

МАШИНОСТРОЕНИЕ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ТРАНСПОРТ

doi: 10.51639/2713-0576_2023_3_2_29

УДК 531.43+539.53+620.179.17+629.11.012.8

ГРНТИ 55.03.11

ВАК 2.5.3

Виброакустический мониторинг процессов фреттинг-коррозии

* Албагачиев А. Ю., Скворцов О. Б.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000
Россия, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., 4*email: * Albagachiev@yandex.ru, oleg.b.skvorcov@gmail.com

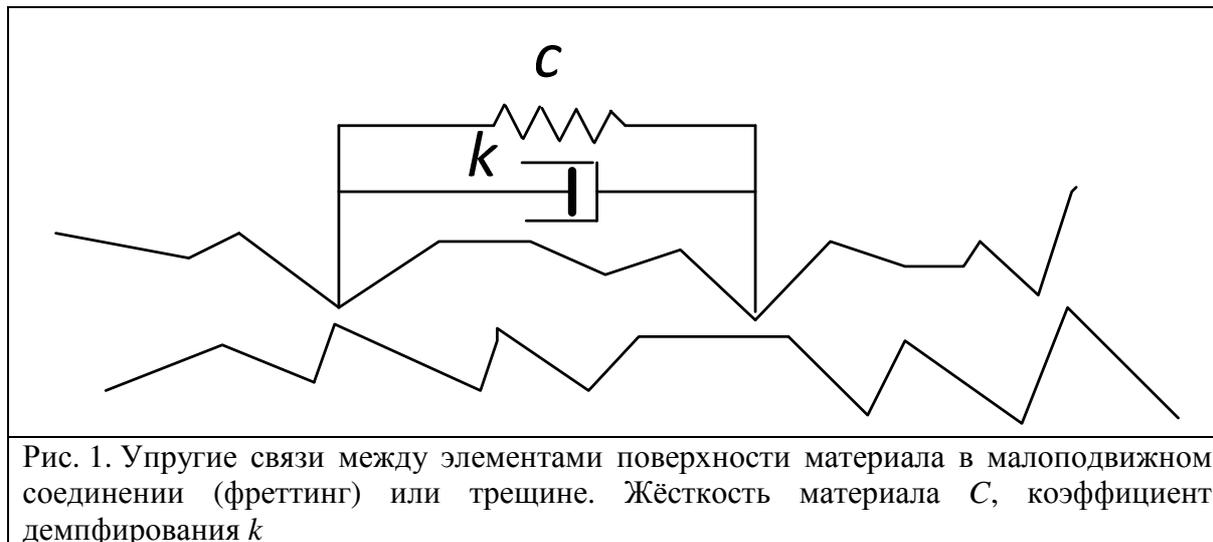
Рассмотрены возможности использования методов и аппаратурных средств виброакустического мониторинга для контроля процессов фреттинг-коррозии. Особенностью таких процессов является возникновение явлений аналогичных акустической эмиссии в области мало-подвижных соединений при наличии вибрационных воздействия. Для контроля в этих случаях необходимо обеспечить синхронное измерение как сравнительно низкочастотных вибрационных процессов, так и случайных высокочастотных затухающих колебаний, возникающих в результате микроударных явлений. Методика такого контроля может быть основана на использовании комбинации низкочастотных и высокочастотных датчиков механических колебаний с применением средств защиты от перегрузки низкочастотных датчиков высокочастотными ударными ускорениями большой амплитуды. Возможно также применение специализированных интерфейсов сигналов высокочастотных датчиков с нелинейной амплитудно-частотной характеристикой. В этом случае можно обеспечить решение задачи мониторинга без увеличения необходимого числа каналов контроля широкополосных колебательных процессов, которые сопровождают проявление фреттинг-коррозии.

Ключевые слова: фреттинг, вибрация, акустическая эмиссия, диагностика, усталость.

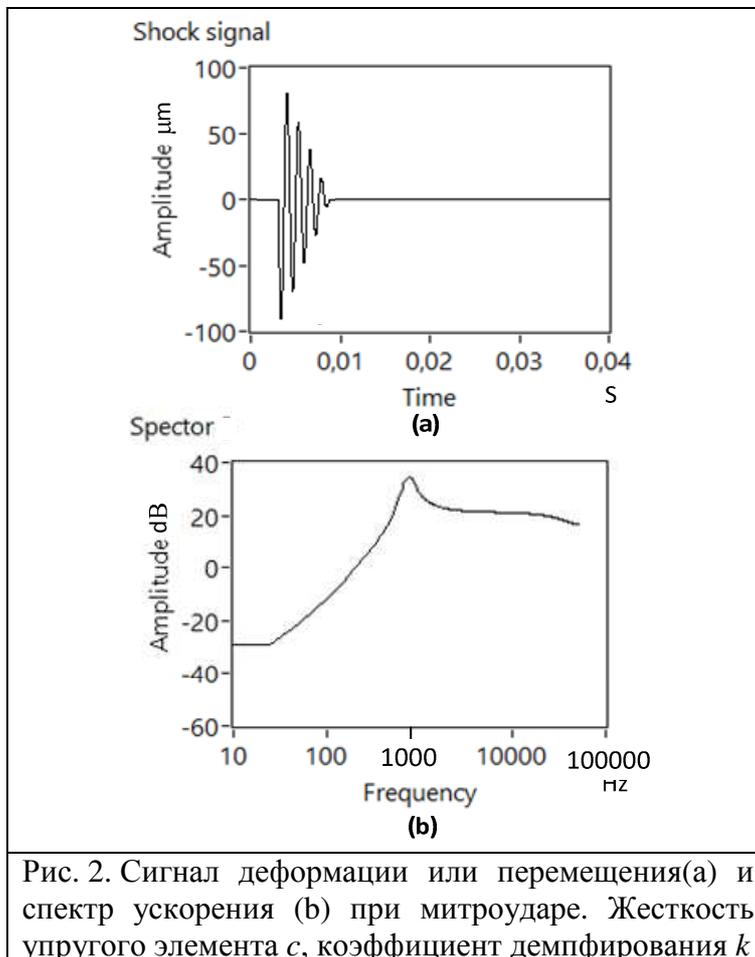
Введение

Контроль состояния и прогнозирование ресурса различного механического оборудования по виброакустическим признакам является наиболее распространенным и эффективным методом диагностики [1–3]. При диагностировании образования трещин в материалах получило распространение использование метода акустической эмиссии [4, 5]. В этом случае при взаимодействии контактирующих поверхностей наблюдаются ударные процессы, приводящие к последующим затухающим колебаниям. Пример структуры моделирующей процесс возбуждения колебаний при акустической эмиссии показан на рис. 1. Характеристики колебательного процесса определяются свойствами используемых материалов и перемещениями контактирующих поверхностей. При этом, контактирующие поверхности могут быть внутренними поверхностями трещины в материале или поверхностями различных материалов в малоподвижном соединении. В последнем случае процессы относят к проявлению фреттинга. Действие фреттинга может сопровождаться интенсивной коррозией в условиях внешнего вибрационных воздействий. Примером фреттинга может служить разрушение материала крепления в виде шпилек крышки турбины гидроагрегата. Для таких агрегатов характерно воздействие как низкочастотной вибрации на

жгутовых, оборотных, лопаточных и лопастных частотах, так и высокочастотной вибрации связанной с гидроупругими процессами, а также с пузырьковой кавитацией.



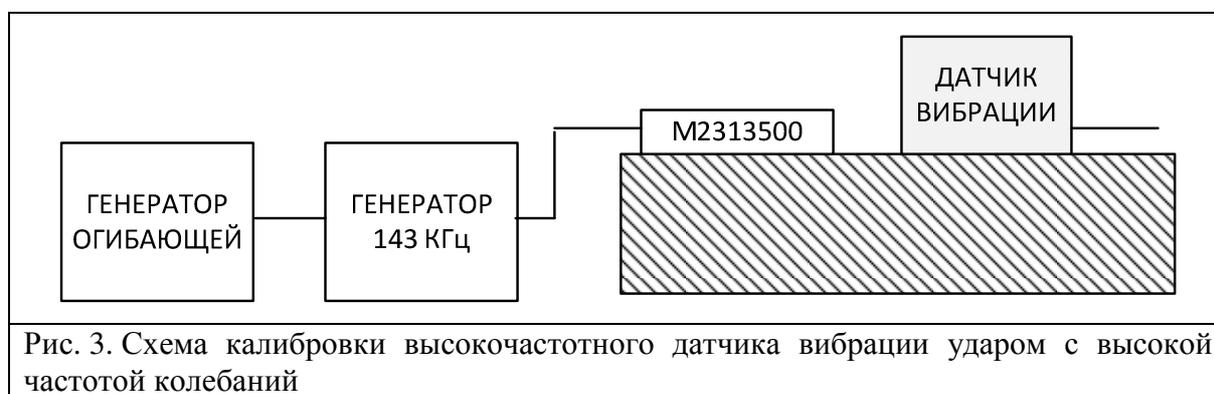
Регистрация виброакустического отклика, пример которого представлен на рис. 2, связана с непостоянством его амплитудных и частотных характеристик. Высокочастотный характер возникающих при этом сигналов также затрудняет процесс контроля, поскольку на него влияют собственные резонансы используемых датчиков механических колебаний. При этом спектр виброакустического сигнала, как показано на рис. 2 (b), имеет значимую величину на высоких частотах.



В таких условиях для контроля виброакустического процесса используют специализированные датчики акустической эмиссии. Калибровка амплитудной чувствительности таких датчиков на их высокой рабочей частоте затруднительна и для контроля сигнала используют алгоритмы подсчёта числа импульсов превышающих некоторый заданный порог. При мониторинге фреттинг-коррозии важно не только зафиксировать наличие высокочастотного виброакустического отклика, но оценить и вызывающее этот отклик вибрационное воздействие. Возможности синхронного анализа, как вибрации, так и виброакустического отклика рассмотрены ниже.

Методы исследования

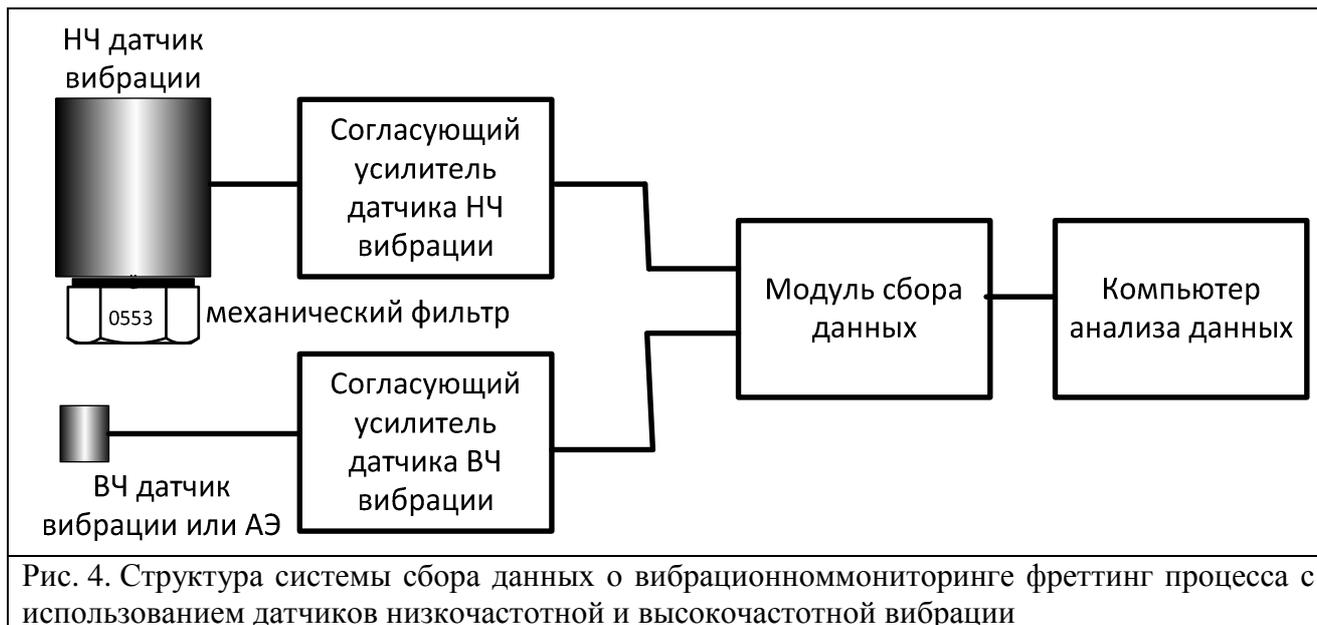
Для формирования высокочастотного виброакустического калибровочного сигнала можно использовать миниатюрные высокочастотные возбудители механических колебаний M2313500 с рабочими частотами превышающими 100 КГц. Пример схемы калибровки высокочастотного виброакустического канала для этого случая показан на рис. 3.



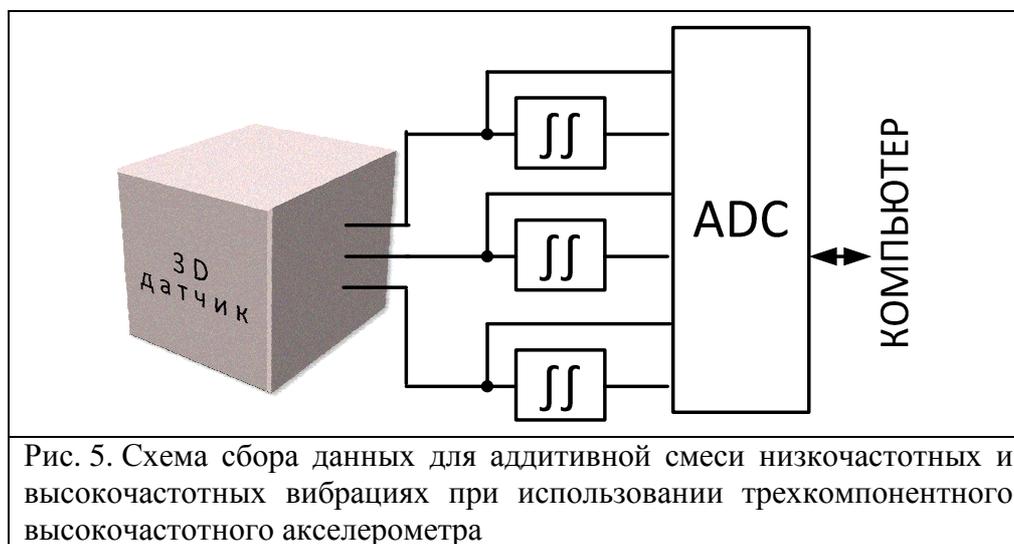
В качестве высокочастотного датчика вибрации можно использовать не только специализированный датчик акустической эмиссии, но и высокочастотные акселерометры, которые позволяют обнаружить наличие отклика, связанного с фреттинг-коррозией.

Для одновременного мониторинга как низкочастотных, так и высокочастотных вибраций можно воспользоваться двухканальной измерительной системой, показанной на рис. 4. Такая структура обеспечивает не только обнаружение высокочастотного отклика, но и действующие на конструкцию низкочастотные вибрации. Поскольку высокочастотные виброакустические колебания обычно имеют малые амплитуды перемещений, но ускорение может быть при этом весьма значительным, для предотвращения возможной перегрузки низкочастотного датчика использован механический фильтр В&К0553. Можно также использовать схемотехнические решения, ограничивающие чувствительность низкочастотного канала измерения вибрации в области верхних частот [6–9], где расположен собственный резонанс такого датчика.

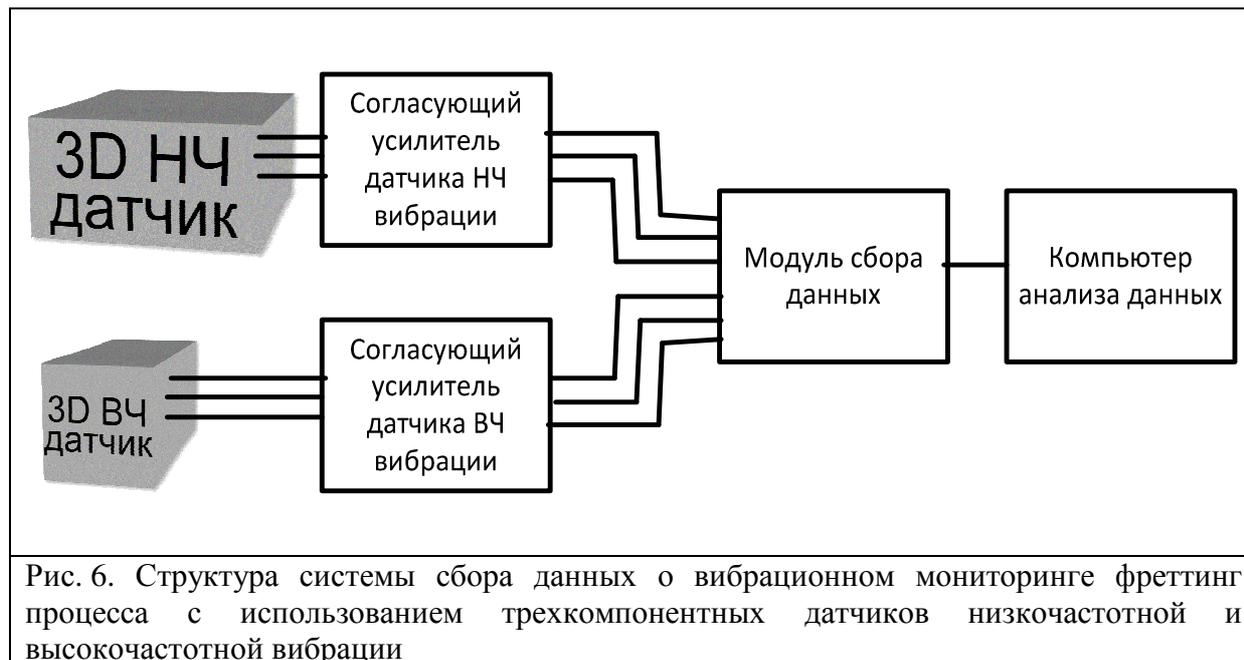
К ограничениям использования высокочастотных датчиков акустической эмиссии следует отнести сложность получения информации о направлении распространения колебаний. Такая информация может быть полезна для локализации зоны генерации вибрационного отклика. Для получения такой информации можно использовать трёхкомпонентные датчики пространственных колебаний, но такие решения не используются в датчиках акустической эмиссии. Это связано с тем, что они работают в зарезонансной области частотной характеристики, где амплитудно-частотные и фаза-частотные характеристики существенно нелинейно изменяются.



При использовании для контроля высокочастотного виброакустического отклика трёхкомпонентных акселерометров можно обеспечить локализацию распространения механических колебаний. При этом информацию о низкочастотной вибрации можно получить с этого же датчика используя двойное интегрирование сигналов, как показано на рис. 5.

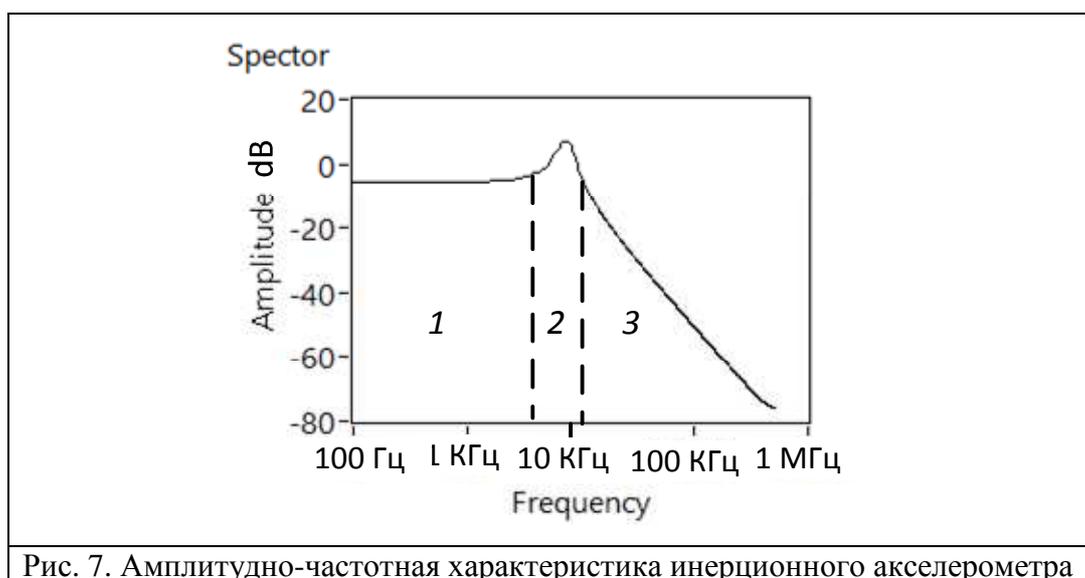


Если чувствительность канала измерения низкочастотной вибрации не достаточна, можно использовать и специализированный низкочастотный трехкомпонентный датчик высокой чувствительности, как показано на рис. 6. В этом случае следует принимать во внимание возможность перегрузки низкочастотного канала из-за высокочастотных вибрационных составляющих. Такая перегрузка может сопровождаться появлением ложных низкочастотных составляющих в спектре. Это явление получило название «skislope».



Полученные результаты и их обсуждение

Типичная амплитудно-частотная характеристика акселерометра при измерении ускорения представлена на рис. 7. Такая характеристика содержит линейную область измерения вибрации – 1, область резонанса – 2, и зарезонансную область 3. В области резонанса подъём чувствительности может превышать 20 дБ. Эту область удобно использовать для определения наличия высокочастотных колебаний виброакустического отклика. Для обнаружения таких колебаний можно использовать и работу датчика в зарезонансной области характеристики.



Рассмотрим характеристики высокочастотного ударного виброакустического отклика, представленные на рис. 8. Такой сигнал характеризуется низким уровнем составляющих с низкой частотой. Благодаря этому ударный виброакустический отклик не вносит погрешностей в определение уровня внешнего вибрационного воздействия. Благодаря этому

высокочастотный акселерометр позволяет одновременно контролировать и динамическое вибрационное воздействие на область фреттинг-коррозии и виброакустический отклик.

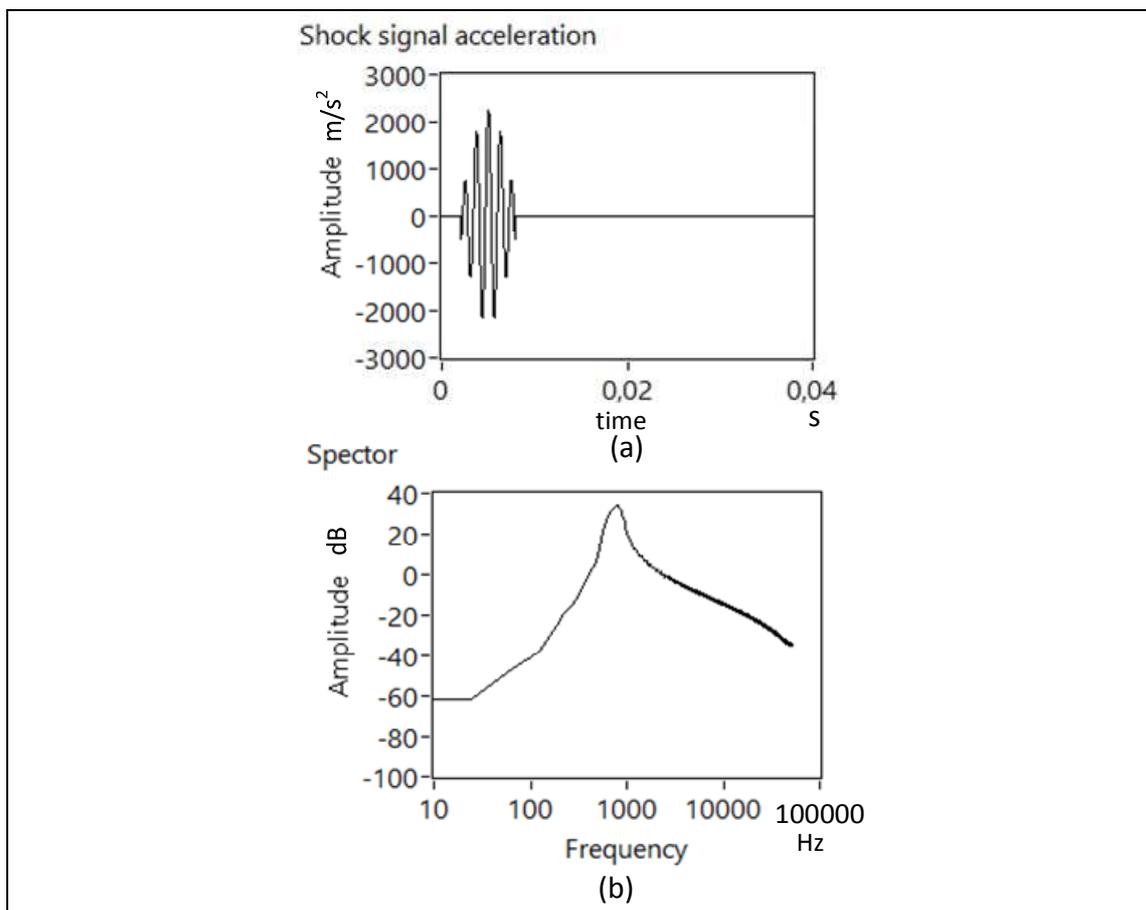


Рис. 8. Сигнал ударного импульса (а) и спектр этого сигнала (б) при частоте колебаний 1000 Гц

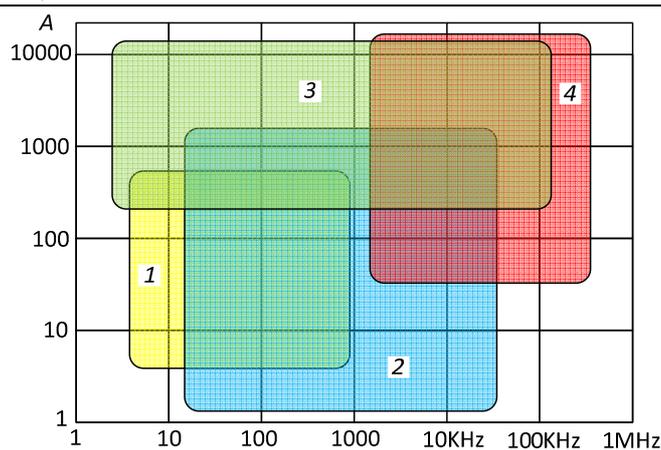


Рис. 9. Примерные диапазоны частоты и вибрационной перегрузки для вибрационного контроля – 1, виброакустической диагностики – 2, испытаний на ударные воздействия – 3, а также при мониторинге акустической эмиссии – 4

При анализе сигнала виброакустического отклика можно использовать как оценки уровня сигнала, так и методы статистического анализа, разработанные для оценки процессов акустической эмиссии.

Использование высокочастотных акселерометров для работы в о всех частях их амплитудно-частотной характеристики позволяет эффективно использовать их для мониторинга фреттинг процессов и диагностирования состояния малоподвижных соединений при воздействии на них процессов вибрации [10, 11]. Области возможного применения виброизмерительных датчиков при этом представлены на рис. 9.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

Список литературы

1. Русов В. А. Спектральная вибродиагностика / 1996. - 120 с.
2. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин / Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. 360 с.
3. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
4. Чернов Д. В. Разработка методов диагностики усталостных трещин с помощью акустической эмиссии // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, М.:, 2018. 148 с.
5. Барат В. А. Развитие метода акустической эмиссии за счет автоматизации обработки данных, повышения помехоустойчивости и достоверности обнаружения трещиноподобных дефектов металлоконструкций // диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук М.: 2019. 306 с.
6. Chu A. Problems in high-shock measurement / TP308, Endevco, San Juan Capistrano, CA, USA, 2021,– 10 p.
7. Патент RU 2644620, 2018.
8. ПатентRU 2658570, 2018
9. ПатентRU 2658568, 2018.
10. Скворцов О. Б. Высокочастотная виброакустическая диагностика и мониторинг конструкционных материалов // Трибология – машиностроению: Труды XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А. П. Семёнова – М.: ИМАШ РАН, 2022. С. 258–261.
11. Скворцов О. Б. Аппаратурное обеспечение контроля фреттинг-шума, акустической эмиссии и ультразвуковых измерений // Трибология – машиностроению: Труды XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А. П. Семёнова – М.: ИМАШ РАН, 2022. С. 254–257.

Vibroacoustic monitoring of fretting corrosion processes

Albagachiev A. Yu., Skvortsov O. B.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IMASH RAN)
101000, Russia, Moscow, 4, M. Kharitonyevskiy Pereulok*

The possibilities of using the methods and hardware of vibroacoustic monitoring to control fretting corrosion processes are considered. A feature of such processes is the occurrence of phenomena similar to acoustic emission in the area of sedentary joints in the presence of vibration exposure. For

control in these cases, it is necessary to provide synchronous measurement of both relatively low-frequency vibrational processes and random high-frequency damped oscillations resulting from microshock phenomena. The method of such control can be based on the use of a combination of low-frequency and high-frequency sensors of mechanical vibrations with the use of means of protection against overloading of low-frequency sensors by high-frequency shock accelerations of large amplitude. It is also possible to use specialized signal interfaces for high-frequency sensors with a non-linear frequency response. In this case, it is possible to provide a solution to the monitoring problem without increasing the required number of channels for monitoring broadband oscillatory processes that accompany the manifestation of fretting corrosion.

Keywords: fretting, vibration, acoustic emission, diagnostics, fatigue.