



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-5-26-34>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621

КОМПЕНСАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ОБОРУДОВАНИЯ

КЕЧИК Д.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 27 декабря 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Цель работы – разработка метода повышения достоверности виброакустической диагностики промышленного оборудования, работающего в различных скоростных режимах. Получена выборка сигналов виброускорения, снятых с корпуса испытательного стенда при его работе с изменяющейся скоростью. Обосновано предварительное разделение вибросигнала на три частотных диапазона. Оценены зависимости мощности вибрации от скорости вращения приводного вала в различных частотных областях. Предложен алгоритм компенсации изменения мгновенной мощности вибросигнала при меняющейся скорости работы оборудования. Алгоритм основан на использовании эмпирических зависимостей мощности вибросигнала в указанных диапазонах от скорости вала, полученных усреднением по ансамблю сигналов. Для оценки изменения мощности сигналов используется их вычисленное в скользящем временном окне среднеквадратическое значение. Оценивается среднее по ансамблю сигналов относительное изменение мощности вибросигнала в каждом диапазоне частот при отклонении скорости от ее выбранного значения. Мгновенные значения сигналов в каждом диапазоне частот делятся на рассчитанные отношения. Таким образом компенсируются только изменения мощности, вызванные изменением скорости оборудования. Изменения, вызванные развитием дефекта оборудования, сохраняются. Результирующий сигнал, подлежащий дальнейшему анализу, получается сложением обработанных сигналов в трех частотных областях. Показано, что компенсация изменения мощности снижает разброс параметров вибросигнала, используемых для оценки технического состояния оборудования. Таким образом, качество работы системы виброакустической диагностики улучшается, если предварительно компенсировать изменение мощности вибросигналов, обусловленное изменением скорости оборудования. Качество работы алгоритма проверялось на таких статистических параметрах вибрации, как среднеквадратическое значение и пик-фактор вибросигнала.

Ключевые слова: вибродиагностика, цифровая обработка сигналов, диагностика оборудования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Кечик Д.А. Компенсация изменения мощности виброакустического сигнала при изменении скоростного режима оборудования. Доклады БГУИР. 2020; 18(5): 26-34.

COMPENSATION FOR VIBRATION SIGNAL POWER VARIANCE WHEN CHANGING EQUIPMENT SPEED MODE

DANIIL A. KECHIK

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

Submitted 27 December 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The purpose of this paper is to develop a method to enhance reliability of vibrational diagnosing of variable-speed industrial equipment. A dataset of vibration acceleration signals, picked up at the variable-speed test stand, has been obtained. Preliminary splitting of a vibration signal into three frequency ranges has been proved to be necessary. Vibration power dependencies on the main shaft speed have been estimated in different frequency ranges. The paper proposes an algorithm compensating variations of instantaneous power of vibration signal where equipment operation speed varies. It is based on the use of empirical dependencies of vibration signal power on shaft speed, which were derived by ensemble averaging of preliminarily split signals. A root mean square (RMS) value calculated in a sliding window is used to estimate variation of signal power. For signals within each frequency range, ensemble-averaged relative power variation produced by speed deviation is to be estimated. Instantaneous values of signals in each frequency range are to be divided by relations estimated as above. Thus, only power variations caused by variable speed are compensated. Variations caused by defect evolution are preserved. The resulting signal to be further analysed is derived by summation of processed signals in three frequency ranges. Power variation compensation decreases dispersion of parameters of signal that are used for estimation of equipment state. Preliminary compensation of vibration power variation caused by variable operation speed has proved to be effective for improving vibrational diagnostic system results. The proposed algorithm was validated on such statistical parameters of vibration as RMS and peak-factor of vibration signal.

Keywords: vibration-based diagnostics, digital signal processing, equipment diagnostics.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Kechik D.A. Compensation for vibration signal power variance when changing equipment speed mode. Doklady BGUIR. 2020; 18(5): 26-34.

Введение

Наиболее простым способом получения информации об общем состоянии оборудования является анализ статистических характеристик сигнала его вибрации. Данный подход не предназначен для определения конкретной неисправности оборудования, однако при его использовании возможно оценить состояние машины в случаях, когда неисправность не удастся выявить частотными или частотно-временными методами [1]. Также целесообразно анализировать их тренды для оценки общего состояния машины [2, 3].

Среднеквадратическое значение (СКЗ) вибросигнала характеризует мощность вибрации машины. В отличие от среднего арифметического значения, СКЗ не зависит от фазового смещения составляющих сигнала и допускает сравнение как гармонических, так и сложных колебательных процессов по мощности [4].

Пик-фактор показывает отношение пикового значения сигнала и среднеквадратического. Данный метод указывает на наличие в сигнале импульсов, обусловленных ударными процессами. Как правило, значение пик-фактора лежит в пределах 3...4 для шумовой вибрации, для выраженных импульсов, даже если они редкие, превышает 20...30 [5]. По мере развития дефекта и увеличения амплитуды ударных импульсов пик-фактор возрастает. Однако при дальнейшей деградации оборудования уровень широкополосной вибрации также поднимется, что ведет к снижению пик-фактора [6].

Показатели вибросигналов исправного оборудования колеблются около постоянного значения, которое зависит от его мощности, способа крепления датчика, режима работы. Существующие стандарты устанавливают значения пик-фактора и СКЗ вибросигналов, характеризующие различные степени износа оборудования для его различных типов [7]. Отслеживание трендов статистических показателей позволяет повысить достоверность результатов диагностики и выявлять зарождающиеся неисправности [2, 3].

В настоящей работе предложен метод повышения достоверности диагностики оборудования, работающего в различных скоростных режимах. Теоретически обоснована независимая обработка сигнала в трех частотных диапазонах. Экспериментально показано, что мощность вибрации зависит по-разному от скорости оборудования в различных диапазонах частот вибросигнала. Показана эффективность компенсации изменения мощности вибрации при помощи оцененных на ансамбле сигналов зависимостей оконного СКЗ от скорости вращения вала.

Оценка зависимости статистических показателей вибросигнала от скоростного режима оборудования

Одна из важнейших задач – уменьшение разброса измеряемых величин для построения более достоверной оценки состояния оборудования. Из предыдущего опыта диагностики известно, что изменение скорости вращения вала оборудования приводит к увеличению разброса статистических показателей, что затрудняет анализ их трендов. В результате анализа экспериментальных данных и обзора литературы был сделан вывод о том, что необходимо также учитывать различные свойства частотных областей вибросигнала и резонансы оборудования.

В различных частотных областях вибрационный сигнал имеет различное происхождение, состав и характер распространения по конструкции [8]. В низкочастотной области (до 200...300 Гц) колебания вызваны главным образом неуравновешенностями вращающихся масс. В среднечастотном диапазоне (200...300–1000 Гц) механизм представляет собой множество колебательных подсистем, соединенных упругими связями. В высокочастотной области вибросигнал имеет характер диффузного акустического поля, образованного изгибными, крутильными, продольными и сдвиговыми волнами.

Из приведенных из литературы сведений следует, что образование вибрации в различных частотных диапазонах описывается различными моделями, однако аналитическое выражение зависимости мощности сигнала от скорости вращения вала неизвестно. К тому же образование вибрации зависит от множества параметров, таких как геометрические размеры и материалы элементов, способ их соединения. На рис. 1 приведен пример зависимости амплитуд спектральных составляющих вибрации от скорости вращения вала. Показаны спектры трех сигналов, снятых со стенда при постоянных скоростях вращения 900, 600 и 300 об/мин в трех диапазонах.

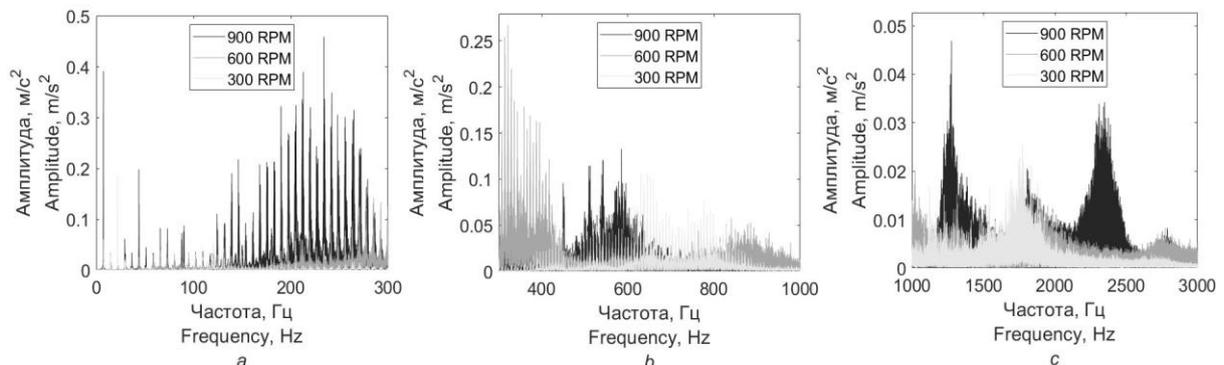


Рис. 1. Спектры передискретизованных вибросигналов, снятых со стенда при различной скорости в частотных диапазонах: *a* – 0...300 Гц; *b* – 300...1000 Гц; *c* – 1...3 кГц
Fig. 1. Spectra of resampled signals of speed-variated test stand vibration in frequency ranges: *a* – 0...300 Hz; *b* – 300...1000 Hz; *c* – 1...3 kHz

При изменении частоты вращения вала спектральные компоненты вибрации сдвигаются по частотной оси пропорционально этому изменению. Диагностическая система, в которой применяется предложенный алгоритм, предварительно передискретизирует сигналы с шагом, равномерным по фазе, чтобы скомпенсировать этот сдвиг. Для указанных реализаций было скомпенсировано отклонение скорости вала от 450 об/мин. В данной статье не рассматривается алгоритм передискретизации, его работа подробно описана в [9]. Влияние передискретизации на уровень составляющих амплитудного спектра рассматривалось в [10]. На графиках спектров передискретизованных сигналов показано, что данные сигналы претерпевают линейные искажения при изменении скорости вала.

Учитывая вышесказанное, предложено для каждой единицы оборудования экспериментально оценивать зависимость изменения мощности сигнала от скорости вращения вала оборудования. Для оценки изменения мощности вибрации при изменении скорости вращения вала выбрано его оконное СКЗ, которое рассчитывается по формуле (1). Каждый отсчет формируется усреднением СКЗ сигнала в скользящем временном окне. Ширина окна выбиралась опытным путем с учетом максимальной скорости изменения частоты вращения вала. В данной работе использовалось окно шириной 1 с.

Каждый сигнал разбивается на три частотных диапазона, рассмотренных выше, путем полосовой Фурье-фильтрации [11]. Метод основан на обратном БПФ комплексных спектральных коэффициентов, соответствующих выбранному частотному диапазону. Сигнал не имеет скачков и разрывов, заметного вклада эффекта Гиббса не наблюдается. Для проверки применимости Фурье-фильтрации реализации вибрации разбивались на три частотных диапазона, затем исходная реализация восстанавливалась суммированием полученных сигналов. Дисперсия разности исходной и полученной реализации на три порядка меньше дисперсии исходного сигнала. В каждом частотном диапазоне оценивается СКЗ сигнала $x_k^r(t)$ в скользящем временном окне:

$$P_k^r(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{\tau=t-T/2}^{t+T/2} (x_k^r(\tau))^2}, \quad (1)$$

где T – ширина окна, которая подбиралась опытным путем, k – номер сигнала в ансамбле, r – индекс текущего частотного диапазона, τ – середина временного окна.

Диапазон изменения скорости $s(t)$ разбивается на ряд дискретных значений $s_1, \dots, s_{i-1}, s_i, \dots, s_N$, где s_1 и s_N – границы диапазона. Рассчитывается медианное значение отсчетов $P_k^r(t)$, соответствующих временным отсчетам, при которых скорость вала попадает в промежутки $s_{i-1} \dots s_i$:

$$\overline{P_k^r(i)} = Me(P_k^r(t))|_{s_{i-1} < s(t) < s_i}, \quad (2)$$

где $Me(X)$ – медиана выборочных значений величины X . Медианное значение более устойчиво к выбросам, чем среднее [12]. Скорость вала в каждый момент времени $s(t)$ оценивается интерполяцией значений, измеренных тахометром. Поскольку мощность вибрации зависит от множества факторов, усредненные для одной реализации зависимости имеют достаточно сильный разброс, СКО величин $\overline{R_k^r(S)}$ составляет до половины их значений. Поэтому итоговая зависимость СКЗ вибросигнала от скорости вала $\langle \overline{R_r(S)} \rangle$ оценивается усреднением значений $\overline{R_k^r(S)}$ по ансамблю сигналов:

$$\langle \overline{R_r(S)} \rangle = Me(\overline{R_k^r(S)}). \quad (3)$$

В ходе диагностики оборудования на предварительном этапе обработки каждой реализации полученные для каждого частотного диапазона зависимости $\langle \overline{R_r(S)} \rangle$ используются для устранения зависимости мощности сигнала вибрации от скорости вращения. Для каждого сигнала рассчитывается величина $\hat{R}_r(t)$, отражающая изменение мощности

обрабатываемого вибросигнала во времени. Для ее получения $\langle \overline{R_r(S)} \rangle$ интерполируется в каждой точке $s(t)$, где узлами интерполяции являются выбранные ранее дискретные значения скорости $s_i, i = 1 \dots N$. Все процедуры интерполяции выполняются встроенной в пакет MatLab функцией `interp1`. В данной работе используется кусочная кубическая интерполяция [13], так как результирующая кривая более гладкая, чем при использовании кусочной линейной интерполяции, и при этом проходит через узлы интерполяции. Вычисляется отношение усредненных по ансамблю СКЗ вибрации, соответствующих текущей скорости вала $s(t)$ и постоянной величины $\langle \overline{R_r(S_0)} \rangle$, равной оконному СКЗ сигнала при постоянной скорости S_0 , для каждого момента времени:

$$C_r(t) = \hat{R}_r(t) / \langle \overline{R_r(S_0)} \rangle. \quad (4)$$

Отсчеты исходного k -го сигнала в r -м диапазоне $x_k^r(t)$ делятся на вычисленные отношения $C_r(t)$, которые зависят только от текущей скорости, и суммируются для получения полного сигнала виброускорения:

$$x_k(t) = \sum_{r=1}^3 x_k^r(t) / C_r(t). \quad (5)$$

Таким образом, компенсируется изменение оконного СКЗ, обусловленное изменением скорости. Изменение СКЗ сигнала, обусловленное другими причинами, сохраняется.

Результаты натурального моделирования

Для оценки зависимости СКЗ сигнала от скорости вращения главного вала синхронно записывались виброускорение на корпусе испытательного стенда (рис. 2) и скорость вращения его вала. На стенд устанавливался диагностируемый подшипник качения, в точке его крепления устанавливался акселерометр. Место его установки обосновано тем, что в данной точке высокочастотная вибрация подшипников мотора затухает. Вибрация диагностируемого подшипника и вала преодолевает наименьшее возможное расстояние.

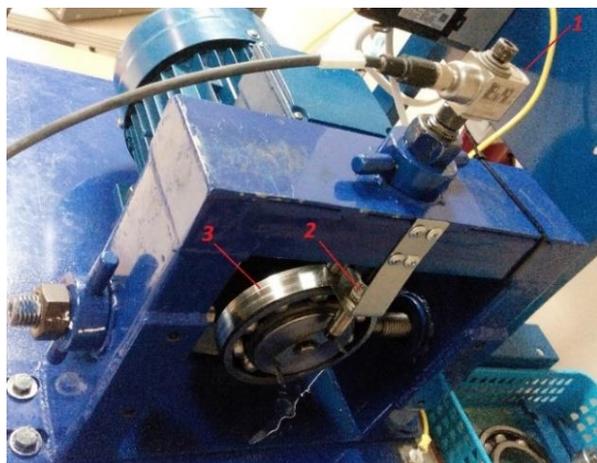


Рис. 2. Испытательный стенд: 1 – акселерометр; 2 – тахометр; 3 – диагностируемый подшипник
Fig. 2. Test bench: 1 – accelerometer; 2 – tachometer; 3 – bearing under test

Работа предложенного алгоритма проверялась на выборке сигналов вибрации испытательного стенда. Скорость вращения вала менялась в ходе записи сигналов. Диапазоны изменения скорости варьировались в пределах 200 ... 900 об/мин. Первые 38 сигналов записаны при установленном исправленном подшипнике. Остальные 41 сигнал сняты после монтажа подшипника с выраженным дефектом наружного кольца.

На рис. 3 приведены зависимости СКЗ вибросигналов исправного подшипника в различных частотных диапазонах от скорости вращения вала. Штриховой линией показаны

временные зависимости оконных СКЗ сигналов $R_k^r(t)$, полученные по формуле (1). Сплошной линией отражены усредненные по ансамблю зависимости СКЗ сигнала от скорости вала (3). Следует отметить, средние СКЗ некоторых реализаций отличались в несколько раз от усредненных по ансамблю значений. В каждом диапазоне частот вибросигнала механизм имеет резонанс при различных скоростях вращения вала.

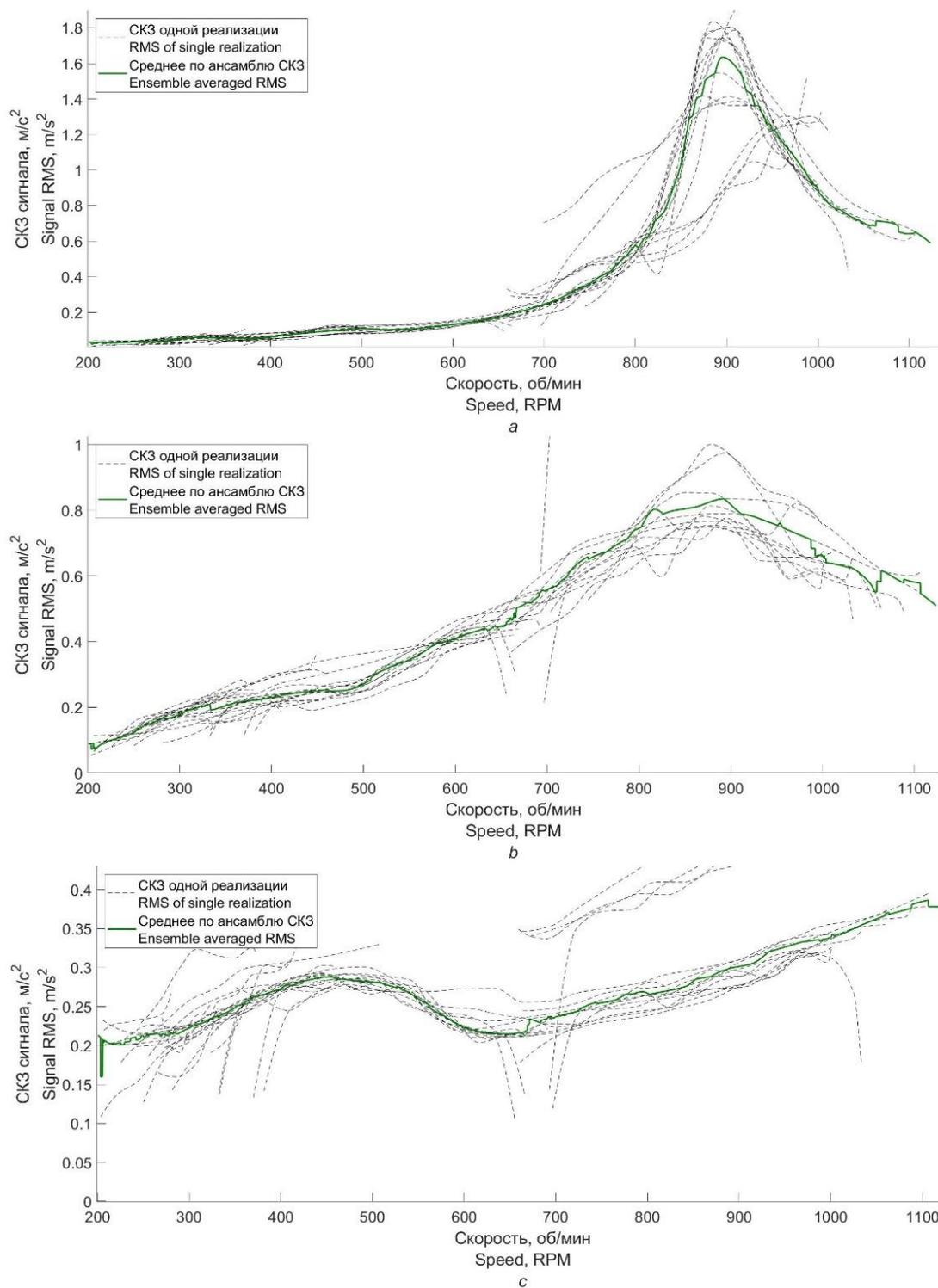


Рис. 3. Зависимости СКЗ вибросигнала от скорости вращения вала в частотных диапазонах:
а – 0...200 Гц; б – 200...1000 Гц; в – 1...8 кГц

Fig. 3. Dependencies of vibration signal RMS of shaft speed in frequency ranges:
а – 0...200 Hz; б – 200...1000 Hz; в – 1...8 kHz

Результаты компенсации изменения мощности вибросигнала

На рис. 4 приведен пример реализации сигнала виброускорения при изменении скорости от 600 до 900 об/мин. Оценка оконного СКЗ исходного сигнала меняется в зависимости от скорости вращения вала. Оценка, полученная после компенсации изменения мощности сигнала, незначительно отклоняется от среднего значения, соответствующего скорости вращения вала S_0 , выбранной 450 об/мин.

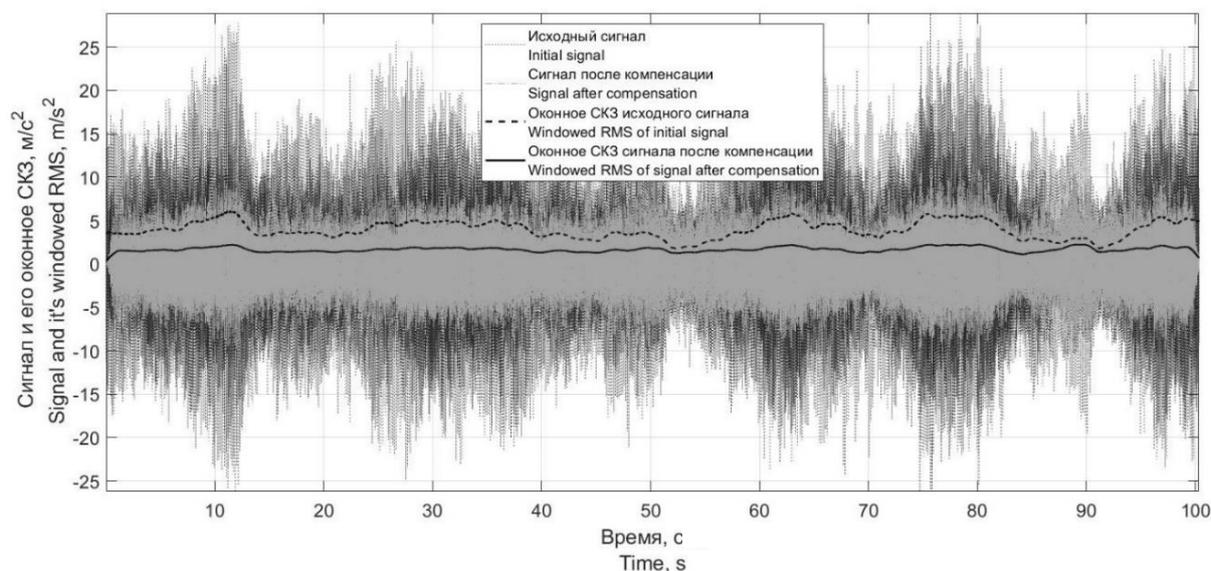


Рис. 4. Пример реализации сигнала виброускорения и его мгновенное СКЗ
Fig. 4. Example of vibrational acceleration signal realization and its instantaneous RMS

На рис. 5 показано изменение во времени статистических параметров вибросигналов выборки¹. По оси абсцисс отложен номер записи, по оси ординат – параметры соответствующего сигнала виброускорения. Разными градациями заливки выделены уровни параметров, превышение которых является признаком ухудшения состояния оборудования. Зоны А, В, С и D, согласно принятой терминологии (ISO 7919, ISO 2372, ISO 10816), соответствуют состояниям агрегата: новая машина, вводимая в эксплуатацию; пригодная без ограничения сроков эксплуатации; непригодная для длительной эксплуатации машина; вибрация агрегата вызывает его серьезные повреждения. Используемая диагностическая система подбирает эти уровни автоматически в зависимости от среднего значения и среднеквадратического отклонения параметров, полученных для исправного оборудования. Их значительный разброс затрудняет оценку уровней, сигнализирующих об ухудшении состояния оборудования.

После компенсации изменений СКЗ сигналов, обусловленных изменением скорости вала, по графику изменения СКЗ виброускорения нетрудно определить момент замены подшипника. Пик-фактор сигналов виброускорения имеет более существенный разброс. Его значения, вычисленные без предварительной компенсации СКЗ сигналов, снятых с исправного подшипника, превышают автоматически оцененные допустимые уровни. После предварительного применения предложенного алгоритма компенсации момент появления неисправности определен более точно.

¹ Используемый в данной работе набор данных доступен по адресу <http://dx.doi.org/10.17632/6k6fbzcbvv.1>.
The dataset used in this work is available at <http://dx.doi.org/10.17632/6k6fbzcbvv.1>

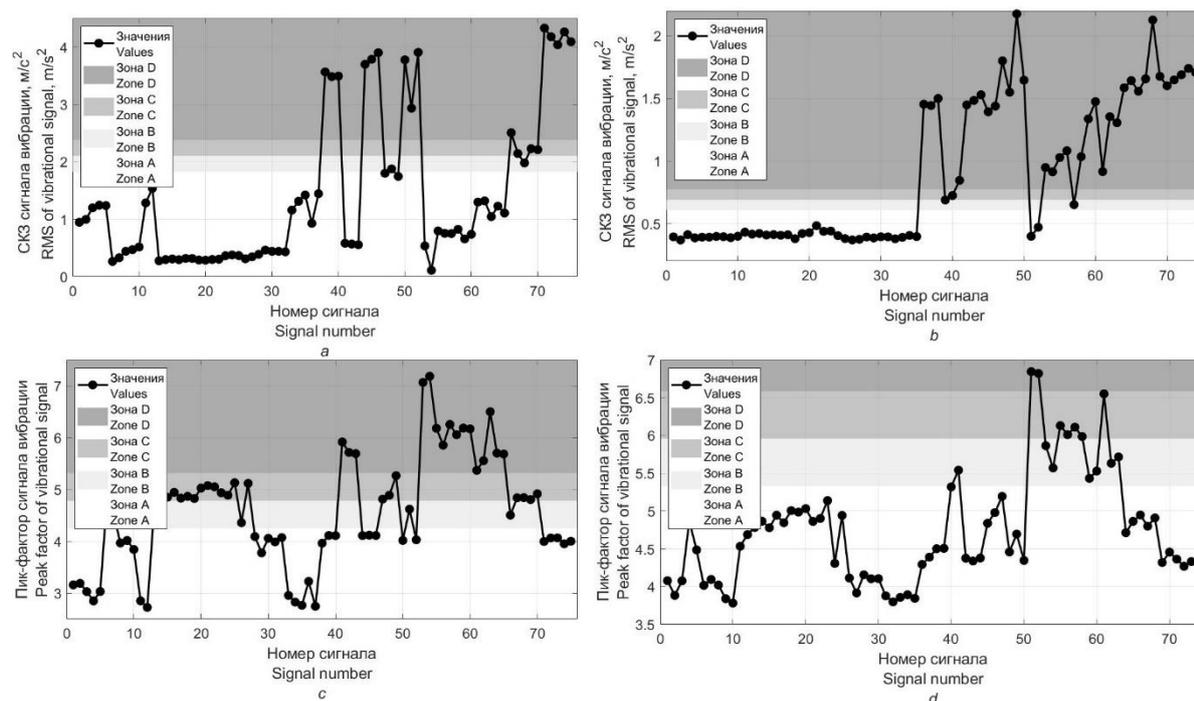


Рис. 5. Статистические параметры вибросигналов выборки без предварительной компенсации изменения мощности (слева) и с компенсацией (справа): *a, b* – СКЗ; *c, d* – пик-фактор

Fig. 5. Statistical parameters of dataset vibration signals without (left) and with (right) preliminary compensation for power variation: *a, b* – RMS; *c, d* – peak-factor

Закключение

В статье показано, что при применении компенсации изменения статистических показателей вибросигнала при изменении его скоростного режима возможно повысить надежность плано-предупредительного технического обслуживания. Компенсация изменения мощности вибросигнала при использовании эмпирической модели зависимости его мгновенного СКЗ от скорости уменьшает разброс статистических показателей и сохраняет изменение мощности сигнала, вызванное развивающимися дефектами оборудования. Показана эффективность предварительной компенсации изменения СКЗ при изменении скорости оборудования для анализа трендов статистических показателей. Рост СКЗ и пик-фактора сигналов виброускорения является достоверным признаком ухудшения технического состояния оборудования.

Список литературы

1. Абрамов И.Л. *Вибродиагностика энергетического оборудования*. Кемерово: КузГТУ; 2011.
2. Scheffer C., Girdhar P. *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. Oxford: Elsevier; 2004.
3. Ширман А.Р., Соловьёв А.Б. *Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования*. Москва: Наука; 1996.
4. Беляковский Н.Г., Дондошанский В.К., Дуан Н.И., Попков В.И., Тузов Л.В. *Вибрация энергетических машин: справочное пособие*. Ленинград: Машиностроение; 1974.
5. Матюшкова О.Ю., Тэттер В.Ю. Современные методы виброакустического диагностирования. *Омский научный вестник*. 2013;123(3):294-299.
6. Генрике Б.Л., Абрамов И.Л., Генрике П.Б. *Вибродиагностика горных машин и оборудования: учебное пособие*. Кемерово: КузГТУ; 2007.
7. Луковников В.И., Хабибуллин Д.А., Логвин В.В., Фершиши Н.Б.А. Вибродиагностирование технического состояния роторного оборудования взрывоопасных химических производств и процессов. *Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого*. 2003;2:33-38.

8. Генкин М.Д., Соколова А.Г. *Виброакустическая диагностика машин и механизмов*. Москва: Машиностроение; 1987.
9. Zhang X., Wen G., Wu T. A new time synchronous average method for variable speed operating condition gearbox. *J. Vibroengineering*. 2012;14(4):1766-1774.
10. Асламов Ю.П., Асламов А.П., Давыдов И.Г., Цурко А.В. Влияние изменения скорости вращения вала роторного оборудования на обработку в частотной области. *Доклады БГУИР*. 2018;113(13):13-18.
11. Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В., Колкер А.Б. *Фильтрация сигналов и изображений: фурье и вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad)*. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин); 2010.
12. Leys C., Ley C., Klein O., Bernard P., Licata, L. Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *J. Exp. Soc. Psychol.* 2013;49(4):764-766.
13. Kahaner D, Moler C., Nash S. *Numerical methods and software*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 1988.

References

1. Abramov I.L. [*Vibrational diagnostics of power equipment*]. Kemerovo: KuzGTU; 2011. (In Russ.)
2. Scheffer C., Girdhar P. *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. Oxford: Elsevier; 2004.
3. Shirman A.R, Solovyov A.B. [*Practical vibration diagnostics and monitoring of the state of mechanical equipment*]. Moscow: Nauka; 1996. (In Russ.)
4. Belyakovskij N.G., Dondoshanskij V.K., Duan N.I., Popkov V.I., Tuzov L.V. [*Electrical machines vibration: handbook*]. Leningrad: Mashinostroenie; 1974. (In Russ.)
5. Matyushkova O.Yu., Tetter V.Yu. [Modern methods of vibroacoustic diagnostics]. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2013;123(3):294-299. (In Russ.)
6. Genrike B.L., Abramov I.L., Genrike P.B. [*Vibrodiagnostics of mining machinery and equipment: a tutorial*]. Kemerovo: KuzGTU; 2007. (In Russ.)
7. Lukovnikov V.I., Habibullin D.A., Logvin V.V., Fershishi N.B.A. [Vibrodiagnostics of the technical condition of rotary equipment of explosive chemical plants and processes]. *Vestnik GGTU imeni P.O. Suhogo*. 2003;(2):33-38. (In Russ.)
8. Genkin M.D., Sokolova A.G. [*Vibroacoustic diagnostics of machines and mechanisms*]. Moscow: Mashinostroenie; 1987. (In Russ.)
9. Zhang X., Wen G., Wu T. A new time synchronous average method for variable speed operating condition gearbox. *J. Vibroengineering*. 2012;14(4):1766-1774.
10. Aslamov Y.P., Aslamov A.P., Davydov I.G., Tsurko A.V. Influence of changes in shaft rotational speed of rotary equipment on frequency-domain processing. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2018;113(13):13-18. (In Russ.)
11. Voskoboynikov Y.E, Gochakov A.V., Kolker A.B. [*Filteration of signals and images : Fourier and wavelet algorithms (with examples in Mathcad)*]. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin); 2010. (In Russ.)
12. Leys C., Ley C., Klein O., Bernard P., Licata, L. Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *J. Exp. Soc. Psychol.* 2013;49(4):764-766.
13. Kahaner D, Moler C., Nash S. *Numerical methods and software*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 1988.

Сведения об авторах

Кечик Д.А., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Kechik D.A., PG student of Information Radiotechnologies Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-171-23-71;
e-mail: ya.dan.kechik@ya.ru
Кечик Даниил Александрович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarussian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-29-171-23-71;
e-mail: ya.dan.kechik@ya.ru
Kechik Daniil Aleksandrovich