

УДК 004.9

*Андрій Акименко, Сергій Нестеренко***UML-МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ***Андрей Акименко, Сергей Нестеренко***UML-МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ АВИАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ***Andrii Akymenko, Sergii Nesterenko***UML-MODEL CONTROL SYSTEM UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS**

*Розглянуто систему управління безпілотним авіаційним комплексом (БпАК). Розроблено діаграми, що описують функціонування безпілотного літального апарата (БПЛА) засобами мови UML. Поведінку системи управління БпАК представлено у вигляді діаграми станів. Узагальнено основні принципи побудови системи управління безпілотним авіаційним комплексом.*

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, безпілотні авіаційні комплекси, система управління БпАК, об'єктно-орієнтоване проектування.

*Рис.: 5. Бібл.: 5.*

*Рассмотрена система управления беспилотным авиационным комплексом (БпАК). Разработаны диаграммы, описывающие функционирование беспилотного летательного аппарата (БПЛА) средствами языка UML. Поведение системы управления БпАК представлено в виде диаграммы состояний. Обобщены основные принципы построения системы управления беспилотным авиационным комплексом.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, беспилотные авиационные комплексы, система управления БпАК, объектно-ориентированное проектирование.

*Рис.: 5. Библ.: 5.*

*This article discusses the system of unmanned aviation systems (UAS). Developed diagrams describing the operation of unmanned aerial vehicle (UAV) by means of language UML. Behavior management UAS presented in a state diagram. Overview basic principles of the system of unmanned aviation systems.*

**Key words:** drones, unmanned aircraft systems, system management UAS, object-oriented design.

*Fig.: 5. Bibl.: 5.*

**Постановка проблеми.** Безпілотні авіаційні комплекси (БпАК), що включають до свого складу безпілотні літальні апарати (БПЛА) та наземну станцію керування, стають все більш популярними у різноманітних галузях людської діяльності. Незважаючи на те, що БПЛА розробляються головним чином для військових цілей, стає очевидним, що є багато інших галузей, де вони могли б виявитися корисними. Наприклад, сільське господарство, де БПЛА можуть бути використані для польових спостережень або для розподілу хімічних речовин. БПЛА можуть патрулювати великі лісові масиви, використовуватись у картографічних роботах або ж вони можуть бути використані для спостереження за рухом у великих містах. У картографії малі БПЛА можуть бути використані для автоматичного фотографування ландшафту, будучи набагато більш економічно ефективними в порівнянні з традиційною повітряною технологією миттєвих знімків. Цікавим є застосування БПЛА і для наукових досліджень, оскільки вони можуть бути використані як літаючі лабораторії, полігони для алгоритмів управління, або як інструменти освіти для студентів.

Таким чином, сьогодні зростає попит на системи управління БпАК, а також на проекти – комерційні або наукові – розробки БпАК. У цій галузі досягнуто вже багато серйозних результатів і створено кілька БпАК, з різним ступенем автономності, що використовуються під час вирішення різноманітних завдань. На жаль, інформація щодо БпАК та БПЛА неохоче оприлюднюється розробниками. Особливо це стосується технічної документації, що описує систему управління.

До того ж реальні системи дуже часто піддаються випадковим впливам, що може змінити поведінку системи управління непередбачуваним чином і, відповідно, у таких випадках необхідну ефективність дослідження можливо отримати тільки у процесі вивчення моделі.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Таким чином, моделювання як загальний метод дає такі переваги:

- а) дозволяє вирішувати складні завдання;
- б) досліджує особливості функціонування реальної системи у різних умовах експлуатації;
- в) скорочує вартість проектування та випробувань.

Як показує практичний досвід, чим складніше система, тим важче описати всі аспекти системи, що моделюється. Звідси випливає висновок: моделювати складну систему слід з кількох різних поглядів, кожен раз беручи до уваги один аспект моделювання й абстрагуючись від інших. Це один з головних принципів UML-моделювання.

Отже, використання уніфікованої мови моделювання UML для опису складних технічних систем є досить ефективним. Моделі UML наочно показують структуру і поведінку модельованої системи, що дозволяє краще зрозуміти процес її функціонування. Мова UML дає можливість розглянути систему з усіх аспектів, що мають відношення до її розробки і подальшого розгортання й аналізу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До цього часу в науковій літературі описано безліч підходів до побудови систем управління безпілотними апаратами [1; 2]. Існують певні спроби стандартизації в цій галузі. Традиційно в робототехніці і суміжних дисциплінах під системами управління розуміються дворівневі системи, що складаються з деліберативного та реактивного рівнів управління. На реактивному рівні вирішуються базові завдання, пов'язані з утриманням заданих параметрів об'єкта управління (швидкість, кутове положення і т. ін.). Ці завдання мають найвищий пріоритет, і зазвичай їх вирішення проводиться в режимі реального часу безпосередньо на бортовому обчислювачі об'єкта управління (в цьому випадку – на бортовому обчислювачі безпілотного літального апарату). При цьому реактивний рівень управління «замкнений» на виконавчі механізми БПЛА. Також саме на цьому рівні проводиться первинне оброблення інформації, що надходить з датчиків БПЛА. Дані, необхідні безпосередньо для вирішення поточних завдань, використовуються програмними модулями рівня управління, решта інформації передається на деліберативний та інтелектуальний рівні [3].

На вищевказаних рівнях вирішується багато завдань – постановка цілей, визначення їх пріоритетів, прогнозування, планування тощо. Саме різноманітністю завдань обумовлюється перелік функцій, що покладені на систему управління сучасними безпілотними літальними апаратами:

- 1) стратегічний (верхній) рівень управління, відповідальний за постановку і вибір цілей, прогнозування, високорівневу обробку інформації;
- 2) тактичний (проміжний) рівень управління, відповідальний за розпізнавання образів, побудова карти місцевості, планування траєкторії;
- 3) рівень управління (нижній рівень), відповідальний за витримування параметрів управління виконавчими механізмами.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою цієї статті є опис UML-моделі системи управління безпілотним авіаційним комплексом, що дозволить уніфікувати та узагальнити вже відомі напрацювання в галузі розробки БпАК. Це дає можливість створити мовно-незалежну платформу для розроблення програмного забезпечення системи управління БпАК та оцінювання його якості та відповідності проектним вимогам.

**Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу.** Безпілотний авіаційний комплекс керує безпілотним літальним апаратом, який виконує автономний політ по введених перед стартом на борт БПЛА програмі, що передбачає виконання координатного чи координатно-часового графіка. Крім того, широке розповсюдження отримав термін «дистанційно-пілотований», що означає БПЛА, що керується за допомогою радіокоманд.

Аналіз існуючих і перспективних розробок показав, що для забезпечення гнучкості під час експлуатації БПЛА реалізується й автоматичний, і дистанційний режим керування літальним апаратом.

Слід відзначити, що в наявній на сьогодні літературі відсутній загальноприйнятий склад компонентів БпАК. На рис. 1 наведено узагальнену структуру безпілотного комплексу як складної апаратно-програмної системи. Структурна схема розроблена на підставі узагальнення інформації про існуючі та перспективні розробки в цій галузі. Очевидно, що вирішення завдань залежить від ефективної взаємодії всіх компонентів, які за своєю природою є механічними, радіоелектронними, електромеханічними, електронними та програмними.

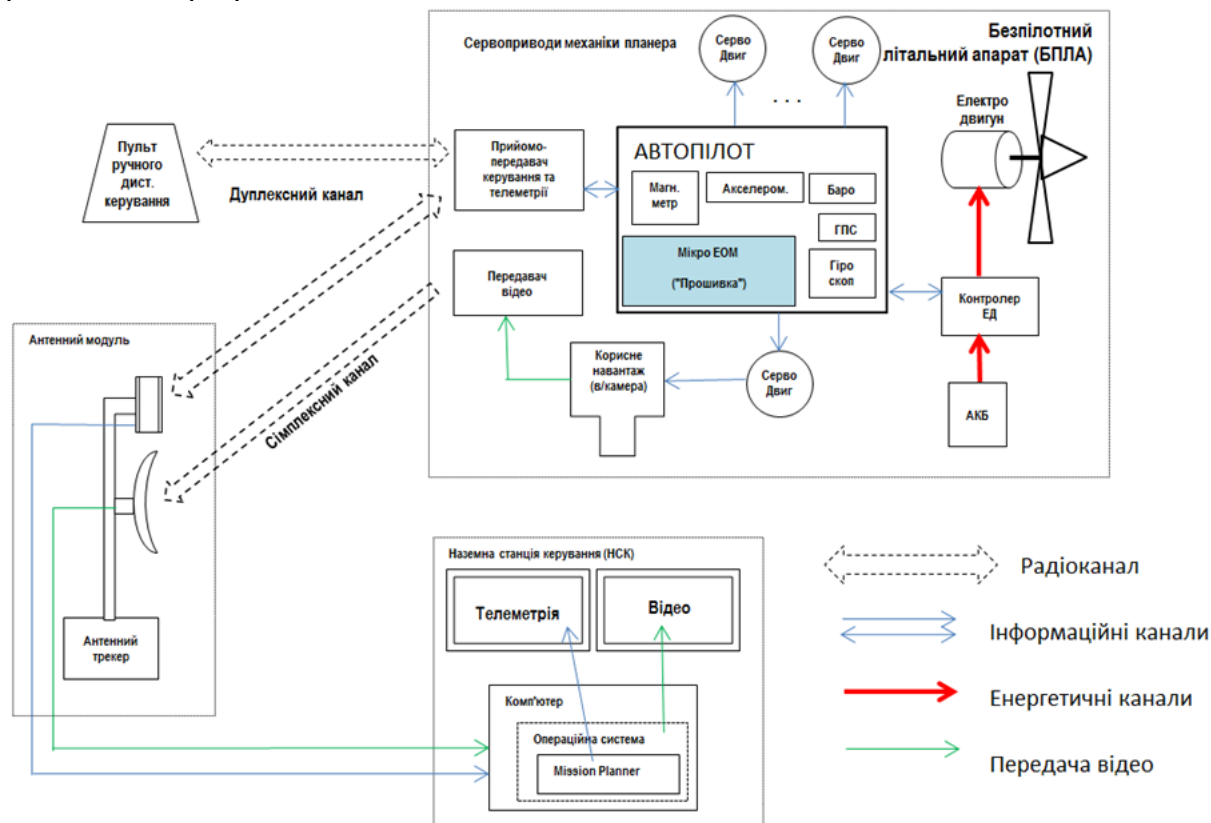


Рис. 1. Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу

Ефективне функціонування безпілотних літальних апаратів та комплексу загалом забезпечується системою управління, перед якою поставлені такі завдання:

- забезпечення необхідних динамічних характеристик БПЛА;
- стабілізація БПЛА у тривимірному просторі;
- автоматичне утримання на траєкторії місії.

Ці завдання вимагають від системи управління БпАК наявності певних властивостей. В інженерному контексті інтелектуальне управління БПЛА має володіти такими характеристиками:

- по-перше, стійкість (живучість),
- по-друге, адаптивність;
- по-третє, масштабованість (здатність до нарощування функціоналу);
- по-четверте, автономність.

Структурна схема системи управління включає дві основні компоненти. Перша – це сам планер та комплекс апаратно-програмних засобів, наявних на його борту, який забезпечує всі режими польоту і виконання поставлених завдань. Друга компонента – наземна станція керування, яка видає команди управління та відслідковує їх виконання.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Крім того, можуть видаватися інші незалежні команди управління для перепрограмування БПЛА при управлінні іншими функціями.

БПЛА має радіоканал зв'язку з наземною апаратурою управління.

Сам літальний апарат, як об'єкт управління, кермові приводи органів управління та наземна апаратура утворюють систему управління безпілотного авіаційного комплексу.

**Функціональна модель БпАК**

Бортова і наземна апаратура системи управління повинна забезпечити такі режими роботи БПЛА:

- зліт і посадка в автоматичному режимі (можливі також ручний режим зльоту і посадки з керуванням по радіоканалу оператором);
- політ у напіваавтоматичному режимі з управлінням по радіоканалу з коригуванням дій оператора бортовою апаратурою управління;
- політ в автоматичному режимі по контрольних точках з одночасним надсиланням телеметрії на наземну апаратуру управління.

У ручному режимі оператор, візуально оцінюючи поведінку та стан БПЛА, за допомогою системи управління має можливість керувати апаратом. Напіваавтоматичний режим можливий у радіусі дії радіоканалу, який залежить від якостей радіоапаратури, що підключена до БпАК.

Напіваавтоматичний режим управління (пілотування) у цьому випадку здійснюється за допомогою інформації про просторове положення БПЛА, одержаної по радіоканалу, і відображається на віртуальній приладовій панелі. Дії оператора в цьому режимі управління коригуються системою управління, яка виконує функції автопілота, що не допускає потенційно небезпечних параметрів руху БПЛА.

У напіваавтоматичному режимі система управління забезпечує два інформаційні потоки через радіоканал:

- від блока ручного управління до пристрою управління автопілота;
- від датчиків і системи орієнтації через модуль навігатор, інтерфейс телеметрії на пристрій візуалізації параметрів польоту.

У напіваавтоматичному режимі польоту БПЛА модуль автопілота здійснює контроль за командами наземної апаратури:

- отримує по радіоканалу команду;
- отримує поточну інформацію про кутову орієнтацію БПЛА і кутові швидкості від системи орієнтації. За необхідності автопілот виконує власні алгоритми для стабілізації БПЛА.

Автоматичний режим – це забезпечення польоту за наперед заданим маршрутом. У такому режимі можлива відсутність радіозв'язку з апаратурою управління і зв'язку.

Зазначений режим польоту включається автоматично, коли БПЛА виходить із зони дії радіоканалу.

При цьому команди від наземної апаратури ігноруються. В цьому режимі польоту за показниками систем орієнтації і навігації та датчиків здійснюється автоматичне керування висотою і швидкістю польоту, курсом, можливо також управління відхиленням від заданої траєкторії.

В автоматичному режимі польоту керування здійснюється за принципом «наведення – стабілізація». Навігатор БПЛА генерує команду наведення, яка транслюється автопілоту.

Автопілот виконує завдання зі стабілізації, оброблює команду наведення і забезпечує стійкості руху за допомогою вироблення команд управління двигуном та органами управління. В разі перевищення заданих порогів (по кутах і кутових швидкостях) буде віддана команда стабілізації режиму горизонтального польоту, що виробляється алго-

ритмом автопілота. В автоматичному режимі на модуль навігатора покладено завдання періодично перевіряти наявність зв'язку по радіоканалу. У разі його наявності модуль навігатора посилає дані телеметрії на землю. Основні функції системи управління БПЛА в напіваавтоматичному й автоматичному режимах виконує автопілот.

Повністю автоматичне управління БПЛА можливо за наявності двох складових. По-перше, інформації про поточний стан літального апарату в просторі, а по-друге, інформації про заданий рух БПЛА. Траєкторне управління БПЛА різного призначення може бути командним (за командами, що надходять ззовні), програмним (траєкторія сформована і задається на борту у вигляді часових залежностей), адаптивним та термінальним, за якого управління здійснюється для досягнення кінцевого результату.

Крім траєкторного управління, здебільшого, здійснюються кутова стабілізація і управління кутовим положенням БПЛА. Найважливішими завданнями при цьому є: забезпечення стійкості руху при всіх режимах польоту з урахуванням можливих збурень, відхилень вихідних даних; досягнення точності виконання завдання; забезпечення живучості управління при збуреннях, викликаних зовнішнім впливом на систему управління.

При польоті в автоматичному режимі БПЛА повинен літати на малих висотах з оглядом на рельєфу місцевості. При цьому повинна бути забезпечена точність підтримки висоти. Також повинні бути передбачені варіанти виходу з критичних режимів польоту, наприклад, з критичного крену, який може виникнути внаслідок пориву вітру під час здійснення маневру з розвороту, і ухилення БПЛА від цілеспрямованих ворожих дій.

Наведений опис роботи системи управління безпілотним авіаційним комплексом дозволяє перейти до створення моделі БпАК засобами, що надає мова моделювання UML. Як зазначено в [4], нині UML є найпоширенішим засобом для проведення та оформлення результатів аналізу та проектування складних систем. Тому для представлення моделі системи управління БпАК обрано загальноприйнятну методологію відображення результатів роботи над проектом.

Враховуючи специфіку комплексу управління БпАК, а саме, його апаратно-програмну структуру, використання всіх діаграм, що включені в генеральну нотацію UML, не є необхідним.

Оскільки метою цієї статті є узагальнення існуючої інформації стосовно комплексів управління БПЛА та розробка моделі, що описує найбільш розповсюджену структуру системи управління БпАК, очевидним буде використання діаграм UML, які можуть бути задіяні не тільки в об'єктно-орієнтованій методології аналізу та проектування, а і дають можливість вивчати різні аспекти апаратно-програмних комплексів, не звужуючи рівень абстрагування до класів і об'єктів.

Такими діаграмами, на наш погляд, є діаграми:

- варіантів використання;
- станів;
- діяльності;
- компонентів;
- розміщення.

Діаграма варіантів використання, що описує функціональні можливості системи управління БпАК, наведена на рис. 2.

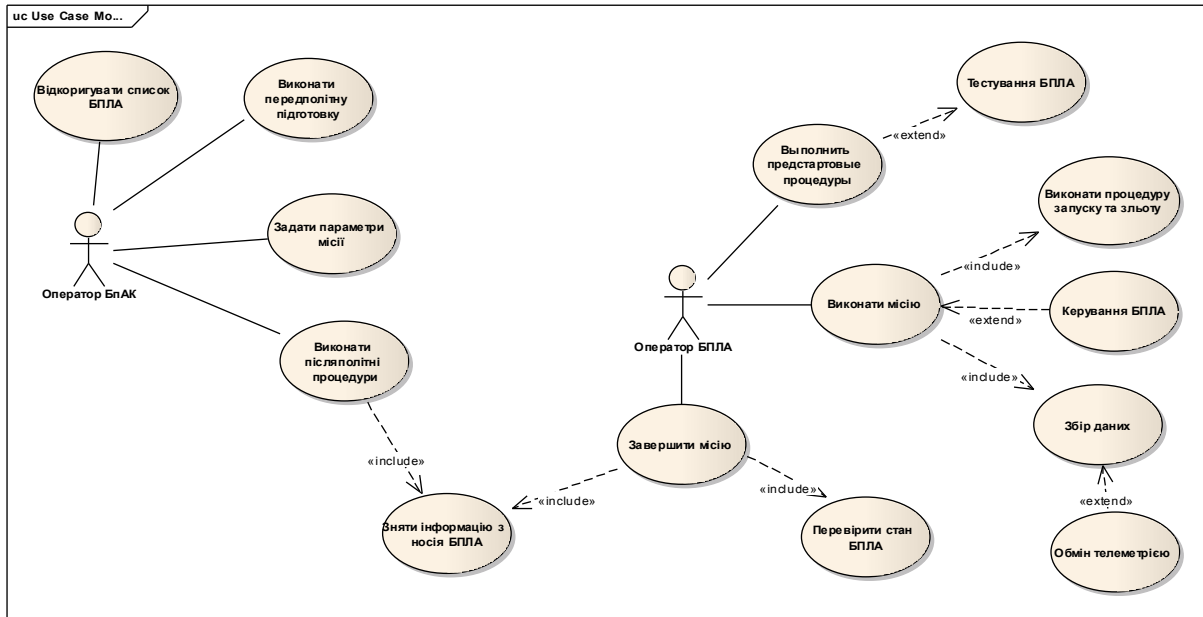


Рис. 2. Діаграма варіантів використання БпАК

**Поведінка системи управління БпАК**

Наступний крок у процесі розроблення моделі складної системи – вивчення її поведінки або поведінки підсистем, що входять до складу комплексу. Необхідно виділити у запропонованій моделі дві підсистеми, поведінку і, відповідно, цільове призначення яких можна відокремити одне від одного.

Діаграма станів на рис. 3 показує всі можливі стани, в яких може перебувати наземна станція керування системою управління БпАК, а також процес зміни станів у результаті зовнішнього впливу.

Інша підсистема, поведінка якої не менш важлива, – це сам безпілотний літальний апарат. Узагальнена модель поведінки представлена на рис. 4.

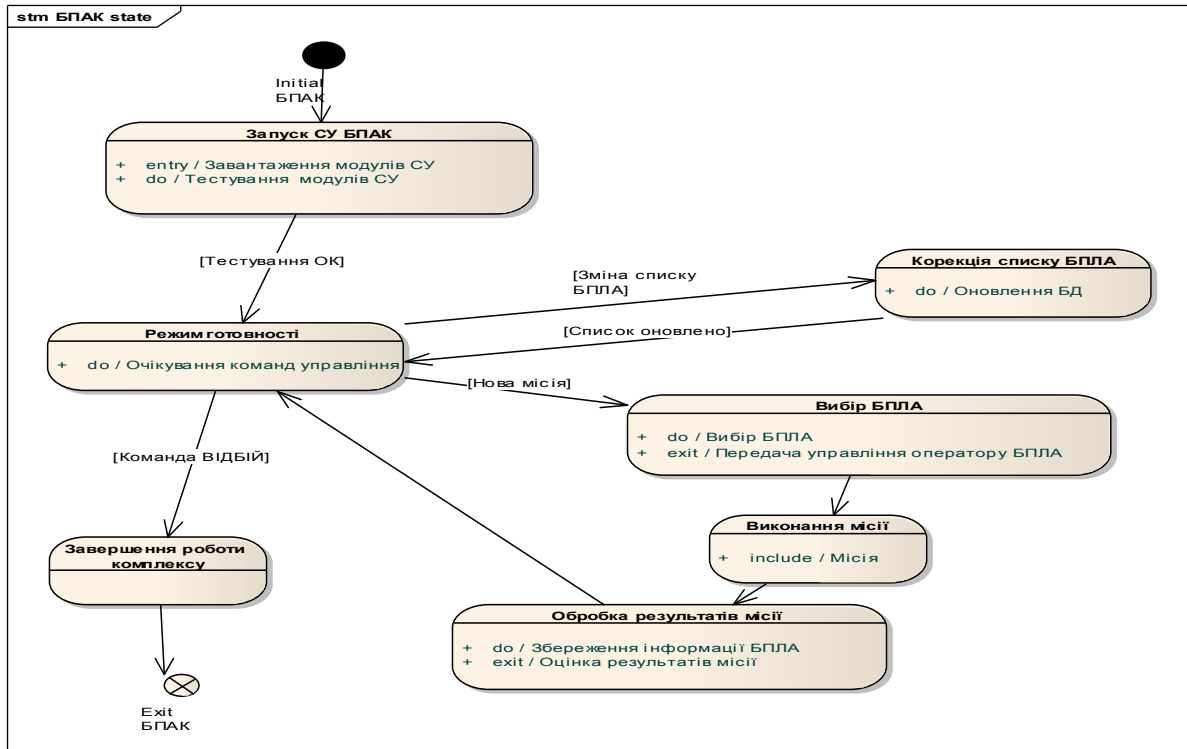


Рис. 3. Діаграма станів для наземної апаратури БпАК

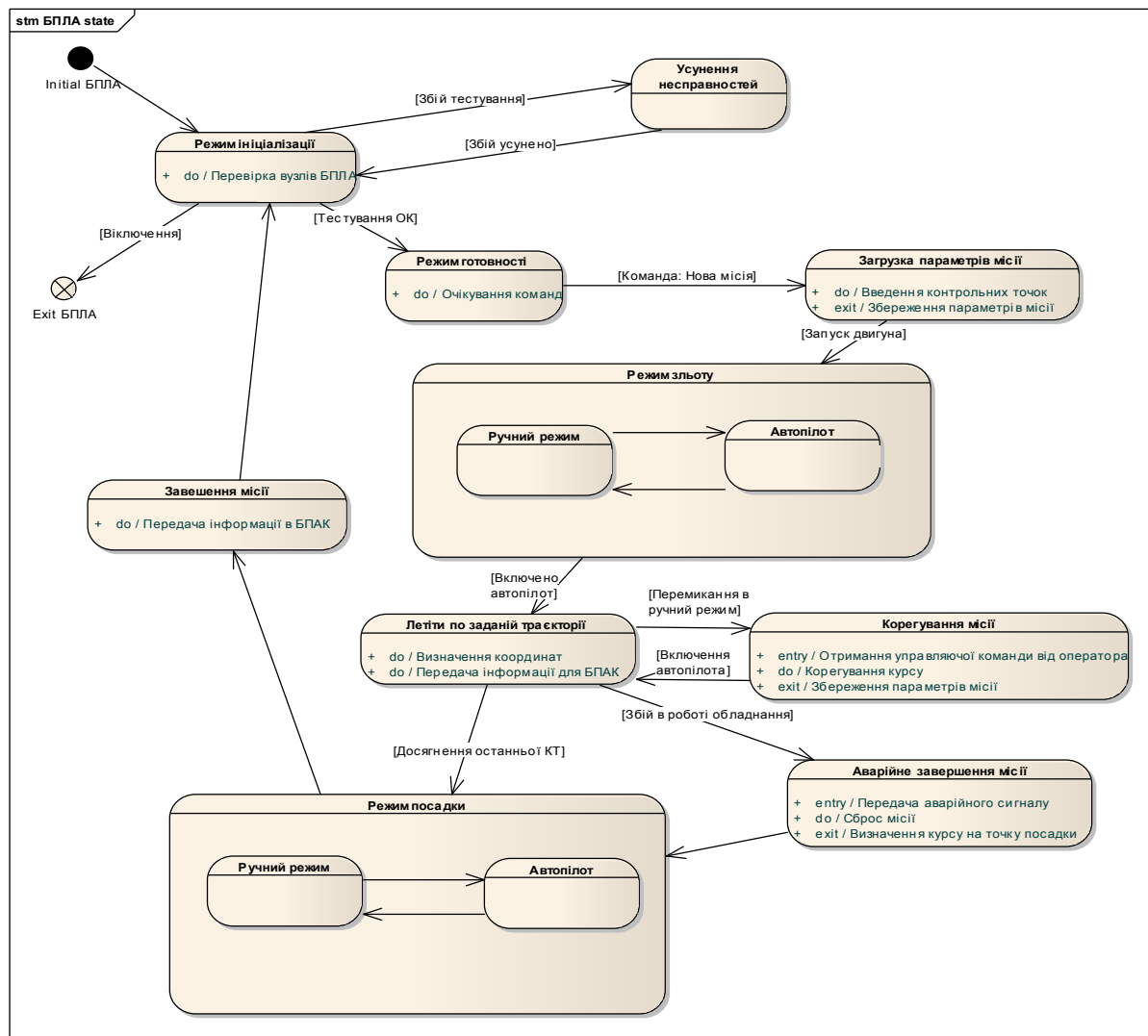


Рис. 4. Діаграма станів БПЛА

Діаграма діяльності корисна для опису алгоритму дій, але вона не дає уявлення про поведінку певного об'єкта в межах окремого випадку використання або системи в цілому, тому розробка діаграми діяльності, враховуючи що в межах цього дослідження буде створена узагальнена модель, не є необхідним, оскільки концентрує увагу на окремих або специфічних алгоритмах.

### Компоненти системи управління БпАК

Основною метою розробки діаграми компонентів є відображення структурних зв'язків між компонентами системи. В UML компонентами вважаються автономні, інкапсульовані блоки всередині системи або підсистеми, які забезпечені одним або кількома інтерфейсами з іншими компонентами.

Ідея полягає в тому, що розробник має можливість повторно використовувати або змінити реалізацію одного компонента конструкції на іншу, оскільки компонент інкапсулює поведінку і реалізує необхідні інтерфейси.

У сучасній концепції UML компоненти-фізичні елементи мають назву «артефакт». Артефакт являє собою фізичну одиницю. Тільки артефакти знаходяться на фізичних вузлах або зв'язані ними.

Діаграма компонентів дозволяє розробнику перевірити, чи може відповідний набір артефактів правильно реалізувати функціонал системи, забезпечуючи тим самим її введення в експлуатацію.

Корисність схеми розміщення компонентів для розробника має ще один аспект, а саме, оскільки вона дає їм уявлення про систему на досить високому рівні абстрагування, описуючи архітектуру системи, діаграма допомагає формалізувати процес оцінювання якості кінцевого продукту, а також прийняти рішення про внесення змін до проекту для поліпшення кінцевого результату.

Узагальнюючи структуру системи, наведеної на рис. 1, а також її функціональні можливості, зображені на рис. 2-4, розроблено діаграму компонентів, що описує архітектуру системи управління БпАК (рис. 5).

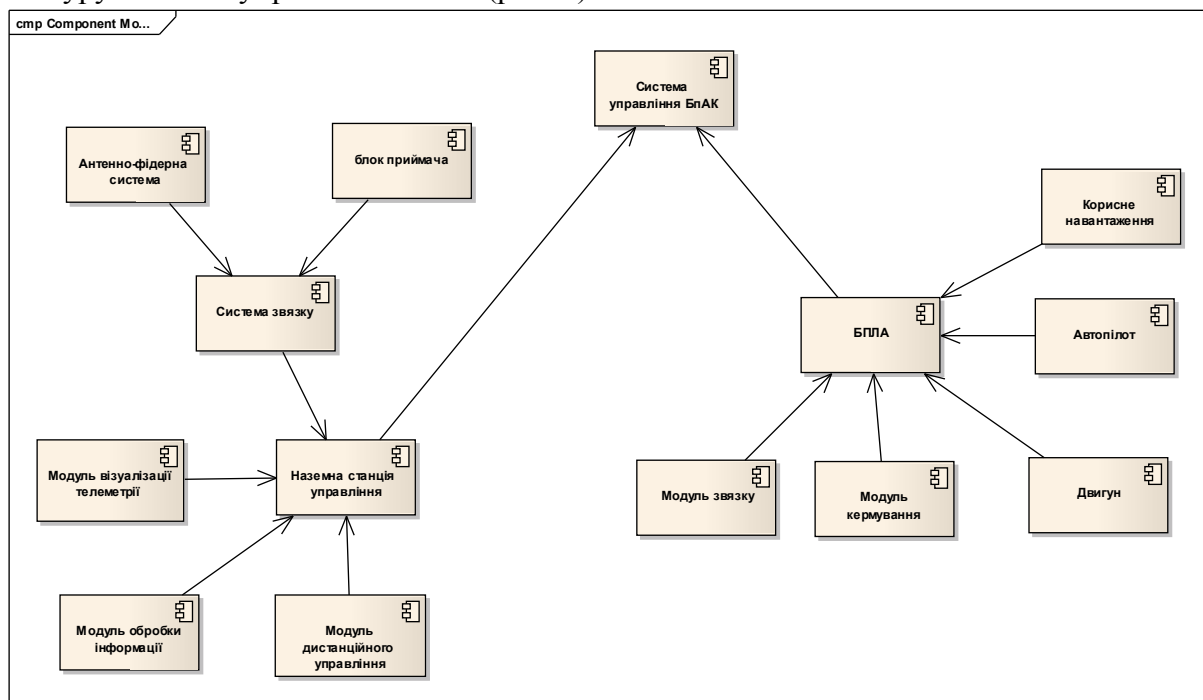


Рис. 5. Діаграма компонентів системи управління БпАК

В UML діаграма розгортання використовується для опису фізичної моделі архітектури системи. Діаграм розгортання показує взаємозв'язок між програмними й апаратними компонентами системи.

Діаграма розгортання показує фізичне розташування вузлів у розподіленій системі, артефактів, які зберігаються на кожному вузлі. Оскільки узагальнена архітектура системи не є складною, що чітко визначена на структурній схемі (рис. 1), безпосередньої необхідності розроблення діаграми немає.

Отже, до складу узагальненої моделі системи управління БпАК достатньо включити діаграму варіантів використання, діаграму станів та діаграму компонентів. Перелічені діаграми повністю описують функціональні та архітектурні особливості системи управління безпілотного авіаційного комплексу.

**Висновки та пропозиції.** Використання об'єктно-орієнтованої методології проведення аналізу дозволило, ґрунтуючись на стандартній структурній схемі системи управління, розробити узагальнену модель БпАК.

UML-діаграми повністю описують функціональні можливості та поведінку системи управління і її окремих складових.

За допомогою діаграми компонентів описано архітектуру системи управління БпАК, що дає можливість виділити основні складові комплексу, а також, взявши до уваги можливість введення якісних оцінок для кожного артефакту, перейти до питань, пов'язаних з проведенням якісного оцінювання БпАК, побудованого на вищевикладених принципах.



## Список використаних джерел

1. Albus J. et al. 4D/Real-time Control System (4D/RCS): A Reference Model Architecture for Unmanned Vehicle Systems v2.0, NIST, NISTIR 6910, 2002.
2. Jameson S., Franke J., Szczerba R., Stockdale S. Collaborative Autonomy for Manned / Unmanned Teams. AHS International Forum 61. Grapevine. TX. 2005.
3. Функціональна стратифікація структур систем керування безпілотних авіаційних комплексів / С. Нестеренко, А. Акименко, О. Герасименко, Ю. Камак, М. Геращенко // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 2 (4). – С. 123–130.
4. Интеллектуальное управление транспортными средствами: стандарты, проекты, реализации / Г. С. Осипов, И. А. Тихомиров, В. М. Хачумов, К. С. Яковлев // Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – № 6. – С. 34–43.
5. Акименко А. М. Використання UML під час проектування складних програмних систем / А. М. Акименко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : зб. – 2011. – № 49. – С. 164–170.

## References

1. Albus J. et al. 4D/Real-time Control System (4D/RCS): A Reference Model Architecture for Unmanned Vehicle Systems v2.0, NIST, NISTIR 6910, 2002.
2. Jameson S., Franke J., Szczerba R., Stockdale S. Collaborative Autonomy for Manned/Unmanned Teams. AHS International Forum 61. Grapevine. TX. 2005.
3. Nesterenko, S., Akymenko, A., Herasymenko, O., Kamak, Yu., Herashchenko, M. (2016). Funktsionalna stratyfikatsiia struktur system keruvannia bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Functional stratification structures control systems of unmanned aircraft systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 2 (4), pp. 123–130 (in Ukrainian).
4. Osipov, G.S., Tikhomirov, I.A., Khachumov, V.M., Iakovlev, K.S. (2009). Intellektualnoe upravlenie transportnymi sredstvami: standarty, proekty, realizacii [Intelligent vehicles: standards, projects implementation]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie – Aerospace instrumentation*, № 6, pp. 34–43 (in Russian).
5. Akymenko, A.M. (2011). Vykorystannia UML pid chas proektuvannia skladnykh prohramnykh system [Using UML in the design of complex software systems]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky" – Journal of Chernihiv State Technological University. Ser. "Technical Sciences"*, № 49, pp. 164–170 (in Ukrainian).

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

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

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

**E-mail:** anakim2@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4594-6559>

**ResearcherID:** J-1017-2016

**Scopus Author ID:** 25027136900

**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 Sergii** – 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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4721-6883>

**ResearcherID:** F-5825-2014