

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-19>

УДК 004.42

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Круглик Андрій Сергійович, аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМІ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Мороз Б.І., Круглик А.С. Концептуальна модель обробки інформаційних потоків в системі безпілотних літальних апаратів. У межах статті описано концептуальну модель організації обробки інформаційних потоків у системах безпілотних (літальних) апаратів що можуть використовуватись у межах трансформації ЗСУ. Концептуальні модель не є вичерпною і може бути доповнена чи змінена з появою нових технічних рішень. Підкреслюється, що впровадження безпілотних систем у збройні сили є одним із пріоритетних задач трансформації в умовах ведення довгострокових військових дій для забезпечення мінімізації втрат особового складу. Представлено базові сценарії можливого використання і комбінування безпілотних засобів для досягнення мети – зменшення втрат особового складу. Оглядом досліджено існуючі технічні рішення для використання у безпілотних літальних апаратах, наземних роботизованих системах, морських дронах і т. д. Продемонстровано зміну інтенсивності повідомлень окремого типу а також зміну цінності конкретного повідомлення в залежності від оперативної ситуації. Увага у статті приділяється не лише використанню існуючих рішень, а, в першу чергу, розробку вітчизняних програмних і технічних рішень для можливості їх безперервної модифікації і вдосконалення за рахунок появи нових рішень і оптимізації існуючих.

Ключові слова: клієнт-серверна архітектура, інтенсивність повідомлень, цінність повідомлення, БПЛА, мікроконтролер, мікрокомп'ютер.

Moroz B., Kruhlyk A. Conceptual model of information flow processing in the system of unmanned aerial vehicles.

The article describes a conceptual model of the organization of information flow processing in unmanned (aircraft) systems that can be used within transformation process of the Armed Forces. The conceptual model is not exhaustive and may be supplemented or changed when new technical solutions appear. It is emphasized that implementation of unmanned systems in the armed forces is one of the priority tasks of transformation in the conditions of conducting long-term military operations to ensure the minimization of personnel losses. Basic scenarios of the possible use and combination of unmanned vehicles to achieve the goal of reducing personnel losses are presented. The existing technical solutions for use in unmanned aerial vehicles, ground robotic systems, marine drones, etc. have been reviewed. The change in the intensity of messages of a particular type, as well as the change in the value of a specific message depending on the operational situation, has been demonstrated. The article pays attention not only to the use of existing solutions, but, first of all, to the development of domestic software and technical solutions for the possibility of their continuous modification and improvement due to the appearance of new solutions and optimization of existing ones.

Keywords: client-server architecture, message intensity, message value, UAV, microcontroller, microcomputer.

Постановка проблеми. Два роки російсько-української війни показали що питання впровадження і використання безпілотних дронів на сьогоднішній день є дуже актуальним і, можливо, навіть змінює правила ведення бою. У роботі [1] автори вказали, що провідні країни світу ведуть активну розробку і впровадження безпілотних (літальних) апаратів у військові формування. Ведеться розробка не лише літальних апаратів, але й також наземних роботизованих систем. Як було сказано раніше, провідні країни світу вже мають дорожні карти інтегрування безпілотних літальних апаратів у свої збройні сили.

Літальні апарати змінили умови та правила ведення бою, і це стало очевидним не лише для України, а й для більшості розвинутих країн світу. Україно-російська війна стала стимулом для розвитку безпілотних літальних систем у всьому світі, іншими словами, пройшла революція в середовищі розробки таких систем. Авторі вважають що це тільки перші кроки у сфері розробки безпілотних літальних апаратів (БПЛА), і на жаль, усі наступні війни будуть вестися із масовим використанням безпілотних наземних, морських, літальних систем. Саме тому автори цілком закономірно впевнені у доцільності описати концептуальну модель використання безпілотних літальних а також наземних роботизованих систем для впровадження їх у військову сферу.

Концептуально автори бачать таку систему як набагато ширшу аніж використання дронів спостереження чи frv дронів. Частково концепцію було показано в роботі [1]. Авторі пропонують розглянути таку модель, де буде зберігатись чітка взаємодія між безпілотними системами і окремими літальними апаратами, наземними системами та ін., що забезпечить, з поміж іншого, можливість злагодженої взаємодії між підрозділами, частинами, з'єднаннями і т. д.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток літальних та безпілотних літальних апаратів в Україні поки що є хаотичним. Задача сьогодення - створення дешевих first person view (fpv) дронів або дронів спостереження для вирішення нагальних проблем. Це цілком зрозуміло і логічно, тому що в умовах ведення активних бойових дій неможливо планування концепції на роки. Але автори закономірно припускають, що всі майбутні війни будуть вестися літальними безпілотними або наземними системами. Тому Україна повинна розробляти концепцію безпілотних систем і впроваджувати її в збройні сили.

Як можна побачити з джерел [2-3] США вже запустили в стратосферу дрон спостереження, який, за інформацією розробника, має можливість вести цілодобове спостереження, забезпечувати зв'язок, охороняти кордони, вести розвідку. Крім того, вказаний вище дрон є не чутливим до ворожих РЕБ і не вразливим до ППО. З поміж іншого, як заявляють розробники, такий дрон може бути безперервно у повітрі до 2-років, а отже є повністю автономним.

Іншим вагомим прикладом хотілося б вказати розробку США [4], де морськими піхотинцями під час навчань було випробувано безпілотну систему, що стріляє ракетами по кораблям. Ці навчання пройшли в рамках модернізації морської піхоти США, так як в країні вважають, що в гіпотетичному військовому конфлікті будуть використовуватись саме безпілотні технології. Це ще раз підкреслює важливість впровадження безпілотних систем у межах трансформації ЗСУ. На сьогоднішній день автори не знайшли робіт, де було б описано концепції розробок і впровадження безпілотних систем у ЗСУ.

Постановка завдання. Метою роботи є опис концептуальної моделі способів взаємодії між центрами управління і прийняття рішень та окремими безпілотними апаратами чи системами.

Викладення основного матеріалу дослідження. З появою інноваційних рішень у сфері БПЛА цілком можливо змінити умови і методи проведення оборонних та наступальних операцій. Разом із цим потрібно розуміти, середовище театру воєнних дій є дуже динамічним, а отже, вектор проведення певної операції може бути швидко змінений. Іншими словами, можлива стрімка зміна інтенсивності інформаційних потоків певного типу а значить, система повинна бути готовою до таких змін і мати змогу обробляти інформаційні потоки в часових межах, визначених для такого типу повідомлень.

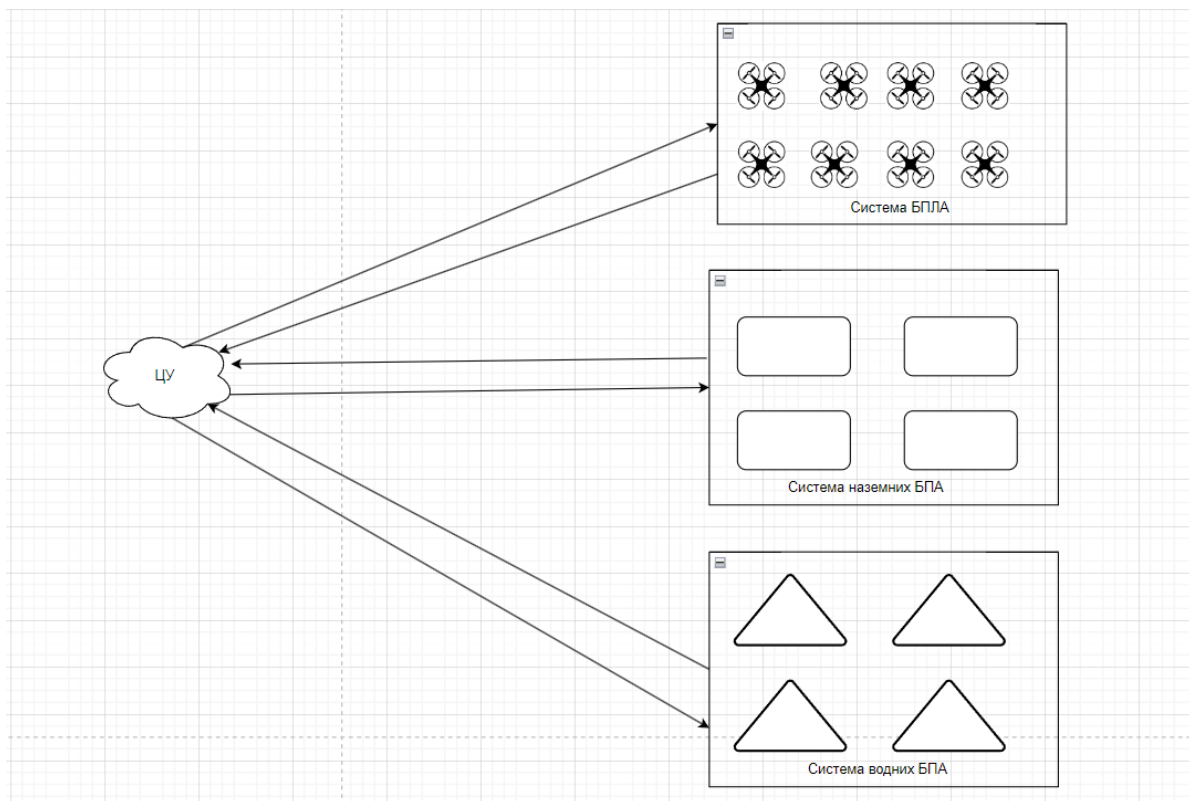


Рис. 1. Схематичне зображення взаємодії між ЦУ та системами безпілотних (літальних) апаратів.

В загальному вигляді система управління безпілотними (літальними) апаратами може бути представлена наступним чином (див. рис. 1.) З рисунку видно, окремі безпілотні апарати можуть відноситися до певної групи – літальні апарати, наземні роботизовані системи, морські дрони і т. ін. В свою чергу кожна з груп може поділятися на підгрупи. Кожна підгрупа може бути представлена як окрема система зі своїм центром управління. З розвитком безпілотних технологій підгрупи можуть бути знову поділені чи об'єднані. Головним елементом будь-якої системи є центр управління, який у свою чергу поділяється на декілька окремих взаємопов'язаних модулів. По-перше це неформальні оператори, які аналізують потоки повідомлень і приймають безпосередні рішення. Іншим важливим елементом центру управління є набір програм, модулів, функцій, критичних секцій і т. ін. для забезпечення керування як окремими безпілотними апаратами, так і комплексами та окремими системами є модуль керування. Цей модуль повинен забезпечувати максимальну автономність дій. Тобто, за можливості за допомогою заданих алгоритмів приймати певні рішення без необхідності втручання з боку оператора. Обробляти помилки, аналізувати, сповіщати операторів і т. ін. Саме на цей модуль лягає обов'язок попереднього прийому, аналізу, очистки вхідних інформаційних потоків з боку зовнішніх систем.

Сфера задач, яку безпосередньо можуть виконувати безпілотні (літальні) апарати, наземні комплекси, морські і т. д. є майже невичерпною з розвитком і вдосконаленням технологій. Це і спостереження, нанесення уражень, керування іншими системами, мінування та розмінування, транспортування поранених з важко прохідних місць, доставка боєкомплекту і т. д. Як бачимо цей список не є вичерпним і показує лише найближчу перспективу розвитку. Також хотілося б додати, що один і той же безпілотний засіб може виконувати декілька видів операцій. Це обов'язково потрібно враховувати при розробці модулів управління. Наприклад, один літальний апарат, що призначений для транспортування боєкомплекту міг би при необхідності, транспортувати пораненого з поля бою.

Керування подібною концептуальною системою здається цілком логічним і правильним за допомогою клієнт-серверної архітектури, де клієнтом є окремий літальний апарат або наземний комплекс, або система літальних апаратів. Сервером у даному випадку виступає блок управління. Який приймає вхідні заявки, аналізує, оброблює їх і керує роботою того чи іншого безпілотного апарату.

Розглянемо концептуальну модель використання дронів спостереження у парі з роботою наземних роботизованих комплексів типу безпілотник-кулемет [5], див. рис. 2. З рисунку видно, що ЛА знаходяться в русі і спостерігають за оперативною обстановкою у зоні відповідальності. Для виконання завдання спостереження і контролю за обстановкою можливо використання навіть звичайного дрону невійськового призначення. В даній ситуації ЦУ аналізує інформацію з БПЛА і приймає рішення на ураження у виникаючій ситуації. Для керування наземним роботом-кулеметом (РК), ЦУ віддає йому команди, при необхідності аналізує результати враження через БПЛА, корегує напрямок пострілу і віддає повторну команду на враження. Звичайно, деякі команди і функції управління лягають безпосередньо на операторів. Але виконання деяких команд можливо налаштувати на автоматичне виконання, за заданою умовою. При цьому вивільняється час оператора для виконання іншого завдання. Наприклад, при зменшенні боєкомплекту до граничного рівня, РК може повідомити про це ЦУ – сервер, який проаналізує вхідну інформацію, і по заданому алгоритму прийме рішення про повернення даного наземного комплексу у місце постійної дислокації.

При цьому РК з самого початку не володіє інформацією стосовно точки повернення, щоб у випадку захоплення ці дані не були використані ворогом. Іншими словами, ЦУ видає набір координат – детальний маршрут на карті, або частина маршруту з точкою, при досягненні якої наземному роботу буде видано наступні координати руху. Іншим аналогічним прикладом може слугувати сигнал від БПЛА про низький заряд акумуляторної батареї (АКБ), при якому ЦУ може проаналізувати і направити такий апарат до найближчої або безпечної точки заміни/заряджання АКБ. Як видно з наведених прикладів, ЦУ повинен вміти самостійно обробляти частину інформації.

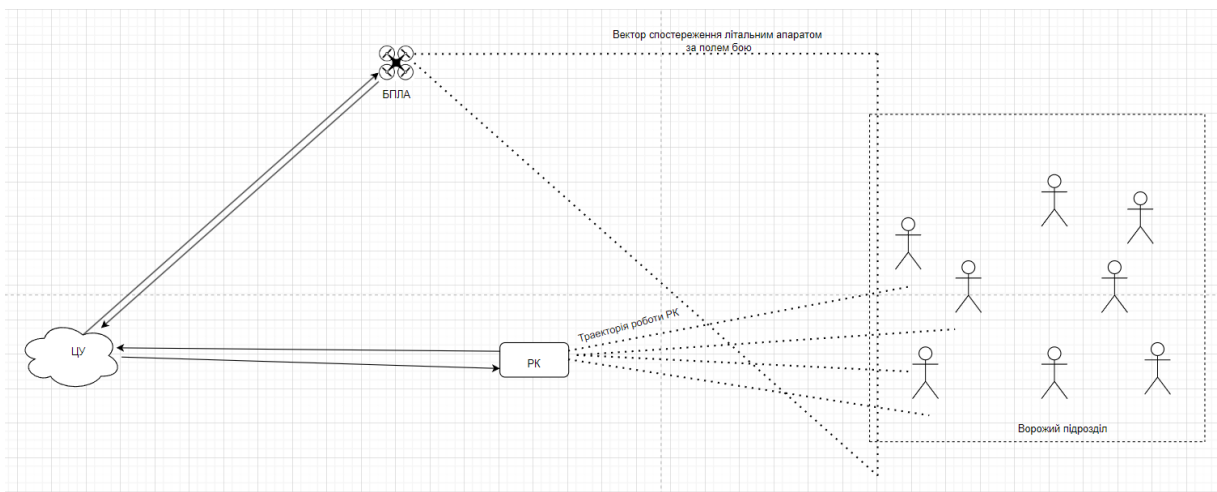


Рис. 2. Схематичне зображення взаємодії між ЦУ – БПЛА, ЦУ – РК.

Розглянемо інший приклад. Задача як і попередньому прикладі – відбиття ворожого штурму наявними засобами: ЦУ, БПЛА, РК. Припустимо, між ЦУ і РК знаходиться густе лісонасадження, яке перешкоджає стійкій роботі засобів зв'язку (див. рис. 3). У такому випадку напряму керування РК з боку ЦУ стає неможливим. Для вирішення задачі коригування вогню логічно використати БПЛА як посередника між ЦУ і РК. У такому випадку БПЛА, що є клієнтом по відношенню до ЦУ, стає сервером по відношенню до РК. Звідси з'являються вимоги, що можуть мати вищу цінність по відношенню до інших. Наприклад, БПЛА спостереження, при зміні вектору атаки ворожих сил, повинен фокусуватися на певних цілях, отримувати команди з боку ЦУ та керувати РК. У цей час основна задача даного конкретного БПЛА – спостереження за усією ділянкою відповідальності, стає менш пріоритетною задачею. Але в той же час автори хочуть підкреслити, що зміна вектору інтенсивності обробки повідомлень з боку БПЛА – РК не означає, що такий БПЛА перестає виконувати свою задачу спостереження, лише акцентують, що квантування часу тепер буде перерозподілено, що дозволить виконувати більш цінні задачі інтенсивніше, а отже кількість виконаних менш цінних задач буде зменшена.

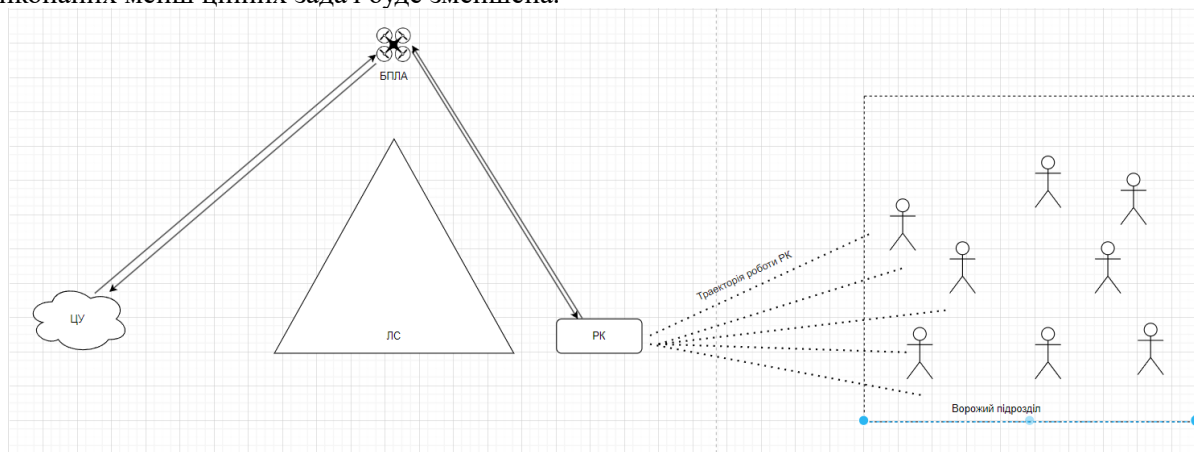


Рис. 3. Схематичне зображення взаємодії між ЦУ – БПЛА, БПЛА – РК.

Де ЛС – лісонасадження, лісосмуга чи інша перешкода, що унеможливує пряму взаємодію між ЦУ та РК.

Для забезпечення вирішення описаної вище задачі розробки управління системою літальних апаратів на думку авторів необхідно виконати подальші наступні завдання:

- Формалізований опис системи безпілотних (літальних) апаратів і зв'язків поміж її окремими елементами;
- Постановку і розробку окремих функціональних задач які повинна виконувати система безпілотних (літальних) апаратів;
- Формалізований опис інформаційних потоків, які функціонують поміж окремими елементами системи літальних апаратів;

- Класифікація окремих повідомлень, що функціонують в межах інформаційних потоків поміж елементами системи літальних апаратів;
- Визначення і дослідження якісно-кількісних характеристик (зокрема цінності і старіння) для врахування при організації їх обробки;
- Формулювання задач оптимальної (раціональної) організації обробки інформаційних потоків для управління системою безпілотних (літальних) апаратів для забезпечення вирішення функціональних задач;
- Розробка методів вирішення задач оптимальної (раціональної) організації обробки інформаційних потоків в системі літальних апаратів.

Читач міг простежити думку, що в останньому наведеному прикладі використання цивільного БПЛА ускладнюється або унеможлиблюється тим, що такий ЛА повинен містити додатковий модуль керування чи трансляції. В дронах невійськового призначення це додає накладні витрати на злітну масу такого апарату а отже, і час його безперервної роботи. Тому автори фокусуються на тому, що для розвитку вітчизняного комплексу безпілотних систем потрібно робити акцент на розробку вітчизняного програмного забезпечення (ПЗ) для керування подібними БПЛА у сумісності з вітчизняними зразками техніки.

Було проведено порівняльне дослідження існуючих технічних рішень, які б могли бути використані для побудови клієнт-серверної архітектури між вказаними системами. Це мікроконтролер STM32, мікроконтролер ESP32, мікрокомп'ютер Raspberry Pi. В дослідженні приймалося до уваги декілька важливих параметрів:

- наявність достатньої потужності для виконання поточних і перспективних задач;
- вбудовані можливості для розширення;
- перспективи можливостей розширення за допомогою допоміжних плат чи інших мікроконтролерів;
- наявність стійкого, достатнього ком'юніті для обговорення і вирішення питань, що будуть виникати в процесі розробки чи тестування ПЗ на даному виді технічного пристрою;
- наявність засобів безпеки для шифрування вихідних даних.

На думку авторів прийнятними є технічні рішення на базі ESP32 та Raspberry Pi. На сьогоднішній день STM32 мікроконтролер також розвивається, але вбудовані можливості для розширення є недостатніми на думку авторів. Частково це можна компенсувати завдяки пристроям розширення. ESP32 в свою чергу має достатню потужність, вбудовані можливості для розширення, широкий набір периферичних інтерфейсів, які дозволять іще розширити можливості пристрою. Окрім того, мікроконтролер ESP32 має криптографічне апаратне прискорення для забезпечення усіх функцій безпеки [10]. Цей мікроконтролер має низьке живлення, що також характеризує його як потенційного кандидата для БПЛА. Мінусом даного мікроконтролера може бути низька потужність у випадках, коли його треба використовувати у БПЛА спостереження, і при цьому стискати відео для економії трафіку. У цьому випадку автори розглядають беззаперечного лідера – мікрокомп'ютер Raspberry Pi. Цей технічний пристрій містить в собі повноцінну операційну систему (ОС), зазвичай на базі ядра Linux, але не обмежений лише однією ОС. Наявність повноцінної ОС дає можливість розробникам абстрагуватись від реалізації тієї чи іншої функціональності. Це у свою чергу дозволяє пришвидшити процес розробки програмного забезпечення шляхом розпаралелювання процесу розробки на модулі, абстрагуючись від роботи один одного. Єдиним недоліком Raspberry Pi можна вважати збільшене споживання електроенергії, у порівнянні з вище названими мікроконтролерами. Але цей недолік поступово усувається з розвитком більш ємнісних акумуляторних батарей.

Висновки. У межах даної роботи описано концептуальну модель взаємодії між центрами управління та окремими безпілотними (літальними) апаратами та системами. Запропоновано технічний підхід, при якому забезпечиться керування окремими безпілотними елементами без прямого контакту між центром управління та безпосередньо пристроєм. Зроблено порівняльне дослідження існуючих технічних засобів, що забезпечать розробку і використання програмного забезпечення вітчизняного походження.

Перспективи подальшого дослідження. У даній роботі клієнт-серверне рішення описано лише поверхнево. У подальшому необхідно проаналізувати існуючі програмні засоби, такі як Apache HTTP Server, nginx та можливо інші на предмет використання у описаній вище концептуальній моделі. Окрім того, в даній роботі не було описано використання шифрування повідомлень, що є обов'язковим в умовах ведення бойових дій.

Список бібліографічного опису

1. Мороз Б.І., Круглик А.С., Мороз Д.М., Мартиненко А.А. Математична модель і загальний алгоритм вирішення задачі обробки повідомлень з урахуванням їх цінності і старіння в системах літальних апаратів. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. 2024. № 5(154). С. 3 – 18. DOI 10.34185/1562-9945-5-154-2024-01
2. Зіграє вирішальну роль у війні з Росією: США запустили в стратосферу дрон-шпигун (відео) / Фокус: веб-сайт. URL: <https://focus.ua/uk/digital/580632-zigraye-virishalnu-rol-u-vijni-z-rosiyeyu-ssha-zapustili-v-stratosferu-dron-shpigun-video>. (дата звернення 02.02.2024).
3. В США успішно протестували дрон-шпигун, якого не помічає ППО / РБК-Україна: веб-сайт. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/ssha-uspishno-protestuvali-dron-shpigun-kogo-1690039622.html>. (дата звернення 28.05.2024).
4. Армія США випробувала безпілотну систему, що стріляє ракетами по кораблях / Фокус: веб-сайт. URL: <https://focus.ua/uk/digital/580545-armiya-ssha-viprobuvala-bezpiilotnu-sistemu-sho-strilyaye-raketami-po-korablyah>. (дата звернення 01.05.2024).
5. В Україні створили безпілотник-кулемет (Відео) / Військовий кур'єр: веб-сайт. URL: <https://mil.co.ua/v-ukrayini-stvoryly-bezpiilotnyk-kulemet-video/> (дата звернення 20.04.2024).
6. Беляков Р. О. Проблема інтеграції повітряної мережі класу FANET в мобільну комунікаційну мережу спеціального призначення. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2023. №53. С. 263-276. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40>.
7. Дичка І.А., Радченко К.О., Терейковський І.А., Терейковська Л.О. Концептуальна модель процесу прогнозування навантаження на вебсервер. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. №54. С. 74-83. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-09>.
8. Беляков Р.О. Ієрархічна модель інтелектуального управління наземно-повітряної комунікаційної мережі спеціального призначення. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. №54. С. 225-235. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-28>.
9. Озерчук І.М. Архітектура платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. №54. С. 165-170. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-20>.
10. STM32. Електронний ресурс. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/STM32>. (дата звернення 01.06. 2024).
11. ESP32. Електронний ресурс. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32>. (дата звернення 01.06.2024).
12. Raspberry Pi. Електронний ресурс. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. (дата звернення 01.06.2024).

References

1. B. Moroz, A. Kruhlyk. Mathematical model and general algorithm for solving the problem of processing messages taking into account their value and aging in aircraft systems. *System technologies*. 2024. № 5(154). P. 3 – 18. DOI 10.34185/1562-9945-5-154-2024-01
2. It will play a decisive role in the war with Russia: the USA launched a spy drone into the stratosphere (video) / Focus: website. URL: <https://focus.ua/uk/digital/580632-zigraye-virishalnu-rol-u-vijni-z-rosiyeyu-ssha-zapustili-v-stratosferu-dron-shpigun-video>. (date of app. 02.02.2024).
3. The USA successfully tested a spy drone that is not noticed by air defense / RBC-Ukraine. website. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/ssha-uspishno-protestuvali-dron-shpigun-kogo-1690039622.html>. (date of app. 28.05.2024).
4. The US Army has tested an unmanned system that fires missiles at ships / Focus: website. URL: <https://focus.ua/uk/digital/580545-armiya-ssha-viprobuvala-bezpiilotnu-sistemu-sho-strilyaye-raketami-po-korablyah>. (date of app. 01.05.2024).
5. An unmanned machine gun was created in Ukraine (Video) / Military courier: website. URL: <https://mil.co.ua/v-ukrayini-stvoryly-bezpiilotnyk-kulemet-video/>. (date of app. 20.04.2024).
6. Bieliakov R. The problem of integrating the FANET class air network into a special purpose mobile communication network. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2023. №53. P. 263-276. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40>
7. Dychka I., Radchenko K., Tereikovskiy I. Tereikovska L. Conceptual model of the forecasting process on web server load. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2024. №54. P. 74-83. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-09>.
8. Bieliakov R. Hierarchical model of intelligent management of special purpose ground-air communication network. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2024. №54. P. 225-235. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-28>.
9. Ozerchuk I. A Software-Defined Radio Platform Architecture Based on a General-Purpose Processor. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2024. №54. P. 165-170. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-20>.
10. STM32. Electronic resource. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/STM32>. (date of ap. 01.06. 2024).
11. ESP32. Electronic resource. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32>. (date of ap. 01.06. 2024).
12. Raspberry Pi. Electronic resource. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. (date of ap. 01.06. 2024).