

**Федунов В.М.** Державний університет інфраструктури та технологій, старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, м.Ізмаїл

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗОВАНОГО ФІЛЬТРУ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ КОНТРОЛІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ

**Мета статті** – дослідження синтезованого фільтру для спектрального аналізу випадкових сигналів при контролі технічного стану двигунів.

**Постановка проблеми.** Розглянемо діагностику дефектів (несправностей) електродвигуна засобу водного транспорту при терті ротора о статор.

На рис.1 наведено вібраційний сигнал (рис. 1, а) і його спектр (рис. 1, б) при терті ротора о статор електродвигуна [1].

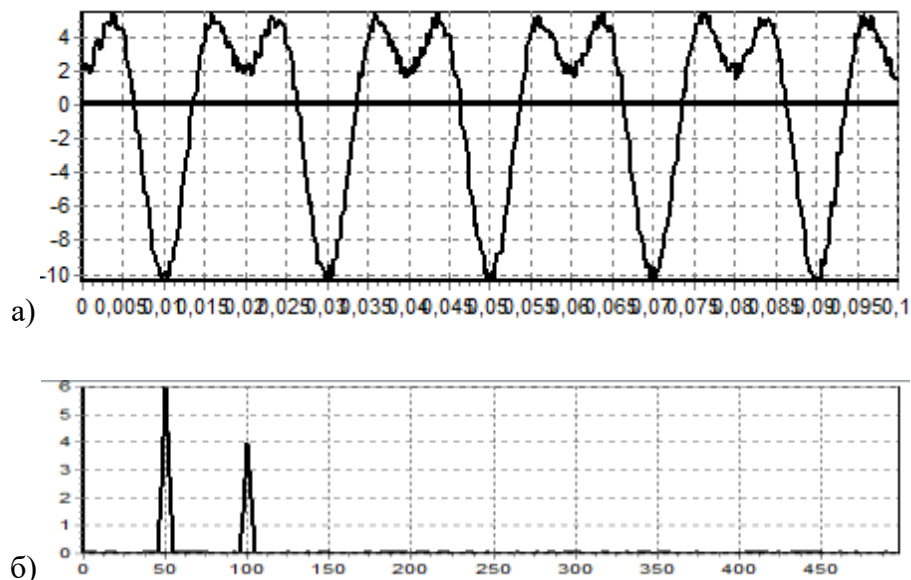


Рисунок 1 – Вібраційний сигнал а) і його спектр б) при терті ротора о статор електродвигуна

Аналіз форми вібраційного сигналу (рис. 4.10, а), то видно фазову зону, при позитивних значеннях вібраційного сигналу, в якій відбувається тертя ротора. Ця зона показує «дзеркальний відскік ротора», Верхня частина вібраційного сигналу в цій зоні не зростає, а зменшується. Початок відскоку характеризується деяким імпульсним високочастотним піком [2].

На графіку вібраційного сигналу (рис. 4.10, а) виділяється момент часу, коли відбувається зачіпання ротора о статор електродвигуна. При цьому верхня частина синусоїди деформована та представляє коливальний процес. Після виходу ротора із зони торкання форма часового сигналу «відновлюється» і процес коливання йде по синусоїді основної гармоніки вібрації. В даному прикладі зачіпання «вирізає» позитивний пік синусоїди [2].

Специфікою спектральної картини резонансних коливань при зачіпанні і затираннях є те, що зазвичай все несинхронні компоненти спектра зосереджуються поблизу синхронних. На загальному спектрі вібраційного сигналу це виражається не в загальному піднятті рівня спектра, а в «розширенні» підстави деяких синхронних гармонік, частоти яких близькі до частот власних резонансних елементів конструкції. Кількість таких «розширених» гармонік в спектрі зазвичай не перевищує двох, а найчастіше є одна. Такий спектр наведено на рис. 2 [3].

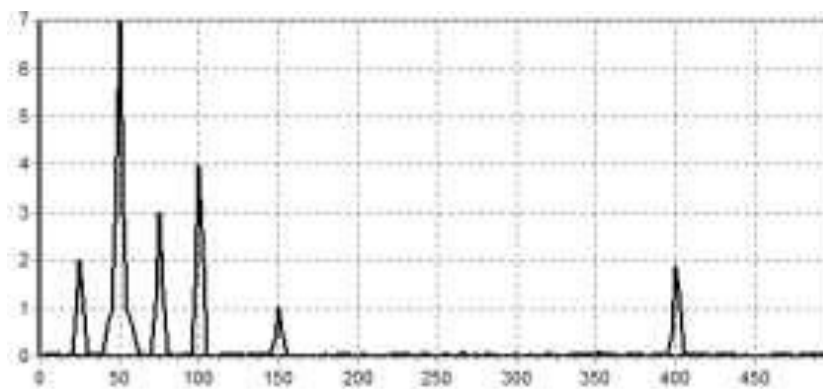


Рисунок 2 – Спектр вібраційного сигналу при розвиненому дефекті типу «затирання» ротора о статор електродвигуна

Часто зачіпання генерує підняття спектра на частоті власного резонансу одного з третювих 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 при затирання в ущільненнях, коли потужність від такого дефекту не дуже велика за величиною, але значно «розмазана» по частотному діапазону значної ширини.

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

На рис. 3 і 4 показаний приклад застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів при спектральному аналізі випадкового (вібраційного) сигналу, який характеризує початок дефекту (рис. 3) і його розвиток (рис. 4) у електродвигуні засобів водного транспорту [4].

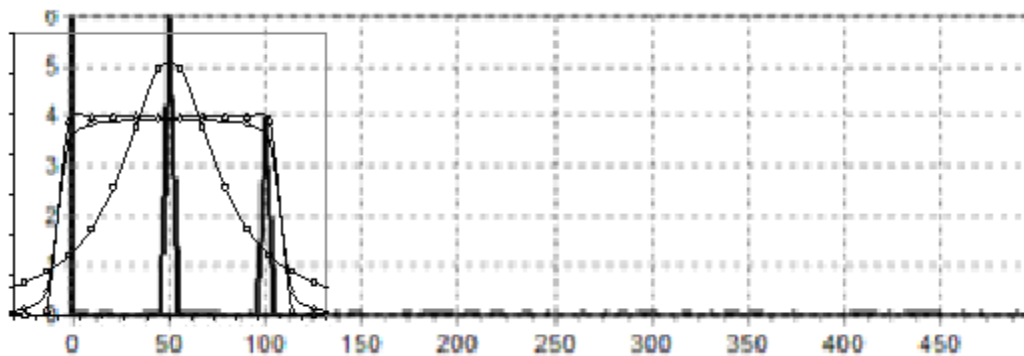


Рисунок 3 – Приклад застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів при спектральному аналізі початку дефекту у електродвигуні засобів водного транспорту

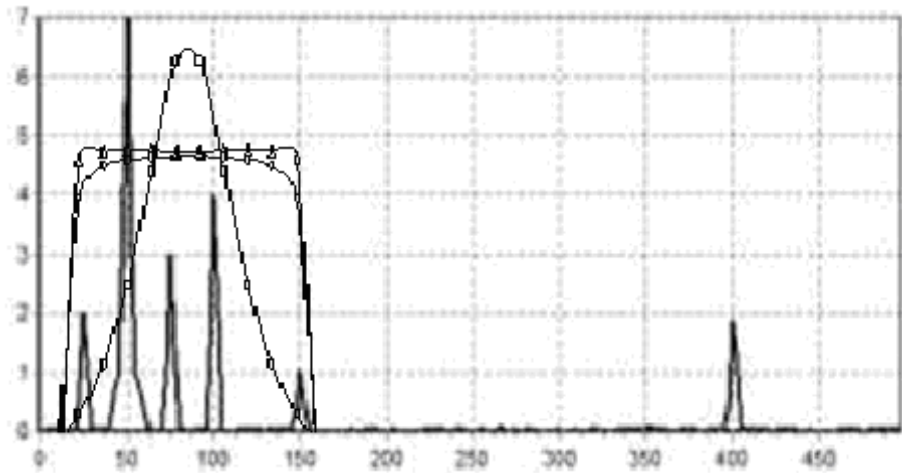


Рисунок 4 – Приклад застосування «ідеального», синтезованого та відомого фільтрів при спектральному аналізі розвитку дефекту у електродвигуні засобів водного транспорту

Аналіз залежностей на рис.3 і 4 доводить, що ФСВ існуючих фільтрів не дозволяють виявити своєчасно початок дефекту при спектральному аналізі вібраційного сигналу, а при його розвитку виявляють дефект як початковий. Це не дозволяє за допомогою існуючих фільтрів своєчасно виявити відмову двигунів, що може стати причинами відмови двигунів засобів водного транспорту під час рейсів. Отже, аналіз залежностей на рис.3 і 4 доводить про підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту за допомогою запропонованих фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів, які характеризують дефекти (несправності) двигунів [5].

Розрахуємо показники достовірності та економічності від застосування запропонованих фільтрів спектрального аналізу випадкових сигналів для контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту [5, 6].

На рисунках 5 і 6 показаний результати комп'ютерного моделювання запропонованого методу обробки випадкового сигналу при зміні роботи двигуна засобу водного транспорту [7–9].

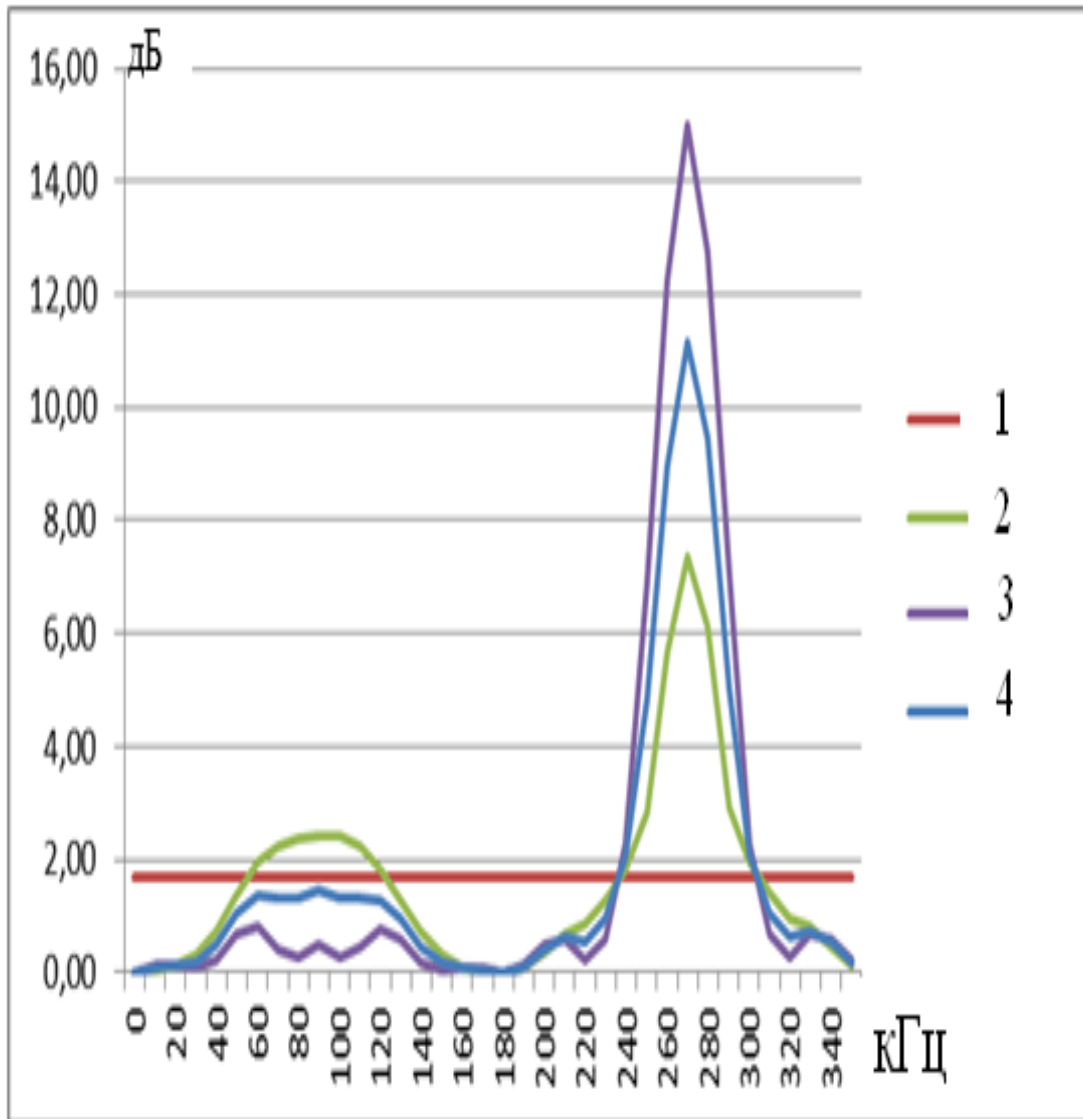


Рисунок 5 – Спектр роботи двигуна при несправності одного клапану:

- 1 – шумові зміни справного двигуна;
- 2 – шумові зміни при аналізі спектру роботи двигуна (запропоновано)
- 3 – шумові зміни при несправності двигуна (на «слух»);
- 4 – шумові зміни при аналізі спектру роботи двигуна (відомий метод)

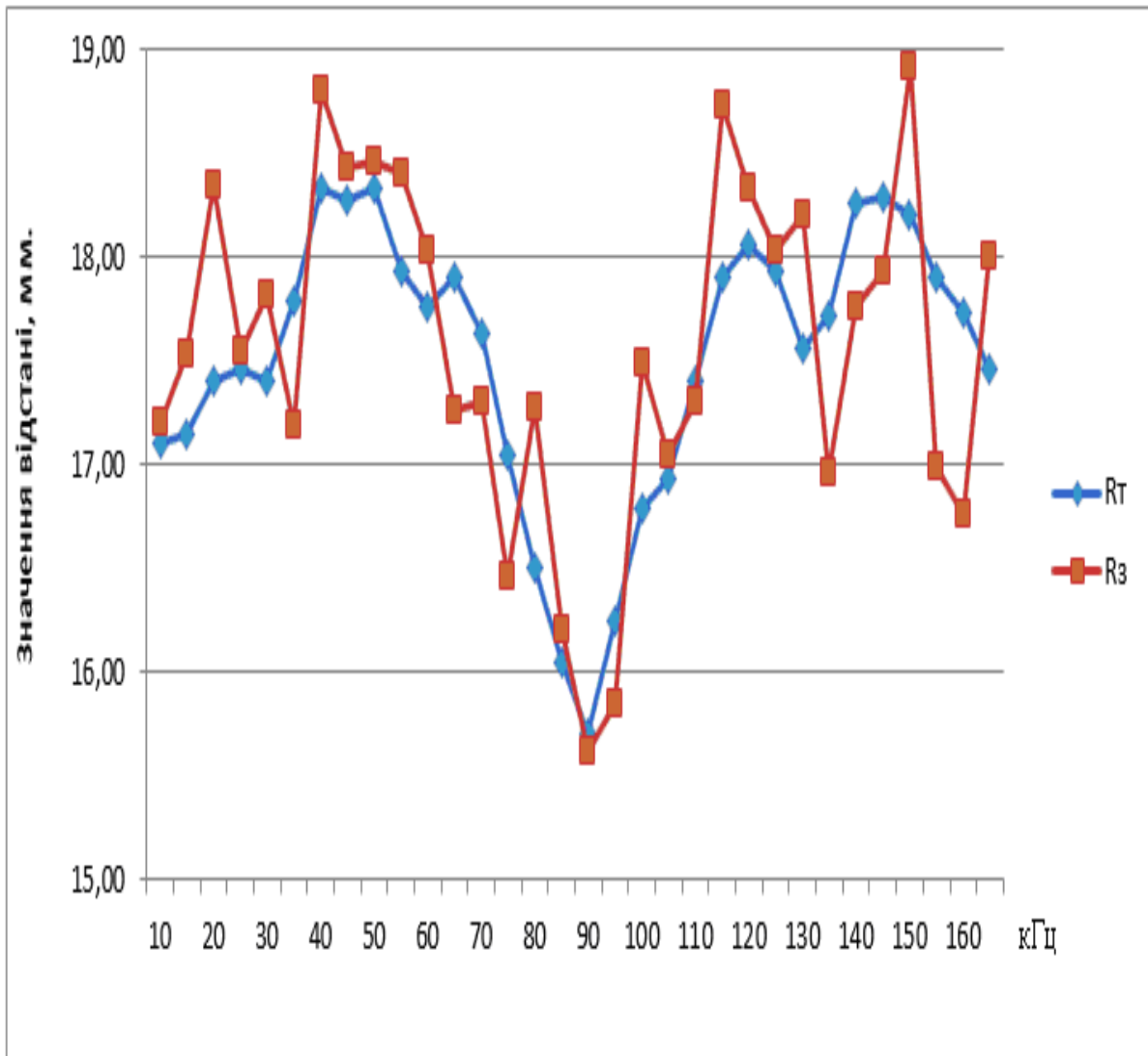


Рисунок 6 – Вібрація двигуна (мм) залежно від її частоти

Із рисунку 5 видно, що акустична вібродіагностика дозволяє виявити несправність двигуна засобу водного транспорту методом «на слух» при рівні шуму 15 дБ. Відомі методи вібродіагностування двигунів дозволяють визначити несправність двигуна при рівні шуму 11 дБ. Застосування запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного акустичного сигналу дозволяє визначити несправність при рівні шуму 7 дБ. Таким чином, підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту при застосуванні запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного акустичного сигналу становить до 36% [11, 12].

Із рисунку 6 видно, що значення механічної вібрації для виявлення несправності двигуна зменшується до 1 мм залежно від частоти при застосуванні запропонованого фільтру. Отже, підвищення достовірності контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту при застосуванні запропонованого фільтру для спектрального аналізу вібраційного сигналу становить до 10% [9, 13].

Результати комп'ютерного моделювання [14, 15], проведені за відомою методикою [6, 9], показали, що запропоновані методи при діагностичному контролі технічного стану двигунів засобів водного транспорту дозволяють зменшити витрати часу на простій транспорту до 30%. Це дозволяє економити кошти до 25% від річних витрат на обслуговування засобів водного транспорту. При цьому підвищується достовірність контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту від 10% до 36% (залежно від метод діагностичного контролю). Це дозволяє економити до 15% коштів при транспортуванні вантажів за рахунок виключення можливих відмов у двигунах при переміщенні за вказаним маршрутом руху.

**Висновки.** З використанням узагальнених виразів для ФСВ і відносної дисперсії оцінки СЦП динамічних фільтрів, отриманих в попередніх розділах, знайдені аналітичні співвідношення для характеристик динамічного вузько-смугового фільтру для спектрального аналізу випадкових сигналів, які характеризують дефекти (несправності) двигунів засобів водного транспорту. Визначено аналітичні залежності визначають закони перебудови характеристик (параметрів) динамічних фільтрів.

Із використанням запропонованих методів синтезу законів перебудови параметрів динамічного фільтра проведено моделювання ФСВ таких фільтрів на ЕОМ, результати якого підтвердили отримані теоретичні результати.

Сформульовані результати комп'ютерного моделювання отриманих результатів.

## Список літератури

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Варжапетян А.Г., Глущенко Д.В. Системы управления: учебное пособие. М.: Вузовская книга, 2000. 328 с.
3. Василенко В.М., Вечурко О.М., Штрибець В.В. Модель оцінки спектральної щільності потужності випадкових сигналів морських навігаційних приладів. *Наукоємні технології*. 2018. №4 (40). С. 487–491.
4. Величко О.М., Коцюба А.М., Новиков В.М. Основи метрології та метрологічна діяльність. К: Техніка, 2000. 228 с.
5. Вишневецький В.І. Дніпро біля Києва. К.: Інтерпрес ЛТД, 2005. 100 с.
6. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач І.Ю. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. Севастополь: Изд. Центр СНИЯЭ и П, 2004. 318 с.
7. Герасимов С.В., Козлов В.Є., Шамаєв Ю.П. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки: навчальн. посіб. Х.: ХВУ, 2006. 175 с.
8. Герасимов С.В., Штрибець В.В. Оптимизация законов перестройки динамического фильтра для аппаратурного спектрального анализа технического состояния судовых двигательных установок. XIV International scientific-technical conference on «Water transport problems», 2–3 May 2019. Вак1, 2019. С. 16.
9. Герасимов С.В., Штрибець В.В. Розробка методу діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для зменшення витрат на перевезення вантажів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та інформаційні технології»*, 24–25 квітня 2019 р. Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2019. С. 3.
10. Дакі О.А., Трофіменко А.О., Штрибець В.В. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації. *Наукоємні технології*. 2019. № 1(41). С. 88–94. DOI: 10.18372/2310-5461.41.13534.



11. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Пенза: Профессионал, 2008. 63 с.
12. Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления / под редакцией Н.Д. Егупова. Том 3. Методы современной теории автоматического управления. М.: Изд. МГТУ, 2000. 748 с.
13. Захаров Г.В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. М.: Транслит, 2009. 256 с.
14. Ивановский В.Г., Варбанец Р.А. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации. *Всеукр. науч.-техн. журн.* 2004. Вып. 2. С. 138–141.
15. Измерительные информационные системы / под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.