

Сорока В.В., Гороховська О.К.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СИГНАЛІВ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ДО ПОРОГОВИХ ЗНАЧЕНЬ

Метою статті є проведення апробації розроблених методів, що входять до складу комплексного методу вібродіагностики головної енергетичної установки засобів водного транспорту. Поставлена мета досягається шляхом глибокого аналізу теоретичних основ проведення вібродіагностики об'єктів контролю, викладених у сучасних джерелах інформації, а також безпосереднього застосування розроблених теоретичних методів для проведення комплексної вібродіагностики головної енергетичної установки засобів водного транспорту. Доведено, що найпростішим є аналіз загальних рівнів стандартних частотних смуг при визначенні вібраційного стану обладнання. При цьому загальні рівні стандартних частотних смуг порівнюються з пороговими значеннями, встановленими для різних типів машин. Підкреслюється тісний зв'язок цих значень зі значеннями меж, наведених у додатках стандартів для відповідних типів обладнання та отриманих у ході експлуатації. У процесі моніторингу загального технічного стану головної енергетичної установки засобів водного транспорту найчастіше використовують набір октавних та третьоктавних фільтрів з постійною відносною шириною, які формують широкопasmовий спектр. Під час аналізу спектрів дольоктавних діапазонів здійснюється порівняння рівня кожної смуги з пороговими значеннями, що вимагає додаткових обробок. Найбільш суттєвим результатом дослідження є встановлення факту, що розроблений метод дозволяє виявляти зміну стану або в аналогічний момент часу або раніше, ніж стандартний підхід. Підтверджено, що особливо ефективний результат отримано для сигналів без перехідних процесів та для високих швидкостей деградації, які перевищують швидкості максимальних за рівнем флуктуацій, що є важливим при оперативному контролі з метою управління відповідальним обладнанням. Запропонований спосіб побудови порогів дозволяє підвищити швидкість реакції на зростання, пов'язану з прискореною деградацією. При цьому доведено перевагу апроксимації на інтервалі, що відповідає останній тенденції.

Ключові слова: сигнал, вібродіагностика, поріг, головна енергетична установка, фільтр, флуктуація

Актуальність дослідження. Контроль технічного стану роторного обладнання головної енергетичної установки засобів водного транспорту під час експлуатації [1, 2] свідчить про переваги вібраційного методу. Вібрація, що розповсюджується від місця виникнення до точки вимірювання, характеризує зміни властивостей об'єкта, які можуть розглядатися як причина або індикатор глибиною діагнозу появи дефектів.

Типи оцінки змін вібросигналів (віброконтроль, вібромоніторинг, вібродіагностика) застосовують різні методи аналізу по мірі ускладнення об'єкта діагностики та зростання глибини діагнозу [3-5].

Для оцінки зміни технічного стану об'єкта контролю суттєве значення має відхилення вібраційної активності від нормальної, що відповідає бездефектному стану [6]. Для оцінки таких відхилень необхідно підвищити якість та обсяг діагностичної інформації, що потребує удосконалення основних методів аналізу вібраційного сигналу та автоматичної обробки вібраційних сигналів.

Найпростішим для інтерпретації є аналіз загальних рівнів стандартних частотних смуг [7], використовуваних для визначення вібраційного стану. Тому вони порівнюються з пороговими

значеннями, які встановлюються в залежності від типу машин, спираючись на значення меж, наведених у додатках стандартів для відповідних типів обладнання, та досвіду експлуатації.

Отже, питання практичного застосування методу автоматичної адаптації сигналів вібродіагностики до порогових значень залишається актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень. Робота конкретного агрегату може супроводжуватися певними явищами, кожне з яких характеризується діапазоном зміни фактору, що впливає на вібрацію [8]. При аналізі вібраційних параметрів під час природних перехідних процесів виділяються й обробляються дані перехідних процесів змін, зв'язаних з деградацією технічного стану обладнання. Традиційно для побудови порогових значень параметрів використовуються базові значення як середні з оцінкою розкиду значень у стабільному режимі роботи об'єкта, використовуючи дані з кількох послідовних вимірювань [9].

Також рекомендується визначати різні базові значення контролю у різних режимах. Однак на практиці ця вимога є складною, тому виділяють обмежену кількість режимів, як правило, за частотою, навантаженням (споживаним струмом) або іншим найбільш значущим для віброактивності об'єкта параметром. При цьому як базове значення для кожного режиму встановлюється середнє, а пороги враховують максимальний розкид за час спостереження, що охоплює найтриваліші монотонні різноспрямовані зміни [10].

Якщо за час спостереження виявляється лише одна тенденція і є ознаки конкретних дефектів, це інтерпретується як деградація. Такий спосіб можна назвати стандартним, оскільки він є найбільш застосовним на практиці [11-13]. При цьому навіть у межах одного виділеного режиму можуть бути суттєві флуктуації віброактивності через зміни різних факторів.

Для моніторингу загального технічного стану найчастіше використовують набір октавних та третьоктавних фільтрів з постійною відносною шириною, формуючи широкосмуговий спектр.

Аналіз спектрів дольоктавних діапазонів полягає у порівнянні рівня кожної смуги з пороговими значеннями і вимагає додаткових обробок [14]. Зазначені особливості дольоктавних спектрів роблять їх одним з основних інструментів для більш детальної оцінки технічного стану. Дольоктавні спектри, як і стандартні загальні рівні, обчислюються відомими способами смугової фільтрації, які можуть здійснюватися як у часовій області за допомогою згортки, так і в частотній області за допомогою накладання на спектри потужності вагових вікон. Однак широкосмугові види аналізу не дозволяють визначити природу компонентів, що викликають зміну віброактивності [15].

Мета дослідження. Проведення апробації розроблених методів, що входять до складу комплексного методу вібродіагностики головної енергетичної установки засобів водного транспорту.

Виклад основного матеріалу. Перевірка ефективності методу побудови порогів, як частини методу адаптації порогових значень автор у своїх дослідженнях проводив способом математичного моделювання перехідних процесів у вібраційному сигналі. Цей спосіб дає можливість розглянути широкий перелік можливих ситуацій, включивши моделі, які якісно відповідають часовим трендам, отриманим на реальному судновому та промисловому обладнанні.

З позиції вібраційного моніторингу ключовою відмінністю змін параметрів вібрації, пов'язаних з природними перехідними процесами, від змін, пов'язаних з деградацією технічного стану, є те, що величини природних факторів, а, відповідно, і вібраційні параметри, змінюються в деяких типових межах. Для кожного впливу фактори порогів та дані зміни найчастіше носять циклічний характер.

Так, добові зміни температури повітря для певного приміщення або місцевості рідко перевищують 5-10°, так само, як і діапазон зміни навантаження в межах виділеного режиму змінюється у певних межах та залежить від технологічного процесу. Особливістю природних перехідних процесів також є те, що закони їх зміни можуть бути зовсім різними і часто хаотичними, коли зміни, викликані деградацією більшості випадків, є монотонними та близькими до експоненційного закону.

Для апробації методу адаптації порогових значень за допомогою модельних сигналів у середовищі Mathcad розроблено генератор сигналів перехідних процесів, в якому визначається загальна тривалість сигналу в секундах T_{full} , середнє значення вібраційного параметра M (рис. 1).

Крім цього, задаються параметри декількох сукупностей перехідних процесів. Кожна сукупність є послідовністю різноспрямованих перехідних процесів, що характеризуються середнім інтервалом зміни параметра ($M \pm \bar{L}$) та середнім часом, за який відбувається одна ітерація перехідного процесу. Кожна сукупність є моделлю впливу певного фактору на параметр вібрації.

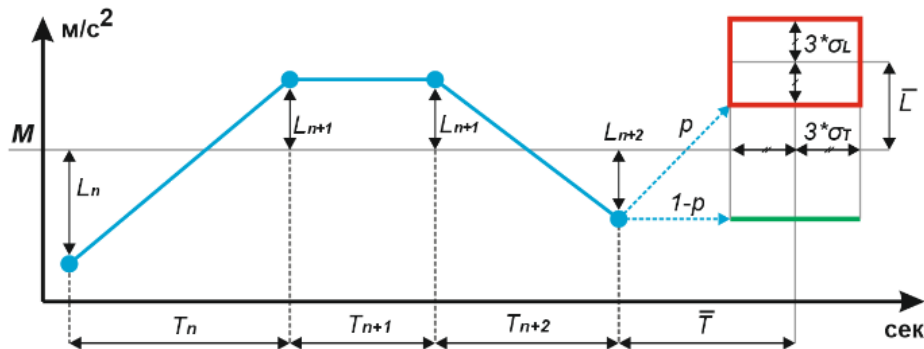


Рис. 1 – Розрахунок граничних точок сукупності тенденцій (розроблено автором)

За заданими параметрами для кожної сукупності розраховуються граничні точки послідовності тенденцій. При цьому кожна наступна точка з ймовірністю p може бути побудована з урахуванням наявності перехідного процесу, спрямованого протилежно попередньому, або з ймовірністю $(1-p)$ перехідний процес може бути відсутнім, при цьому гранична точка вибирається на рівні попередньої точки.

Точки будуються так, що їх відстані один від одного по осі часу відповідають нормальному розподілу із середнім $\bar{T}$ та СКВ δ_T , а відхилення точок від середнього значення M по осі значень параметра відповідає нормальному розподілу із середнім значенням $\bar{L}$ та СКВ δ_L .

За згенерованими точками відбувається інтерполяція проміжних точок з кроком часу dT_0 за допомогою кубічної сплайн-інтерполяції, в результаті чого для кожної сукупності перехідних процесів розраховується відповідний сигнал. Далі сигнали підсумовуються між собою та сигналом випадкових флуктуацій, відповідних нормальному закону розподілу із заданим СКВ σ_s , який характеризує природний випадковий розкид параметра.

Для імітації деградації стану можна задати експоненційне зростання з постійної τ із заданого часу T_0 . Швидкість деградації цього зростання порівнювалася зі швидкістю перехідних процесів шляхом оцінки відповідних постійних τ_0 часу. Для групи перехідних процесів τ_n оцінювалася як постійна часу експоненційного зростання від точки $(0; M - \bar{L})$ до точки $(\bar{T}; M + \bar{L})$:

$$\tau_n = \bar{T} \ln \left(\frac{M + \bar{L}}{M - \bar{L}} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Під час апробації запропонованого методу за допомогою генератора перехідних процесів був сформований широкий перелік модельних сигналів (більше 100) з різним числом сукупностей перехідних процесів (до трьох) і параметрами перехідних процесів. Для кожного такого сигналу наприкінці задавалося зростання різної постійної часу.

Результати розробленого методу адаптації порогових значень (апробований метод) порівнювалися зі стандартним методом розрахунку порога (контрольний метод), який можна сформулювати так. Як базове значення використовується середнє, поріг встановлюється на

рівень 3 СКВ від базового значення, при цьому середнє значення та СКВ визначаються за тривалий час спостереження, що включає всі можливі перехідні процеси (розглядався відрізок часу з початку спостереження до початку деградації).

Для контрольного методу та першого накопичувача апробованого методу (до якого потрапляють вихідні дані) застосовувався метод трьох збігів для виключення перевищень порога випадковим викидам у сигналі, тобто факт перевищення фіксувався за наявності трьох перевищень поспіль.

У результаті обробки широкого переліку модельних сигналів підібрано три типових ситуацій, що характеризуються певним якісним результатом порівняння апробованого та контрольного методу. Аналіз сигналів, відповідних даним типовим сигналам, наводиться нижче.

Апробація методу на типових сигналах

Типовий сигнал №1.

Особливості сигналу: перехідних процесів немає або рівень їх флуктуацій нижче за рівень випадкових. Як приклад сигналу з наведеними особливостями розглянуто сигнал з нормальним розподілом з $M=10 \text{ м/с}^2$, $\sigma_s=0,5 \text{ м/с}^2$ та зростанням з постійною $\tau_0 = 4$ години з початком в $T_0=20\,000 \text{ с}$. За допомогою контрольного методу перевищення було виявлено в момент часу $T_k = 201\,349 \text{ с}$, а за допомогою апробованого $T_a = 200\,383 \text{ с}$, тобто приблизно 3 разу (на 71%) раніше від початку деградації (рис. 2).

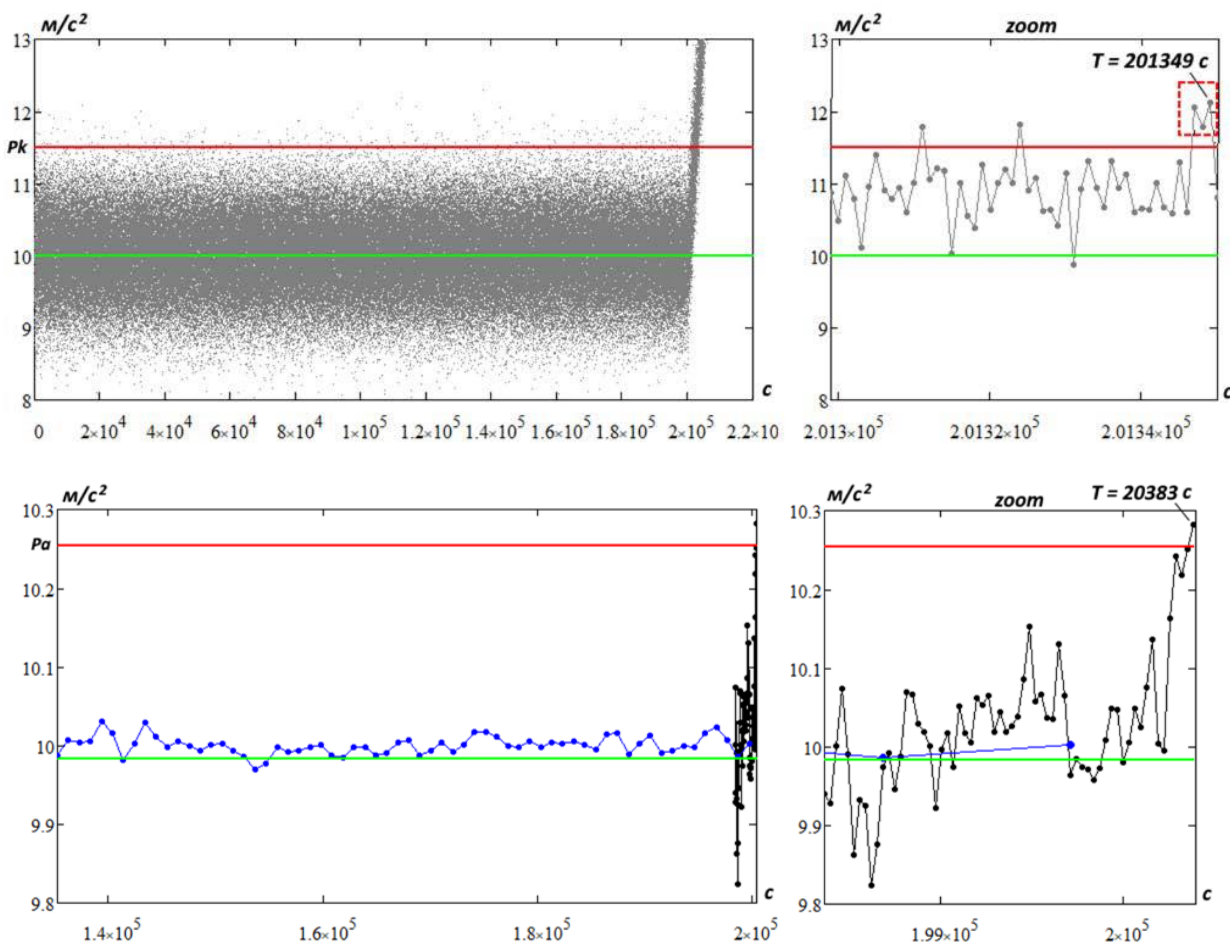


Рис. 2 – Обробка сигналу з нормальним законом розподілу: контрольний (згори) та апробований (знизу) метод (розроблено автором)

За результатами аналізу результатів обробки сигналів з подібними якісними особливостями встановлено, що за допомогою запропонованого методу небезпечний стан

виявляється значно раніше в залежності від характеру сигналу (рівня розкиду) та швидкості деградації. Це пов'язано з тим, що в усередненні випадкових флуктуацій розкид зменшується приблизно на порядок від накопичувача до накопичувача, що зумовлює збільшення точності виявлення зростання лише на рівні зниженого розкиду.

Подібна тенденція (відсутність значних перехідних процесів) спостерігається в сигналах обладнання при роботі в одному температурному режимі та з одним навантаженням без істотного впливу інших факторів і характерна більше для промислових умов, ніж суднових.

Типовий сигнал №2.

Особливість сигналу: швидкість деградації можна порівняти або вона є нижче швидкості перехідного процесу з найбільшим інтервалом флуктуацій, рівень яких перевищує рівень випадкового розкиду. Як приклад сигналу з наведеними особливостями розглянуто сигнал з такими параметрами генерації: $M = 10 \text{ м/с}^2$, $\sigma_s = 0,25 \text{ м/с}^2$; перша сукупність перехідних процесів: $\bar{L} = 1 \text{ м/с}^2$, $\sigma_L = 0,5 * \bar{L}$, $\bar{T} = 256 \text{ с}$, $\sigma_T = 0,1 * \bar{T}$; друга сукупність перехідних процесів: $\bar{L} = 0,5 \text{ м/с}^2$, $\sigma_L = 0,5 * \bar{L}$, $\bar{T} = 8192 \text{ с}$, $\sigma_T = 0,1 * \bar{T}$, деградація: $\tau d = 1 \text{ год}$, $Td = 20\,000 \text{ с}$.

У цьому сигналі швидкість деградації нижче середньої швидкості зміни першої сукупності перехідних процесів ($1/\tau_d < 1/\tau_n$) з максимальним інтервалом змін. У ході обробки даного сигналу за допомогою контрольного методу перевищення було виявлено в момент часу $Tk = 201\,322 \text{ с}$, а за допомогою апробованого $Ta = 201\,297$, тобто на 25 с раніше (рис. 3, 4), позначення такі самі, як на рисунках 4.14, 4.15. Дане значення часу становить близько 0,4% від постійного часу деградації, що є несуттєвою різницею.

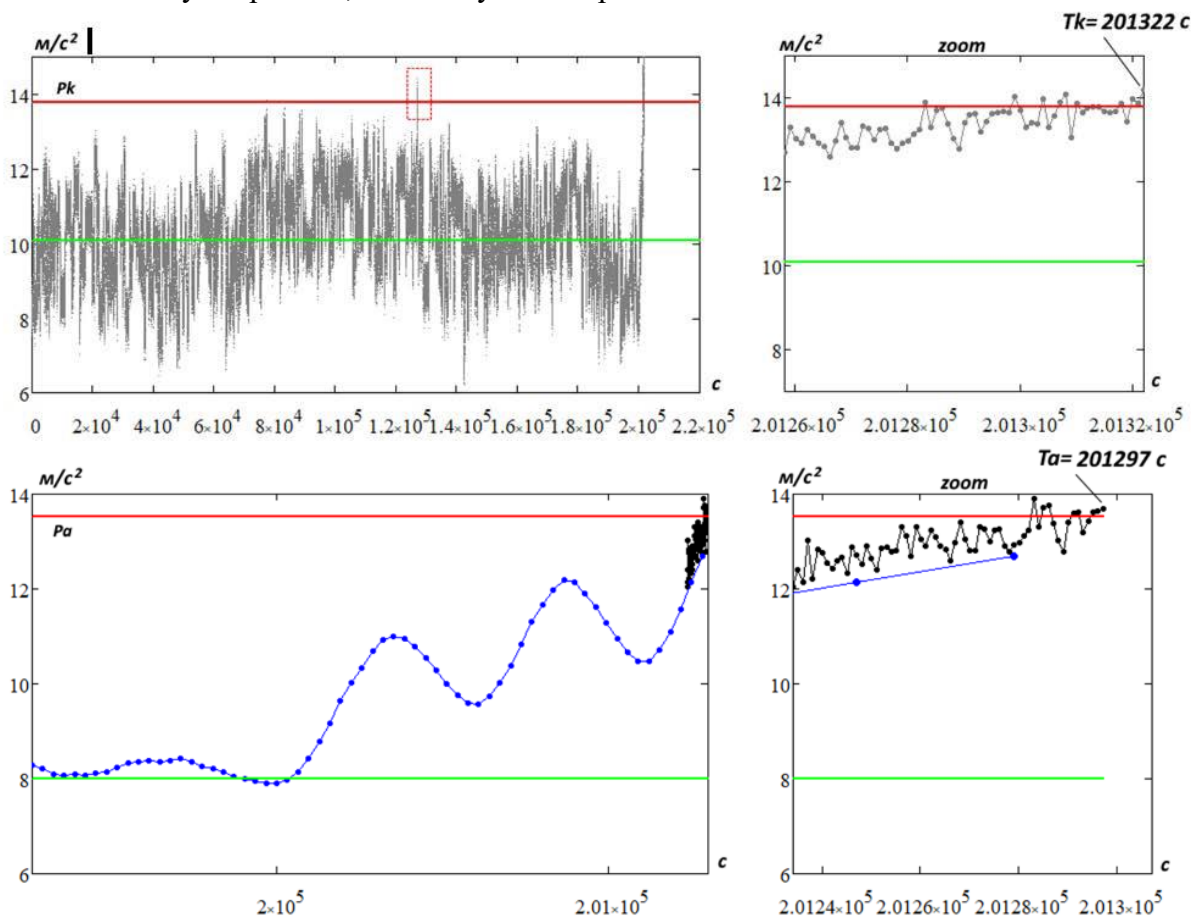


Рис. 3 – Обробка сигналу зі швидкістю деградації меншої швидкості типового перехідного процесу з максимальним інтервалом флуктуацій: контрольний (згори) та апробований (знизу) метод
(розроблено автором)

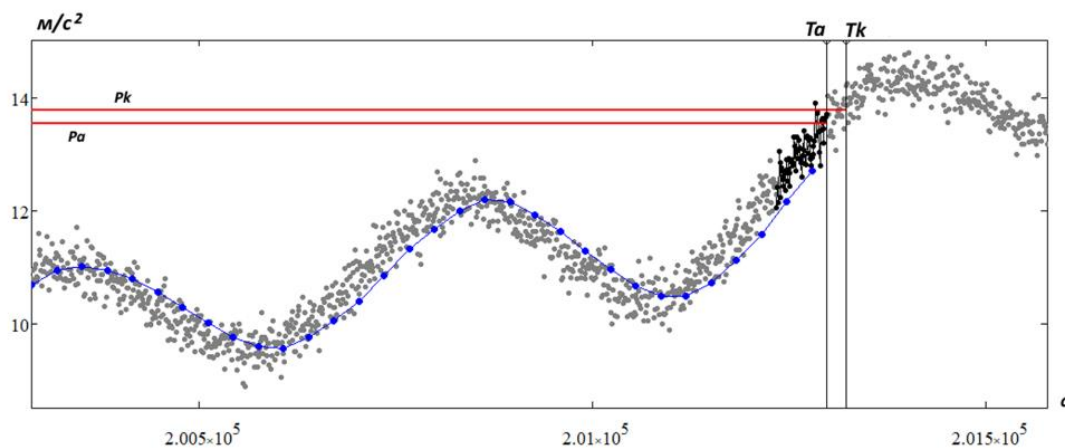


Рисунок 4 – Обробка сигналу зі швидкістю деградації меншою швидкості типового перехідного процесу з максимальним інтервалом флуктуацій: порівняння контрольного та апробованого методів
(розроблено автором)

Аналіз результатів обробки сигналів з такими якісними особливостями показав, що за допомогою запропонованого методу зміна стану виявляється приблизно в той же час, що і за допомогою контрольного. При ще нижчих швидкостях деградації спостерігається несуттєве запізнення методу, що апробується, порівняно з контрольним (до 2% τ_d), що пояснюється затримкою (зміщенням) сигналу при його усередненні (згладжуванні).

Типовий сигнал № 3.

Особливості сигналу: швидкість деградації значно перевищує швидкість перехідного процесу з найбільшим інтервалом флуктуацій, причому рівень випадкового розкиду менше заданих монотонних флуктуацій.

Розглянемо сигнал, з такими параметрами:

$M = 10 \text{ м/с}^2$, $\sigma_s = 0.25 \text{ м/с}^2$;

перша сукупність перехідних процесів:

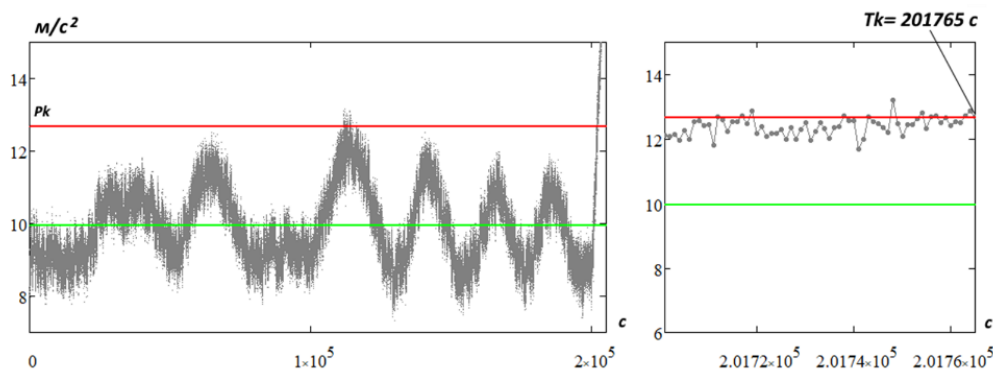
$\bar{L} = 0.25 \text{ м/с}^2$, $\sigma_L = 0.5 \bar{L}$, $\bar{T} = 256 \text{ с}$, $\sigma_T = 0.1 * \bar{T}$;

друга сукупність перехідних процесів:

$\bar{L} = 1 \text{ м/с}^2$, $\sigma_L = 0.5 * \bar{L}$, $\bar{T} = 8192 \text{ с}$, $\sigma_T = 0.1 * \bar{T}$

деградація: $\tau_d = 2 \text{ год}$, $T_d = 20000 \text{ с}$.

У цьому сигналі швидкість деградації значно перевищує середню швидкість перехідних процесів ($1/\tau_d > 1/\tau_n$) з максимальним інтервалом флуктуацій (№2). При обробці даного сигналу за допомогою контрольного методу перевищення було виявлено в момент часу $T_k = 201765 \text{ с}$, а за допомогою апробованого $T_a = 200756$, тобто на 16 хвилин раніше (рис. 5, 6), позначення такі самі, як на рис. 4.16, 4.17. Ці значення становить близько 13% від постійної часу деградації та відповідає скороченню часу виявлення зміни стану з початку деградації більш ніж у 2 рази (на 57%).



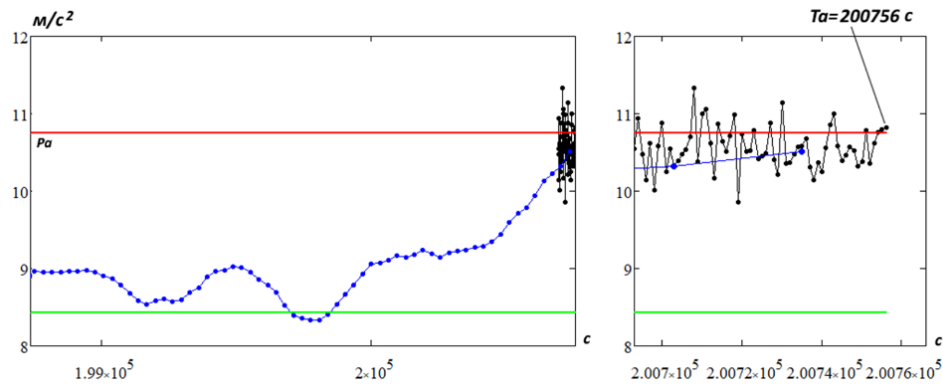


Рис. 5 – Визначення зміни стану на сигналі зі швидкістю деградації більшої швидкості типового перехідного процесу з максимальним інтервалом флуктуацій: контрольний (згори) та апробований (знизу) метод (розроблено автором)

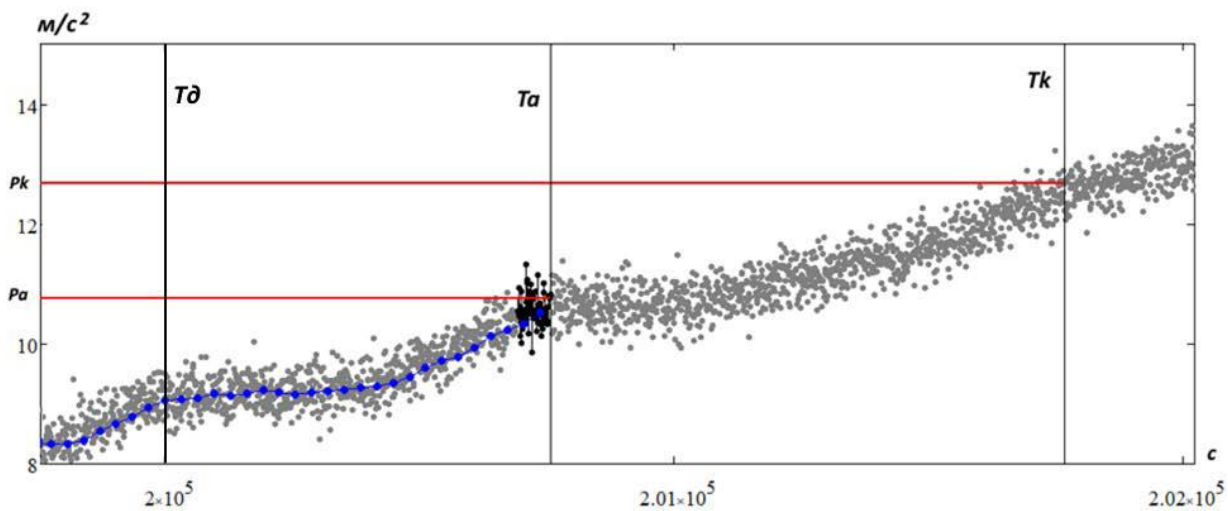


Рис. 6 – Визначення зміни стану на сигналі зі швидкістю деградації більшої швидкості типового перехідного процесу з максимальним інтервалом флуктуацій: порівняння контрольного та апробованого методів (розроблено автором)

При обробці сигналів з подібними якісними особливостями встановлено, що за допомогою розробленого методу небезпечний стан виявляється раніше залежно від різних умов – швидкості деградації, співвідношення інтервалів змін перехідних процесів та рівня випадкових флуктуацій.

При швидкості деградації, що істотно перевищує середню швидкість перехідних процесів з максимальним інтервалом зміни, що значимо перевищує рівень природного розкиду, запропонований метод дозволяє підвищити швидкість реакції на зміну стану більш ніж у 2 рази, що є суттєвим результатом, який дозволяє заздалегідь прийняти управлінські рішення для запобігання аварійно небезпечним.

Висновки. У ході порівняння стандартного та розробленого методу встановлено, що розроблений метод дозволяє виявляти зміну стану або в аналогічний момент часу або раніше, ніж стандартний підхід. Особливо ефективний результат отримано для сигналів без перехідних процесів та для високих швидкостей деградації, які перевищують швидкості максимальних за рівнем флуктуацій, що є важливим при оперативному контролі з метою управління відповідальним обладнанням. Ефективність запропонованого методу автоматичної адаптації порогових значень підтверджена, оскільки запропонований спосіб побудови порогів дозволяє істотно підвищити швидкість реакції на зростання, пов'язану з прискореною деградацією, а

спосіб прогнозування дає кращий результат, ніж аналогічні способи. При цьому доведено перевагу апроксимації на інтервалі, що відповідає останній тенденції. Крім зазначених результатів, метод довів ефективність при тестуванні в натурних умовах та експлуатації на реальних об'єктах систем із впровадженими запропонованих рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mitchell, J.S. From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance. Seventy Years of Continuous Progress / J.S. Mitchell // *Sound & vibration*. – 2007. – Vol. 41(1). – P. 62-78.
2. Shahsavari R., Ulm F.-J. Indentation analysis of fractional viscoelastic solids. *Journal of mechanics of materials and structures*. 2009. Vol. 4, No. 3. P. 523–550.
3. Міхалков С.В. Удосконалення технології діагностування підшипників кочення електричних двигунів тепловозів за вібраційними характеристиками. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07/ Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків: 2007 – 20 с.
4. Чепурний Ю.В. Експериментальне дослідження віброакустичним методом клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання / Ю.В. Чепурний, К.Г. Яценко, М.О. Блещенко, Г.Л. Коростильов // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2020. – № 1(61). – С. 177-182.
5. Chepurnyi Y.V. The Method of Controlling the Valve Mechanism of the Engine for Exhaust Pulsation Study / Y.V. Chepurnyi, O.M. Leonenko // *International Journal on Emerging Technologies*. – 2020. – № 11(3). – P. 91- 95.
6. Wenske W. Zur Ableitung der dynamischen Kennlinie des Asynchronmotors in Hinblick auf die Berechnung von Schwingungserscheinungen in Antriebsanlagen. // *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule O. Guericke*. – Magdeburg. – 1970. – jg.14. – Heft 5/6. – S. 517–523.
7. Deery, J. The 'Real' History of Real-Time Spectrum Analyzers. A 50-Year Trip Down Memory Lane / Joe Deery // *Sound & vibration*. – 2007. – Vol. 41(1). – P. 54-59.
8. Marynowski K., Kapitaniak T. Kelvin-Voigt versus Bùrgers internal damping in modeling of axially moving viscoelastic web. *International Journal of NonLinear Mechanics*. 2002. 37. P. 1147–1161.
9. Сараєва, І.Ю. Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля [Текст]: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.22.20 / І.Ю. Сараєва. – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2006. – 23 с.
10. Водка А.А. Виброизмерительный комплекс на основе микроэлектромеханического сенсора / А.А. Водка, А.И. Трубаев, Ю.Н. Ульянов // *Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля*. – Луганськ, 2012. – № 9 (180). Ч.1. – С. 140-147.
11. Зебров В.В. Анализ конструкций виброизолирующих опор металлорежущих станков / В.В. Зебров, Т.С. Балакина, Е.А. Владецкая // *Прогрессивные направления развития машиноприборостроительных отраслей и транспорта: материалы междунар. научн.-техн. конф. студ., асп. и мол. учёных, г. Севастополь, 12-16 мая 2008г.* - г. Севастополь: Изд-во Сев НТУ, 2008. - С. 124-125.
12. Резник Д. О., Поліщук І. А. Система вібродіагностики, прогнозування відмов та оцінки стану турбогенератора. *Молодий вчений*. 2019. № 11 (75). С. 694–697.
13. Чепурний Ю.В. Експериментальне дослідження віброакустичним методом клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання / Ю.В. Чепурний, К.Г. Яценко, М.О. Блещенко, Г.Л. Коростильов // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2020. – № 1(61). – С. 177-182.
14. N.S.Ahirrao, Dr.S.P.Bhosle, Dr.D.V.Nehete // *Dynamics and Vibration Measurements in Engines*// 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, 2018.
15. Renaud F., Dion J.-L., Chevallier G., Tawfiq I., Lemaire R. A new identification method of viscoelastic behavior: Application to the generalized Maxwell model. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier. 2011. 25. P. 991–1010.

REFERENCES

1. Mitchell, J.S. From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance. Seventy Years of Continuous Progress / J.S. Mitchell // *Sound & vibration*. – 2007. – Vol. 41(1). – P. 62-78.
2. Shahsavari R., Ulm F.-J. Indentation analysis of fractional viscoelastic solids. *Journal of mechanics of materials and structures*. 2009. Vol. 4, No. 3. P. 523–550.
3. Mikhalkov S.V. Improvement of the technology of diagnosing the rolling bearings of electric engines of diesel locomotives by vibration characteristics. *Udoskonalennya tekhnolohiyi diahnostuvannya pidshypnykiv kochennya elektrychnykh dvyhuniv teplovoziv za vibratsiynymy kharakterystykamy*. Autoref. thesis ... candidate technical Sciences: 05.22.07/ Ukrainian State Academy of Railway Transport. - Kharkiv: 2007 - 20 p.
5. Chepurnyi Y.V. The Method of Controlling the Valve Mechanism of the Engine for Exhaust Pulsation Study / Y.V. Chepurnyi, O.M. Leonenko // *Internation Journal on Emerging Technologies*. – 2020. – № 11(3). – P. 91- 95.
6. Wenske W. Zur Ableitung der dynamischen Kennlinie des Asynchronmotors in Hinblick auf die Berechnung von Schwingungserscheinungen in Autriebsanlagen. // *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule O. Guericke*. – Magdeburg. – 1970. – jg.14. – Heft 5/6. – P. 517–523.
7. Deery, J. The ‘Real’ History of Real-Time Spectrum Analyzers. A 50-Year Trip Down Memory Lane / Joe Deery // *Sound & vibration*. – 2007. – Vol. 41(1). – P. 54-59.
8. Marynowski K., Kapitaniak T. Kelvin-Voigt versus Bürgers internal damping in modeling of axially moving viscoelastic web. *International Journal of NonLinear Mechanics*. 2002. 37. P. 1147–1161.
9. Sarayeva, I.Yu. Improvement of the process of diagnosing the cylinder-piston group and the tightness of the valves of the gasoline engine of the car. *Udoskonalennya protsesu diahnostuvannya tsylindro-porshnevoyi hrupy ta hermetychnosti klapany benzynovoho dyvhuna avtomobilya* [Text]: autoref. thesis... candidate technical Sciences: 05.22.20 / I.Yu. Sarajevo. – Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Road University, 2006. – 23 p.
10. Vodka A.A. Vibration measuring complex based on a microelectromechanical sensor. *Vybroyzmytel'nyy kompleks na osnove mykroélektromekhanicheskoho sensora* / A.A. Vodka, A.I. Trubaev, Yu.N. Ulyanov // *Newsletter of the Shidnoukrainian National University named after. V. Dahl*. – Lugansk, 2012. – No. 9 (180). Part 1. – pp. 140-147.
11. Zebrov V.V. Analysis of the structures of vibration-isolating supports of metal-cutting machines. *Analiz konstruktsiy vibroizoliruyushchikh opor metallovezhushchikh stankov* / V.V. Zebrov, T.S. Balakina, E.A. Vladetskaya // *Progressive directions of development of machine-tool-building industries and transport: materials mezhdunar. scientific and technical conf. student, asst. and minor of scientists*, Sevastopol, May 12-16, 2008 - Sevastopol: Sev NTU Publishing House, 2008. - P. 124-125.
12. Reznik D. O., Polishchuk I. A. System of vibration diagnostics, forecasting of performance and assessment of the performance of a turbogenerator. *Systema vibrodiahnostyky, prohnouzuvannya vidmov ta otsinky stanu turbogenerators*. Young ideas. 2019. No. 11 (75). pp. 694–697.
14. N.S.Ahirroo, Dr.S.P.Bhosle, Dr.D.V.Nehete // *Dynamics and Vibration Measurements in Engines*// 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, 2018.
15. Renaud F., Dion J.-L., Chevallier G., Tawfiq I., Lemaire R. A new identification method of viscoelastic behavior: Application to the generalized Maxwell model. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier. 2011. 25. P. 991–1010.

Soroka V.V., Horokhovska O.K.

PRACTICAL APPLICATION OF THE METHOD OF AUTOMATIC ADAPTATION OF VIBRATION DIAGNOSTICS SIGNALS TO THRESHOLD VALUES

The aim of the article is to test the developed methods, which are part of the complex method of vibration diagnostics of the main power plant of water transport means. This goal is achieved by in-depth analysis of the theoretical foundations of vibration diagnostics of control objects, as set out in modern sources of information, as well as direct application of the developed theoretical methods for conducting a comprehensive vibration diagnostic of the main power plant of water transport. It has been proved that the simplest way is to analyse the general levels of standard frequency bands when determining the vibration state of equipment. In this case, the general levels of standard frequency bands are compared with the threshold values set for different types of machines. The close relationship between these values and the thresholds given in the annexes of the standards for the respective types of equipment and obtained during operation is emphasised. In the process of monitoring the general technical condition of the main power plant of waterborne transport means, a set of octave and third-octave filters with a constant relative width, which form a broadband spectrum, is most often used. When analysing the spectra of sub-octave bands, the level of each band is compared with threshold values, which requires additional processing. The most significant result of the study is the establishment of the fact that the developed method allows detecting a change in state either at the same time or earlier than the standard approach. It is confirmed that the result is especially effective for signals without transients and for high degradation rates that exceed the rate of maximum fluctuations, which is important for operational control for the purpose of managing critical equipment. The proposed method of constructing thresholds allows to increase the speed of response to growth associated with accelerated degradation. At the same time, the advantage of approximation on the interval corresponding to the latest trend is proved.

Keywords: signal, vibration diagnostics, threshold, main power plant, filter, fluctuation