

УДК 629.735.035.3'7:681.51 (045)

С. В. ЄНЧЕВ, С. С. ТОВКАЧ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ВІБРОСТАНУ ВУЗЛІВ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ВЕЙВЛЕТ-РОЗКЛАДУ

Стаття присвячена розробці методики прогнозування технічного стану роторних елементів авіаційних газотурбінних двигунів з використанням вейвлет-перетворення вібраційних сигналів від штатної системи контролю вібрації СА-191 на прикладі двигуна Д-27. Розроблено структурну схему методики прогнозування вібраційного стану двигуна Д-27 за параметрами неперервного вейвлет-розкладу. В якості прогностичних ознак обрані кількість ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів вузлів передньої і задньої підвіски авіаційного двигуна Д-27. Встановлено, що кожному типу дефекту двигуна відповідає певна кількість ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів.

Ключові слова: прогнозування, технічний стан, газотурбінний двигун, вейвлет-аналіз, вейвлет-коефіцієнти, вібраційний сигнал.

Вступ

Одним із перспективних напрямів розвитку систем діагностування газотурбінних двигунів (ГТД) є принцип раннього попередження несправностей, пошкоджень та відмов. Динамічно навантаженими вузлами конструкції ГТД є ротори (вали, диски з лопатками), руйнування яких може призвести до нелокалізованих руйнувань двигуна і літального апарату. Тому однією з важливих та актуальних проблем діагностики ГТД є визначення технічного стану елементів двигуна в процесі його функціонування, та діагностування пошкоджень на ранній стадії розвитку, що значно зменшує ризик руйнування роторних елементів при експлуатації ГТД.

Методи вібраційної та віброакустичної діагностики можуть вирішити вказану проблему завдяки високій інформативній складовій вібраційних та акустичних сигналів, можливості застосування ефективних методів обробки діагностичної інформації для визначення малих змінювань сигналів на фоні значних рівнів завад, можливості діагностування вузлів ГТД в процесі експлуатації.

Сигнали, що вимірюються є випадковими локально або суттєво нестационарними, а складові вібраційного та акустичного шуму ГТД, що мають в собі інформацію про ранні пошкодження роторних елементів, характеризуються низькою енергетичною ємністю, що ускладнює їх виділення традиційними методами обробки інформації. Тому один з напрямів вдосконалення та розвитку вібраційних і віброакустичних методів для діагностики початкових пошкоджень роторних елементів ГТД є застосування більш ефективних методів обробки вібраційних сигналів.

1. Постановка проблеми

У сучасній науковій практиці в сфері діагностики зміни станів вузлів ГТД активно використовуються значна кількість відомих методів, які спираються на спектральний аналіз отриманого сигналу.

За окремими невідповідностями спектрів вібросигналу зазвичай робиться висновок про наявність пошкодження. Однак використання при цьому Фур'є-перетворення має ряд недоліків:

- неможливість аналізу нестационарних сигналів у частотно-часовій області;
- низька точність виявлення локальних особливостей сигналів або ж миттєвих змін частотних складових сигналів, що унеможливило визначення місця та ступеня пошкодження вузлів ГТД.

Значний резерв для усунення вказаних недоліків можливий при використанні вейвлет-аналізу як новітнього методу обробки сигналів в системах діагностування авіаційними ГТД.

Аналізуючи сучасний стан розвитку вібраційної діагностики авіаційних ГТД, методи обробки вібраційних сигналів, а також основні вібромоделі типових пошкоджень вузлів ГТД, виникає питання про необхідність удосконалення способу оцінки технічного стану двигуна з використанням новітнього методу аналізу віброінформації – вейвлет-аналізу. У складі автоматизованої системи вібродіагностування це дозволить на ранній стадії прогнозувати появу дефектів та пошкоджень для забезпечення необхідної надійності двигуна.

Тому основну задачу статті сформулюємо у вигляді: розробка методики прогнозування технічного стану вузлів ГТД передньої та задньої підвіски ГТВД на основі інформації зі штатної системи контролю вібрації СА-191.

2. Основна частина

Прогнозування технічного стану елементів ГТД - процес отримання науково обгрунтованої інформації, що направлена на виявлення тенденцій зміни експлуатаційної ситуації, що дозволяє попереджувати аварійні ситуації та скорочувати простой обладнання. З вище розглянутого, можна сформулювати методику прогнозування стану елементів авіаційних ГТД на основі вейвлет-аналізу вібраційних сигналів рис. 1.

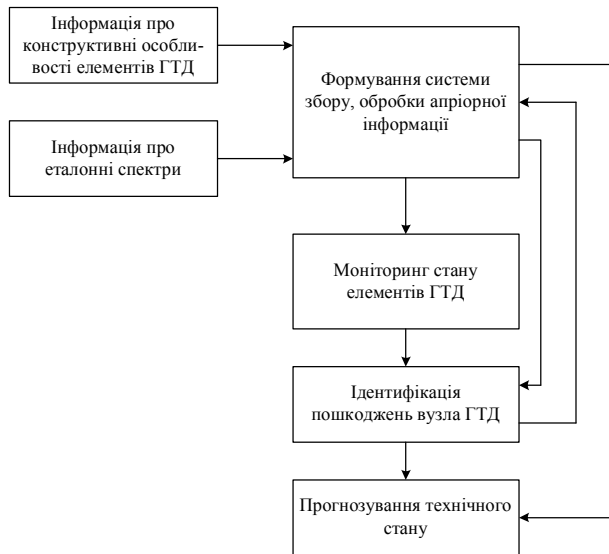


Рис. 1. Основні етапи прогнозування технічного стану елементів ГТД

Спочатку формується система збору, обробки формалізованого представлення апіорної інформації: бази даних про конструктивні особливості вузлів

ГТД; бази еталонних вейвлет-спектрів, або, так званих, діагностичних карт дефектів. Далі реалізується моніторинг стану елементів ГТД по вібраційному сигналу з використанням вейвлет-аналізу.

На наступному етапі відбувається ідентифікація виду дефекту і локалізація часу його виникнення. Результатом є масив вейвлет-спектру. Останній етап реалізує аналіз результатів діагностування і прогнозування на основі технічного стану вузлів ГТД, для чого відбувається звернення до баз даних, де визначається ступінь розвитку дефекту.

Результатом етапу є прийняття рішення про заміну вузла або можливості продовження експлуатації. Для визначення прогнозу виконаємо вейвлет-аналіз області 1640-1840, де спостерігається перехідний режим (рис. 2-6).

Аналізуючи отримані скейлограми, важко виділити якісь характерні особливості, які можна було б використовувати для ідентифікації такого дефекту як дисбаланс ротора.

Однак, на основі скейлограми можна побудувати лінії розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів і з їх допомогою отримати додаткову інформацію, недоступну при аналізі безпосередньо скейлограм. Алгоритм побудови ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів (вейвлет-скелет) полягає в наступному: для кожного масштабу S , якщо виконується умова, що значення вейвлет-коефіцієнтів

$$C(s, d_i) > C(s, d_{i-1}) \text{ та } C(s, d_i) > C(s, d_{i+1}),$$

то ця точка є точкою локального максимуму. З цих точок і формуються лінії розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів.

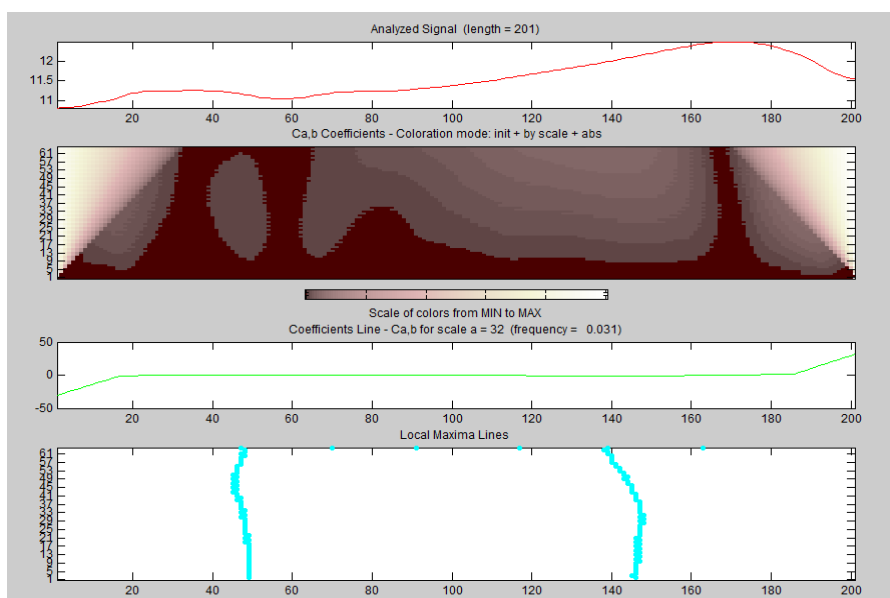


Рис. 2. Вейвлет-аналіз вібраційного сигналу ротора НТ (вузол передньої підвіски)

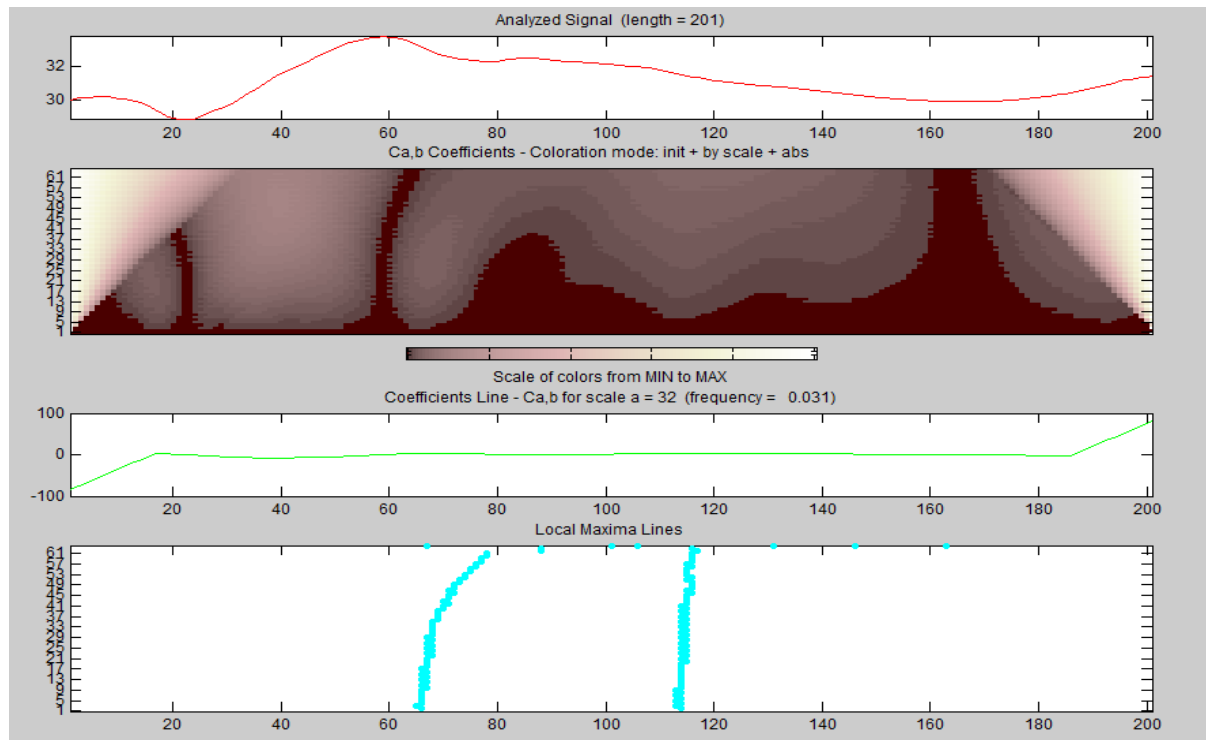


Рис. 3. Вейвлет-аналіз вібраційного сигналу ротора НТ (вузол задньої підвіски)

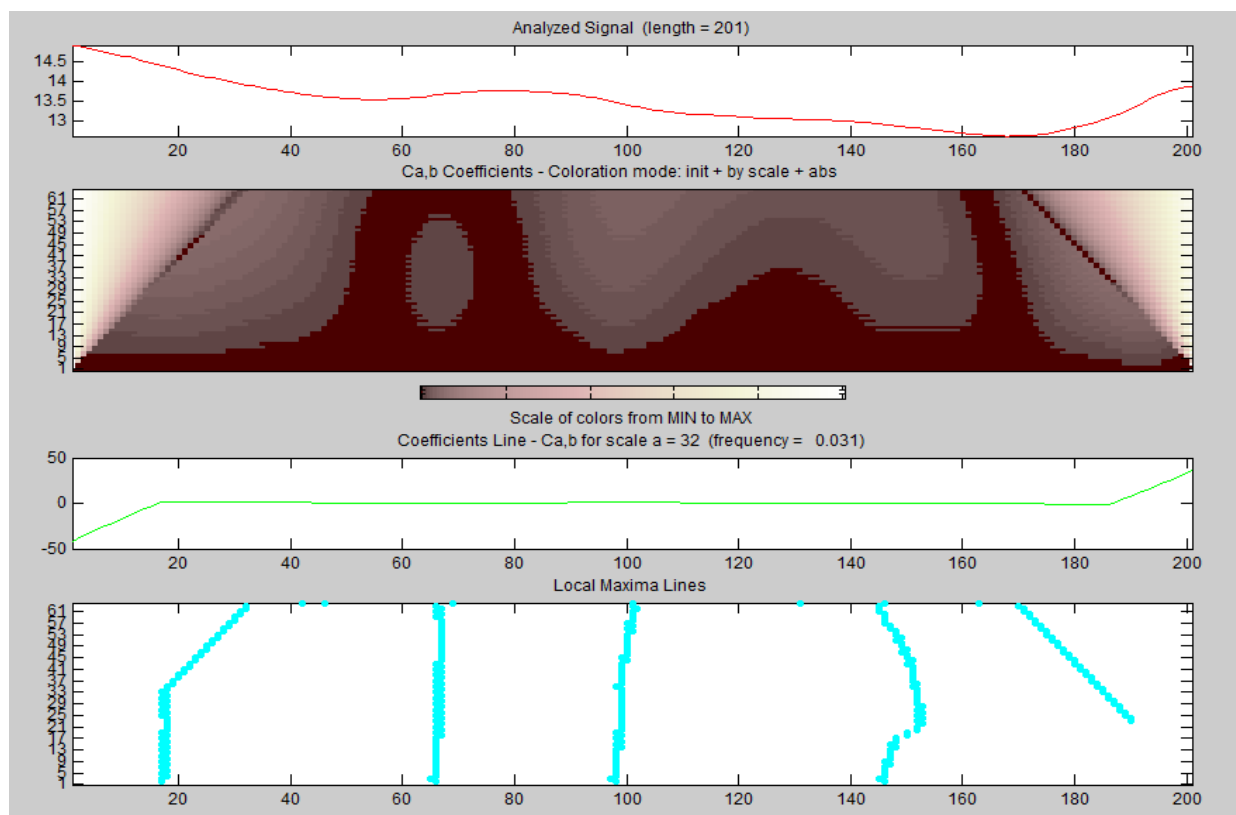


Рис. 4. Вейвлет-аналіз вібраційного сигналу ротора ВТ (вузол передньої підвіски)

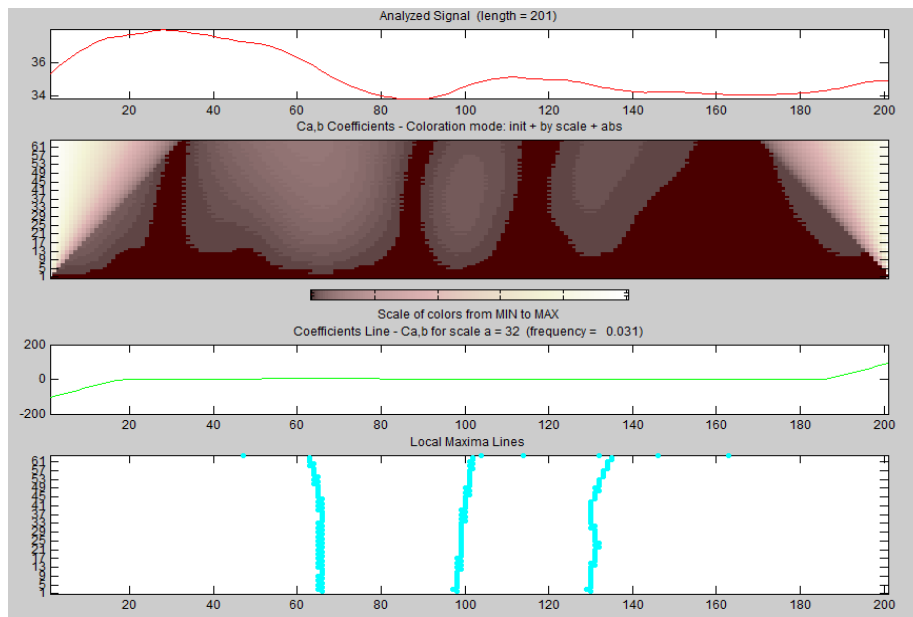


Рис. 5. Вейвлет-аналіз вібраційного сигналу ротора ВТ (вузол задньої підвіски)

Побудуємо графіки прогнозних припущень при появі перехідних режимів роботи двигуна за лініями розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів вузлів передньої і задньої підвіски турбогвинтовентиляторного двигуна Д-27 (рис. 6-7).

Можна зробити висновок, що краща інформативність вібраційних сигналів представлена у вузлах передньої підвіски ротора низького тиску (НТ), високого тиску (ВТ), турбогвинтовентилятора (ТГВ) і загальної вібрації (ЗВ).

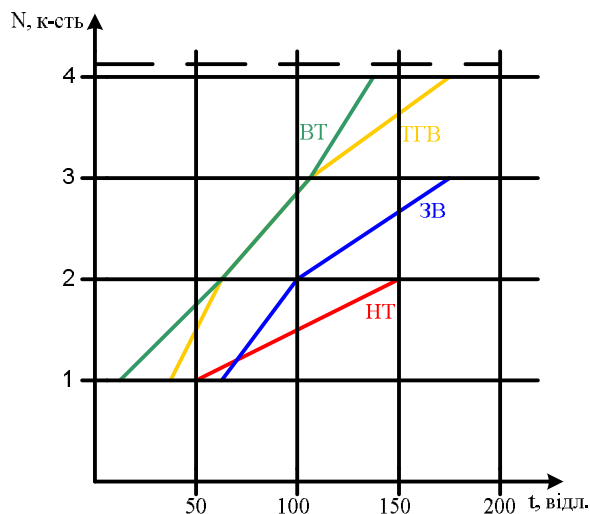


Рис. 6. Прогноз появи дефектів за вібраційним сигналом вузла передньої підвіски

Робота двигуна була у справному стані, збільшення кількості ліній розподілу локальних розподілів максимумів вейвлет-коефіцієнтів може привести до виникнення дефектів роторних систем. У результаті дослідження було виявлено, що кожному дефек-

ту відповідає певна кількість ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів. Так, дефекту дисбаланс відповідає 9-11 ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів, напівшвидкісному вихору - 13-15 ліній [1-5].

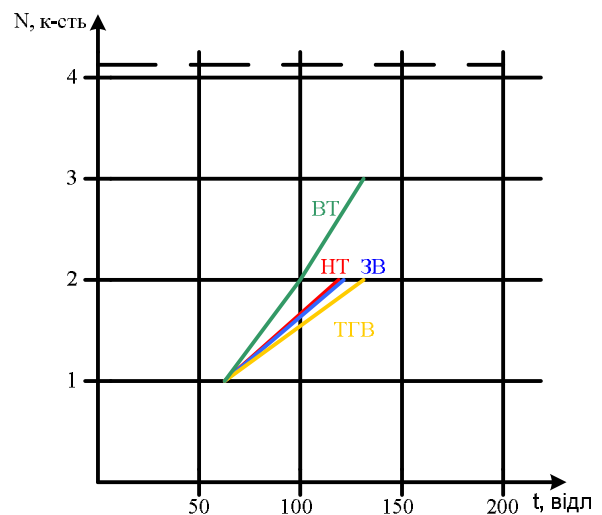


Рис. 7. Прогноз появи дефектів за вібраційним сигналом вузла задньої підвіски

Слід також зазначити, що кількість ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів залежить від частоти обертання ротора.

Висновки

У процесі дослідження представлено розв'язок актуальної науково-практичної задачі по удосконаленню методів технічної діагностики роторних систем авіаційного ГТД з підшипниками кочення із

застосуванням вейвлет-перетворення вібраційного сигналу. Визначена кількість ліній розподілу максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів неперервного вейвлет-перетворення вібраційних сигналів в точках передньої та задньої опор, що відповідає різним типам дефектів – дисбаланс ротора або напівшвидкісний вихор.

Литература

1. Панин, В. В. Вейвлет-диагностика вибросостояния элементов газотурбинных двигателей [Текст] / В. В. Панин, С. В. Енчев, С. С. Товкач // Вісник двигунобудування. – 2014. – № 2. – С. 86-90.
2. Абдулаев, А. А. Автоматизация вибродиагностирования подшипниковых узлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.vibration.ru/avd-avpu/avd-avpu.shtml>. – 25.02.2015.

3. Диагностика технического состояния роторных систем с подшипниками жидкостного трения на основе вейвлет-анализа вибрационных сигналов [Текст] / С. В. Широков, О. В. Соломин [и др.] // Машиностроение. – 2006. – № 10. – С. 16-22.

4. Тунаков, А. П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей [Текст] / А. П. Тунаков – М. : Машиностроение, 1979. – 185 с.

5. Общие вибрации двигателя Д-27 в составе МДУ самолета АН-70 [Текст] : техн. отчет. – ГП "Ивченко-Прогресс". – 2014. – 66 с.

6. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів [Текст] : монографія / Н. І. Бурау, Л. Л. Яцко, О. М. Павловський [и др.]. – К. : НАУ, 2012. – 152 с.

Поступила в редакцию 1.06.2015, рассмотрена на редколлегии 22.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф., ректор В. В. Панін, Київська державна академія водного транспорту ім. гетьмана П. Сагайдачного, Київ, Україна.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВИБРОСОСТОЯНИЯ УЗЛОВ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ВЕЙВЛЕТ-РАЗЛОЖЕНИЯ

С. В. Енчев, С. С. Товкач

Статья посвящена разработке методики прогнозирования технического состояния роторных элементов авиационных газотурбинных двигателей с использованием вейвлет-преобразования вибрационных сигналов от штатной системы контроля вибрации СА-191 на примере двигателя Д-27. Разработана структурная схема методики прогнозирования вибрационного состояния двигателя Д-27 по параметрам непрерывного вейвлет-разложения. В качестве прогностических признаков выбраны количество линий распределения максимальных значений вейвлет-коэффициентов узлов передней и задней подвески авиационного двигателя Д-27. Установлено, что каждому типу дефекта двигателя соответствует определенное количество линий деления максимальных значений вейвлет-коэффициентов.

Ключевые слова: прогнозирование, техническое состояние, газотурбинный двигатель, вейвлет-анализ, вейвлет-коэффициенты, вибрационный сигнал.

PROGNOSTIC VIBRATION STATE OF KNOTS AVIATION ENGINES GAS-TURBINES AFTER PARAMETERS OF WAVELET-DECOMPOSITION

S. V. Enchev, S. S. Tovkach

The article is devoted development method prognostication the technical state elements rotors aviation engines of gas-turbines with the use of the signal vibrations wavelet-shaping or the regular checking vibration of SA-191 system on the example of engine of D-27. The flow diagram method prognostication of the vibration state of engine D-27 is developed after the parameters of continuous wavelet-decomposition. As prognostic signs chosen amount lines distributing maximal values wavelet-coefficients knots front and back pendant of aviation engine of D-27. It is set that every type defect of engine is answered by the certain amount lines division of maximal values of wavelet-coefficients.

Keywords: prognostication, technical state, gas-turbine engine, wavelet-analysis, wavelet-coefficients, vibration signal.

Енчев Сергій Васильович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. автоматизації та енергоменеджменту Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: esw@ukr.net.

Товкач Сергій Сергійович – канд. техн. наук, ас. каф. автоматизації та енергоменеджменту Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: tcctit7@ukr.net.