

# ПРЯМОЙ СОВМЕЩЕННЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ДО +450°C ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ

© 2025 г. Вячеслав Игоревич Мальцев<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> – ООО «Константа УЗК», 198097 Санкт-Петербург, Огородный пер., д. 21, лит. А

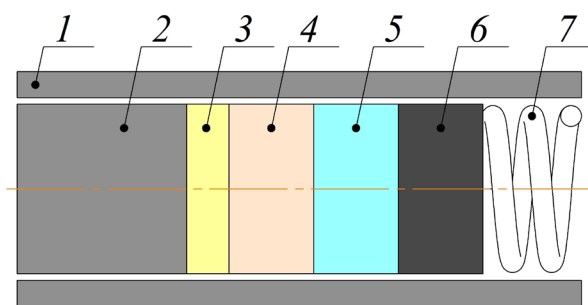
\* - [mvi@constant-us.com](mailto:mvi@constant-us.com)

В докладе рассмотрены вопросы проектирования прямого совмещенного пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) для систем мониторинга состояния стационарных инфраструктурных объектов и технологического оборудования в диапазоне температур от -70 °С до +450 °С (измерение остаточной толщины и скорости коррозии/эрозии стенок технологического оборудования).

Для увеличения возможных областей применения рассматриваемого ПЭП (количества объектов и критических точек, пригодных для размещения) конструкция преобразователя не предусматривает вынос пьезоэлемента из зоны термического влияния, что традиционно требует использования специальных материалов и удлинения линии задержки. В качестве материала линии задержки используется нержавеющая сталь, обеспечивающая предпочтительную пару по согласованию акустических импедансов линии задержки и материала объекта контроля (в большинстве случаев технологическое оборудование, работающее при температурах до +450 °С, изготавливается из нержавеющей сталей), а также возможность длительной эксплуатации без технического обслуживания.

Для создания надежного долговечного и термостабильного акустического контакта ПЭП с поверхностью объекта контроля (ОК) во всем рассматриваемом диапазоне температур применяется сухой контакт, обеспечиваемый подготовкой поверхности ОК (до необходимой шероховатости) и прижимом с требуемым усилием специальными оснастками (например, силовыми хомутами). Сухой контакт между пьезоэлементом и линией задержки осуществляется через слои металлизации из драгоценных пластических металлов, формируемых на поверхности пьезоэлемента, толщина которых на порядок меньше длины волны, что обеспечивает акустическую прозрачность границы, сравнимую по коэффициенту прозрачности  $D_{tt}$  с контактом через специализированные контактные пасты и значительно превышающую их по температурному диапазону применения (рис. 1).

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили подобрать синтетический монокристалл с температурой Кюри 1145–1210 °С [1], способный излучать и принимать сдвиговые волны, обладающий необходимыми термостабильными пьезоэлектрическими и механическими характеристиками для использования в качестве пьезоэлемента ПЭП. Применение сдвиговых волн позволяет увеличить разрешающую способность при измерениях.



1 – корпус, 2 – линия задержки, 3 – слой металлизации пьезоэлемента, 4 – пьезоэлемент,  
5 – демпфер, 6 – изолятор, 7 – пружина

Рис. 1. Структура высокотемпературного ПЭП

Конструкция преобразователя, структура которого представлена на рис. 1, включает демпфирующий блок, в состав которого входит термостабилизированный демпфер из прессованной алюминиевой фольги, позволяющий добиться необходимых значений лучевой разрешающей способности и изолятор из алюминиевого сплава с диэлектрическим покрытием. Пружина обеспечивает необходимое усилие прижима пьезоэлемента к линии задержки и демпферу во всем диапазоне температур от  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Встроенная в конструкцию ПЭП термопара дает возможность учитывать градиент температур в преобразователе и изменение скорости распространения сдвиговых волн в линии задержки при измерениях, что позволяет обеспечивать требуемые погрешности при расчетах.

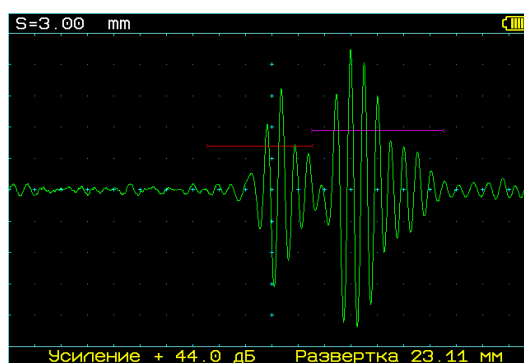


Рис. 2. Форма сигналов. Границы раздела сред (красный строб), донный от дальней стенки ОК толщиной 3 мм (фиолетовый строб) при температуре пьезоэлемента  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$

В докладе подробно изложены принципы конструирования, полученные экспериментальные результаты и вопросы применения высокотемпературного ПЭП в системах мониторинга состояния и технического диагностирования распределенных инфраструктурных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kazys R., Vaskeliene V. High Temperature Ultrasonic Transducers: A Review // Sensors. 2021. V. 21. 3200.