

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 62-53:623.746-519

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-132-138

Ольга Башинська, Володимир Казимир, Сергій Нестеренко

### ФОРМУВАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ЛОГ-ФАЙЛІВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Актуальність теми дослідження.** Об'єктивне визначення показників якості безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) є передумовою використання різноманітних засобів технічної діагностики, серед яких пропонується використовувати файли телеметричних логів БпАК. Ця задача, починаючи від визначення вимог до систем оперативного діагностування БпАК і закінчуючи технологічними аспектами реалізації, поки не має ефективного вирішення.

**Постановка проблеми.** При проектуванні складної технічної системи є вибір ефективного способу збирання та накопичення інформації про стан системи в реальному часі. По-перше, набір характеристик, що підлягають вимірюванню, повинен відповідати певній номенклатурі показників якості, що використовуються для оцінювання БпАК. По-друге, необхідно дослідити можливі способи реалізації процесів оперативного збору даних телеметрії на основі сучасних інформаційних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведено опис систем журналювання технічних систем, а саме, автомобільних та комп'ютерних систем, таких як операційні системи та комп'ютерні мережі. Щодо БпАК, наявні відомості фрагментарні та відображають лише поодинокі досвід використання аматорських безпілотних апаратів різних типів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка нових типів БпАК та їх модифікація потребують формулювання чітких проектних вимог до всіх підсистем, у тому числі й до підсистеми телеметрії, яку пропонується розглядати як засіб технічної діагностики з метою оцінки якості БпАК.

**Виклад основного матеріалу.** Наводяться дані про типізацію логів у процесі журналювання даних телеметрії. Встановлюється зв'язок між типом логів, швидкістю запису та зручністю постобробки. Формулюються основні властивості системи журналювання БпАК: оперативність фіксації, функціональна повнота протоколу, можливість конвертації в текстовий формат, захищеність від втручання. Як приклад реалізації розглядається удосконалений протокол на базі MAVLink з адаптацією під спеціальні умови використання.

**Висновки відповідно до статті.** Логи телеметрії БпАК містять в собі об'єктивну інформацію про стан БпАК у процесі їх використання, тому за умови їх правильного використання та інтерпретації вони можуть бути використані як засіб технічної діагностики з метою подальшого об'єктивного оцінювання якості БпАК.

**Ключові слова:** технічна діагностика; журналювання; безпілотні авіаційні комплекси; показники якості.

Рис.: 3. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Об'єктивне визначення показників якості безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) є передумовою використання різноманітних засобів технічної діагностики, серед яких пропонується використовувати файли телеметричних логів БпАК. Ця задача, починаючи від визначення вимог до систем оперативного діагностування БпАК і закінчуючи технологічними аспектами реалізації, поки не має ефективного вирішення.

#### Постановка проблеми.

Технічна діагностика складних технічних та організаційних систем, до яких відносяться і безпілотні авіаційні комплекси (БпАК), потребує, серед іншого, збирання та накопичення інформації про стан останніх протягом певного часу. Подібна діяльність одержала назву журналювання (ведення журналів). Синонімом назви таких журналів є термін «лог» (англ. log – журнал). Ця інформація дає змогу продіагностувати технічну систему та створює підґрунтя для неупередженого та об'єктивного визначення показників якості останньої. Крім того, накопичення та відповідна інтерпретація логів дозволяє виявляти напрями змін цих систем – як бажаних, так і небажаних, які є наслідком збурень та неконтрольованих процесів у середовищі, яке оточує систему. Подібні дані є матеріальним уособленням інформаційних зворотних зв'язків, належне використання яких робить можливим досягнення стабільності функціонування систем та запобігання збоям та аваріям (рис. 1).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Зазвичай логи записуються в системах із таких цілей:

- накопичення інформації про стан системи та його зміни в часі [1]. Ця задача одержала назву «моніторинг» і є складовою частиною алгоритму управління ризиками в системі;
- одержання інформації про стан системи та події, які передують збоєм або аваріям [2], з метою ліквідації наслідків останніх;
- об'єктивного оцінювання показників якості технічної системи.

Використання логів ускладнюється тим, що корисна інформація в них міститься в неявному вигляді, що робить актуальним завдання розробки ефективних методів розшифрування та правильної інтерпретації логів.

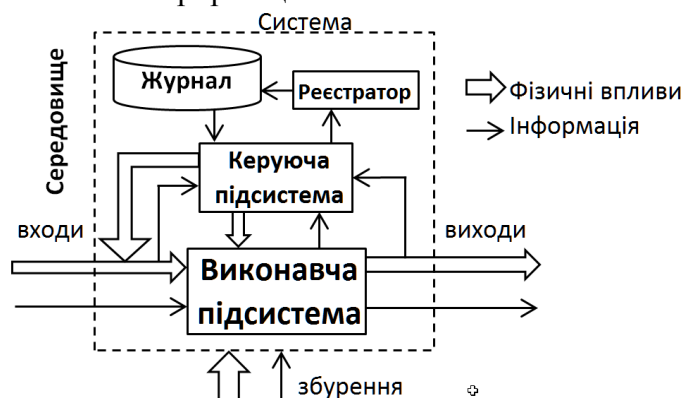


Рис. 1. Місце підсистеми журналювання в узагальненій схемі системи

### Огляд існуючих рішень задачі журналювання.

Журналювання є важливою операцією в процесі функціонування комп'ютерних систем, особливо коли симптоми відмов важко виявити. Ведення журналу забезпечує максимально докладні деталі стану системи перед відмовою, такі, як значення змінних, значення, які повертають функції і т. ін. Коли виникає помилка, системний адміністратор повинен визначити, що спричинило помилку [2], спробувати відновити всі втрачені дані та запобігти повторенню інциденту. Системний адміністратор може потім використовувати журнал подій, щоб визначити, які умови викликали помилку та визначили контекст, в якому він стався. Періодично переглядаючи журнал подій, системний адміністратор може виявити проблеми (наприклад, несправний жорсткий диск), перш ніж вони заподіють шкоду.

У комп'ютерних системах класифікують кілька типів подій, які можна зареєструвати. Усі ці дані мають чітко визначені загальні ознаки і, можливо, включають дані про конкретні події. Програма вказує тип події, коли надходить повідомлення про те, що воно сталося. Стандартним способом генерації такого повідомлення є виклик відповідного переривання операційної системи. Кожна подія повинна бути віднесена до одного типу. Програмні засоби перегляду списку подій відображають кожен тип подій із використанням різних позначок, кольору або інших візуальних засобів.

В операційних системах (ОС), наприклад у Microsoft Windows 7, на підставі подібної класифікації подій та накопичення статистичних даних виводиться інтегральний показник якості роботи ОС, названий індексом продуктивності.

Комп'ютерні мережі (КМ), як локальні, так і глобальні, стали нині чи не найголовнішим засобом цивільного зв'язку. Їхня надійність та продуктивність є критично важливими для багатьох державних та приватних областей застосування, тому вони перебувають під постійним наглядом та контролем, здійснення яких потребує обов'язкового журналювання та моніторингу. Як перше, так і друге в КМ має певні особливості [3].

Логи про свою роботу ведуть веб-сервери (спеціалізовані комп'ютерні програми, які обробляють великі потоки запитів, наприклад, Apache, Nginx, Lighttpd та інші). Їх лог-файли мають наперед задані імена – **access.log** та **error.log**, і за своїм форматом вони є текстовими (рис. 2).

```
66.249.64.34 - frank [05/Apr/2017:13:55:36 -0700] "GET /product-123 HTTP/1.1" 200  
2326 " http://www.webstore.com/home.html" "Mozilla/5.0 (compatible; Googlebot/2.1;  
+http://www.google.com/bot.html)"
```

Рис. 2. Типовий вигляд фрагмента лог-файла *access.log* веб-серверу Apache комп'ютерної мережі

Файл **access.log** використовується веб-серверами для запису звертань до сайту. Це текстовий файл, на кожному рядку якого записується одне звертання до сервера. Використається для збору статистики сайту й для виявлення можливих зловживань на сайті.

Файл **error.log** (в UNIX-подібних системах – **error\_log**) – журнальний файл, використовуваний веб-сервером для журналювання виниклих на сервері помилок, що дозволяє визначити тип помилки, а також причину її виникнення. Це – текстовий файл, кожен рядок якого складається з дати виникнення помилки, її типу, IP-адреси клієнта, якому була повернута помилка, після чого подається сам текст повідомлення.

Характерною особливістю логів КМ є те, що записи в них погано структуровані. Ця особливість у поєднанні з іноді дуже великими обсягами логів (сотні тисяч і навіть мільйони рядків) роблять їх розшифрування непростою задачею. Тому про якість роботи комп'ютерної мережі за даними лог файлів серверів остаточний висновок зробити досить важко.

Логи, які записуються в автономних технічних системах (АТС), відрізняються порівняно невисокою складністю. Це пояснюється переважно обмеженістю (порівняно з розподіленими системами) АТС у просторі й у часі фіксування даних. Типовим прикладом логів АТС є логи, які записуються в багатьох моделях сучасних автомобілів (BMW M3 Coupe, Mazda MX-5, Porsche Cayman S, Renault Megane Sport, Skoda Octavia 1.8TSI та ін.) [3] для діагностики їхнього технічного стану.

Автомобільні системи реєстрації традиційно записують логи у форматі CSV (Comma Separated Values), коли окремі значення характеристик розділені комами [4]. Формально формат CSV – це текст, призначений для подання табличних даних. Його специфікація така:

- кожен рядок файла передає один рядок таблиці;
- роздільником значень окремих стовпчиків є символ коми «,»;
- нечислові символи (подвійні лапки, кома, крапка з комою, новий рядок) обрамляються подвійними лапками (" ").

Незважаючи на наявність певного стандарту [5], на сьогодні під CSV часто розуміють набір значень, розділених якими завгодно символами, з якими завгодно закінченнями рядків і множиною різних способів екранування спецсимволів. Це значно ускладнює перенесення даних з одних програм в інші, незважаючи на всю простоту реалізації підтримки CSV.

Розшифрування та інтерпретацію логів часто виконують за допомогою утиліти DieselPower Log Viewer [6]. Це відкрите програмне забезпечення, здатне переводити CSV-логи для подальшого аналізу або у формат таблиць Microsoft Excel, що досить тривіально, або показувати логи в графічному вигляді. На жаль, подібне розшифрування логів не ставить за мету визначити показники якості автомобіля, але дозволяє виявити певні несправності в системі подачі пального, електрообладнанні тощо шляхом аналізу певних характеристик.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Мета статті полягає в аналізі відомих рішень щодо журналювання процесу функціонування технічних систем та обґрунтування вибору базового протоколу для створення телеметричного лог-файла оперативної технічної діагностики БПАК.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Виклад основного змісту.** Як видно з вищевикладеного, журнали (логи) технічних систем мають достатню інформаційну цінність для потреб технічної діагностики, оскільки вони містять об'єктивну інформацію про стан і поведінку систем. Структурно лог-файли внутрішньо облаштовані як набори регулярних записів.

Оцінимо вимоги до формування телеметричних логів БпАК, які необхідні для подальшого їх використання в системах технічної діагностики для об'єктивного оцінювання показників якості останніх.

За способом запису даних у лог останні можуть розрізнятися як:

– бінарні, в яких поля запису являють собою просто послідовності байтів, які інтерпретуються як двійкові числа;

– текстові, в яких кожен запис складається з текстових лексем наперед визначеного формату;

– змішаного типу.

Подібне розділення є важливим у випадку, коли враховується швидкість протікання процесів, які реєструються в журналі. Практично всі параметри, призначені для запису до логу, є електричними (струм або напруга, які знімаються з певного датчика). Одержання бінарного уявлення такого сигналу виконується аналогово-цифровими перетворювачами, швидкодія яких обмежується тільки постійними часу перехідних процесів у цифрових ланцюгах комп'ютерів. Реально частота одержання бінарних відліків може мати порядок до  $10^9$  Гц. Таким чином, послідовні записи швидкоплинних процесів раціонально виконувати саме в бінарному форматі.

Текстовий формат запису вимагає перетворення бінарного сигналу на послідовність символів (текст) перед записом у лог, а це операція порівняно повільна. Тому текстові логи здебільшого використовуються для журналювання процесів, в яких темп формування логу не є критичною перепорою.

Для наступної обробки більш зручним є текстовий формат, оскільки дуже поширені [7; 8] програмні інструменти лексичного розбору (парсінгу) текстових рядків. Парсінг же бінарного логу інакше, аніж програмним чином, видається неможливим. При цьому не відомі універсальні програмні додатки, які були б здатні розбирати бінарні логи довільного формату. У силу цього для розбору та інформаційної інтерпретації кожного різновиду бінарних логів доводиться писати спеціальне програмне забезпечення.

Незручність бінарних логів для постобробки примушує виробників систем, в яких ведеться логінг, розробляти [9] утиліти конвертації бінарних логів у текстовий, та в інших зручних для розшифрування форматах (Comma Separated Values, Matlab). Таким чином, часові витрати на створення текстового формату, яких уникнули при записі бінарного логу, однаково відбуваються, але в спокійний період постобробки, що цілком виправдано з практичного погляду.

По-перше, треба зазначити, що функціонування силової підсистеми БпАК (джерело живлення, контролер двигуна та власне двигун, а також системи керування польотом характеризуються достатньо високою частотою зміни параметрів (20 кГц – 1,1 ГГц)) [10]. У силу цього забезпечення потрібної оперативності записів до логу можна забезпечити єдиним шляхом – використанням логів бінарного формату.

По-друге, формат телеметричного логу повинен забезпечувати як передачу даних на НСК, так і, за необхідності, прийом команд керування з неї. Звідси виникає необхідність використання достатньо розвинутого протоколу обміну БпЛА – НСК, який би був здатний кодувати значну кількість інформаційних каналів.

По-третє, обов'язковим етапом обробки даних польоту є аналіз та інтерпретація логів, зокрема, телеметричних логів НСК. Як зазначалось вище, цю роботу раціонально виконувати, працюючи з записами не бінарного, а текстового формату. Отже, до комплексу обробки телеметричної інформації слід включати програмне застосування для перетворення бінарного подання лог файла в текстове. Як можлива альтернатива є включення операції конвертації в технологічний ланцюг алгоритму розшифрування лог-файла.

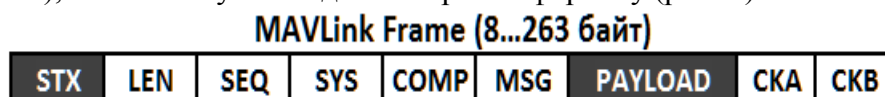
Для вирішення проблеми об'єктивного обчислення показників якості БпАК на базі аналізу телеметричних логів потрібно виконати певні передумови. Перша полягає в необхідності створення системи накопичення логів як засобів документування польотів БпАК. Друга передумова полягає в розробці та комплексуванні алгоритмічних засобів оперативного розшифрування та правильної інтерпретації даних логів. Третя передумова полягає створенні інтерфейсу між системами розшифрування логів та системами розрахунку показників якості БпАК.

Для створення формату лог-файла, який був би максимально зручним для використання його в процесах технічної діагностики, можливо розробити спеціальний протокол телеметричного обміну, але такого, який точно відповідає умовам експлуатації БпАК. Треба зазначити, що подібна задача може скласти предмет окремого наукового дослідження та дослідно-конструкторської розробки. Альтернативою цьому є використання певного відомого рішення, та його можливої адаптації до умов експлуатації БпАК. Оскільки цей шлях більш вигідний з економічного погляду, він використовується достатньо широко [11].

Формат логів БпАК є бінарним, що ускладнює їх розшифровку й інтерпретацію, тому постає задача їх конвертації в символічний формат. Розглянемо вимоги, які висуваються щодо систем журналювання БпАК загального призначення.

Розглянемо один із варіантів другого напрямку, а саме придатність відомого відкритого протоколу MAVLink [12] для випадків спеціального використання БпАК.

Цей відкритий протокол описує структуру лог-файла як послідовність кадрів (пакетів, фреймів), в які записуються дані бінарного формату (рис. 3).



*Рис. 3. Структура фрейму протоколу MAVLink*

Джерело: [13].

Перший байт пакета (STX) – символ початку повідомлення. LEN – довжина повідомлення (Payload). SEQ – лічильник пакета (0–255). SYS (System ID) – ідентифікатор системи, яка надіслала повідомлення, а COMP (Component ID) – ідентифікатор компонента, який відправив повідомлення. MSG (Message ID) – тип повідомлення, від якого залежить, які конкретно дані будуть записані в поле повідомлення пакету. PAYLOAD – повідомлення пакету, довжиною 0...255 байт. СКА та СКВ – молодший та старший байти контрольної суми пакету.

Враховуючи відкритість протоколу та доступність похідних текстів його програмного коду, дослідники для аналізу та інтерпретації телеметричних логів формату MAVLink зазвичай використовують нестандартні програмні рішення. Щоправда, популярна програма керування польотами БпАК Mission Planner [9] частково вирішує проблему інтерпретації логів, бо в ній наявна хоча б можливість відображення графіків параметрів, що фіксуються лог-файлом, за вибором користувача.

Таким чином, використання описаного протоколу MAVLink дає реальну можливість виконання сформульованих вище передумов використання телеметричних логів БпАК для технічної діагностики БпАК і подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

**Висновки відповідно до статті.** Телеметричні логи БпАК є широкодоступним засобом документування польотів БпЛА. Вони містять у собі об'єктивну інформацію про перебіг польотів БпЛА, тому можуть бути використані для технічної діагностики БпАК і подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Найбільш зручним для обробки слід вважати символічний формат логів, який серед промислових систем є найбільш поширеними. Разом з тим формат логів БпАК є бінарним, що ускладнює їх розшифрування й інтерпретацію та вимагає їх конвертації в символічний формат.

Використання протоколу телеметричного обміну MAVLink є ефективним рішенням для побудови комплексної системи технічної діагностики БпАК з метою подальшого об'єктивного визначення показників їхньої якості.

**Список використаних джерел**

1. Dunn T. How To Get Into Hobby RC: Telemetry Systems [Електронний ресурс] / T. Dunn. – Режим доступу : <https://www.tested.com/tech/532834-how-get-hobby-rc-telemetry-systems>.
2. About Event Logging [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/desktop/EventLog/about-event-logging>.
3. Apache logging services [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://logging.apache.org>.
4. CSV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV>.
5. Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. Request for Comments 4180. – Y. Shafranovich, Network Working Group, SolidMatrix Technologies, Inc. – October 2005.
6. Инструментарий для просмотра логов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.drive2.ru/c/1522438>.
7. Log Parser 2.2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24659>.
8. LogParser — привычный взгляд на непривычные вещи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habr.com/post/85758>.
9. APM Mission Planner 2 Home [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
10. 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. – P. 849-952.
11. DIY DRONES. The Leading Community for Personal UAVs [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://diydrones.com/>.
12. MAVLink Micro Air Vehicle Protocol [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <https://github.com/MAVLink>.
13. Разбираемся в MAVLink [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <https://habr.com/post/312300>.

**References**

1. Dunn T. How To Get Into Hobby RC: Telemetry Systems. Retrieved from <https://www.tested.com/tech/532834-how-get-hobby-rc-telemetry-systems>.
2. About Event Logging. Retrieved from <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/desktop/EventLog/about-event-logging>.
3. Apache logging services. Retrieved from <https://logging.apache.org>.
4. CSV. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV>.
5. Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. Request for Comments 4180. Y. Shafranovich, Network Working Group, SolidMatrix Technologies, Inc. October 2005.
6. *Instrumentarii dla prosmotra logov [Tools for the logs review]*. Retrieved from <https://www.drive2.ru/c/1522438>.
7. Log Parser 2.2. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24659>.
8. LogParser – Privychnyi vzgliad na neprivychnye veshchi. [*The trival look on the untrivial issues*]. Retrieved from <https://habr.com/post/85758>.
9. APM Mission Planner 2 Home. Retrieved from <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
10. 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. P. 849-952.

11. DIY DRONES. The Leading Community for Personal UAVs. Retrieved from <http://diydrones.com/>.

12. MAVLink Micro Air Vehicle Protocol. Retrieved from <https://github.com/MAVLink>.

13. Razbirayemsia s MAVLink. [Let's Clean Up With the MAVLink]. Retrieved from <https://habr.com/post/312300>.

UDC 62-53:623.746-519

*Olha Bashynska, Volodymyr Kazymyr, Sergii Nesterenko*

## FORMING TELEMETRIC LOG FILES FOR UNMANNED AERIAL SYSTEMS' OPERATIONAL TECHNICAL DIAGNOSIS

**Urgency of the research.** Objective definition of quality indicators of unmanned aerial systems (UAS) presupposes the use of various means of technical diagnostics, among which it is proposed to use the files of telemetric logs UAS. This task, from the definition of requirements to the systems of operational diagnostics UAS and ending with the technological aspects of implementation, has not an effective solution yet.

**Problem setting.** When designing a sophisticated technical system, such as UAS, one of the subsystems for ensuring the survivability and manageability of the system is the choice of an efficient way to collect and accumulate real-time system information. Firstly, the set of characteristics to be measured must be in line with a certain range of quality indicators used to evaluate the UAS. Secondly, it is necessary to investigate possible ways of implementing telemetry operative data collection processes based on modern information technologies.

**Analysis of recent research and publications.** The description of logistics systems of technical systems, namely, automotive and computer systems, such as operating systems and computer networks, is described. Regarding UAS, the available information is fragmented and only reflects the experience of using unmanned vehicles of different types by amateurs.

**Uninvestigated parts of the general matters defining.** The development of new types of UAS and their modification require the formulation of clear design requirements for all subsystems, including the subsystem of telemetry, which is proposed to be considered as a means of technical diagnostics in order to assess the quality of UAS.

**Presenting main material.** The data on typing logs in the process of journaling telemetry data is given. A connection is established between the type of logs, the recording speed and the convenience of post-processing. The basic properties of the logging system of UAS are formulated: the efficiency of fixation, the functional completeness of the protocol, the ability to convert to text format, security from interference. As an example of implementation, an improved protocol based on MAVLink with adaptation under special terms of use is considered.

**Conclusions regarding the article.** The UAS telemetry logs contain objective information about the state of UAS in the process of their use, therefore, if they are correctly used and interpreted, they can be used as a means of technical diagnostics for the purpose of further objective assessment of the quality of the UAS.

**Keywords:** technical diagnostics; logging, unmanned aerial systems; quality indicators.

**Fig.:** 3. **References:** 13.

**Башинська Ольга Олександрівна** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Bashynska Olha** – graduate student of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**ResearcherID:** Q-2925-2016

**Scopus Author ID:** 56644727300

**Нестеренко Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєнь та військової техніки Збройних Сил України (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Nesterenko Sergii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, leading scientist, State Research Institute of Tests and Certification of Armaments and Military Technique of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

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

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