

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

---

Утверждаю

Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР

\_\_\_\_\_ В.Л. Бибик

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012г.

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу  
«Автоматика» для студентов специальности  
110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в  
агропромышленном комплексе», всех форм обучения

Издательство

Юргинского технологического института (филиала)

Томского политехнического университета

2012

ББК  
УДК

**Исследование характеристик пьезоэлектрических датчиков:**  
методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу  
«Автоматика» для студентов специальности 110304 «Технология обслуживания  
и ремонта машин в агропромышленном комплексе» всех форм обучения / Сост.  
Р.В. Чернухин. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института  
(филиала) Томского политехнического университета, 2012 г. – 16 с.

Рецензент  
кандидат технических наук, доцент

А.А. Ласуков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию  
методическим семинаром кафедры АИ ЮТИ ТПУ « » 2012 г.

Зав. кафедрой АИ  
к.т.н., доцент

О.Ю. Ретюнский

## **1. Цель работы:**

1. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия пьезоэлектрических датчиков.
2. Освоить методику расчета пьезоэлектрического датчика.
3. Научиться проводить проверку пьезоэлектрических датчиков на примере датчика детонации.

## **2. Общие сведения**

### **Назначение, конструкция и принцип действия датчика детонации**

Датчики детонации используются для обнаружения явления детонации, т. е. взрывного воспламенения топливно-воздушной смеси в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания автомобиля. Детонация вызывает сильную ударную вибрацию и перегрев ДВС, что может привести к механическим повреждениям деталей двигателя. Контроль за детонацией особенно актуален у современных ДВС, поскольку для их эффективной работы обеспечивают оптимальный угол опережения зажигания, близкий к предельному, за которым начинается детонация. Этим обеспечивается наиболее полное сгорание топливно-воздушной смеси, сопровождаемое повышением КПД двигателя, его мощности, экологичности и экономичности, а также появлением возможности применения бензина с различным октановым числом.

В системах управления ДВС применяются различные датчики контроля детонации: датчики температуры, давления, света, возбуждаемого при воспламенении газовой смеси, и др. Основными критериями при выборе типа датчика являются точность и достоверность показаний, стоимость, надежность и габариты. Наиболее полно всему этому комплексу требований удовлетворяют вибрационные датчики детонации, предназначенные для регистрации вибрационных колебаний корпуса ДВС.

Чаще всего обнаружение детонации производится путем измерения ударной вибрации цилиндров с помощью пьезоэлектрического датчика детонации. В качестве чувствительного элемента такого датчика используется пластина пьезоэлектрического кристалла (в основном из пьезокерамики). Это объясняется, в частности, тем, что пьезокерамика обладает высокой химической стойкостью при повышенных температурах, высокой пьезочувствительностью и небольшой стоимостью.

Пьезоэлектрическими называются кристаллы и текстуры, электризирующиеся под действием механических напряжений (прямой пьезоэффект)

и деформирующиеся в электрическом поле (обратный пьезоэффект). В датчиках детонации используется прямой пьезоэффект. При механическом воздействии МВ (рис. 1) на пластину пьезокристалла ПК на токопроводящих покрытиях появляется разность электрических потенциалов  $U_{\text{ВЫХ}}$ , значение которой пропорционально силе механического воздействия.

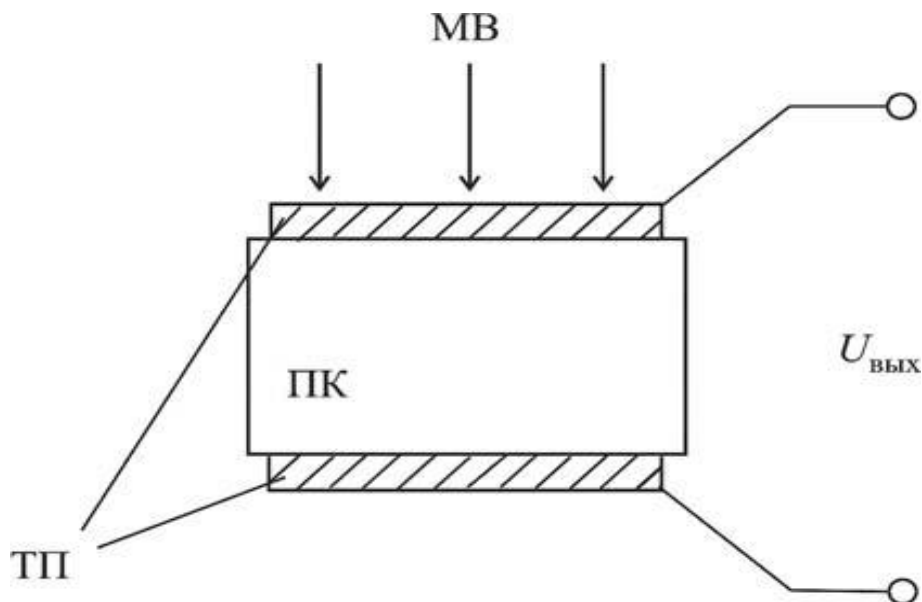
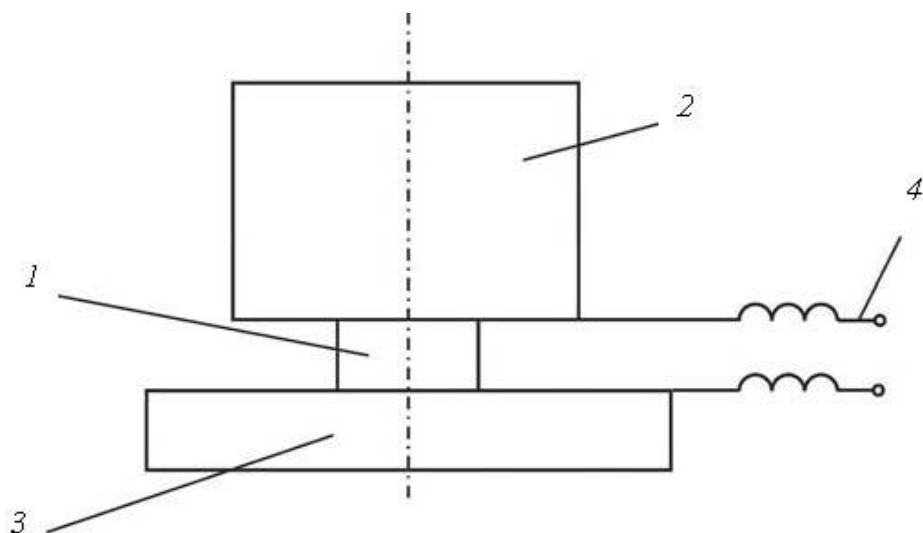


Рис. 1. Принцип действия пьезоэлектрического датчика:

*МВ – механическое воздействие; ТП – токопроводящие покрытия; ПК – пьезокристалл.*

Достоинствами пьезоэлектрических преобразователей являются малые геометрические размеры, простота конструкции, надежность в работе, возможность измерения быстро протекающих процессов. В частности, их рабочий диапазон частот составляет от 0,1 Гц до 20 кГц. Амплитудная характеристика линейна в динамическом диапазоне до 120 дБ. Они не требуют источника питания, поскольку являются преобразователями генераторного типа, не имеют подвижных деталей, что гарантирует исключительную долговечность.

Упрощенная конструктивная схема пьезоэлектрического датчика детонации представлена на рис. 2. Под действием инерционных сил, создаваемых инерционной массой 2, деформируется пьезоэлемент 1, на металлизированных обкладках которого в результате прямого пьезоэффекта возникают электрические заряды, передаваемые во внешнюю цепь с помощью электрических выводов.



*Рис. 2. Упрощенная конструкция датчика детонации:*

*1 – пьезоэлемент; 2 – инерционная масса; 3 – основание; 4 – электрические выводы*

Выходная электрическая мощность таких преобразователей очень мала, поэтому для согласования с электронной системой управления на его выход включается усилитель напряжения с возможно большим входным сопротивлением.

Среди всей совокупности датчиков детонации по режиму работы выделяют преобразователи широкополосного, резонансного и полурезонансного типов.

К широко полосным относят пьезоэлектрические преобразователи с рабочим диапазоном частот 4-10 кГц, сформированным на плоской части амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), ниже собственной резонансной частоты. Такие датчики детонации универсальны в применении: их можно использовать в ДВС с различными системами управления (моно- и распределенным впрыском) и с различными частотами вибрационных ускорений (детонационных режимов).

К резонансным датчикам относят преобразователи с узкой полосой пропускания (50-300 Гц), собственная частота которых настроена на частоту детонации ДВС. В связи с тем, что резонансные частоты даже для ДВС одной модели различаются в пределах 5 %, такие датчики детонации не находят широкого применения для управления ДВС серийных автомобилей.

Полурезонансные датчики – это преобразователи с широкой полосой пропускания (до 1000 Гц) и с АЧХ, синтезированной из двух или более пересекающихся характеристик резонансных режимов. Они сочетают в себе

достоинства широкополосных датчиков (широкая полоса пропускания) и резонансных (усиление информационного сигнала).

Внешний вид и конструкция исследуемого широкополосного пьезоэлектрического датчика и его установка на двигатель представлены на рис. 3 и 4.



Рис.3 Внешний вид датчика детонации

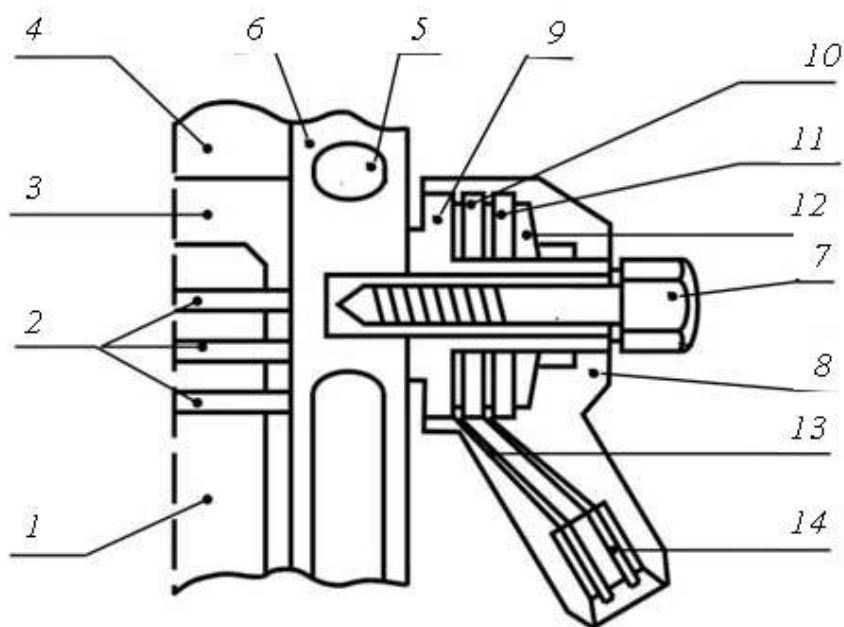


Рис. 4 Конструкция датчика детонации широкополосного типа:

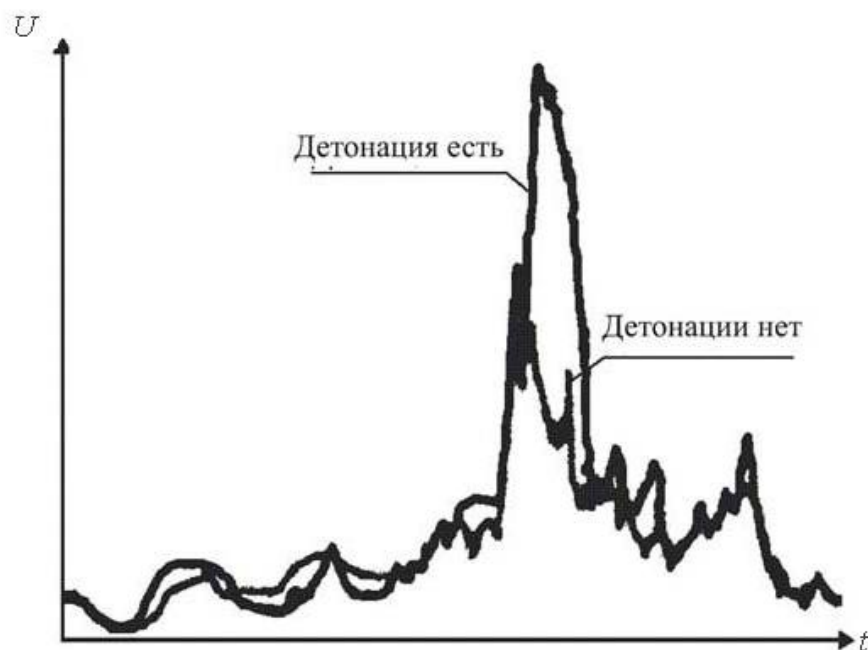
1 – поршень ДВС; 2 – поршневые кольца; 3 – камера сгорания; 4 – головка блока цилиндров; 5 – охлаждение блока; 6 – блок цилиндров; 7 – натяжной болт; 8 – корпус датчика; 9 – прижимная втулка; 10 – пьезоэлемент датчика; 11 – гравитационная (инерционная) масса датчика; 12 – упругая шайба; 13 – контактные кольца; 14 – электрические контакты

Пьезоэлемент 10 изготовлен в форме шайбы. Инерционная масса 11 для уменьшения габаритов датчика изготавливается из металлического сплава с высокой плотностью ( $18 \text{ г/см}^3$ ). Пьезоэлемент посредством болта прижимается к полированной площадке блока цилиндров 6. Точка установки датчика

определяется экспериментально на этапе конструкторской разработки ДВС.

Для отработанной модели блока цилиндров место установки датчика детонации остается постоянным.

При детонации в специфическом спектре частот (обычно 6-12 кГц) в выходном сигнале датчика появляется переменная составляющая с высокой амплитудой. Выделяя эту частотную область с помощью полосового фильтра электронного блока управления двигателем, получают сигнал для распознавания детонации. На рис. 5 показан вариант выходного сигнала датчика детонации.

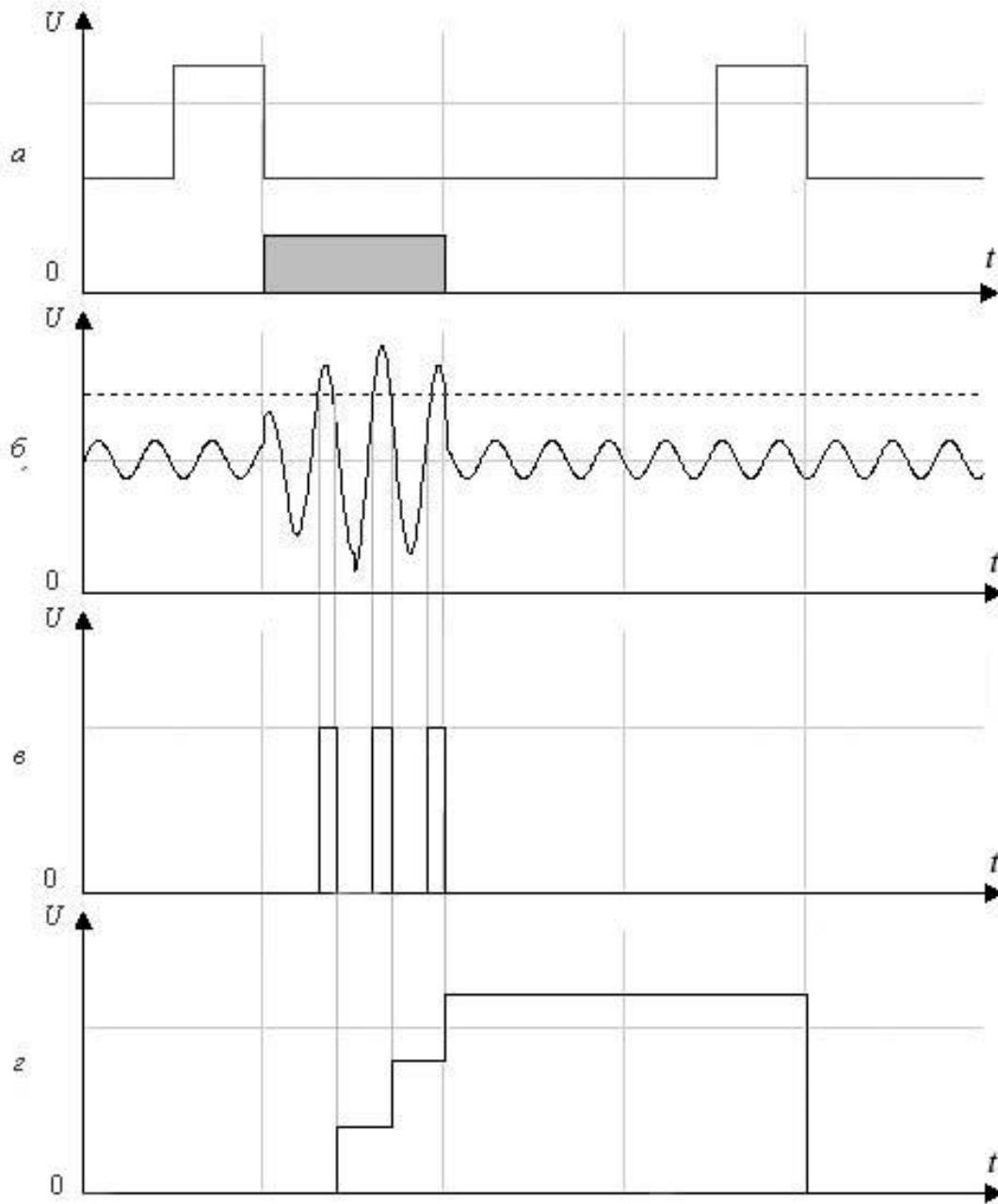


*Рис. 5. Возможные виды выходного напряжения датчика детонации при постоянной частоте вращения коленчатого вала ДВС при наличии и отсутствии детонации*

Распознавание детонации производится путем сравнения (вычитания) текущего сигнала и среднего значения амплитуды сигнала датчика при отсутствии детонации. Степень детонации определяется подсчетом числа амплитуд в сигнале датчика, значение которых превышает типовой уровень. На рис. 6 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы контроля детонации ДВС.

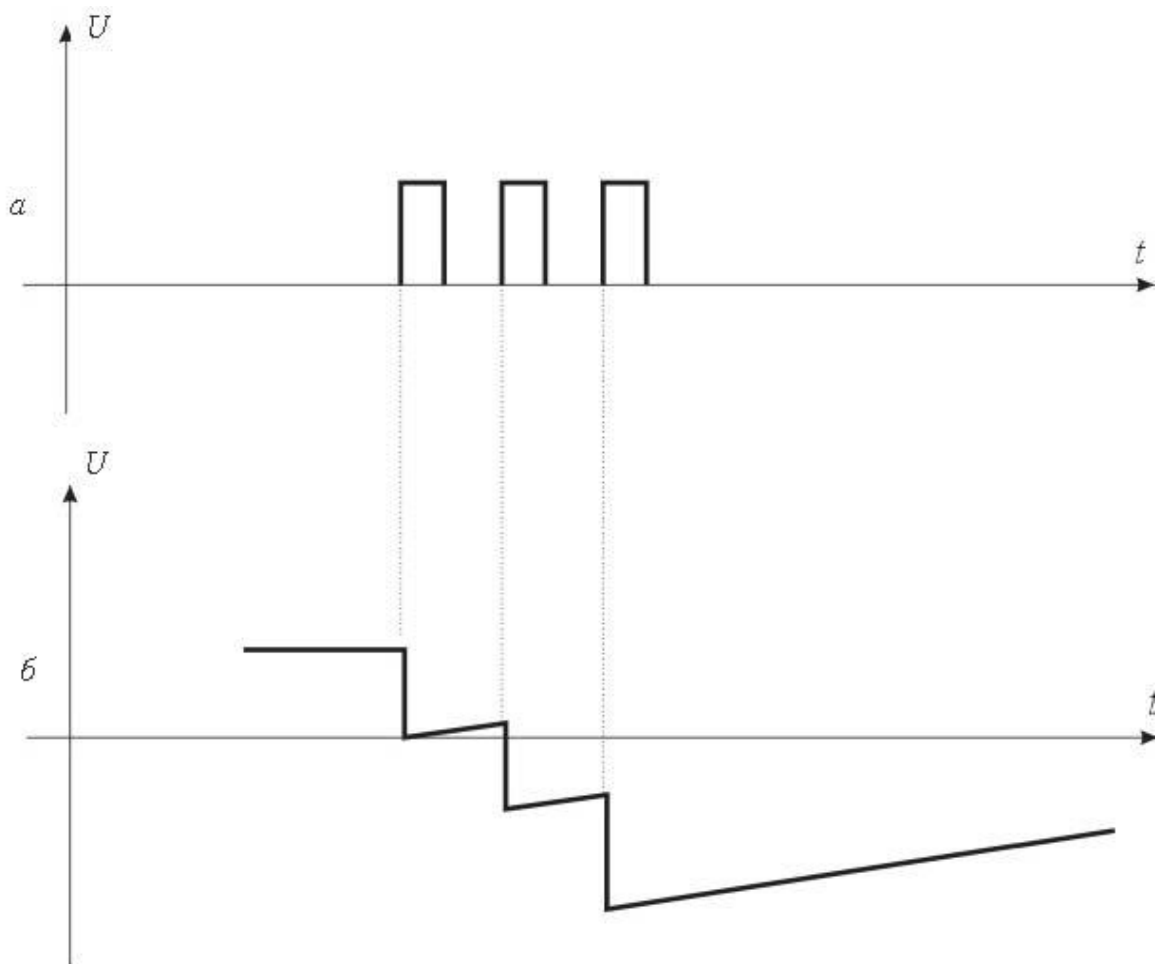
После распознавания детонации производится уменьшение угла опережения зажигания, т. е. происходит коррекция раннего зажигания на более позднее. Если после этого детонация отсутствует, угол опережения зажигания

постепенно увеличивается. Таким образом, управление углом зажигания производится так, что бы он был близок к детонационному пределу (рис. 3.7).



*Рис. 6. Временные диаграммы работы системы контроля детонации: а – сигнал момента зажигания; б – выходной сигнал датчика детонации; в – сигнал обнаружения детонации; г – сигнал коррекции угла опережения зажигания*





*Рис. 7. Алгоритм изменения угла опережения зажигания ДВС при обнаружении детонации:*

*a – сигнал обнаружения детонации; б – изменение угла опережения зажигания*

В табл. 1 приведены основные функциональные и эксплуатационные характеристики ДД различных отечественных и зарубежных фирм [2].

**Основные функциональные и эксплуатационные характеристики ДД различных отечественных и зарубежных фирм**

Характеристика	Тип ДД и фирма-производитель				
	широкополосные		резонансные		резонансно-широкополосные
	Bosh, ФРГ	ГТ305, Уральский ЭМЗ	D2, "Olson", США	ГТ300 УЭМЗ	DR 562, General motors corp., США
Коэффициент преобразования ускорения в электрическое напряжение, мВ/g	28	32	300	1000	1000
Рабочий диапазон частот, кГц	4–10	4–10	6,6–6,9	7,3–7,7	5,5–6,4
Неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот, дБ	±1,5	±1	±3	±3	±3
Собственная электрическая емкость, нФ	1	1	3	6	3
Основная резонансная частота, кГц	>22	>22	6,8	7,5	6
Максимальная рабочая температура, °С	125	150	125	150	125
Габариты, мм	∅28×18	∅28×18	Под ключ 24×40	Под ключ 24×18	∅35×52
Тип соединения с ЭСАУ Д	Двухпроводное	Двухпроводное	Однопроводное	Однопроводное	Однопроводное

### 3. Расчет пьезоэлектрических датчиков

1) величина заряда:

$$q_x = K_o F_x \text{ (К/Н)}, \quad (1)$$

где  $K_o$  – пьезоэлектрическая постоянная (модуль),;

$F_x$  – усилие, направленное вдоль электрической оси.

2) емкость одной пластины, (пФ):

$$C_o = 0,89 \frac{\epsilon_r \cdot S_x}{d} = 0,89 \frac{\epsilon_r \cdot \pi \cdot D^2}{4d} = 0,89 \frac{\epsilon_r \cdot \pi \cdot a \cdot b}{4d}, \quad (2)$$

где  $C_0$  – емкость одной пластины,;

$\epsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость;

$D$  – диаметр пластины (диска);

$a$  и  $b$  – стороны пластины (прямоугольника);

$d$  – толщина пластины.

3) напряжение между обкладками:

$$U = \frac{10^{12} \cdot n \cdot q_x}{C_{вх} + nC_0} = \frac{q_x \cdot 10^{12}}{C_{вх}/n + C_0} \text{ (пФ)}, \quad (3)$$

где  $C_{вх}$  – емкость измеряемой цепи,;

$n$  – количество пластин.

4) чувствительность датчика:

$$S_d = \frac{U}{F_x} \text{ (В/Н)}, \quad (4)$$

где  $S_d$  – чувствительность датчика,.

### Пример расчета

#### Исходные данные:

Материал – Кварц,  $\epsilon_r = 4,5 \cdot 10^{-11}$ ,  $K_0 = 2,5 \cdot 10^{-12}$  К/Н;  $n = 1$ ;

$D = 1$  см =  $1 \cdot 10^{-2}$  м;  $d = 1$  мм =  $1 \cdot 10^{-3}$  м;  $F_x = 15$  Н;  $C_{вх} = 17$  пФ.

#### Решение:

1)  $q_x = 2,5 \cdot 10^{-12} \cdot 15 = 37,5 \cdot 10^{-12}$  (К);

2)  $C_0 = 0,89 \frac{4,5 \cdot 10^{-11} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-3}} = 3,1$  (пФ);

3)  $U = \frac{37,5 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{12}}{17/1 + 3,1} = 1,9$  (В);

4)  $S_d = \frac{1,9}{15} = 0,12$  (В/Н).

**Задание:**

Определить параметры пьезоэлектрического датчика, выполненного в виде прямоугольника (диска) со сторонами  $a$  и  $b$  (диаметр  $D$ ), толщиной  $d$ , с параллельно соединенными пластинами в количестве “ $n$ ” штук. Исходные данные для расчета взять из таблицы 2, согласно варианту.

Таблица 2

№ варианта	Материал	$\epsilon_r \cdot 10^{-11}$	$K_o \cdot 10^{-12}$ К/Н	$a \cdot b$ , (см <sup>2</sup> ) D, (см)	d (мм)	Fx (Н)	C <sub>вх</sub> (пФ)	n (шт)
1	Кварц	4,5	2,7	D=1	1	20	16,8	1
2	сегн. Соль	205	150	2 x 1	1	30	13,1	1
3	Кварц	4,5	2,7	1 x 1	2	15	20	2
4	тит. Бария	1500	100	2 x 2	3	40	20	2
5	тит. Бария	1500	100	D=1	1	20	52	1

3.2 Произвести расчет результаты расчета свести в таблицу 3.

Таблица 3

$q_x$ , К/Н	C <sub>о</sub> , пФ	U, В	S <sub>д</sub> , В/Н

**Описание экспериментальной установки**

Лабораторная установка, схема которой изображена на рис. 8, выполнена на базе электродвигателя постоянного тока, на приводном валу которого установлен эксцентрик. Эксцентрик представляет собой диск, ось которого смещена по отношению к оси приводного вала двигателя.

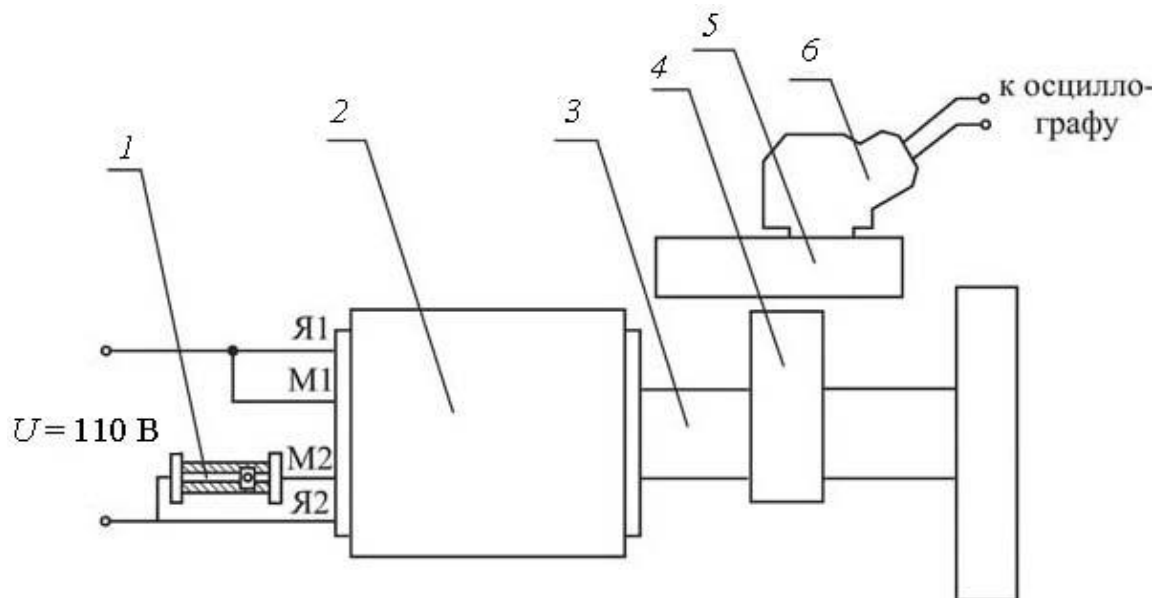


Рис. 3.1. Схема лабораторной установки:

1 – реостат; 2 – электрический двигатель; 3 – выходной вал двигателя; 4 – эксцентрик; 5 – рабочая пластина; 6 – датчик детонации

Регулирование частоты вращения вала электрического двигателя производится по реостатной схеме, для чего последовательно обмоткой возбуждения включен реостат, изменяющий ток в обмотке.

На лицевой поверхности стенда закреплена рабочая металлическая пластина, на которой установлен исследуемый датчик детонации.

Имитация детонации (взрывной ударной волны) в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля производится на лабораторном стенде в виде ударной вибрации рабочей пластины под действием ударов вращающегося эксцентрика.

Имитация изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя автомобиля осуществляется регулированием частоты вращения вала электрического двигателя с помощью реостата.

## 5. Порядок проведения работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия пьезоэлектрических датчиков и зарисовать схему.
2. Произвести расчет датчика в соответствии со своим вариантом. Результаты занести в таблицу.
3. Зарисовать схему лабораторной установки

## **6. Техника безопасности при проведении работ**

При проведении работ соблюдать требования инструкции по охране труда и пожарной безопасности в лаборатории.

## **7. Содержание отчета**

1. Цель работы;
2. Схема пьезоэлектрического датчика;
3. Рабочие формулы, расчет датчика и таблица с результатами расчета;
4. Схема лабораторной установки
5. Выводы

## **8. Контрольные вопросы**

1. Объясните устройство лабораторной установки.
2. Что такое детонация?
3. Каковы причины возникновения и необходимости контроля детонации в ДВС?
4. На каких частотах проявляется детонация в ДВС?
5. Где может устанавливаться пьезоэлектрический датчик детонации?
6. В чем сущность пьезоэффекта?
7. Приведите и обоснуйте основные достоинства пьезоэлектрических датчиков детонации.
8. Как согласуется работа датчика детонации с электронной системой управления ДВС автомобиля?
9. Каким образом совершается контроль детонации в электронной системе автоматического управления двигателем?

## Список литературы

1. Келим Ю. М. Типовые элементы систем автоматического управления. Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2002. — 384 с.: ил. — (Серия «Профессиональное образование»).
2. В.В. Литвиненко, А.П. Майструк Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. — 176 с.: ил.: табл.
3. Соснин Д. А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей:  
Учебное пособие. М.: СОЛОН-Р, 2001, 272 с.
4. В. Н. Ашанин, Г. Ю. Кочеткова. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Информационно-измерительная система автомобиля» , Издательство Пензенского государственного университета, 2009 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу  
«Автоматика» для студентов специальности  
110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в  
агропромышленном комплексе» всех форм обучения

Составитель

Чернухин Роман Владимирович

Печатается в редакции составителя

Подписано к печати

Формат 60 84/16. Бумага офсетная

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч. изд. л. .

Тираж 25 экз. Заказ № 1361 . Цена договорная.

ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.

652050, Юрга, ул. Московская, 17.