

Выбор подходящего датчика для предиктивного технического обслуживания

К. Мёрфи¹

УДК 531.768 | ВАК 05.27.01

Системы мониторинга состояния и предиктивного обслуживания промышленных объектов позволяют диагностировать неисправности и прогнозировать возможные отказы оборудования во время эксплуатации. Ключевой элемент таких систем – датчики, от которых зависит раннее обнаружение потенциальных проблем и последующее техническое обслуживание механизмов и машин. В статье рассмотрены типовые неисправности ротационного оборудования, наиболее распространенные типы датчиков, применяемых в системах мониторинга состояния, основные требования к датчикам, а также внешние факторы, влияющие на их эффективность. Предложены рекомендации по выбору вибрационных и акустических датчиков для предиктивного обслуживания промышленного оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг состояния – это контроль механизмов или производственных объектов с использованием датчиков для диагностирования текущего состояния оборудования. Предиктивное обслуживание включает в себя сочетание таких методов, как мониторинг состояния, машинное обучение и аналитика для прогнозирования возможных отказов механизмов или производственных объектов. Для мониторинга работоспособности оборудования критически важно выбрать подходящие датчики, способные обнаруживать, диагностировать и даже прогнозировать неисправности. В настоящее время на рынке предлагается множество датчиков, которые используются для обнаружения неисправностей в ротационном оборудовании и их нагрузках для того, чтобы избежать незапланированных простоев. Классификация датчиков – сложная задача, поскольку методы предиктивного обслуживания применяются к большому числу типов ротационных (двигатели, редукторы, насосы, турбины) и неротационных механизмов (клапаны, автоматические выключатели, кабели).

Многие промышленные двигатели рассчитаны на работу в течение 20 лет в условиях непрерывных технологических процессов, например, таких как химические и пищевые производства, электростанции, но некоторые двигатели не достигают запланированного срока службы [1]. Это может быть связано с неправильной эксплуатацией двигателя, неудовлетворительным техническим обслуживанием, недостаточными вложениями в системы

предиктивного обслуживания или отсутствием таких систем вообще. Предиктивное обслуживание позволяет ремонтным бригадам планировать ремонт и предотвращать внеплановые простои. Раннее прогнозирование неисправностей механизмов и машин с помощью предиктивного обслуживания также помогает инженерам по эксплуатации выявлять и ремонтировать двигатели, работающие неэффективно, что позволяет повысить производительность, эксплуатационную готовность объектов и увеличить срок службы.

Лучшая стратегия предиктивного обслуживания – та, которая эффективно использует как можно больше приемов и типов датчиков для раннего и надежного обнаружения неисправностей, поэтому не существует универсального решения, подходящего для всех случаев. В этой статье делается попытка прояснить, почему датчики жизненно важны для раннего детектирования неисправностей в приложениях предиктивного обслуживания, а также рассмотрены их сильные и слабые стороны.

ВРЕМЕННАЯ ШКАЛА ОТКАЗА СИСТЕМЫ

На рис. 1 показана смоделированная временная шкала событий – от установки нового двигателя до его отказа, а также рекомендуемые типы датчиков для предиктивного обслуживания. Вначале, когда новый мотор установлен, он находится на гарантии. Через несколько лет гарантия истекает, и с этого момента вводится регламент более частой проверки.

Если между этими регламентными проверками возникает неисправность, появляется вероятность внепланового простоя. Жизненно важным в этом случае становится

¹ Компания Analog Devices, технический специалист, christopher.murphy@analog.com.

наличие подходящего датчика для предиктивного обслуживания, позволяющего обнаружить потенциальные неисправности как можно раньше. В данной статье основное внимание будет уделено вибрационным и акустическим датчикам. Анализ вибрации считается лучшей отправной точкой для реализации предиктивного обслуживания [2].

ДАТЧИКИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Некоторые датчики могут детектировать определенные неисправности, такие как повреждение подшипников, намного раньше, чем другие (см. рис. 1). В этом разделе рассматриваются датчики, наиболее часто используемые для обнаружения неисправностей на самых ранних стадиях, – акселерометры и микрофоны. В табл. 1 приведены характеристики датчиков и некоторые неисправности, которые они могут обнаружить. В большинстве систем предиктивного обслуживания используются только некоторые из этих датчиков, поэтому крайне важно иметь представление о критических неисправностях системы и датчиках, которые лучше всего подходят для их обнаружения.

НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ДАТЧИКАМ

Более 90% ротационного оборудования промышленного и коммерческого назначения используют подшипники качения [3]. Диаграмма распределения вышедших из строя компонентов двигателя показана на рис. 2, из которого видно, что при выборе датчика для предиктивного обслуживания важно сосредоточить внимание на контроле состояния подшипников. Для обнаружения, диагностики и прогнозирования потенциальных неисправностей важно, чтобы датчик вибрации имел низкий уровень шума и широкую полосу пропускания.

В табл. 2 представлены некоторые из наиболее распространенных неисправностей ротационных механизмов и соответствующие требования к датчикам вибрации для приложений предиктивного обслуживания. Чтобы обнаружить неисправность как можно раньше для систем предиктивного обслуживания нужны высококачественные датчики. Уровень характеристик датчика для предиктивного обслуживания, используемого на объекте, соответствует важности объекта, непрерывно и надежно работающего в общем процессе, а не стоимости самого объекта.

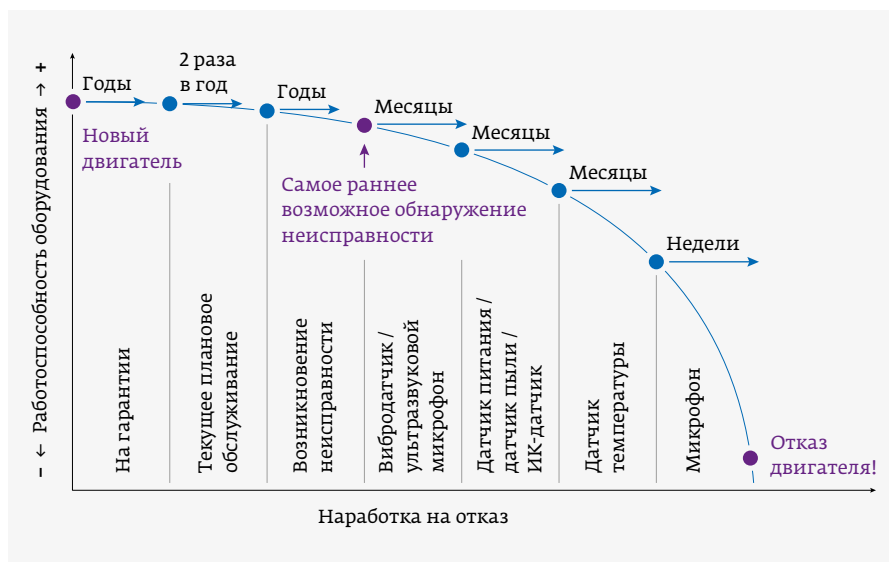


Рис. 1. Работоспособность оборудования в зависимости от времени эксплуатации

Количество энергии, выделяемой при вибрации или движении двигателя (пиковое значение, полный размах и среднеквадратичное значение), позволяет нам определить, среди прочего, нарушение баланса или смещение оси машины. Некоторые неисправности, такие как дефекты подшипников или редукторов, не так очевидны, особенно на ранней стадии, и не могут быть идентифицированы или спрогнозированы только по увеличению вибрации. Для детектирования этих неисправностей обычно требуется высококачественный датчик вибрации для предиктивного обслуживания с низким уровнем шума (менее 100 мкг / √Гц) и широкой полосой пропускания



Рис. 2. Диаграмма распределения неисправностей компонентов двигателя [4]

(более 5 кГц) в сочетании с высокоэффективными сигнальными цепями, приемопередатчиками, блоками обработки и постобработки сигнала [5].

ВИБРАЦИОННЫЕ, ЗВУКОВЫЕ И УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

МЭМС-микрофон содержит МЭМС-элемент, установленный на печатной плате, как правило, заключенной в металлический корпус с нижним или верхним портами, позволяющими волнам звукового давления проникать

внутри устройства. МЭМС-микрофоны отличаются низкой стоимостью, небольшими размерами, оснащены эффективными средствами обнаружения таких неисправностей, как состояние подшипников, зацепление редуктора, кавитация насоса, отклонение оси и нарушение баланса. Это делает МЭМС-микрофоны идеальным выбором для приложений с батарейным питанием. Они могут быть расположены на значительном удалении от источника шума и являются бесконтактными устройствами. Когда работает несколько единиц оборудования, характеристики микрофона могут ухудшаться из-за акустического шума

Таблица 1. Распространенные типы датчиков для мониторинга состояния оборудования

Измеряемый параметр	Тип датчика	Ключевые особенности	Выявляемые неисправности
Вибрация	Пьезоакселерометр	Низкий уровень шума, частота до 30 кГц, хорошо зарекомендовал себя в приложениях для мониторинга состояния	Состояние подшипников, зацепление редуктора, кавитация насоса, смещение осей, дисбаланс, состояние нагрузки
Вибрация	МЭМС-акселерометр	Низкая стоимость, потребляемая мощность, малые габариты, частота до 20 кГц и более	Состояние подшипников, зацепление редуктора, кавитация насоса, смещение оси, дисбаланс, состояние нагрузки
Звуковое давление	Микрофон	Низкая стоимость, потребляемая мощность, малые габариты, частота до 20 кГц	Состояние подшипников, зацепление редуктора, кавитация насоса, смещение оси, дисбаланс, состояние нагрузки
Звуковое давление	Ультразвуковой микрофон	Низкая стоимость, потребляемая мощность, малые габариты, частота до 100 кГц	Утечка давления, состояние подшипников, зацепление редуктора, кавитация насоса, смещение оси, дисбаланс
Ток двигателя	Шунт, трансформатор тока	Низкая стоимость, бесконтактный, обычно измеряется при подаче питания на двигатель	Нецентрированные роторы, проблемы с обмоткой, проблемы со стержнем ротора, дисбаланс питания, проблемы с подшипниками
Магнитное поле	Датчик Холла, магнитометр, пробная катушка	Низкая стоимость, малые габариты, частота до 250 Гц, устойчивость к изменению температуры	Проблемы со стержнем ротора и концевым кольцом
Температура	Инфракрасная термография	Высокая стоимость, точность, измеряет несколько объектов/источников тепла одновременно	Возникновение источника тепла из-за трения, изменение нагрузки, избыточные пуски/остановки, недостаточное питание
Температура	Резистивный датчик температуры, термопара, цифровой датчик температуры	Низкая стоимость, малые габариты и точность	Изменение температуры из-за трения, изменение нагрузки, избыточные пуски/остановки, недостаточное питание
Качество масла	Счетчик частиц	Определение вязкости масла, детектирование наличия твердых частиц и загрязнений	Детектирование твердых частиц из-за износа деталей

Таблица 2. Неисправности оборудования и требования к датчикам вибрации

Требования к датчикам	Распространенные неисправности оборудования			
	нарушение баланса	смещение оси	дефекты подшипников	дефекты редуктора
Уровень шума от низкого до среднего: более 100 мкг/√Гц	●	●		
Низкий уровень шума: менее 100 мкг/√Гц			●	●
Полоса пропускания: 5–10× опорная частота	●	●		
Полоса пропускания: более 5 кГц			●	●
Многоосевое зондирование	●	●		
Низкочастотная характеристика для низкоскоростных ротационных машин	●			
Диапазон высоких измеряемых значений g (high g)			●	

от других машин или факторов окружающей среды, таких как загрязнения или влажность, которые проникают в отверстие порта микрофона. В большинстве технических описаний МЭМС-микрофонов перечисляются относительно безопасные области применения, такие как мобильные терминалы, ноутбуки, игровые устройства, камеры и др. В некоторых описаниях в качестве потенциальных приложений указаны датчики вибрации или предиктивное обслуживание, но в них также указано, что датчики чувствительны к механическим ударам, а неправильное обращение с ними может привести к необратимому повреждению детали. В других описаниях указывается устойчивость датчиков к механическим ударам до 10 000 g. До сих пор нет ясности в отношении того, подходят ли некоторые из этих датчиков для работы в очень тяжелых условиях эксплуатации при потенциальной возможности ударного воздействия.

Применение ультразвукового МЭМС-микрофона позволяет контролировать состояние двигателя в сложных объектах в присутствии повышенного акустического шума, поскольку он детектирует звуки вне спектра слышимых частот (от 20 до 100 кГц), где шума гораздо меньше. Длины волн низкочастотных звуковых сигналов обычно составляют от 1,7 см до 17 м. Длины волн высокочастотных сигналов составляют примерно от 0,3 до 1,6 см. Когда частота увеличивается, энергия также увеличивается, делая ультразвук более направленным. Это чрезвычайно полезно для точного определения неисправности в подшипнике или корпусе.

В качестве датчиков вибрации наиболее часто используют акселерометры, а анализ вибрации – наиболее часто

применяемый метод предиктивного технического обслуживания крупного ротационного оборудования, такого как турбины, насосы, двигатели и редукторы. В табл. 3 и 4 представлены некоторые ключевые характеристики, которые следует учитывать при выборе высококачественных вибрационных и акустических МЭМС-датчиков в сравнении с пьезодатчиками вибрации, которые считаются золотым стандартом в этой области. Данные в каждом столбце отражают минимальное/максимальное отклонение характеристики и не коррелируют с соседними столбцами.

В течение ближайших пяти лет в области мониторинга состояния объектов прогнозируется значительный рост, причем существенная часть этого роста будет приходиться на беспроводные системы [6]. Пьезоакселерометры в меньшей степени подходят для беспроводных систем мониторинга состояния из-за сочетания таких факторов, как габариты, отсутствие интегрированных функций и значительное энергопотребление, но существуют решения с типовым потреблением в диапазоне от 0,2 до 0,5 мА. Акселерометры и МЭМС-микрофоны хорошо подходят для систем предиктивного обслуживания с батарейным питанием благодаря их небольшим размерам, низкому потреблению и высоким рабочим характеристикам.

Все датчики имеют подходящую полосу пропускания и низкий уровень шума, но МЭМС-акселерометры – единственные датчики, которые демонстрируют широкую частотную характеристику вплоть до DC, что хорошо подходит для детектирования нарушения баланса при очень низких скоростях вращения и измерения угла наклона. МЭМС-акселерометры также оснащены функцией

Таблица 3. Технические характеристики датчиков для предиктивного обслуживания

Датчик	Стоимость, долл. (за 1000 шт.)	Полоса пропускания, кГц (по уровню 3 дБ)	Частотная характеристика вплоть до DC	Уровень шума / отношение сигнал-шум	Срок службы батарей для беспроводных систем мониторинга	Самодиагностика
Пьезоакселерометр	От 25 до 500+	От 2,5 до 30+	Нет	От менее 1 до 50 мкг/√Гц	От малого до среднего	Нет
МЭМС-акселерометр	От 10 до 30*	От 3 до 20+	Есть	От менее 25 до 100 мкг/√Гц	От среднего до длительного	Есть
МЭМС-микрофон	От менее 1 до 2	20	Нет	От 57 до 74 дБ	Длительный	Нет
Ультразвуковой МЭМС-микрофон	От менее 1 до 2	100	Нет	65 дБ	Длительный	Нет

* Модули МЭМС-акселерометров могут стоить более 30 долл., но они представляют собой полноценные системные решения, тогда как остальные указанные в таблице устройства являются только датчиками.

** Цветовое обозначение: худший, средний, лучший.

самодиагностики, которая позволяет проверить, что датчик на 100% работоспособен. Это может оказаться полезным в критически важном для безопасности оборудовании, в котором требования системных стандартов проще соблюдать благодаря возможности проверки работоспособности датчика.

МЭМС-акселерометры можно размещать в полностью герметичных керамических корпусах, а пьезоакселерометры – в механических модулях для применения в тяжелых, загрязненных условиях внешней среды. В табл. 4 приведены физические, механические и экологические характеристики датчиков. В ней отражены основные различия

Таблица 4. Механические характеристики датчиков для предиктивного обслуживания

Датчик	Габариты	Число осей	Корпус, стойкий к вибрациям и механическим воздействиям	Стандартный интерфейс	Интегрированные функции	Механическое крепление	Устойчивость к воздействию окружающей среды
Пьезоакселерометр	Средние	От 1 до 3	Есть	Есть	Нет	Есть	Отличная
МЭМС-акселерометр	Малые / средние*	От 1 до 3	Есть	Есть	Есть	Есть	Отличная
МЭМС-микрофон	Малые	1	Нет	Нет	Нет	Бесконтактное	Хорошая
Ультразвуковой МЭМС-микрофон	Малые	1	Нет	Нет	Нет	Бесконтактное	Хорошая

* МЭМС-модули обычно содержат АЦП, процессоры и фильтры, подстроенные под датчик для оптимальной производительности, что позволяет сэкономить пространство для сигнальной цепи.

** Цветовое обозначение: худший, средний, лучший.

между датчиками, такие как наличие интегрированных функций, устойчивость к тяжелым условиям эксплуатации, механические характеристики и тип крепления к ротационным машинам.

Детектирование данных о вибрации по трем осям дает больше диагностической информации и позволяет повысить качество обнаружения неисправностей. Это является преимуществом пьезо- и МЭМС-акселерометров с точки зрения качества данных, кабельной разводки и экономии места, хотя и не является обязательным в каждой системе предиктивного обслуживания.

МЭМС-микрофоны демонстрируют уровень искажений до -8 дБ при длительном воздействии повышенной влажности [7]. Хотя это не явный недостаток, стоит учитывать этот фактор в случае, когда ваше приложение предиктивного обслуживания работает в тяжелых условиях с высокой влажностью. В таких случаях преимуществами перед МЭМС-микрофонами обладают электретные конденсаторные микрофоны. Другие факторы окружающей среды, которые могут влиять на работу микрофонов, – ветер, атмосферное давление, электромагнитные поля и механические удары [8].

В благоприятных условиях МЭМС-микрофоны обеспечивают отличные характеристики в приложениях предиктивного обслуживания. В настоящее время отсутствует информация о применении МЭМС-микрофонов в тяжелых условиях эксплуатации с чрезмерной вибрацией, загрязнениями или влажностью. Вибрация может повлиять на работу МЭМС-микрофонов, и это следует учитывать; тем не менее, они менее чувствительны к вибрации, чем электретные микрофоны [9]. Если в беспроводном решении для предиктивного обслуживания нужно использовать МЭМС-микрофон, монтажная коробка должна иметь отверстие или порт, чтобы акустический сигнал попадал в датчик, что усложняет конструкцию и потенциально делает остальную электронику восприимчивой к загрязнениям или влажности.

Последние достижения в технологии емкостных МЭМС-акселерометров позволили реализовать компактные, недорогие, маломощные решения для беспроводных систем мониторинга состояния на объектах с более низким приоритетом, что дает возможность получать более детальную диагностическую информацию об управлении оборудованием и поддерживать в рабочем состоянии критически важные системы. Эти усовершенствования также приблизили характеристики МЭМС-акселерометров к характеристикам пьезоакселерометров при применении в более традиционных проводных системах мониторинга состояния. Пьезоакселерометры, обладающие низким уровнем шума и широкой полосой пропускания в сочетании со стандартными для отрасли разъемами (типа ICP и IERE), были на протяжении десятилетий золотым стандартом датчиков, используемых

для измерения вибрации. Интерфейс МЭМС-акселерометров был адаптирован для взаимодействия с модулями стандарта IERE, как показано на рис. 3. Схема преобразования построена на основе исходного проекта серии Circuits from the Lab CN0532 компании Analog Devices. Схема была спроектирована на специальной печатной плате, которая рассчитана на работу в широкой полосе частот и может быть установлена в механический модуль на более позднем этапе.

Устройство, показанное на рис. 4, содержит три одноосных МЭМС-акселерометра, три АЦП, процессор, память и алгоритмы – все компоненты в механическом модуле с резонансной частотой более 50 кГц. Такое решение иллюстрирует возможности МЭМС-акселерометров интегрировать интеллектуальные средства в узле датчика, что обеспечивает сопряжение датчика с эффективной сигнальной цепью и блоком обработки сигнала для достижения наилучших характеристик. Этот модуль может выполнять БПФ и запуск различных аварийных сигналов во временной или частотной области, генерировать



Рис. 3. МЭМС-акселерометр, адаптированный под стандарт IERE (конструкция печатной платы позволяет модифицировать акселерометры для мониторинга состояния семейства ADXL100x от Analog Devices в механических IERE-модулях). Примечание: компания Analog Devices не выпускает механические модули IERE



Рис. 4. Трехосевой МЭМС-модуль для мониторинга состояния со встроенными АЦП, процессором, БПФ и статистикой, а также механический модуль с резонансной частотой более 50 кГц

статистику во временной области, крайне необходимую для алгоритмов или инструментов машинного обучения для прогнозирования отказов.

Когда необходимо выбрать наиболее подходящий датчик вибрации для вашей системы предиктивного обслуживания, проблема заключается в правильном подборе датчиков в соответствии с наиболее вероятными потенциальными неисправностями ваших объектов. МЭМС-микрофоны еще не доказали свою эффективность для надежного обнаружения всех видов отказов, связанных с вибрацией, в наиболее тяжелых условиях эксплуатации, в то время как акселерометры – отраслевой стандарт для измерения вибрации – успешно внедряются и надежно работают в течение десятилетий. Ультразвуковые МЭМС-микрофоны продемонстрировали многообещающие характеристики при обнаружении неисправностей подшипников на более раннем этапе, чем акселерометры, и такой возможный симбиоз может обеспечить наилучшее решение для предиктивного обслуживания при анализе вибрации вашего объекта в будущем.

Хотя сложно рекомендовать универсальный датчик вибрации для применения в системе предиктивного обслуживания, среди всех типов этих устройств следует выделить акселерометры, которые успешно прошли несколько этапов своего развития и продолжают совершенствоваться. Analog Devices предлагает линейку МЭМС-акселерометров – от устройств общего назначения с низким потреблением, низким уровнем шума, высокой стабильностью и высоким измеряемым диапазоном g до интеллектуальных модулей для граничных узлов (см. рис. 4). ADcmXL3021 – лишь один из примеров специализированного модуля для предиктивного обслуживания. Компания Analog Devices первой выпустила на рынок семейство МЭМС-акселерометров с поддержкой

предиктивного обслуживания (с полосой пропускания более 20 кГц и плотностью шума $25 \text{ мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$) и остается единственным поставщиком МЭМС-акселерометров с таким высоким уровнем характеристик. Analog Devices продолжает лидировать в области датчиков, решений для сигнальных цепей, механических модулей, платформ, алгоритмов машинного обучения, программных платформ искусственного интеллекта и комплексных системных решений, осуществляющих предиктивное обслуживание промышленных ротационных машин в самых сложных условиях.

Для получения дополнительной информации посетите сайт analog.com/CbM или свяжитесь со специалистами по почте analog@eltech.spb.ru.

По вопросам поставки продукции компании Analog Devices обращайтесь в компанию ЭЛТЕХ по почте analog@eltech.spb.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Langnau L.** Sensors Help You Get Maximum Use from Your Motors. – Machine Design, September 2000.
2. **Corne B., Vervisch B., Debruyne C., Knockaert J., Desmet J.** Comparing MCSA with Vibration Analysis in Order to Detect Bearing Faults – A Case Study. – 2015 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), IEEE, May 2015.
3. **Graney B. P., Starry K.** Rolling Element Bearing Analysis. – Materials Evaluation, v. 70, no. 1, The American Society for Nondestructive Testing, Inc., January 2012.
4. **Konar P., Bandyopadhyay R., Chattopadhyay P.** Bearing Fault Detection of Induction Motor Using Wavelet and Neural Networks. – Proceedings of the 4th Indian International Conference on Artificial Intelligence, IICAI 2009, Tumkur, Karnataka, India, December 2009.
5. **Sopcik P., O'Sullivan D.** How Sensor Performance Enables Condition-Based Monitoring Solutions. – Analog Dialogue, v. 53, June 2019.
6. Motor Monitoring Market by Offering (Hardware, Software), Monitoring Process (Online, Portable), Deployment, Industry (Oil and Gas, Power Generation, Metals and Mining, Water and Wastewater, Automotive), and Region – Global Forecast to 2023. – Research and Markets, February 2019.
7. **Lall P., Abrol A., Locker D.** Effects of Sustained Exposure to Temperature and Humidity on the Reliability and Performance of MEMS Microphone. – ASME 2017 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems, September 2017.
8. **Janda M., Vitek O., Hajek V.** Induction Motors: Modelling and Control. – InTech, November 2012.
9. **Ali Shah M., Ali Shah I., Lee D.-G., Hur S.** Design Approaches of MEMS Microphones for Enhanced Performance. – Journal of Sensors, v. 1, March 2019.

19-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ

14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА

СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
 - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции [Постановление Правительства РФ №878]
 - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» [Постановление Правительства РФ №109]
 - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Стартапы в электронике
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



РОСЭЛ



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО» Москва, 121351, ул. Ярцевская, д.4. Тел.: +7 (495) 221-50-15
E-mail: info@chipexpo.ru <http://www.chipexpo.ru>