати обчислень за цей час можуть виявитися неактуальними на момент їх готовності.

Практика створення та наукові дослідження у галузі мобільних роботів після 2000 року доповнилися широким спектром робіт з безпілотних авіаційних комплексів різноманітного призначення і конструкції [1; 2; 3]. Розглянемо роботу [6], яка описує досить сталі на сьогодні погляди на архітектуру БпАК, зокрема гелікоптерного типу. Як й у вищезгаданих роботах, автори пропонують трирівневу реактивно-деліберативну архітектуру «HDRC3», схематично показану на рис. 1.

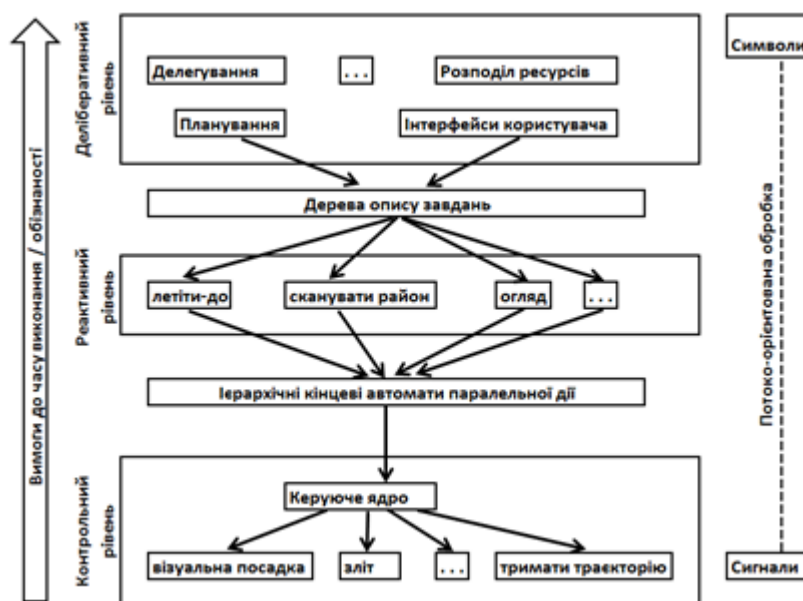


Рис. 1. Трирівнева архітектура «HDRC3» СК БпАК гелікоптерного типу за [6].

Термін «реактивний рівень» відповідає терміну «секвенсор» у [4]

Описані в [6] експериментальні польоти безпілотного гелікоптера Yamaha RMAX, система керування якого була побудована відповідно до HDRC3, показали практичну цінність сформульованих авторами теоретичних положень. Згадані положення відкривають можливість подальшого вдосконалення архітектур систем керування БпАК у напрямку їх більш адекватної інтеграції в системи управління більш високих рівнів, а саме командно-організаційні. Робота [6] таких підходів не містить, хоча в цьому напрямку наявний великий практичний і науковий інтерес.

Робота [7] також розглядає принципи побудови багаторівневих архітектур систем управління БПЛА, які спираються на добре зарекомендований практикою підхід функціональної декомпозиції. Зазначаючи, що ідея дворівневих реактивно-деліберативних архітектур у робототехніці не нова, автори висловлюють своє критичне ставлення до

об'єднання в межах одного деліберативного рівня модулів вирішення «широкого спектра задач», що, на їх думку, «призводить до надмірного ускладнення модульної архітектури». Таким чином, автори, по суті, доходять висновків [4; 6] про трирівневу архітектуру за тією відмінністю, що рівням даються дещо інші назви. Як і в [4], критерієм виділення рівня в архітектурі СК БПЛА вважається «ступінь обробки вхідної інформації і час відгуку», що, на нашу думку, є цілком прийнятним.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Огляд літературних джерел, наведений вище, дозволяє стверджувати, що сучасний сталий погляд на архітектуру системи керування БпАК полягає у виділенні трьох рівнів – рівня фізичного керування виконавчими механізмами (рівень «контроллер»), реактивного рівня («сенсор») та деліберативного рівня. Ці рівні розрізняються рівнем абстрактності інформації, яка ним обробляється, та часом реакції (відгуку). Для використання БпАК у режимі ручного управління цього достатньо.

Тенденція розвитку систем керування БпАК та способів їх застосування скерована в напрямку підвищення ступеня автономності їх роботи та розширення функціональності. Нині існує чітка тенденція розвитку систем керування БпАК та способів їх застосування в напрямку підвищення ступеня автономності їх роботи та розширення функціональності. У зв'язку з цим виникає потреба у критичному перегляді поглядів на архітектуру СК БпАК з погляду надання їй більшої відповідності перспективним умовам їх використання. Розглянуті джерела не містять пропозицій щодо вирішення цієї проблеми.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є опис розширеної структури системи керування БпАК, адаптованої для використання в організаційно-технічних системах управління в умовах швидкої зміни ситуації та узагальненого формулювання оперативних завдань.

**Головною метою цієї роботи** є виділення в структурах систем керування БпАК таких рівнів (шарів), наявність яких дозволить підвищити автономність та реактивність СУ БпАК, створити передумови інтеграції БпАК в СКВР. Для кожного з рівнів СК БпАК треба надати перелік типових операцій (команд), релевантних кожному рівню.

**Виклад основного матеріалу.** Безпілотні авіаційні комплекси на цьому історичному періоді переживають інтенсивний розвиток, причому головний акцент останнього виразно знаходиться у площині удосконалення систем керування. Системи керування БпАК все виразніше набувають рис інтелектуальних комп'ютерних систем із складною поведінкою.

Розглядаючи типовий сценарій використання БпАК у сучасних умовах, можна визначити таких акторів (виключаючи допоміжний персонал):

- замовник місії;
- адміністратор комплексу;
- оператор (зовнішній пілот) БПЛА.

Ролі акторів у стандартному випадку розподіляються таким чином.

Замовник місії визначає її мету, а також маршрут і тривалість польотів. Він же оцінює результат виконання місії.

Адміністратор комплексу формує польотні завдання під час підготовки місії, вносить їх до пам'яті комп'ютерів комплексу, супроводжує польоти через наземну станцію керування (НСК), за необхідності оперативно змінює польотні плани під час їх виконання, керує роботою корисного навантаження БПЛА (відеокамер тощо).

Оператор (зовнішній пілот) комплексу забезпечує виконання зльоту БПЛА, допомагає адміністратору біля наземної станції керування під час виконання місії, та забезпечує коректне виконання процедури приземлення БПЛА за допомогою пульта дистанційного керування (ПДК).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Типовий сценарій місії БпАК полягає у виконанні такої послідовності дій:

- а) замовник місії формує мету виконання місії (виконує цілепокладання) та повідомляє її адміністратору комплексу;
- б) адміністратор формує польотний план та вводить його до пам'яті комп'ютерів БпАК;
- в) пілот виконує зліг БПЛА;
- г) виконується поліг. Адміністратор та пілот з НСК керують польотом, відстежують хід виконання місії;
- д) адміністратор вносить корективи до процесу виконання польоту (за ініціативою замовника місії та/або у зв'язку із зміною зовнішніх обставин);
- е) пілот на кінцевій стадії польоту в ручному режимі з використанням ПДК виконує посадку БПЛА;
- є) замовник місії та адміністратор аналізують результати виконання місії, оцінюють її результативність.

Описана група дій характеризується значною кількістю ручних операцій, що знижує оперативність використання БпАК та ускладнює інтеграцію БпАК до сучасних автоматизованих (інтелектуальних) систем керування більш високого рівня.

Різні аспекти використання систем керування безпілотних авіаційних комплексів логічно пов'язані між собою досить складним чином. На рис. 2 зображено графічну інтерпретацію цих взаємозв'язків.

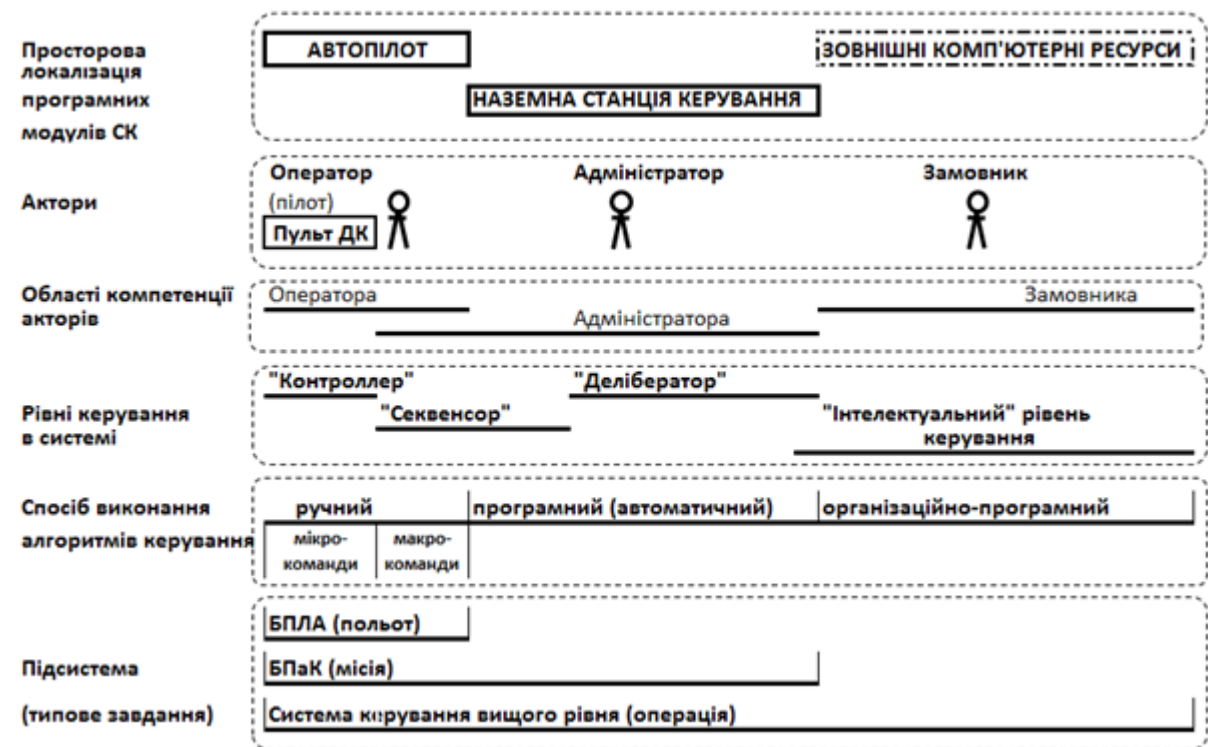


Рис. 2. Логічне зіставлення різних аспектів функціонування системи керування БпАК. Термінологія та семантика рівнів керування в системі відповідають [4]

На нашу думку, наявність в системі замовника місії, який планує операцію і видає завдання на виконання місії БпАК, приводить до необхідності вводити до системи керування додатковий рівень, умовно названий тут «інтелектуальним». На цьому рівні виконується програмно-організаційне планування операції, а вхідні дані на виконання місії БпАК передаються, за наявності відповідних інтерфейсів, кодованим способом з використанням каналів комп'ютерного зв'язку. Це значно підвищує оперативність функціонування системи загалом, зменшує час її реакції на зовнішні події. Особливо ак-

туальним цей аспект є з огляду на те, що все більша увага приділяється [8] можливості цілепокладання без участі людини під час планування навіть відповідальних операцій.

Другою особливістю, яка не згадується в літературних джерелах, є те, що ручний режим керування БПЛА реалізується, фактично, на двох рівнях. Вищий рівень («макрокоманди») подаються адміністратором з НСК і за змістом являють собою, наприклад, інструкції на зразок «лягти на курс 225», «змінити висоту польоту на 150 м».

Нижній рівень ручного управління оперує «мікрокомандами», які найчастіше подаються з ПДК («вправо-вліво», «вверх-вниз», «збільшити-зменшити газ»). У зв'язку з викладеним констатуємо, що області компетенції оператора та адміністратора частково перекриваються.

На рівні системи керування «Контроллер» процес керування реалізується через потоки обчислень у «прошивці» автопілота і, найчастіше, зводиться до функціонування пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів, які забезпечують автоматичний політ за заданими параметрами. На цьому ж рівні сприймаються і виконуються згадані вище мікрокоманди.

На рівні системи керування «Секвенсор» виконуються програми імплементації заданого плану польоту, вводяться та передаються на рівень «Контроллер» макрокоманди.

На рівні «Делібератор» виконується ручне або автоматичне планування маршруту польоту та початкова перевірка готовності комплексу перед початком виконання місії. На цьому ж рівні виконується корекція плану польоту у процесі його виконання. Крім того, процедури цього рівня сприймають кодовані завдання від СКВР на виконання місії та передають вхідні дані автоматичному планувальнику польоту. Після виконання місії «Делібератор» передає кодоване донесення до СКВР.

На інтелектуальному рівні системи керування виконується цілепокладання для виконання місії на підставі високорівневого опису операції, формується та передається кодоване завдання на виконання місії. Після виконання місії приймається та обробляється кодоване донесення про її результати.

Треба зауважити, що взаємодія рівнів «Делібератор» та інтелектуального повинна виконуватись з використанням спеціального протоколу, розроблення якого є ще не вирішеною технічною задачею.

**Висновки і пропозиції.** Коректний логічний розподіл архітектури системи керування сучасним БпАК на функціональні рівні (стратифікація) дозволяє виконати адекватне вертикальне структурування комп'ютерного програмного забезпечення, яке імплементує функціональність СК БпАК. Актуальним є розширення традиційної трирівневої архітектури СК додатковим верхнім інтелектуальним рівнем, в якому доцільно реалізовувати дії з автоматичного (напівавтоматичного) цілепокладання та автоматичного планування місії на базі наявних для цього ресурсів.

#### Список використаних джерел

1. Herlik E. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for commercial applications global market & technologies outlook 2011–2016. Technical report, Market Intrel Group LLC, 2010.
2. Білецький І. Г. Особливості застосування безпілотної розвідувальної авіації в сучасних воєнних конфліктах / І. Г. Білецький, В. В. Андронов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 1 (3). – С. 79–85.
3. Пащук Ю. М. Тактичні безпілотні авіаційні комплекси: можливості та обмеження у застосуванні / Ю. М. Пащук, Ю. П. Сальник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1 (18). – С. 23–28.
4. Gat E. On Three-Layer Architectures. /Artificial intelligence and mobile robots.– MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1998 – Pp. 195–210.
5. James Albus et al. 4D/RCS: A Reference Model Architecture For Unmanned Vehicle Systems Version 2.2. NIST, August 2002.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. *Doherty P., Kvarnstrom J., Wzorek M., Rudol P., Heintz F., Conte G.* HDRC3: A Distributed Hybrid Deliberative/Reactive Architecture for Unmanned Aircraft Systems / Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Ed. by Valavanis K.P., Vachtsevanos G.J. – Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2015. – Pp. 849–952.

7. Принципы построения многоуровневых архитектур систем управления беспилотными летательными аппаратами / К. С. Яковлев, Д. А. Макаров, А. И. Панов, Д. В. Зубарев // Авиационное приборостроение. – 2013. – № 4. – С. 10–28.

8. *The ethics of killer robots, Spotts P.* The Christian Science Monitor [Електронний ресурс]. – June, 17, 2015. – Режим доступу : <http://www.csmonitor.com/layout/set/print/USA/Military/2015/0617/The-ethics-of-killer-robots>.

**Нестеренко Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Нестеренко Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Nesterenko Segiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** nesterenkosa@stu.cn.ua

**Акименко Андрій Миколайович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Акименко Андрей Николаевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Akyumenko Andrii** – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** akim@stu.cn.ua

**Герасименко Оксана Юрійвна** – магістр комп'ютерної інженерії, аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Герасименко Оксана Юрьевна** – магистр компьютерной инженерии, аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Gerasimenko Oksana** – master in computer engineering, PhD student of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oksgerasymenko@gmail.com

**Камак Юрій Олександрович** – начальник відділу Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України (вул. Стрелецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Камак Юрий Александрович** – начальник отдела Государственного научно-испытательного центра Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14033, Украина).

**Kamak Yuri** – Head of Division in the State Scientific and Testing Centre of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** dnvc@meta.ua

**Герашенко Максим Михайлович** – провідний інженер-випробувач, Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України (вул. Стрелецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Герашенко Максим Михайлович** – ведущий инженер-испытатель, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14033, Украина).

**Gerashchenko Maksim** – Leading Testing Engineer, The State Scientific and Testing Centre of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** demio99@ukr.net