

УДК 355.426.4:351.742



**О. Ю. Іохов**



**С. В. Бєлай**



**С. А. Горєлишев**

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ БОЙОВОЇ ЖИВУЧОСТІ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗА РАХУНОК ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНІСТІ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ**

*Процес дотримання заданого рівня бойової живучості озброєння і військової техніки вимагає постійного здійснення контролю технічного стану озброєння і військової техніки, а саме автобронетанкової техніки. Час проведення і достовірність одержаних результатів контролю технічного стану автобронетанкової техніки напряму впливають на коефіцієнт оперативної готовності. З метою підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки запропоновано використання динамічних фільтрів другого порядку спектрального кореляційного аналізу випадкових сигналів.*

**Ключові слова:** автобронетанкова техніка, бойова живучість, контроль технічного стану, достовірність, броньовані колісні машини, озброєння і військова техніка, оперативна готовність.

**Постановка проблеми.** Національна гвардія України (НГУ) як військово-формування з правоохоронними функціями сектору безпеки і оборони бере участь у відсічі збройної агресії Російської Федерації, яка здійснила віроломний напад на Україну, та виконує завдання територіальної оборони у взаємодії зі Збройними Силами України. Особливості виконання завдань територіальної оборони зумовлюють ускладнення завдань щодо питань забезпечення заданого рівня бойової живучості озброєння і військової техніки (ОВТ).

Відповідно до [1] живучість ОВТ – це комплексна властивість ОВТ зберігати за часом (пробігом, напрацюванням) значення показників боєздатності (навіть з можливим зниженням величини цих показників нижче встановлених меж) у визначених умовах бойового впливу противника (й аварійних ситуаціях) та відновлювати їх після закінчення (ремонтувати під час) уражаючого впливу противника. Своєю чергою, контроль технічного стану озброєння і військової техніки, а саме броньованих колісних машин, впливає на коефіцієнт оперативної готовності як основного складника узагальненого коефіцієнта живучості автобронетанкової техніки [1, 2].

Проведення контролю технічного стану автобронетанкової техніки існуючими засобами в умовах постійного вогневого протистояння не можливе, адже потребує виведення техніки з експлуатації на досить довгий термін. Тому набуває особливої актуальності проблема забезпечення контролю технічного стану броньованих колісних машин без виведення техніки з експлуатації зі скороченням часового циклу контролю її технічного стану.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливості виконання завдань територіальної оборони підрозділами НГУ зумовлюють багатократне збільшення навантаження на автобронетанкову техніку, що використовується. При цьому задається весь перелік автобронетанкової техніки НГУ, що вимагає ретельного планування порядку застосування броньованих колісних машин для зменшення часу руху. Однак при цьому слід урахувувати й технічний стан автобронетанкової техніки, який може значно впливати на ефективність виконання поставлених завдань. Так, несправність двигуна засобу броньованих колісних машин може призвести до збільшення витрат палива, зменшення потужності або навіть до виходу з ладу під час виконання завдань.

З урахуванням того, що переважна більшість засобів броньованих колісних машин НГУ має значну витрату ресурсу, актуальним завданням є розроблення більш достовірного методу контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки для своєчасного усунення можливих несправностей [2, 3, 4].

Результати аналізу публікацій [5, 6, 7] дали змогу запропонувати метод, спрямований на досягнення необхідної достовірності контролю технічного стану двигунів броньованих колісних машин за допомогою спектрального аналізу випадкових сигналів, які виникають за наявності несправностей або внаслідок порушення алгоритму роботи справних систем.

**Мета статті** – підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки за допомогою спектрального аналізу випадкових сигналів, які виникають за наявності несправностей або внаслідок порушення алгоритму роботи справних систем.

**Виклад основного матеріалу.** Двигуни автобронетанкової техніки є складною технічною системою. Це зумовлює широкий частотний діапазон коливальних процесів і призводить до швидкої реакції віброакустичного сигналу на зміну технічного стану. Двигуни, від надійності безаварійної роботи яких залежить життя особового складу й ефективність виконання поставлених завдань, потребують особливої уваги, а саме вчасного виявлення і запобігання розвитку дефектів, що спричиняють незворотні катастрофічні наслідки.

До відомих методів діагностики складних технічних систем двигунів можна віднести метод віброакустичної діагностики, метод моделювання технічного стану, метод на основі аналізу спектра та метод спектрального аналізу моторного мастила.

Сутність проблеми віброакустичної діагностики двигунів полягає в оцінюванні параметрів технічного стану без його розбирання. Для двигуна броньованих колісних машин можна виділити такі основні джерела виникнення вібрації [7]:

- коливання від незбалансованих обертових мас (роторна вібрація);
- вібрації, порушувані зубчастими передачами редукторів;
- коливання підшипникових вузлів; власні коливання лопаток, дисків, корпусів; аеродинамічні коливання;

– вібрації, порушувані процесами у газоповітряному тракті;

– вібрації агрегатів і трубопроводів.

Основними коливаннями є низькочастотні (0,1 Гц ... 400 Гц) і середньочастотні (400 Гц ... 2000 Гц) вібрації.

Колівальні процеси двигунів містять інформацію про якість виготовлення, ремонту, складання та про важкі зміни технічного стану на межі аварійного стану. Наявність дефектів на ранній стадії визначається власними коливаннями.

До недоліків вібраційного методу відносять:

– обмежені можливості дистанційного контролю;

– складність проведення необхідних вимірювань параметрів вібрації.

Метод моделювання технічного стану двигунів автобронетанкової техніки включає розроблення моделі двигуна (імітаційна модель), двигуна з підключеними датчиками. При цьому вимірюється набір сигналів двигуна, який застосовується для розв'язування рівняння стану за деякий час. Потім одержані значення порівнюються з еталонним значенням, яке отримане за допомогою імітаційного моделювання, та визначається наявність несправності двигуна. У разі виявлення несправності видається повідомлення для запобігання пошкодженню двигуна.

Серед недоліків методу моделювання слід зазначити такі, як [5, 7]:

– відсутність дистанційного контролю і діагностування;

– низька точність;

– складність розроблення імітаційної моделі, що адекватна реальній роботі двигуна.

Метод на основі аналізу спектра передбачає контроль параметрів роботи двигуна протягом деякого інтервалу часу, визначення характерних частот роботи. Отриманий сигнал в аналоговій або цифровій формі за допомогою методів спектрального аналізу досліджується у визначених точках (характерних частотах). Цей метод дає змогу провести дистанційний контроль і діагностування технічного стану двигунів броньованих колісних машин. До недоліків такого методу слід віднести такі, як [7, с. 61–76]:

– складність оцінки результатів, оскільки будь-яка амплітудно-модульована частота  $f$  враховується у спектрі двояко, по обидві сторони потрібної частоти  $f_1$ , тобто у вигляді  $|f_1 - \Delta f|$  і  $|f_1 + \Delta f|$ . Таке подвійне врахування частот моделювання обумовлює недостатню точність діагностування [імовірність накладання частот від різних несправностей (дефектів) збільшується у два рази];

– відсутність можливості збільшення кількості гармонік частоти  $f$  для аналізу.

Проте метод на основі аналізу спектра, порівняно з іншими методами, має переваги у точності, ефективності та простоті реалізації засобів діагностування технічного стану двигунів. Водночас такий метод потребує вдосконалення процедур спектрального аналізу для усунення недоліків (наприклад, під час діагностування двигунів, у яких змінюється режим роботи, що є характерним для автобронетанкової техніки).

Метод спектрального аналізу моторного мастила є найбільш простим способом діагностики і профілактики можливих несправностей. Під час технічного контролю стану двигунів автобронетанкової техніки спектральний аналіз стану моторного мастила може надати інформацію про справність системи подачі повітря за даними рівня вмісту кремня (бруд) у мастилі. Рівні вмісту заліза й алюмінію попереджають про знос поршня та циліндра і дають змогу запобігти виникненню значної відмови, що може призвести до несправності двигуна під час здійснення маршруту автобронетанкової техніки. Однак через те, що простих для технічної реалізації методів спектрального аналізу високої точності дослідження характеристик змін спектра моторного мастила бракує, цей метод доволі високоартісний, а тому він малопоширений.

Ураховуючи зазначене вище, розглянемо можливість використання методу на основі аналізу спектра для діагностування технічного стану двигунів автобронетанкової техніки.

В апаратурі спектрального аналізу, особливо в системах діагностування технічних об'єктів, таких, як двигуни автобронетанкової техніки, використовують прилади, що спрощують їх

синтез і технічну реалізацію. Одержання однакових характеристик точності спектрального аналізу може бути забезпечено динамічними фільтрами менших порядків, ніж класичних, стаціонарних (які не переналаштовуються) фільтрів.

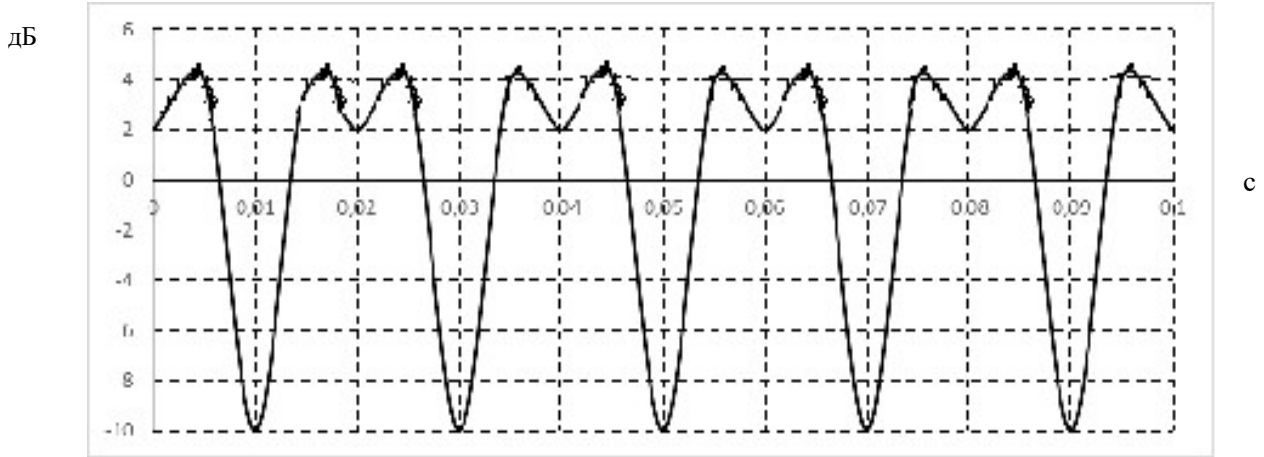
Розглянемо основні теоретичні положення синтезу динамічних фільтрів другого порядку для спектрального кореляційного аналізу випадкових сигналів на прикладі діагностики електродвигуна під час тертя ротора об статор.

На рисунку 1 подано вібраційний сигнал (див. рис. 1, *a*) і його спектр (див. рис. 1, *б*) під час тертя ротора об статор електродвигуна.

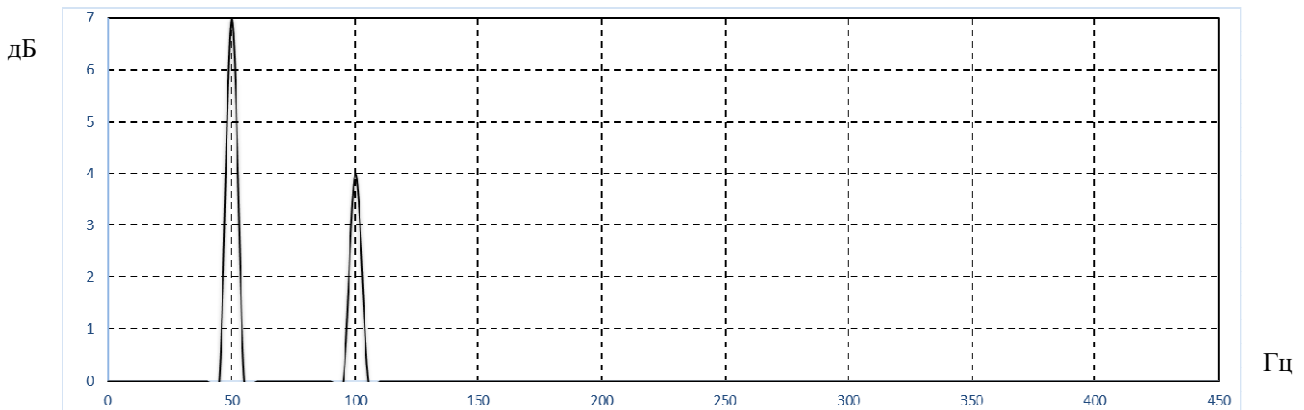
Аналіз форми вібраційного сигналу (рис. 1, *a*) указує на фазову зону, при позитивних значеннях вібраційного сигналу в якій відбувається тертя ротора. Ця зона показує «дзеркальний відскік ротора». Верхня частина вібраційного сигналу у зазначеній зоні не зростає, а зменшується. Початок «відскоку» характеризується деяким імпульсним високочастотним піком.

На графіку вібраційного сигналу (рис. 1, *a*) виділяється момент часу, коли відбувається зачіпання ротора об статор електродвигуна. При цьому верхня частина синусоїди деформована і являє собою коливальний процес. Після виходу ротора із зони торкання форма часового сигналу «відновлюється» і процес коливання йде по синусоїді основної гармоніки вібрації. У цьому прикладі зачіпання «вирізає» позитивний пік синусоїди.

Специфікою спектральної картини резонансних коливань у разі зачіпання і затирання є те, що зазвичай усі несинхронні компоненти спектра зосереджуються поблизу синхронних. На загальному спектрі вібраційного сигналу це виражається не у загальному піднятті рівня спектра, а в «розширенні» несучих деяких синхронних гармонік, частоти яких близькі до частот власних резонансних елементів конструкції. Кількість таких «розширених» гармонік у спектрі зазвичай не перевищує двох, а найчастіше – одна. Такий спектр наведено на рис. 2.



*a*



*б*

Рисунок 1 – Вібраційний сигнал і його спектр: *a* – вібраційний сигнал; *б* – спектр вібраційного сигналу під час тертя ротора об статор електродвигуна

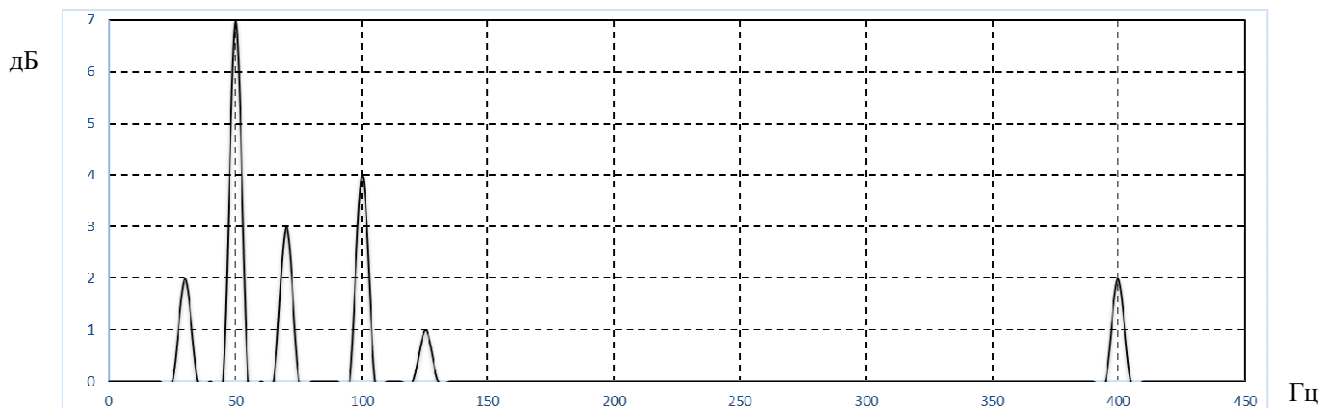


Рисунок 2 – Спектр вібраційного сигналу у разі розвиненого дефекту типу «затирання» ротора об статор електродвигуна

Часто зачіпання генерує підняття спектра на частоті власного резонансу одного з третьових елементів. На спектрі є, як зазвичай, багато цілих і дробових гармонік, але більша частина потужності вібрації зосереджена в області власного резонансу конструкції. Така картина найчастіше спостерігається у разі затирання в ущільненнях, коли потужність від такого дефекту не дуже велика за величиною, але значно «розмазана» по частотному діапазону великої ширини.

Зовні такий прояв затирання має вигляд як один або кілька «горбів» на спектрі. Частота цих «горбів» не пов'язана з частотою обертання, а цілком визначається власними частотами резонансу різних елементів конструкції. Це в основному несинхронні компоненти спектра.

На рисунках 3 і 4 наведено приклади застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів під час спектрального аналізу випадкового (вібраційного) сигналу, який характеризує початок дефекту (рис. 3) і його розвиток (рис. 4) в електродвигуні.

Аналіз залежностей на цих рисунках засвідчує, що існуючі фільтри не дають змогу виявити своєчасно початок дефекту під час спектрального аналізу вібраційного сигналу, а у процесі розвитку дефекту виявляють його як початковий. Це не дозволяє за допомогою існуючих фільтрів своєчасно виявити відмову двигунів, що може стати причинами відмови двигунів автобронетанкової техніки під час виконання завдань за призначенням. Отже,

аналіз залежностей, поданих на рис. 3 і 4, свідчить про підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки за допомогою запропонованих фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів, які характеризують дефекти (несправності) двигунів.

Із рисунків 3 і 4 видно, що акустична вібродіагностика дає змогу виявити несправність двигуна автобронетанкової техніки методом «на слух» при рівні шуму 7 дБ. За допомогою відомих методів вібродіагностування двигунів можливо визначити несправність двигуна при рівні шуму 5 дБ. Застосування запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного акустичного сигналу дозволяє визначити несправність при рівні шуму 4 дБ. Таким чином, підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки із застосуванням запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного акустичного сигналу становить до 20 %.

Як зображено на рис. 4, значення механічної вібрації для виявлення несправності двигуна зменшується до 1 мм залежно від частоти у разі застосування запропонованого фільтру. Отже, підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів засобів автобронетанкової техніки із застосуванням запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного сигналу становить до 10 %.

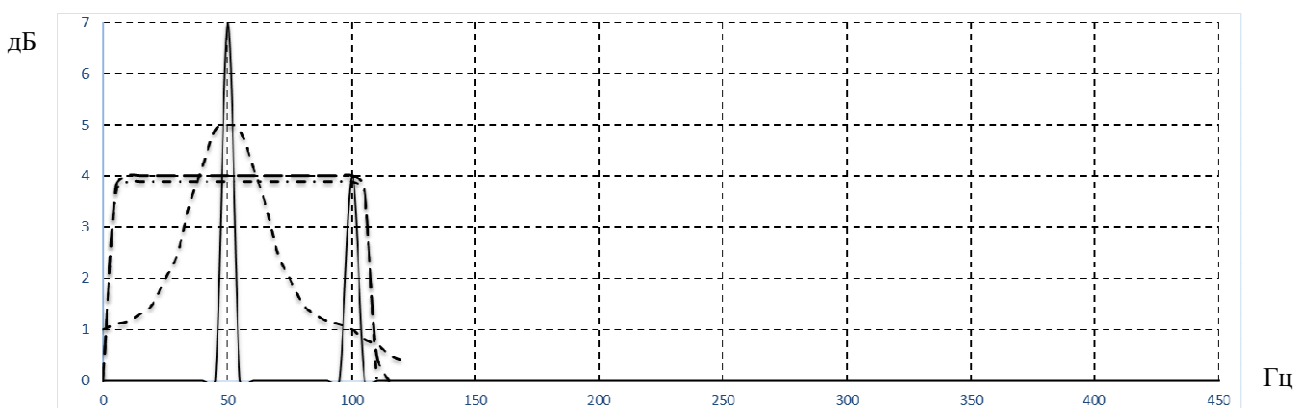


Рисунок 3 – Приклад застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів під час спектрального аналізу початку дефекту в електродвигуні

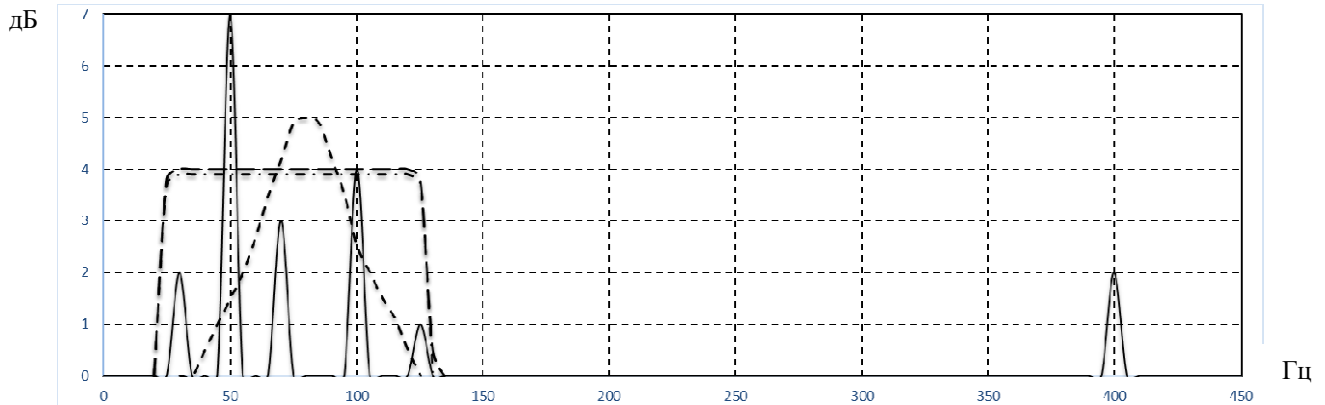


Рисунок 4 – Приклад застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів під час спектрального аналізу розвитку дефекту в електродвигуні

### Висновки

Запропонований метод спектрального аналізу вібраційного сигналу діагностичного контролю технічного стану двигунів броньованих колісних машин дає змогу зменшити витрати часу на простій транспорту, що поліпшує коефіцієнт оперативної готовності та коефіцієнт живучості автобронетанкової техніки в цілому.

Результати проведеного аналізу застосування динамічних фільтрів другого порядку для спектрального кореляційного аналізу випадкових сигналів у порівнянні з вузькосмуговими фільтрами малих порядків показали, що підвищується достовірність контролю технічного стану двигунів автобронетанкової техніки від 10 % до 20 %.

Подальші дослідження будуть продовжені у напрямку адаптації динамічних фільтрів другого порядку спектрального кореляційного аналізу випадкових сигналів до здійснення контролю технічного стану різних двигунів автобронетанкової техніки НГУ за різних умов застосування.

### Перелік джерел посилання

1. Іванченко О. В., Ковтун А. В., Кудімов С. А. Визначення показника живучості автобронетанкової техніки під час здійснення заходів із забезпечення державної безпеки. *Честь і закон*. 2020. № 3 (74). С. 20–26.

2. Порівняльний аналіз конструктивних і техніко-експлуатаційних показників українських броньованих машин. *Наукові нотатки* / Р. О. Кайдалов та ін. 2020. № 69. С. 45–54.

3. Герасимов С. В., Шапран Ю. Є., Кірвас В. В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. Вип. 4 (52). С. 5–10.

4. Чинков В. Н., Герасимов С. В. Комплексная методика оптимизации контролируемых параметров сложных технических объектов. *Український метрологічний журнал*. 2003. № 1. С. 11–15.

5. Герасимов С. В. Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом. *Системи обробки інформації*. 2013. Вип. 9 (116). С. 7–11.

6. Демідов Б. О., Борисенко М. В., Герасимов С. В. Методи оптимального вибору та розміщення засобів вимірювання в складі мобільної інформаційно-вимірювальної системи. *Системи озброєння і військова техніка*. 2016. № 2 (46). С. 74–78.

7. Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. Харків : Вид. Рожко С. Г., 2019. 327 с.

*Стаття надійшла до редакції 05.07.2022 р.*

UDC 355.426.4:351.742

**O. Iokhov, S. Bielai, S. Gorelyshev**

**ENSURING THE SPECIFIED LEVEL OF COMBAT SURVIVAL OF ARMORED WHEELED VEHICLES AT THE ACCOUNT OF INCREASING THE RELIABILITY OF CHECKING THE TECHNICAL CONDITION OF THE ENGINES**

*Controlling the technical condition of armored wheeled vehicles using existing means in conditions of constant fire resistance is not possible, as it requires decommissioning the equipment for a fairly long period of time. Therefore, the problem of ensuring the control of the technical condition of armored wheeled vehicles without decommissioning it with a reduction in the time cycle of monitoring its technical condition becomes especially urgent.*

*Considering the fact that the vast majority of armored wheeled vehicles of the National Guard of Ukraine have a significant consumption of resources, the urgent task is to develop a more reliable method of monitoring the technical condition of the engines of armored wheeled vehicles for the timely elimination of possible malfunctions.*

*The results of the analysis made it possible to propose a method aimed at achieving the necessary reliability of monitoring the technical condition of the engines of armored wheeled vehicles by means of spectral analysis of random signals that arise in the presence of malfunctions or violations of the algorithm of the functioning systems.*

*The purpose of the article is to increase the reliability of monitoring the technical condition of the engines of armored wheeled vehicles by means of spectral analysis of random signals that arise in the presence of malfunctions or violations of the algorithm of operation of healthy systems.*

*The proposed method of spectral analysis of the vibration signal of the diagnostic control of the technical condition of the engines of armored wheeled vehicles makes it possible to reduce time spent on simple transport, which improves the coefficient of operational readiness and the survivability of armored vehicles as a whole.*

*The results of the analysis of the use of dynamic filters of the second order for spectral correlation analysis of random signals in comparison with narrow-band filters of small orders showed that the reliability of monitoring the technical condition of the engines of armored wheeled vehicles increases from 10 % to 20 %.*

*Further research will be continued in the direction of adaptation of dynamic filters of the second order of spectral correlation analysis of random signals to control the technical condition of various engines of armored wheeled vehicles of the National Guard of Ukraine in various conditions of use.*

**Keywords:** *armored vehicles, combat survivability, technical condition control, reliability, armored wheeled vehicles, weapons and military equipment, operational readiness.*

**Іохов Олександр Юрійович** – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри військового зв'язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0002-1718-0138>

**Бєлай Сергій Вікторович** – доктор наук з державного управління, професор, заступник начальника навчально-методичного центру – начальник відділу методичного забезпечення навчального процесу Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0002-0841-9522>

**Горєлишев Станіслав Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>