

УДК 004.6+534-16

АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ АВАРИЙНО-ОПАСНОЙ СИТУАЦИИ НА ДЕТАНДЕРЕ

БРАНЦЕВИЧ П. Ю.

*Учреждение образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”**(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Современные компьютерные или встраиваемые системы позволяют получать длинные (десяtkи минут, часы, сутки) реализации вибрационных сигналов, которые непрерывно отражают вибрационное состояние исследуемого механизма в разных режимах работы. Полученные большие объемы данных подвергаются быстрой автоматизированной обработке, для предоставления пользователю требуемой информации и формулировки выводов об изменении технического состояния контролируемого объекта. Сравниваются разложение на периодическую и шумоподобную составляющие, полосовой спектральный анализ, вейвлет анализ, преобразование Гильберта-Хуанга, как способы первичного анализа исходных вибрационных сигналов, полученных при возникновении аварийно-опасной ситуации при работе детандер-генераторного агрегата (ДГА).

Ключевые слова: вибрация, сигнал, анализ, спектр, вейвлет, мода, преобразование.

ANALYSIS OF VIBRATION SIGNALS IN AN EMERGENCY SITUATION ON DETANDER

BRANCEVICH P.J.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. Modern computer or embedded systems make it possible to obtain long (tens of minutes, hours, days) realizations of vibration signals, which continuously reflect the vibration state of the investigated mechanism in different operating modes. The received large amounts of data are subject to rapid automated processing, to provide the user with the required information and formulate conclusions about changes in the technical state of the controlled object. The decomposition into periodic and noise-like components is compared, band spectral analysis, wavelet analysis, Hilbert-Huang transform, as methods of primary analysis of initial vibration signals, received when an emergency situation has arisen during the operation of the expander-generator unit (EGA).

Keywords: vibration, signal, analysis, spectrum, wavelet, mode, transformation

Введение

Для получения информации о вибрационном состоянии контролируемого оборудования и его анализа в настоящее время целесообразно применение измерительно-вычислительных комплексов и систем, систем распределённого сбора и централизованной обработки, позволяющих непрерывно отслеживать состояние объекта, фиксировать редкие и кратковременные аномальные ситуации, хранить большие объемы полученных данных, реализовывать разнообразные алгоритмы обработки и диагностирования. Вопросы построения таких систем для целей контроля общего уровня вибрации, её отдельных спектральных составляющих, вибрационных характеристик пусков и выбегов в определенной мере проработаны [1-5].

Одними из наиболее эффективных, являются многоканальные стационарные измерительные компьютерные комплексы или системы для непрерывного вибрационного контроля. Они получают информацию различного типа (СКЗ общего уровня, спектральные составляющие вибрации, фазовые вектора, гистограммы распределений и т. д.) при непрерывной работе и сохраняют длинные реализации полученных данных, а также выполняют функции предупредительной сигнализации и защиты. Такой режим работы обеспечивает комплексный контроль технического состояния объекта и позволяет обнаруживать даже редко происходящие аномальные ситуации, что способствует выявлению зарождающихся дефектов на самых ранних стадиях. Такие системы имеют относительно высокую стоимость. Однако целесообразность их применения несомненна на экономически важных и дорогих технических объектах [2-6].

Способы обработки вибрационных сигналов при анализе аварийной ситуации на ДГА

При эксплуатации сложных механизмов и агрегатов роторного типа с помощью штатных компьютерных измерительно-вычислительных комплексов решаются задачи текущего вибрационного контроля, мониторинга и защиты [2,6]. Рассмотрим ситуацию изменения вибрационного состояния детандер-генераторного агрегата (ДГА) при изменении режимов его эксплуатации. ДГА состоит из генератора (4 точки контроля, вертикальные и горизонтальные направления вибрации подшипниковых опор); редуктора, осуществляющего понижение частоты вращения вала с 9600 мин^{-1} (160 Гц) до 3000 мин^{-1} (50 Гц) (3 точки контроля); турбодетандера (турбины), функционирующей на основе использования энергии перепада давления природного газа, при его дросселировании перед сжиганием (3 точки контроля). Частота вращения вала турбины 9600 мин^{-1} (160 Гц).

Во время эксплуатации ДГА в определенных режимах его работы штатной системой вибрационного контроля [6] были зафиксированы факты скачкообразного изменения среднего квадратического значения (СКЗ) виброскорости вертикального направления турбодетандера (рис. 1). Периодичность опроса каждого датчика вибрации 2 секунды.



Рис. 1. Изменение СКЗ виброскорости в точках контроля при работе ДГА. Скачки СКЗ виброскорости для точки вертикального направления контроля вибрации турбины

Для выяснения причин возникновения такой ситуации зарегистрирован, а затем проведен анализ непрерывного вибрационного сигнала [7], возбуждаемого на корпусе турбодетандера во время аварийно-опасных ситуаций. Обработка полученного сигнала выполнена разными способами: усреднение во временной области [8]; вейвлет анализ [9,10]; разложение на периодическую и шумоподобную составляющие [11,12]; полосовой спектральный анализ [13]; преобразование Гильберта-Хуанга [14].

На рис. 2 представлен вибрационный сигнал в единицах виброускорения для вертикального направления турбины ДГА в нормальном и аварийно-опасном режимах работы. Опытный специалист в области вибрации может заметить некоторые изменения формы сигнала, однако, такие параметры как СКЗ, пик-фактор, эксцесс, асимптота (рис. 3) не претерпели существенных изменений. Однако на амплитудных и полосовых спектрах (шаг 50 Гц) заметны существенные отличия, обусловленные появлением низкочастотной составляющей (рис. 4,5).

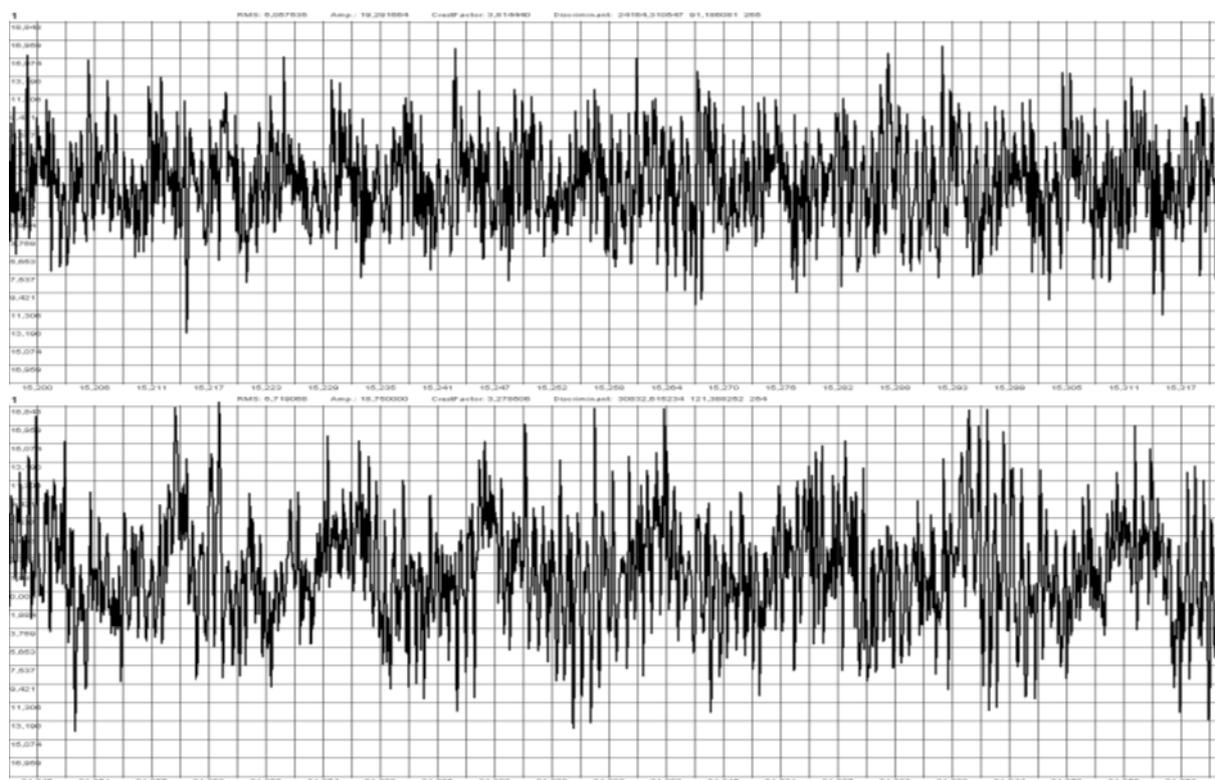


Рис. 2. Вибрационный сигнал (m/c^2) в точке контроля вертикального направления турбины ДГА для нормального и аварийно-опасного режимов работы (ось абсцисс – время в секундах)

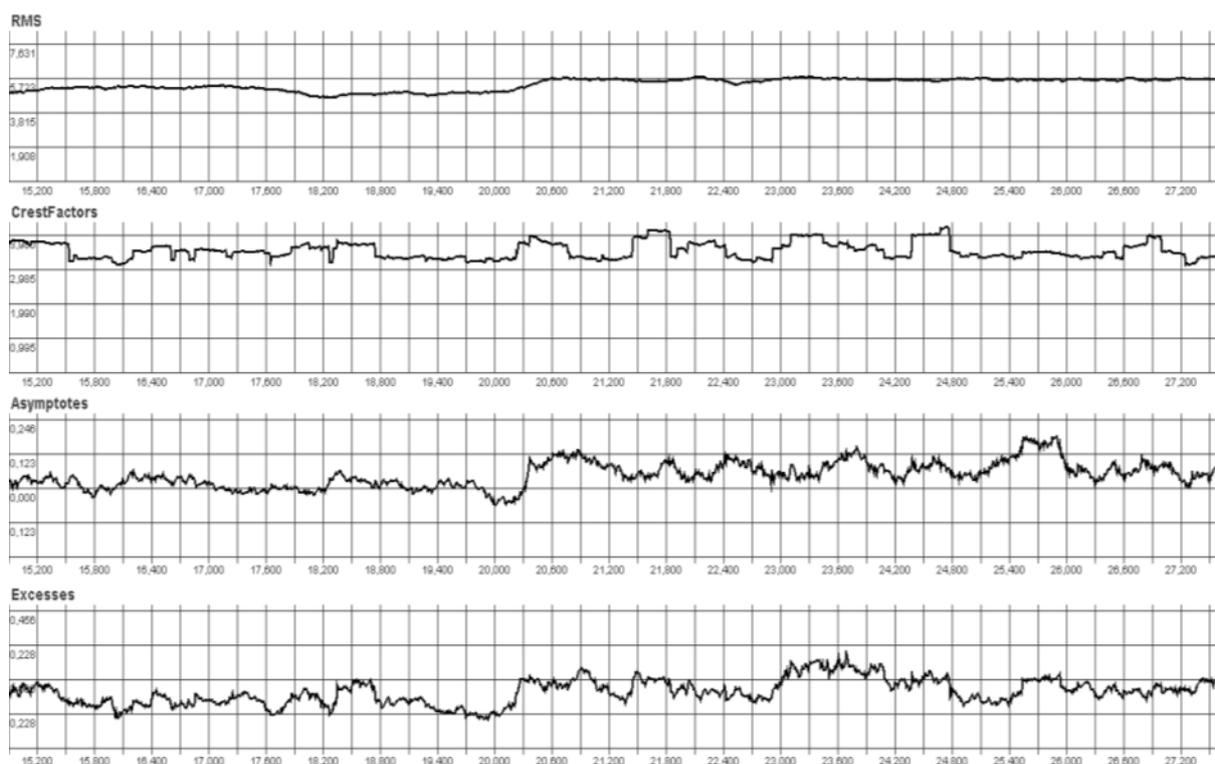


Рис. 3. Временные тренды параметров (СКЗ, пик-фактор, асимптота, эксцесс) исследуемого вибросигнала (m/c^2) в точке контроля вертикального направления турбины при переходе ДГА из нормального в аварийно-опасный режим работы (ось абсцисс – время в секундах)

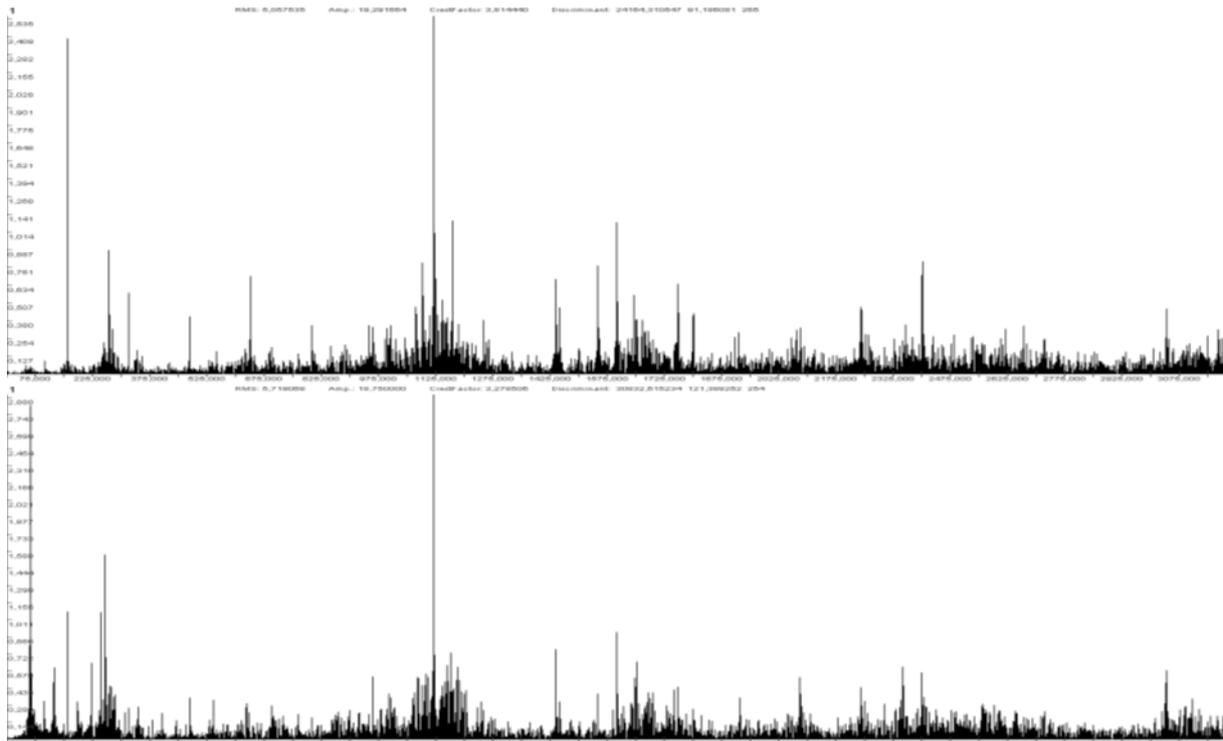


Рис. 4. Амплитудные спектры вибрационного сигнала в единицах виброускорения (m/s^2) в точке контроля вертикального направления турбины ДГА для нормального (верхний график) и аварийно-опасного (нижний график) режимов работы (ось абсцисс – частота в Гц)

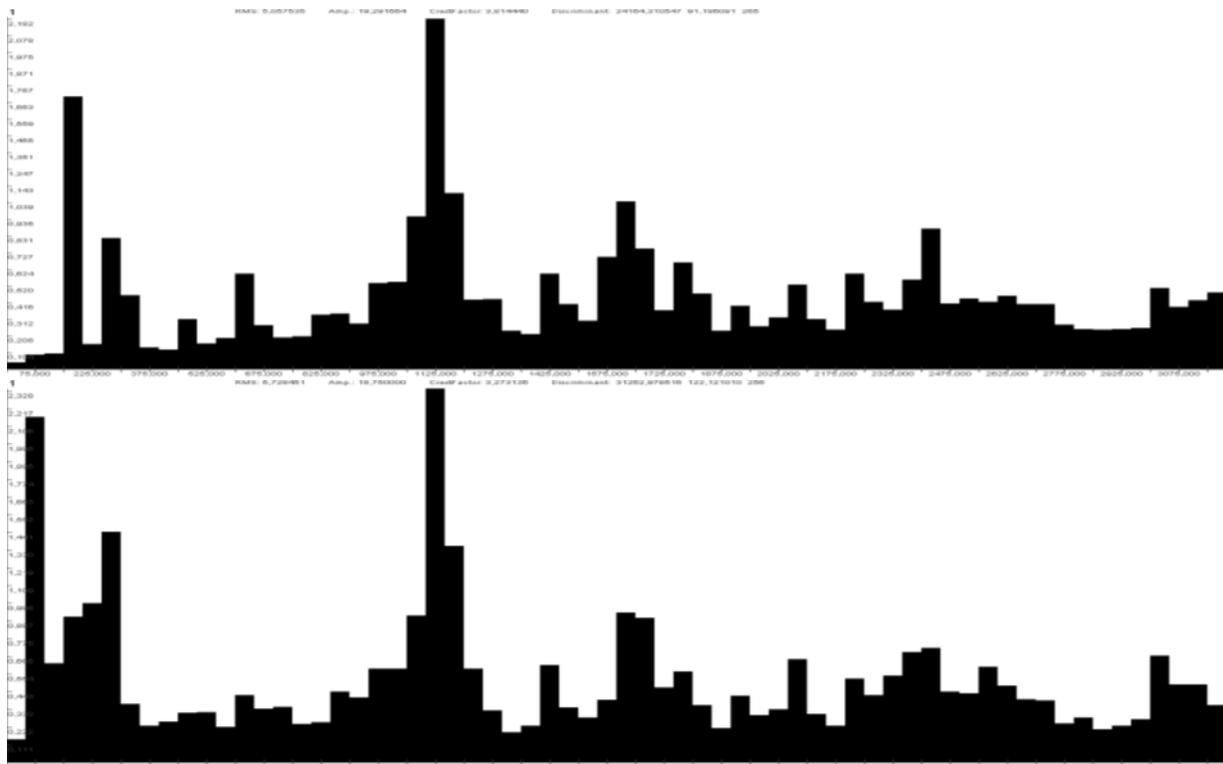


Рис. 5. Полосовые амплитудные спектры вибрационного сигнала (СКЗ) в единицах виброускорения (m/s^2) в точке контроля вертикального направления турбины ДГА для нормального (верхний график) и аварийно-опасного (нижний график) режимов работы (ось абсцисс – частота в Гц)

Динамика изменения параметров вибрации хорошо отслеживается на временных трендах СКЗ в частотных полосах полосового спектра (шаг 50 Гц) и амплитуд частотных составляющих, кратных 160 Гц (рис. 6). Изменение вибрационного сигнала начинается (момент 17.6 сек.) с уменьшения амплитуды спектральной составляющей 160 Гц (нижний график) и, соответственно, СКЗ в частотной полосе 150-200 Гц (верхний график). Затем (момент 20 сек.) наблюдается быстрое нарастание СКЗ в частотной полосе 50-100 Гц и амплитуды спектральной составляющей 62 Гц (рис. 7).

Также интересен и способ разложения вибросигнала на модовые компоненты преобразования Гильберта-Хуанга (рис. 8). Сравнение полученных мод, показывает, что СКЗ четвертой моды для аварийно-опасной ситуации (2.0 м/с^2) в четыре раза больше, чем СКЗ четвертой моды для нормального режима работы турбины (0.49 м/с^2).

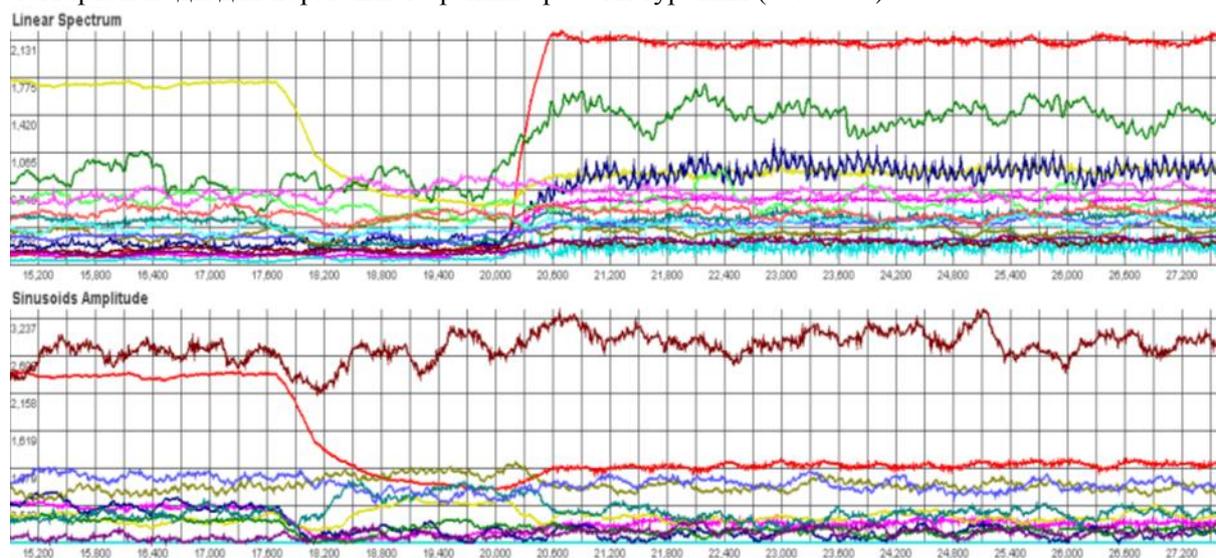


Рис. 6. Временные тренды СКЗ отдельных полос полосового спектра (верхний график) и амплитуд спектральных составляющих, кратных 160 Гц (нижний график), в точке контроля вертикального направления турбины при переходе ДГА из нормального в аварийно-опасный режим работы

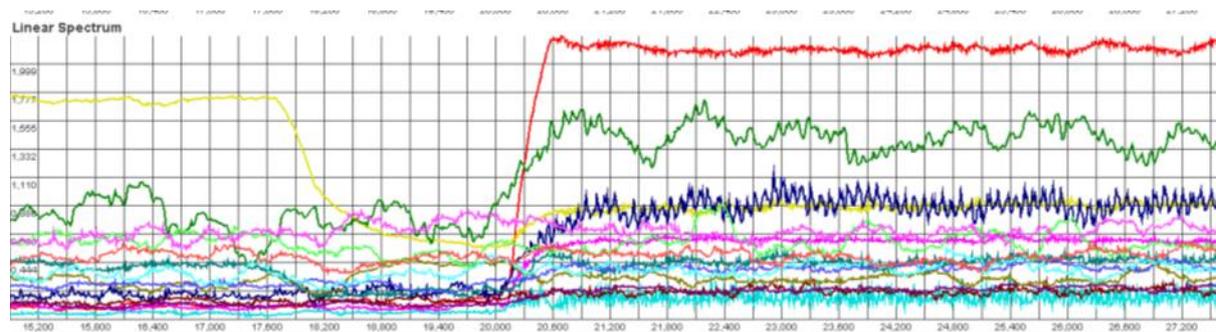


Рис. 7. Временные тренды амплитуд спектральных составляющих, кратных 62 Гц (м/с^2), в точке контроля вертикального направления турбины при переходе ДГА из нормального в аварийно-опасный режим работы (ось абсцисс – время)

Заключение

Представленный способ позволяет разделять вибросигнал на спектральные составляющие, периодическую и шумоподобную составляющие, моды преобразования Гильберта-Хуанга, компоненты вейвлет преобразований, а затем исследовать разные составляющие вибросигналов, отражающих вибрационное состояние механизмов с вращательным движением, выявлять аномальные состояния и динамику их изменения. Так для рассмотренной ситуации изменение состояния ДГА происходит примерно за 0.2 с. Такие

данные являются исходными для определения скорости реакции систем контроля и защиты на аварийно-опасные ситуации.

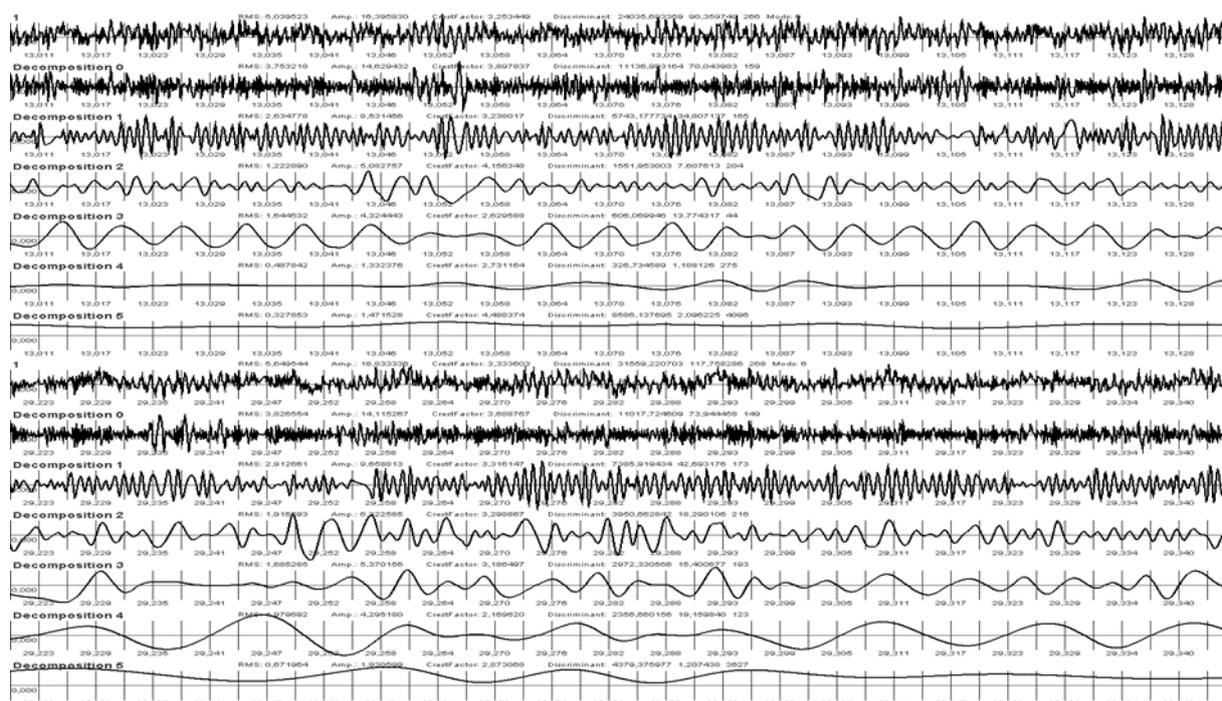


Рис. 8. Модовая декомпозиция вибрационного сигнала для нормального (верхний график) и аварийно-опасного (нижний график) состояния ДГА (ось абсцисс - время в секундах)

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Bently D. E., Hatch C. N., Grissom B. *Fundamentals of Rotating Machinery*. – Canada: Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 pp.
3. Brancevich P., Miao X., Li Y. Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system. *Proceedings of the 20th International Congress on Sound and Vibration*. Bangkok, Thailand. 7-11 July, 2013.
4. Бранцевич П.Ю. Применение вибрационных характеристик выбега для оценки технического состояния турбоагрегатов. *Энергетика и ТЭК*, № 12 (81), 2009, с. 20-23.
5. Бранцевич П. Ю. Оценка технического состояния механизмов с вращательным движением на основе анализа вибрационных характеристик пусков и выбегов. – Минск: Четыре четверти, 2021. – 236 с.
6. Бранцевич П. Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля. *Энергетика и ТЭК*. – 2008. – № 12 (69). – С. 19–21.
7. Бранцевич П. Ю., Базылев Е.Н. Большие данные в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики. *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2016. – № 3. – С. 28–41.
8. Бранцевич П. Ю., Гузов В.А. Применение усреднения во временной области и вейвлет-анализа для исследования вибрационных сигналов. *Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций: сб. докладов*. – М.: ВТИ. – 2007. – С. 58–66.
9. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 628 с.
10. Brancevich P., Li Y. Assessment of mechanism vibration condition based on the intensity of vibration in the wavelet allocated frequency bands. *Proceedings of the 22-nd International Congress on Sound and Vibration*. Florence, Italy. 12-16 July. 2015.

11. Бранцевич П.Ю., Базаревский В.Э., Костюк С.Ф. Применение разложения вибрационных сигналов на периодическую и шумоподобную составляющие при исследовании технического состояния механизмов с вращательным движением / Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теорет. и прикладной механике, Минск, 26–28 окт. 2011 г.: в 2 т. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2011. – Т. II. – С. 27-31.
12. Brancevich, P., Li, Y. Detection of vibration disturbances during the analysis of long realisations of vibration signals. 25-th International Congress on Sound and Vibration. Hiroshima. Japan. 8-12 July. 2018.
13. Бранцевич, П.Ю. Анализ причин изменения вибрационного состояния агрегата роторного типа. Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. – 2013. – Вып.2. – с. 277-283.
14. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N. C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc. R. Soc. Lond. A. 1998.