

МЕХАНИЗМЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ МСК ТРИБОДАТЧИКОВ

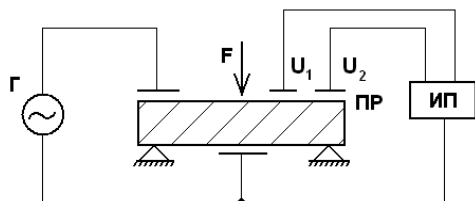
**В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов, Е.М. Крючков, А.В. Новичихин,
С.А. Синеев, А.А. Соснова, Д.О. Страхатов**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

В статье приведено описание акусточувствительных и трибочувствительных вариантов конструктивного исполнения пьезорезонансных датчиков, основанных на использовании связанных колебаний пьезорезонаторов, дан анализ особенностей их функционирования, приведены примеры практического применения измерительных устройств такого типа.

Ключевые слова: акусточувствительность, трибочувствительность, пьезорезонансные датчики, связанные колебания пьезорезонаторов, трибодатчики.

На рисунке 1 представлена структурная схема дифференциального пьезотрансформаторного датчика статических усилий, реализующего режим связанных колебаний в объеме монолитного пьезоэлемента [1]. Принцип работы измерительного устройства такого типа основан на том, что под действием измеряемого усилия происходит неодинаковое изменение выходных напряжений на генераторных обкладках пьезоэлемента. Механизм чувствительности датчика включает в себя ряд факторов: акусто-, тензо- и трибочувствительность. В основе акусточувствительности лежит управление величиной потерь энергии, излучаемой колебательной системой датчика через силопередающие элементы. Тензочувствительность связана с изменением упругих свойств пьезорезонатора и обуславливает изменение частоты его колебаний. Механизм трибочувствительности характеризует потери энергии колебательной системой датчика на трение в местах контакта пьезорезонатора с силопередающими элементами конструкции датчика.



Условные обозначения:

Г – генератор; ПР – пьезорезонатор; ИП – измерительный прибор

Рисунок 1 – Структурная схема дифференциального пьезотрансформаторного датчика усилий на базе монолитного пьезоэлемента

Трибочувствительность датчика такого типа определяется физико-механическими и трибологическими характеристиками контактирующих поверхностей. Например, повышение твердости используемых материалов приводит к увеличению контактной жесткости и к уменьшению площади контакта пьезорезонатора с силопередающими элементами. Это обуславливает снижение потерь колебательной энергии датчика на излучение и трение в местах контакта с силопередающими элементами. Уменьшение шероховатости контактирующих поверхностей так же приводит к снижению потерь на трение в местах контакта, но величина акустических потерь колебательной энергии пьезорезонатора на излучение при этом не изменяется. Степень шероховатости контактирующих поверхностей является основным фактором, определяющим трибочувствительность датчика. Измерительные преобразователи такого типа способны обеспечивать высокую чувствительность, но имеют низкую точность измерений [1].

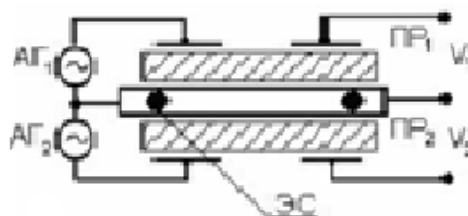


Рисунок 2 – Структурная схема двухрезонаторного датчика усилий с шарнирным соединением пьезоэлементов по контуру

На рисунке 2 представлена структурная схема ПР МСК датчика усилий, состоящего из

двух шарнирно соединенных по периметру дисковых пьезотрансформаторов. Механизм чувствительности первичного измерительного преобразователя такой конструкции определяется акусто- и тензо- и трибочувствительностью.

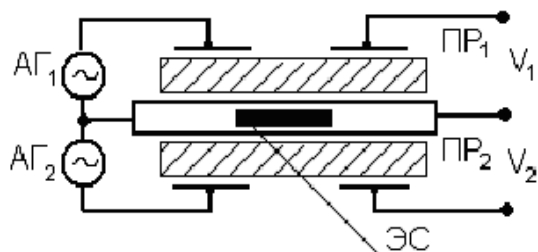


Рисунок 3 – Структурная схема ПР МСК датчика усилий с элементом связи в центральной части пьезорезонаторов

На рисунке 3 представлена конструкция ПР МСК датчика усилий [1] с элементом связи, контактирующим с пьезотрансформаторами в их центральной их части. При этом не происходит деформаций изгиба пьезоэлементов и снижаются потери пьезорезонаторов на трение, так как в центрах дисковых ПЭТ на радиальной моде колебаний образуются узлы продольных колебаний. Поэтому преобладающим фактором в механизме чувствительности датчика является акусточувствительность.

Такая конструкция дифференциального первичного измерительного преобразователя, состоящая из двух взаимодействующих между собой пьезорезонаторов, способна обеспечивать не только повышенную чувствительность, но и точность измерения. Это достигается за счет того, что используется высокочувствительный режим связанных колебаний в системе с двумя степенями свободы. Так как силовосредоточивающие элементы датчика контактируют с пьезорезонаторами в узлах их радиальной моды колебаний, где амплитуды поперечных перемещений контактирующих поверхностей минимальны, связь между резонаторами осуществляется преимущественно за счет деформаций пьезоэлементов по толщине.

При соответствующем подборе степени шероховатости контактирующих поверхностей и твердости используемых материалов можно существенно снизить влияние трения на механизм чувствительности датчика и повысить роль упругих деформаций микронеровностей контактирующих поверхностей. Это позволяет реализовать механизм тензочувствительности датчика, основанный на

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №1 2013

модуляции в функции измеряемого усилия площади фактического контакта между пьезорезонаторами и элементом связи [1].

В датчике [2-6], представленном на рисунке 4, дисковые пьезотрансформаторы (ПЭТ) жестко соединены между собой по периметру через элемент связи путем пайки или приклеивания. Измеряемое усилие прикладывается в узлах колебаний пьезорезонаторов.

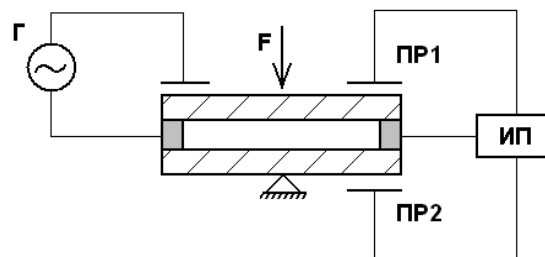


Рисунок 4 – ПР МСК датчик усилий с жестким соединением пьезорезонаторов по контуру

Такая конструкция первичного измерительного преобразователя позволяет существенно снизить потери энергии колебательной системой датчика на трение и излучение в силовосредоточивающие элементы. Механизм чувствительности датчика определяется изгибной жесткостью конструкции первичного преобразователя, возбуждаемого на частоте противофазных колебаний пьезорезонаторов [1]. Измерительные преобразователи такого типа характеризуются высокой чувствительностью и повышенной точностью, но имеют низкую механическую прочность и требуют принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности прикладываемых усилий.

ПР МСК трибодатчики [1, 6], применяемые для измерения вязкости жидких сред, уровня сыпучих материалов имеют свои особенности, обусловленные спецификой взаимодействия резонаторов с исследуемой средой. На рисунке 5 представлена структурная схема пьезорезонансного трибодатчика, предназначенного для измерения уровня сыпучих материалов. Чувствительный элемент такого измерительного устройства состоит из ПЭТ, закрепленного на поверхности протяженного плоского металлического вибратора, имеющего согласованные размеры.

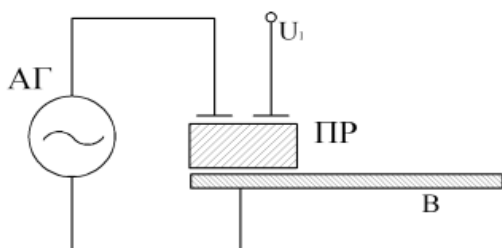


Рисунок 5 – Структурная схема трибодатчика уровня сыпучих материалов, вязкости жидких сред на базе составного пьезорезонатора

В теле вибратора возбуждаются один из обертонов продольной моды колебаний, что позволяет реализовать высокочувствительный режим внешнего трения между поверхностью вибратора и сыпучей средой. Механизм трибочувствительности датчика отражает зависимость выходного напряжения составного ПЭТ от измеряемого уровня сыпучих материалов.

Подобную конструкцию чувствительного элемента имеет и датчик вязкости жидких сред [1]. Эквивалентная электрическая схема замещения такого первичного измерительного преобразователя содержит дополнительные компоненты, обусловленные приращением в функции вязкости жидкости активного сопротивления и емкости резонатора, обусловленные наличием вязкоупругого взаимодействия поверхности вибратора с исследуемой средой. Вибратор имеет малую толщину, что при возбуждении продольной моды колебаний обеспечивает возможность измерения преимущественно сдвиговой вязкости жидких сред. При этом плотность среды практически не влияет на результат измерения вязкости, так как толщина увлекаемого слоя жидкости мала по сравнению с размерами вибратора. При рабочей частоте датчика вязкости в несколько десятков кГц толщина увлекаемого слоя жидкости составляет десятые и сотые доли миллиметра.

На рисунке 6 представлено устройство ПР МСК датчика вязкости жидких сред с микрозазором [8]. В первичном измерительном преобразователе такой конструкции реализован принцип внутренней связи между взаимодействующими составными пьезорезонаторами. Величина микрозазора между вибраторами сравнима с толщиной граничного слоя жидкости, смачивающей поверхность вибраторов. Такая конструкция чувствительного элемента датчика вязкости вибрационного типа позволяет не только измерять вяз-

кость жидких сред, но и исследовать их упругие характеристики.

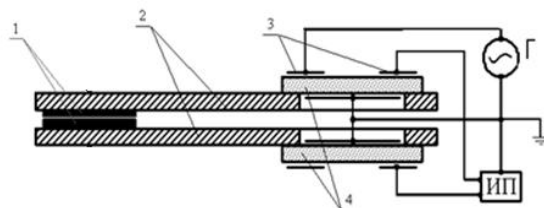


Рисунок 6 – Схема ПР МСК датчика вязкости с внутренней связью между составными пьезорезонаторами

Изменяя величину микрозазора между взаимодействующими плоскостями составных пьезорезонаторов и амплитуду их колебаний, можно измерять различные физико-механические и трибологические характеристики жидких сред, изменять диапазон измеряемых вязкостей. Датчик может быть использован для исследования вязкоупругих характеристик не только гомогенных, но и гетерогенных, многокомпонентных жидких сред.

На основе взаимосвязанных пьезорезонаторов был разработан ПР МСК датчик, предназначенный для исследования физико-механических и трибологических характеристик поверхностей твердых тел и покрытий [7, 8]. На рисунке 7 приведена конструкция ПР МСК трибодатчика с внешней связью между составными пьезотрансформаторами.

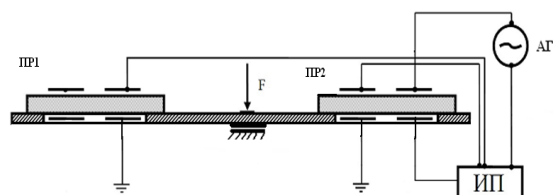


Рисунок 7 – Структурная схема ПР МСК датчика усилий с внешней связью между пьезорезонаторами

Механизм чувствительности датчиков такого типа основан на реализации режимов внешнего и внутреннего трения в области контакта и упругого взаимодействия между контактирующими поверхностями твердых тел. Использование резонансных режимов синфазных и противофазных колебаний пьезорезонаторов позволяет не только обеспечивать высокую чувствительность измерений, но и представляет возможность для исследования как трибологических, так и физико-механических характеристик поверхностей материалов и покрытий.

При разработке ПР МСК трибометров необходимо учитывать, что параметры датчиков такого типа являются нелинейными и могут изменяться в процессе измерения. Они зависят от амплитуды колебаний, усилия сдвигания контактирующих поверхностей, а так же от температуры, давления, влажности окружающего воздуха и многих других факторов. Все это с одной стороны расширяет область практического применения ПР МСК трибодатчиков, а с другой стороны существенно усложняет их разработку и проектирование, обуславливает необходимость оптимизации их конструкции и режимов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седалищев, В.Н. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации / В.Н. Седалищев, О.И. Хомутов – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. -184 с.; 55 см. – Библиогр.; с. 180 – 184. – 100 экз. - ISBN 5-7568-0669-5
2. Седалищев, В.Н. Пьезорезонансные датчики на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2005. - №11. - С. 41 - 42.
3. Седалищев, В.Н. Измерительные устройства, основанные на реализации режимов связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Ползуновский вестник. - 2006. - № 2. – С. 264 – 269.

4. Седалищев, В.Н. Особенности конструирования пьезоэлектрических измерительных устройств на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2006. - № 4. - С. 44-46.
5. Седалищев, В.Н. Использование связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Измерительная техника. - 2006. - № 3. - С. 59-61.
6. Седалищев, В.Н. Устройство для измерения уровня сыпучих материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2006. - № 6. - С. 49 – 50.
7. Седалищев, В.Н. Акусточувствительный датчик статических усилий с использованием связанных колебаний пьезорезонаторов / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов, С. П. Пронин, А. В. Новичихин, Е. М. Крючков // Ползуновский альманах. - 2012. - № 2. - С. 71-72.
8. Седалищев, В.Н. Использование связанных колебаний пьезорезонаторов для исследования физико-механических и трибологических характеристик поверхности твердых тел / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов Е. М. Крючков, А. В. Новичихин // Ползуновский альманах. - 2012. - № 2. - С. 6-10.

Седалищев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор, тел.:(3852) 260492, e-mail:Sedalischew@mail.ru; **Новичихин Андрей Викторович**-аспирант; **Крючков Евгений Михайлович** – аспирант; **Ларионов Максим Юрьевич** – аспирант; **Синеев Семен Алексеевич** - аспирант; **Соснова Анастасия Александровна** – магистрант, **Д.О. Страхов** – студент.