

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет  
Кафедра общей физики

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ**

А. Д. Косинов, А. Г. Костюрина

Работа 10

### **ДАТЧИКИ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ И АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие

Новосибирск  
2017

УДК 53

ББК

К 72

Рецензенты

к. т. н. О. А. Брагин, к. т. н. А. М. Задорожный

Издание подготовлено в рамках реализации *Программы развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский государственный университет»* на 2009–2018 годы.

**Косинов А. Д.**

**К 712** Датчики для цифровых и аналоговых измерений (Измери -  
тельный практикум. Работа 10) : учеб. пособие / А. Д.  
Косинов, А. Г. Костюрина ; Новосиб. гос. ун-т. – Новоси  
бирск: ИПЦ НГУ, 2017. – 90 с.

ISBN

Представлено описание комплекса автоматизированных лабора-  
торных работ измерительного практикума по изучению датчиков для  
аналоговых и цифровых измерений, выполняемых студентами физи-  
ческого, геолого-геофизического факультетов и факультета инфор-  
мационных технологий.

При выполнении комплекса работ студенты знакомятся с датчи-  
ками для измерения: температуры, света, магнитного поля, линейно-  
го перемещения, атмосферного давления, характеристик вращения и  
вибраций, проводят соответствующие измерения. В результате вы-  
полнения заданий студенты не только приобретают опыт использо-  
вания стандартных датчиков для измерений, но и знакомятся с осо-  
бенностями реализации цифровых технологий в измерениях.

Работы могут быть использованы при обучении студентов дру-  
гих естественнонаучных и технических факультетов.

УДК 53

ББК

ISBN

© Новосибирский государственный  
университет, 2017

© А. Д. Косинов, А. Г. Костюрина,  
2017

## Оглавление

<b>Предисловие.....</b>	<b>5</b>
<b>Измерение физических величин.....</b>	<b>6</b>
Структура измерительных систем.....	6
Датчики.....	9
<b>Лабораторные работы.....</b>	<b>13</b>
Общие сведения об измерительном стенде.....	13
Подготовка к измерениям.....	14
<b>Работа 10.1. Датчики температуры.....</b>	<b>16</b>
Принцип работы датчиков температуры.....	16
Эксперимент.....	28
Задания.....	29
Содержание отчёта.....	31
<b>Работа 10.2. Тензометрические датчики.....</b>	<b>32</b>
Принцип работы тензометрических датчиков.....	32
Эксперимент.....	33
Задания.....	37
Содержание отчёта.....	37
<b>Работа 10.3. Датчики света.....</b>	<b>38</b>
Принцип работы датчиков света.....	38
Эксперимент.....	43
Задания.....	47
<b>Работа 10.4. Магнитоэлектрические датчики .....</b>	<b>48</b>
Принцип работы датчиков магнитного поля.....	48
Эксперимент.....	51
Задания.....	55
Приложение.....	56

<b>Работа 10.5. Датчики перемещения.....</b>	<b>58</b>
Принцип работы датчиков перемещения.....	58
Эксперимент.....	62
Задания.....	65
<b>Работа 10.6. Датчики вращения .....</b>	<b>66</b>
Принципы работы датчиков вращения.....	66
Эксперимент.....	67
Задания.....	72
Содержание отчёта.....	76
<b>Работа 10.7. Датчики давления.....</b>	<b>77</b>
Принцип работы датчиков давления .....	77
Эксперимент.....	79
Задание.....	82
<b>Работа 10.8. Датчики вибрации.....</b>	<b>83</b>
Принцип работы датчиков вибрации.....	83
Эксперимент .....	85
Задание.....	88
<b>Рекомендуемая литература.....</b>	<b>89</b>

## Предисловие

Измерительный практикум постоянно модернизируется и обеспечивается новым современным оборудованием. Его базовая часть позволяет обучить студентов общим правилам выполнения измерений физических величин с перспективой дальнейшей работы по отраслям. Измерения электрическими приборами и автоматизированными измерительными комплексами есть и будет важнейшей частью деятельности специалистов многих профессий.

Лабораторный стенд "Цифровые и аналоговые датчики: измерения, принципы работы, согласование сигналов", разработанный в НГТУ с использованием оборудования фирмы National Instruments и применения технологии виртуальных приборов, предназначен для демонстрации работы и наблюдения сигналов от некоторых широко используемых в науке и технике датчиков. Измерительные возможности стенда позволяют использовать его для самостоятельного проведения лабораторных работ с другими внешними датчиками, подключаемыми к системе измерения.

В данном пособии описывается восемь лабораторных работ, в которых студенты знакомятся с работой датчиков температуры, тензометрических датчиков, датчиков света, датчиков Холла, датчиков перемещения, вращения, давления и вибрации. Рассматривается порядок выполнения необходимых подключений, соединений и выбор исполняемой работы из главного меню программы.

Получаемые при выполнении работ экспериментальные данные отображаются на мониторе персонального компьютера в виде осциллограмм соответствующих сигналов и/или численных значений измеряемых физических величин. В результате выполнения заданий студенты не только приобретают опыт простого использования стандартных датчиков для измерений, но и знакомятся с особенностями реализации цифровых технологий в измерениях.

## Измерение физических величин

Под измерением физических величин понимается последовательность операций, выполняемых средствами измерения над физическим объектом для получения его физических характеристик. При этом выбирается методика измерений и последовательность аппаратных преобразований, включающих сравнение, масштабирование и аналого-цифровое преобразование.

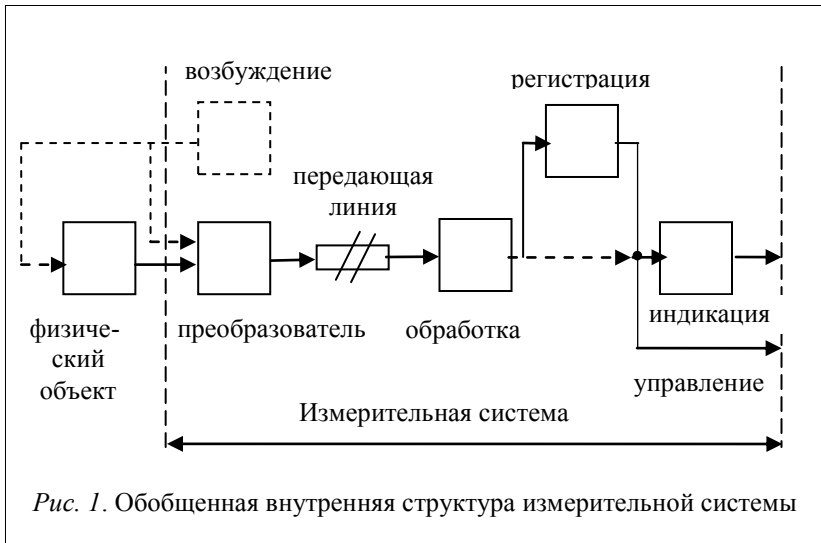
Измерения необходимы для получения количественных данных об объекте измерения (измеряемой величине). При этом желательно, чтобы измерения были *избирательными*, то есть давали информацию только об измеряемой величине без влияния других характеристик объекта и внешних явлений. Измерения должны быть *объективными*, то есть не зависеть от наблюдателя. Чтобы гарантировать объективность измерения необходимо использовать определённые методы и средства измерения (приборы). Причём, прибор должен преобразовать измеряемую величину к виду, который можно легко воспринимать, например, число на алфавитно-цифровом дисплее. Приборы, соединённые по выбранной схеме в цепь, называются *измерительными системами*.

### Структура измерительных систем

Измерительная система – совокупность функционально объединённых измерительных приборов, преобразователей, ЭВМ и других устройств, необходимых для измерения физических величин (рис.1). Измерительная система должна гарантировать избирательность, объективность измерения и наглядность восприятия результата, отражающего характеристику объекта измерения.

Информация, получаемая от измеряемого объекта при проведении эксперимента, может иметь *активную и пассивную* форму. Активная форма информации получается тогда, когда измеряемая величина имеет энергетическую природу. Если же измеряемая величина не является активной, то необходимо использовать *источник возбуждения*, действие которого на объект, вызывает появление отклика (вместе с воздействием) содержащего необходимую информацию.

Далее рассмотрим подсистемы, из которых состоит измерительная система общего вида.



**Преобразователь.** Первым звеном в измерительной системе является преобразователь, который преобразует измеряемую величину в сигнал для последующей передачи, обработки или регистрации. Обязательное условие *измерительного* преобразования – сохранение в выходной величине преобразователя информации о количественном значении измеряемой величины.

Имеются два основных вида преобразователей: активный и пассивный. **Активный преобразователь** непосредственно преобразует одну форму энергии в другую, не needing во внешнем источнике энергии (возбуждении). **Пассивный преобразователь** не может непосредственно преобразовать энергию, но он управляет энергией (возбуждением), которая поступает от другого источника (рис. 1).

Принцип действия измерительных преобразователей может быть основан на использовании практически любых физических явлений.

**По принципу действия преобразователи делятся на:**

- резистивные: потенциметрический, тензопреобразователь (проволочный, фольговый, полупроводниковый),
- ёмкостные,

- индуктивные,
- индукционные,
- магнитоэлектрические: магниторезисторы, на эффекте Холла,
- пьезоэлектрические,
- оптические: фоторезисторы, фотодиоды, фототиристоры, фотоэлементы инфракрасные, радиочастотные;
- термопреобразователи: терморезисторы, термопары, кварцевые датчики, полупроводниковые транзисторы, радиационный пирометр.

Некоторые из них могут преобразовать неэлектрические величины в электрические. Это позволяет использовать преимущества электрических методов измерений и обработку цифровой информации с помощью электронно-вычислительных методов. В таком виде информацию легко передавать на большие расстояния при минимальном воздействии окружающей среды. Возможно осуществлять измерения на расстоянии (недоступные места, агрессивная среда, в атмосфере, при измерении большого числа объектов, которые разнесены на большие расстояния друг от друга).

Как правило, электрический сигнал на выходе преобразователя непригоден для непосредственного наблюдения. Тогда его необходимо подвергнуть различного вида обработке.

**Обработка** сигнала определяется характером задачи. Она может быть линейной, частотно-зависимой (фильтрация) или частотно-независимой (усиление, ослабление). Возможно также выполнение нелинейных операций, например выпрямление, аналого-цифровое преобразование и др.

**Устройство индикации** (дисплей) предназначено для представления результатов измерения человеку-наблюдателю. Устройство индикации может быть аналоговым (электронный луч осциллографа) или цифровым (аналого-цифровой дисплей или светящиеся элементы индикации). Поскольку устройства индикации рассчитаны на визуальное наблюдение, поэтому они являются электрооптическими преобразователями.

Выходной сигнал можно также временно сохранять в памяти и воспользоваться им позднее. В этом случае говорят о регистрации результата измерения.



**Регистрация результатов измерения** производится для того, чтобы они были доступны в любое время, например, при большом числе результатов измерений и необходимости проведения их анализа впоследствии (чёрный ящик в самолете). Иногда повторение измерений невозможно, а без регистрации факт измерения превращается в миф. Чтобы облегчить интерпретацию результатов измерений можно осуществить графическую запись.

**Управление, обратная связь.** Существуют измерительные системы, в которых результат не регистрируется и не воспроизводится способом индикации, а используется для управления процессом. Целью управления процессом является такое регулирование, при котором выходной сигнал соответствует определенным требованиям. Измеряется некоторое число параметров процесса и регулирование осуществляется таким образом, чтобы уменьшить различие между измеряемыми величинами и заданными наперёд значениями.

Различные измерительные системы могут иметь разное число подсистем и иметь иной порядок их расположения. Иногда различные подсистемы могут быть объединены в один измерительный прибор, но могут быть реализованы и как отдельные устройства.

## Датчики

При преобразовании неэлектрической величины в электрическую необходимо затратить энергию. При этом должна сохраняться информация об исходном неэлектрическом явлении. Сохраняющими такую информацию преобразователями, являются измерительные датчики.

Датчиком называется совокупность одного или нескольких измерительных преобразователей и сопутствующих им конструктивных элементов, размещаемая непосредственно на объекте измерения и удалённая от прибора.

Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, информирования, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют измеряемую величину (давление, температуру, массовый расход, концентрацию, частоту, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и др) в сигнал (электрический, оптический, пневматиче-

ский) удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

### Характеристики датчиков

- **Чувствительность** – это выходной сигнал (обычно в вольтах), получаемый при заданном входном сигнале и уровне возбуждения.
- **Порог чувствительности** – наименьший входной сигнал, который может быть измерен.
- **Воспроизводимость** указывает, насколько близки результаты двух измерений одной и той же величины.
- **Точность** – погрешность измерения.
- **Частотная характеристика** – зависимость выходного сигнала от изменений частоты на входе.
- **Динамическая характеристика** – реакция преобразователя/датчика на ступенчатое изменение входного сигнала.
- **Постоянная времени** – временной параметр, которым принято характеризовать время реакции датчика на внешнее импульсное воздействие.
- **Время отклика** – задержка сигнала на выходе по отношению к входному.
- **Линейность** – метрологический параметр, характеризующий относительную погрешность определения коэффициента в линейной зависимости.
- **Устойчивость к шумам** – способность датчика и цепей соединяющих его не воспринимать внешние электромагнитные помехи и шумы.

### Классификация датчиков

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть классифицированы по различным признакам.

#### Зависимости от вида входной (измеряемой) величины:

- датчики механических перемещений (линейных и угловых),
- пневматические,
- электрические,
- расходомеры,

- датчики скорости,
- ускорения,
- усилия,
- температуры,
- давления и др.

**По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают *неэлектрические* и *электрические*:**

- датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения),
- датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока,
- датчики сопротивления (активного, индуктивного или ёмкостного) и др.

**Принципу действия:**

- Оптические (фотодатчики) (инфракрасные, радиочастотные).
- Магнитоэлектрические (на основе эффекта Холла).
- Пьезоэлектрические.
- Тензопреобразователь.
- Ёмкостные.
- Потенциометрические.
- Индуктивные.
- Индукционные.
- Электромагнитные (волноприемники).

**Физическому параметру объекта измерения**

- Датчики давления:
  - для измерения абсолютного давления,
  - для измерения относительного давления.
- Датчики расхода:
  - Механические счетчики расхода,
  - Перепадомеры,
  - Термоанемометр,
  - Ультразвуковые расходомеры,
  - Электромагнитные расходомеры.
  - Кориолисовые расходомеры.
  - Вихревые расходомеры.

- Уровня:
  - Поплавковые,
  - Ёмкостные,
  - Радарные,
  - Ультразвуковые.
- Температуры:
  - Термопара.
  - Термометр сопротивления.
  - Полупроводниковый термистор.
  - Пирометр.
- Концентрации:
  - Кондуктометры.
- Радиоактивности:
  - Ионизационная камера.
  - Датчик прямого заряда.
- Перемещения:
  - Абсолютный шифратор.
  - Относительный шифратор.
- Положения:
  - Контактные,
  - Бесконтактные,
- Фотодатчики:
  - Фотодиод,
  - Фотосенсор.
- Углового положения.
- Вибрации:
  - Пьезоэлектрический,
  - Вихретоковый.

### **Характеру выходного сигнала:**

- Аналоговые,
- Цифровые

### **Количеству входных величин:**

- Одномерные,
- Многомерные.

## Лабораторные работы

### Общие сведения об измерительном стенде

Лабораторный стенд "Цифровые и аналоговые датчики: измерения, принципы работы, согласование сигналов" (рис. 2) разработан с использованием технологии виртуальных приборов National Instruments и предназначен для изучения принципов работы и наблюдения сигналов от различных широко используемых в науке и технике датчиков.



Рис. 2. Лабораторный стенд

Измерительная программа и программа обработки данных разработана в среде графического программирования LabVIEW. Измерительная программа управляет набором цифровых устройств NI cDAQ, которые включают модули аналогового и цифрового вво-

да. Измерительные возможности стенда можно использовать для самостоятельного проведения других лабораторных работ с использованием собственных внешних датчиков, подключаемых к системе.

Измерительная программа и программа обработки имеют простой и интуитивно понятный интерфейс пользователя. Студент может использовать исходные коды виртуальных приборов в среде графического программирования LabVIEW для разработки собственных программных приложений. Программирование в LabVIEW позволяет студенту воспользоваться мощными библиотеками математической обработки поступающих сигналов и удобными средствами ввода и вывода информации.

### Функциональные возможности системы

Предлагаемая система измерений предназначена для выполнения восьми различных лабораторных работ по изучению принципов работы датчиков температуры, тензометрических датчиков, датчиков света, датчиков Холла, датчиков положения, вращения, давления и вибрации. Выбор конкретной работы производится из главного меню программы. Полученные экспериментальные данные отображаются на экране в виде осциллограмм соответствующих сигналов и численных значений измеряемых физических величин.

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зеленый светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться желтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

*Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.*

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева вверху окна "Main.vi" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых *осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам* (рис. 3).

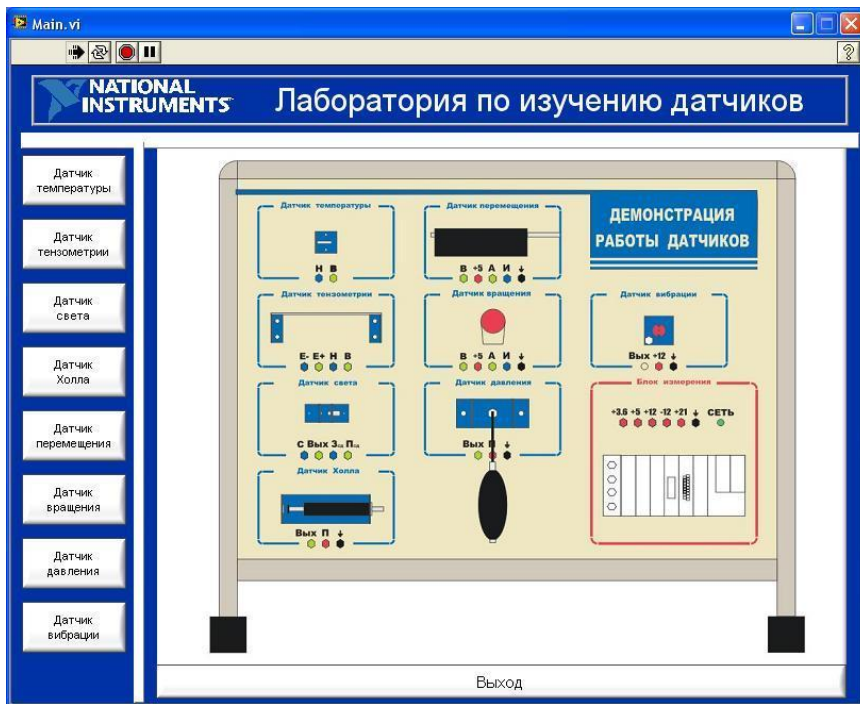


Рис.3. Лицевая панель стенда

Кнопка "Выход" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Работа 10.1

**Датчики температуры**

**Цель работы:** изучение работы датчиков температуры, измерение комнатной температуры, проведение калибровки термопары, получение зависимости сопротивления терморезистора и термисторов от температуры и определение температурного коэффициента термопреобразователей.

**Принципы работы датчиков температуры****Термоэлектрические датчики**

При измерении температуры происходит перенос энергии: она либо отнимается от измеряемого объекта, либо добавляется ему. Последнее происходит в том случае, когда измеряемая температура ниже температуры датчика (этот теплообмен приводит к ошибкам при измерении). Передача энергии от измеряемого объекта к датчику, или наоборот, осуществляется посредством теплопроводности, конвекции или излучения. Перенос тепла в веществе при отсутствии движения называется *теплопроводностью*. В контактных датчиках температуры теплопроводность является основным способом передачи энергии. Передача тепловой энергии движущейся массой называется *тепловой конвекцией*. Передача тепла инфракрасным электромагнитным излучением называется *тепловым излучением*.

В термоэлектрических датчиках существует четыре различных метода преобразования энергии:

- температурной зависимости электрического параметра, например омической (терморезистивные датчики),
- измерение контактной разности потенциалов двух металлов (термопара),
- измерение теплового излучения тела (тепловизоры),
- косвенное измерение температуры, основанное на преобразовании тепловой энергии в электрическую, например, в частоту собственных колебаний кристалла, которая в свою очередь определяет выходную частоту сигнала генератора (используется в термометрах с кварцевым резонатором).

Подробнее рассмотрим наиболее распространенные первые два метода преобразования.



## Резистивные датчики температуры

Электрическое сопротивление любого материала зависит от температуры. Если эта зависимость точно известна и достаточно воспроизводима, то ею можно воспользоваться, переходя от измерения температуры к измерению сопротивления. Резистивные датчики температуры – *терморезисторы*, могут быть выполнены из металлического или полупроводникового материала.

*Металлический термометр сопротивления* представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или пленки и имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры, которую для чистых металлов можно записать в виде степенного ряда:

$$R(T) = R(T_0) \left[ 1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots \right], \quad (1)$$

где  $R(T)$  – сопротивление датчика при температуре  $T$ , а  $R(T_0)$  – его сопротивление при эталонной температуре  $T_0$ . Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  определяются при измерении сопротивления при температурах, соответствующих точкам кипения воды ( $100^\circ\text{C}$ ), затвердевания цинка ( $419,58^\circ\text{C}$ ) и кипения жидкого кислорода ( $-182,96^\circ\text{C}$ ).

Если температурный диапазон не слишком велик, то в формуле (1) достаточно оставить первые два слагаемых. Тогда это уравнение примет вид:

$$R(T) = R(T_0) [1 + \alpha(T - T_0)]. \quad (2)$$

При  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $R_T = R_0(1 + \alpha T)$ , т. е. в малом диапазоне температур зависимость сопротивления от температуры можно считать линейной.

Наиболее распространенный тип термометров сопротивления – платиновые. Это объясняется тем, что платина имеет высокий температурный коэффициент сопротивления, при  $T = 273\text{ K}$   $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Коэффициенты же  $\beta$  и  $\gamma$  малы: при температуре  $273\text{ K}$  они равны  $\beta = -5,83 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$ ,  $\gamma = -3,14 \cdot 10^{-12} \text{ K}^{-3}$ . Диапазон измерения температуры от  $-182^\circ\text{C}$  до  $+630^\circ\text{C}$ .

Достаточно широко используются термометры, выполненные из никеля и меди. Никелевый термометр имеет высокий температурный коэффициент: в диапазоне температур  $(0 - 100)^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Диапазон измеряемых температур никелевыми термометрами ( $0 - 300$ )  $^{\circ}\text{C}$ . Медные термометры используются в температурном диапазоне от  $-150$   $^{\circ}\text{C}$  до  $+150$   $^{\circ}\text{C}$ . Их линейность достаточно хороша, но удельное сопротивление и температурный коэффициент зависят от примесей и деформации.

Сопротивление чистого металла обусловлено взаимодействием свободных электронов проводимости с колеблющимися атомами кристаллической решетки. С повышением температуры амплитуда колебаний кристаллической решетки увеличивается, что приводит к уменьшению средней длины свободного пробега и сокращению времени между столкновениями. Поскольку время между столкновениями обратно пропорционально температуре, то сопротивление пропорционально абсолютной температуре. Сопротивление чистого металла, у кристаллической решетки которого нет примесей, имеет положительный температурный коэффициент  $\alpha$ .

Достоинства **термометров** сопротивления: хорошая воспроизводимость, стабильность, точность, линейность.

Все термометры сопротивления должны иметь влагозащиту.

В **полупроводниках изменение сопротивления** связано с изменением числа свободных зарядов. Чем выше температура, тем большее число электронов из валентной зоны преодолевают запрещенную зону и попадают в зону проводимости. Число свободных носителей заряда увеличивается согласно соотношению:

$$n = n_0 e^{-E_g/2kT},$$

где  $E_g$  – энергия, необходимая для преодоления запрещенной зоны,  $k$  – постоянная Больцмана.

Для идеальных полупроводников (количество дырок и электронов одинаково) зависимость сопротивления  $R$  от температуры ( $T$   $^{\circ}\text{K}$ ) имеет вид:

$$R(T) = A \exp(b/T), \quad (3)$$

где  $A$  и  $b$  – постоянные, зависящие от свойств материала и геометрических размеров. Из уравнения (3) следует, что *при повышении температуры сопротивление полупроводника очень быстро уменьшается*. Чувствительность полупроводникового датчик на один – два порядка больше, чем металлического (см. табл. 1). Такой чувствительный к температуре полупроводниковый резистор, называют **термистором**.

**Примечание.** Из соотношения (3) следует, что при температуре абсолютного нуля материал/полупроводник становится изолятором, так как нет электронов, обладающих достаточной энергией, для преодоления запрещенной зоны.

Таблица 1

### Характеристики некоторых термопреобразователей

Параметр	Термометр сопротивления	Термопара	Термистор
Чувствительность	0,1 – 10 Ом/ $^{\circ}$ С	10–50 мкВ/ $^{\circ}$ С	0,1-1 кОм/ $^{\circ}$ С
Стабильность	0,01%	0,5%	1%
Диапазон температур	–182 до +630 $^{\circ}$ С	от –200 до +1600 $^{\circ}$ С	от –100 до +350 $^{\circ}$ С

Термисторы изготавливаются из керамических полупроводников, состоящих, как правило, из оксидов переходных металлов. Сопротивления термисторов зависят от химического состава и степени окисления и находятся в пределах от долей Ом до многих мегаОм.

Имеется два типа термисторов: ОТК – с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления и ПТК – с положительным коэффициентом.

### ***Термисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ОТК)***

Для проведения прецизионных измерений используются термисторы *только с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления*. Они готовятся из материалов с высоким удельным сопротивлением с добавлением небольшого количества ионов другой валентности.

Поскольку термисторы имеют сложный состав и неидеальное распределение зарядов, то точного уравнения для описания зависимости сопротивления от температуры не существует. Для ОТК термисторов в ограниченном температурном диапазоне  $R-T$  зависимость можно описать следующим приближенным уравнением:

$$R = R_0 e^{b(1/T - 1/T_0)}, \quad (4)$$

где  $T$  и  $T_0$  – абсолютные температуры в градусах Кельвина,  $R$  и  $R_0$  – соответствующие им сопротивления,  $b$  – константа, определяемая

после измерения сопротивления при двух известных температурах, имеет размерность градус Кельвина, типовые значения находятся в интервале от 3000 до 5000 К. Поскольку  $b$  зависит от материала термистора и изменяется с температурой, то уравнение (4) применимо только в определенном интервале температур.

Температурный коэффициент термистора  $\alpha$  может быть найден при дифференцировании уравнения (4):

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{dR_0}{dT} = -\frac{b}{T^2}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что чувствительность термистора  $\alpha$  отрицательна, зависит как от  $b$ , так и от температуры и её значение быстро уменьшается с увеличением температуры.

Достоинствами термисторов является: высокая чувствительность, малые размеры и разнообразие форм. По конструктивным параметрам термисторы делятся на: бусиновые (0,1–1 мм), дисковые (2,5–18 мм), цилиндрические (3–40 мм) и с пленочным покрытием (толщина 0,2–1 мм). Выпускаются бусиновые термисторы диаметром до 0,07 мм с выводами толщиной 0,01 мм. Такие миниатюрные датчики позволяют измерять температуру внутри *кровеносных сосудов* или *растительных клеток*. Последние достижения тонкопленочных технологий позволяют изготавливать термисторы методом печатного монтажа на керамических подложках.

*Недостатки* – нелинейная зависимость сопротивления от температуры, малая стабильность.

Принцип работы рассмотренных термоэлектрических датчиков основан на изменении сопротивления, измерение которого осуществляется с помощью мостовой схемы, которая, как правило, располагается на некотором расстоянии от датчика. Соединение датчика с мостовой схемой производится кабелем, который имеет собственное сопротивление, также зависящее от температуры. Поэтому температура окружающей среды будет вносить вклад в результат измерения. Чувствительность к температуре окружающей среды можно уменьшить, добавив в измерительную систему два дополнительных провода, получив при этом четырехпроводную схему.

Поскольку сопротивление термисторов значительно выше, чем у металлических термометров сопротивления, то для их измерения может применяться двухпроводная схема включения.

### **Термисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТК)**

Термисторы с положительным температурным коэффициентом выполняются на базе поликристаллических керамических материалов (титанат бария или твердые растворы титаната бария и стронция), обладающих высоким удельным сопротивлением, и легируемых примесями для придания им полупроводниковых свойств. При температурах, *превышающих точку Кюри*, ферроэлектрические свойства этих материалов меняются очень быстро, что приводит к *резкому увеличению сопротивления*.

На рис. 1 показаны температурные зависимости сопротивления для трех типов резистивных датчиков: РДТ – резистивного датчика температуры (металлического термометра/датчика температуры), термистора с отрицательным температурным коэффициентом – ОТК и термистора с положительным температурным коэффициентом – ПТК.

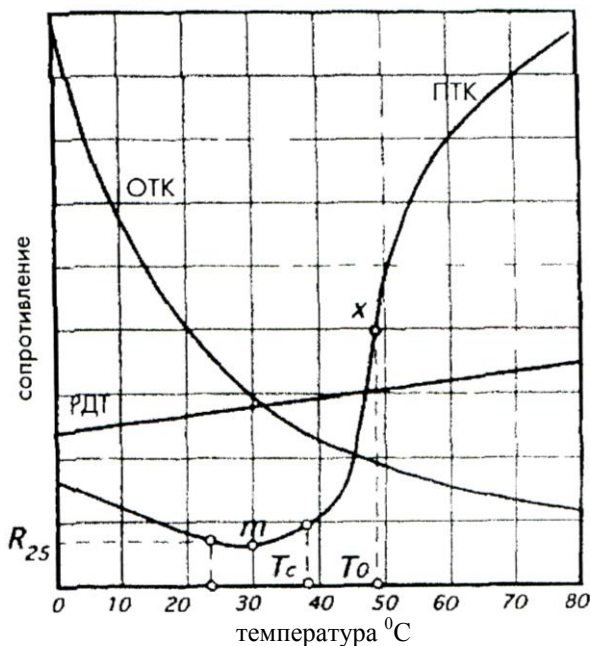


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления для терморезисторов: РДТ, ОТК, ПТК

Если для термометров сопротивления и терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом зависимость сопротивления от температуры, хотя бы в приближенном виде, но существует, то для термисторов ПТК типа математическую аппроксимацию подобрать очень сложно. Поэтому для них обычно приводятся следующие характеристики.

- Сопротивление  $R_{25}$  при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  (см. рис.1).
- Минимальное сопротивление  $R_m$ , при котором термистор меняет знак температурного коэффициента (точка  $m$ ).
- Температура перехода  $T_c$ , с которой начинается быстрое изменение сопротивления. Она приблизительно совпадает с точкой Кюри материала. Значения температуры перехода обычно лежат в интервале  $(30 - 160)^{\circ}\text{C}$ .
- Температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$ , определяемый по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T},$$

сильно зависит от температуры, и, как правило, определяется в точке  $x$ , где он имеет максимальное значение. Максимальное значение  $\alpha$  может достигать  $2/^{\circ}\text{C}$ , что означает 200% изменение сопротивления на  $1^{\circ}\text{C}$ .

Термисторы ПТК типа, как правило, используются при температурах превышающих температуру окружающей среды, например:

- В устройствах тепловой защиты/системах сигнализации.
- В устройствах защиты электронных схем (не разрушаемые предохранители).
- В миниатюрных термостатах с саморазогревом, используемых в микроэлектронике, биомедицине, химических исследованиях и т. д.

В заключение отметим, что терморезисторы относятся к классу датчиков абсолютной температуры, то есть их показания соответствуют абсолютной температурной шкале.

## Термопара

Термопара – активный термоэлектрический преобразователь температуры, применяемый в измерительных и преобразовательных устройствах, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Термопары относятся к классу относительных датчиков, поскольку их выходное напряжение определяется разностью температур между двумя спаями и практически не зависит от абсолютной температуры каждого соединения.

### Принцип работы термопары

Если два различных металла/проводника привести в соприкосновение друг с другом на атомном уровне, то возникнет разность потенциалов (контактная разность потенциалов), которая зависит от природы металлов и температуры. Возникновение разности потенциалов обусловлено тем, что в разных металлах энергия и плотность свободных электронов не одинакова. Следовательно, если два разнородных проводника (А, Б) соединить в одной точке (рис. 2 а), то свободные электроны за счёт диффузии будут перемещаться через место соединения, при этом электрический потенциал металла принявшего электрон становится отрицательным, а материала отдавшего электрон – положительным. Разные концентрации электронов с двух сторон соединения создают электрическое поле, уравнивающее процесс диффузии и в результате устанавливается некоторое равновесие.

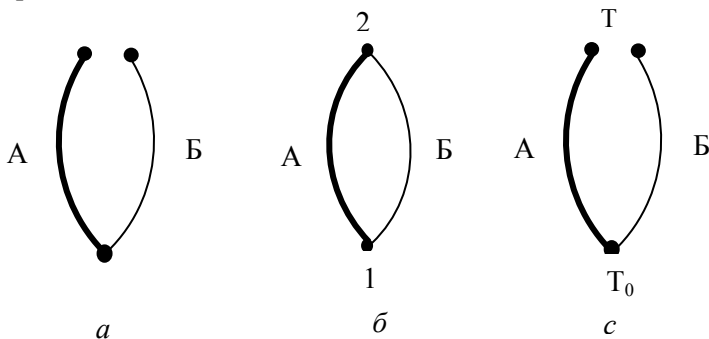


Рис. 2. Термопара

Если контур замкнут (рис. 2, б) и оба соединения (1, 2) находятся при одинаковой температуре, то электрические поля взаимно унич-

тожаются, т. е. ( $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ ). Если контур разомкнут (рис. 2, с) и соединения находятся при разных температурах ( $T_0 \neq T$ ), то между ними возникнет разность потенциалов (термоЭДС), аналитическое выражение для которой можно записать в виде степенного ряда от разности температур ( $T - T_0$ ):

$$\mathcal{E}(T) = \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2 (T - T_0)^2 + \dots + \alpha_n (T - T_0)^n, \quad (6)$$

где  $T_0$  – заданная температура калибровки (температура холодного спая),  $\alpha_n$  –  $n$ -ый температурный коэффициент (коэффициент Зеебека). При увеличении  $n$  это выражение будет более точно описывать поведение термопары.

Каждая термопара характеризуется собственным рядом *температурно-независимых* коэффициентов  $\alpha_n$  (см. табл. 2) и, соответственно, разность потенциалов, возникающая между свободными концами спаянных проводников, так же будет различной (см. рис. 3).

Таблица 2

### Характеристики некоторых термопар

Термопара	Обозначение	Коэффициент термоэдс, мкВ/К (при 25 °С)	Диапазон рабочих температур, °С
Платинородий/ платина	R	6,0	от 0 до +1550
Железо/ константан	J	51,7	от –270 до +1000
Медь/ константан	T	40,9	от –270 до +600
Хромель/ алюмель	K	40,6	от –270 до +1300
Хромель/ константан	E	60,9	от –200 до +1000
Хромель/ копель	L	63	от –200 до +600



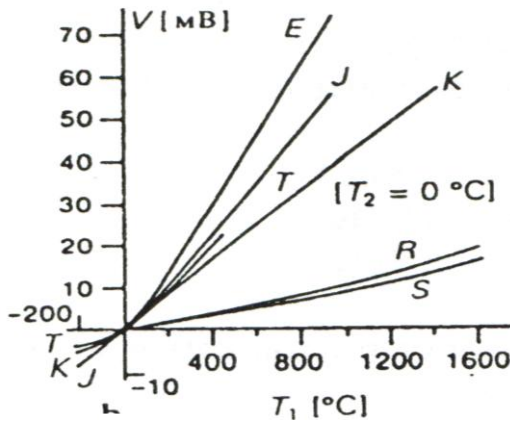


Рис. 3. Характеристики некоторых термопар

Если измерения производятся в сравнительно небольшом интервале температур, то можно в первом приближении считать зависимость (5) линейной и  $\alpha = \text{const}$ . Тогда, термостатируя «холодный» спай при  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , измеряемую температуру можно рассчитать по формуле:

$$T = (\mathcal{E} / \alpha) ^\circ\text{C}.$$

При подборе материалов для термоэлектродов стремятся к тому, чтобы чувствительность термопары была максимальной и не зависела от температуры.

*Наилучшей линейностью* характеристики среди термопар с термоэлектродами из неблагородных металлов обладает *хромель-алюмелевая* (ХА) термопара ( $\alpha = 40$  мкВ/К при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 43$  мкВ/К при  $500^\circ\text{C}$ ), *наивысшей чувствительностью* – *хромель-копелевая* (ХК) термопара ( $\alpha = 63$  мкВ/К при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 88$  мкВ/К при  $500^\circ\text{C}$ ).

**Подключение измерительного прибора.** Для измерения термо-ЭДС необходимо к свободным концам термопары подключить измерительный прибор (потенциометр или милливольтметр с большим входным сопротивлением).

Возможны два способа подключения термопары к измерительному прибору (рис. 4): простой (а) и дифференциальный (б).

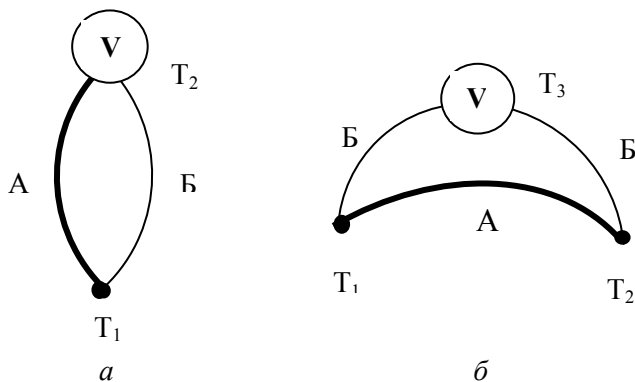


Рис. 4. Схема подключения измерительного прибора к термопаре

В первом случае измерительный прибор подключается непосредственно к двум термоэлектродам. При этом в месте подключения термоэлектродов к вольтметру/измерителю возникает дополнительная контактная разность потенциалов. В результате на вход измерительного прибора поступает сумма сигналов от рабочей термопары (термоЭДС) и дополнительная контактная разность потенциалов, возникшая в местах подключения термопары к измерителю.

При такой схеме подключения измерителя необходимо использовать специальные согласующие разъёмы, в которых компенсируется контактная разность потенциалов. Данный способ подключения термопары можно использовать только с такими разъёмами или с их аналогами.

Во втором случае (рис. 4, б) измерительный прибор включается в разрыв одного из проводников термопары. В результате получается встречное включение двух одинаковых термопар, при котором контактные ЭДС на клеммах измерительного прибора взаимно компенсируются (если находятся при одинаковой температуре), так как они равны по величине и противоположны по знаку. Такая термопара называется дифференциальной.

Дифференциальную термопару можно использовать для измерения разности температур между различными объектами или в разных точках одного объекта, то есть для измерения *относительного* значения температуры. Обычно один из спаев помещают в термостат с известной температурой, что позволяет измерить и определить температуру объекта при изменении его теплового состояния.

Если последовательно соединить несколько ( $n$ ) термопар, то получим *термоэлектрическую батарею*. ТермоЭДС такого прибора в  $n$  раз выше, чем у обычной термопары, соответственно, в  $n$  раз выше и чувствительность.

Современная тонкоплёночная технология позволяет получать дешёвые и удобные в употреблении термоэлектрические батареи с большим числом термопар, сосредоточенных на малой площади.

Измерение температуры с использованием термопары можно проводить как контактным, так и бесконтактным методами. При бесконтактном методе чувствительным элементом является зачернённая пластинка небольшого размера, а термопара или батарея термопар подсоединяется к ней с тыльной стороны.

Измерение температуры с помощью термопар имеет широкое распространение благодаря надёжной конструкции датчика, простоте, удобству монтажа, возможности измерения практически локальной температуры.

*Достоинствами термопар* являются малая инерционность, возможность измерения небольшой разности температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2200 °С) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры (на уровне  $\pm 0,01$  °С), вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для регистрации измерений.

При использовании терморезисторов/термопар, как и любых других контактных преобразователей, надо иметь в виду, что он измеряет не температуру тела/объекта, с которым он приведен в тепловой контакт, а температуру своего чувствительного элемента. Эти температуры могут отличаться. Так же необходимо учитывать инерционность термодатчика. Например, при внесении терморезистора в среду с температурой  $T_{cp}$  его температура будет изменяться во времени  $t$  по закону:

$$T = T_0 + (T_{cp} - T_0) \cdot \left[ 1 - \exp(-t/\tau) \right],$$

где  $T_0$  – начальная температура датчика до внесения в среду, а  $\tau$  – его постоянная времени. Для проволочного датчика  $\tau$  может составлять от 0,1 до 1с.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков, термопара, терморезистор (катушка), термисторы с отрицательным и положительным температурным коэффициентом, мультиметр VC97 – 4 шт., нагреватель, нуль-термостат.

### Выполнение лабораторной работы

#### Подключение

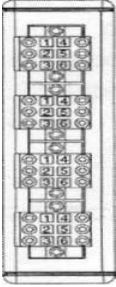
Перед тем, как начать выполнение лабораторной работы, следует подключить датчик температуры, установленный на стенде, к измерительному модулю **NI-9219**. Необходимые подключения приведены ниже:

Ch 0

Ch 1

Ch 2

Ch 3



1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Сигнал Н	Контакт 4
Сигнал В	Контакт 5

**NI-9219**

Для выполнения лабораторной работы нажмите кнопку "**Датчик температуры**", в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 5).

На лицевой панели представлены управляющие элементы **Минимальное значение (C)** и **Максимальное значение (C)**, при помощи которых можно задать температурную шкалу для аналогового термометра, изображенного на экране (определяя тем самым его точность). Наверху, рядом с аналоговым термометром выводится цифровое (более точное) значение измеренной температуры.

Отдельный управляющий элемент **Тип термопары** позволяет задать тип применяемой термопары. На учебном стенде установлена термопара К-типа, которой и соответствует значение этого управляющего элемента.

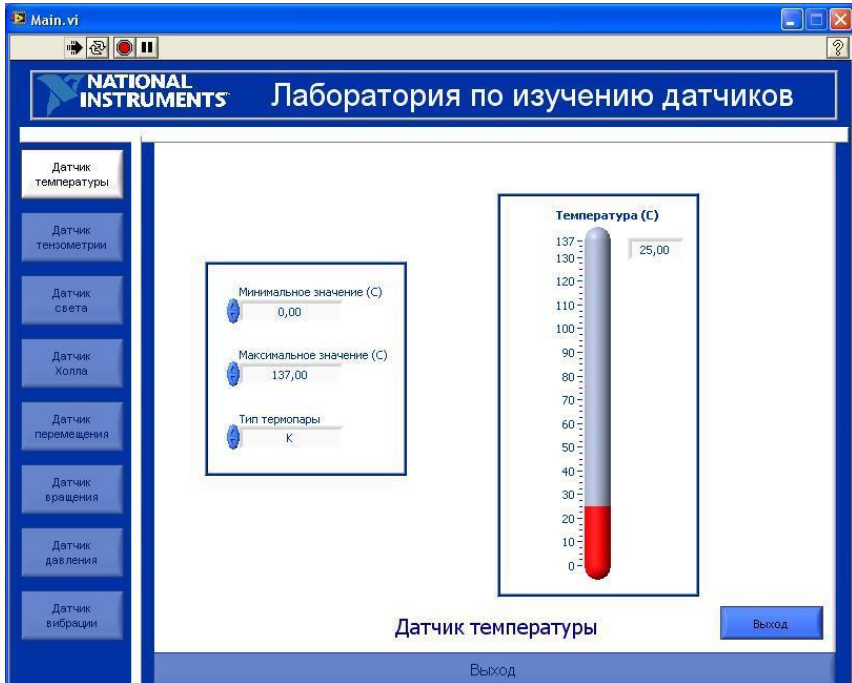


Рис 5. Лицевая панель «датчик температуры»

В случае подключения к измерительной системе внешних термодатчиков другого типа для получения верных измерений следует задать соответствующее значение этого параметра.

Можно воспользоваться высокоточным измерительным оборудованием, присутствующим на стенде, для производства дополнительных работ по измерению температуры с использованием внешних датчиков как термодатчиков типа, так и терморезисторов (с соответствующими схемами возбуждения).

## Задания

1. Используя встроенную в стенд термодатчик, проведите измерение комнатной температуры. Измерьте комнатную температуру в той же точке другим измерителем температуры. Сравните полученные данные.

2. Подключите к стенду (модуль NI 9219 контакты 4 и 5) другую термопару с неизвестными параметрами и измерьте комнатную температуру. Зная показания двух термопар и чувствительность эталонной, определите тип (чувствительность) термопары с неизвестными параметрами.

3. Поместите катушку, термисторы с ОТК и с ПТК, а так же термопару в нагреватель, и получите зависимость соответствующих сопротивлений  $R$  от температуры  $T$  в интервале от 7 до 97 °С, измерьте сопротивления и температуру мультиметрами VC97.

***Исходные экспериментальные данные по всем датчикам должны быть занесены в таблицу.***

4. Для катушки постройте график зависимости  $(R/R_0 - 1)$  от  $(T - T_0)$ , из которого определите температурный коэффициент  $\alpha$  металла (тип металла). Сравните с табличным значением.

5. Для термистора с ОТК постройте график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $T$ . Затем постройте график зависимости:  $\ln(R / R_0)$  от  $(1/T - 1/T_0)K^{-1}$ , из которого определите константу  $b$ . Используя полученное значение  $b$  формуле (5) рассчитайте температурный коэффициент  $\alpha$  (чувствительность датчика температуры).

6. Для термистора с ПТК постройте график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $T$  во всём диапазоне изменения температуры, из которого определите:

- температуру  $T_c$ , после которой начинается быстрое изменение сопротивления,
- величину максимального температурного коэффициента.
- величину сопротивления  $R_m$ , при котором меняется знак температурного коэффициента.

***Примечание. Для определения  $R_m$  рекомендуется дополнительно построить график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $T$  в интервале температур от минимального значения до температуры перехода  $T_c$  (или ~ до 70 °С)***

## Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Величину комнатной температуры.
2. Чувствительность термопары с указанием погрешности.
3. Для терморезистора (катушки): график зависимости  $(R/R_0 - 1)$  от  $(T - T_0)$  и температурный коэффициент (чувствительность) термометра сопротивления.
4. Для термистора с отрицательным температурным коэффициентом: график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $T$ , аналитическое выражение этой зависимости, а так же график зависимости  $\ln(R/R_0)$  от  $(1/T - 1/T_0)$ , и значение постоянных  $a$ ,  $a$  и  $b$ .
5. Для термистора с положительным температурным коэффициентом: график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $T$ , значения  $R_m$ ,  $T_c$ , величину максимального температурного коэффициента  $\alpha_{\text{макс}}$ .
6. Значения температуры кипения воды, полученные в п. 3, 4.

## Работа 10.2

**Тензометрические датчики**

**Цель работы:** изучение работы тензометрических датчиков, получение зависимости выходного напряжения от величины изгиба пластинки и направления действующей на пластинку силы.

**Принцип работы тензометрических датчиков**

Тензометрический датчик (тензодатчик) используется для измерения деформации различных конструкций. Существует несколько способов измерения деформаций: *тензорезистивный, оптико-поляризационный, оптоволоконный, или посредством считывания показаний с линейки механического тензодатчика*. Среди электронных тензодатчиков наибольшее распространение получили тензорезистивные датчики.

**Тензорезистивный** датчик – устройство, содержащее специальную упругую конструкцию, с закреплёнными на ней тензорезистором и другими вспомогательными деталями. После калибровки установки, по изменению сопротивления тензорезистора можно вычислить степень деформации, которая будет пропорциональна силе, приложенной к конструкции.

**Принцип действия тензорезистора** заключается в изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации. Поскольку изменения сопротивления малы, то для их непосредственного измерения требуются прецизионные усилители или АЦП.

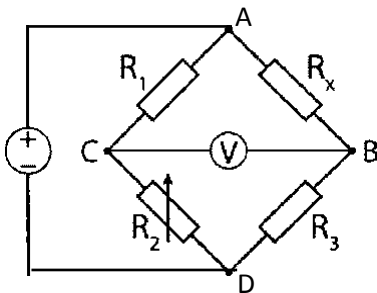


Рис. 1. Измерительный мост с тензодатчиком  $R_x$

Для измерения небольших изменений сопротивления используется мостовая схема (рис. 1). Принцип мостового метода основан на взаимной компенсации сопротивлений двух звеньев, одно из которых включает измеряемое сопротивление. В момент равновесия моста показания измерительного прибора должны быть равны нулю.



На схеме  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , и  $R_x$  – плечи моста, AD – диагональ питания, CB – измерительная диагональ;  $R_x$  – неизвестное/измеряемое сопротивление;  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  – известные сопротивления, причём значение сопротивления  $R_2$  может регулироваться. Если отношение сопротивлений ( $R_1 / R_2$ ) равно отношению сопротивлений другого плеча ( $R_x / R_3$ ), то разность потенциалов между двумя средними точками будет равна нулю, и ток между ними не будет протекать. Сопротивление  $R_2$  регулируется до получения равновесия, а направление протекания тока показывает, в какую сторону нужно регулировать  $R_2$ .

С помощью чувствительного вольтметра момент равновесия можно установить с большой точностью, и если сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  имеют небольшую погрешность, то  $R_x$  может быть измерено достаточно точно, так как даже небольшие изменения  $R_x$  вызывают заметное нарушение баланса всего моста.

## Эксперимент

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зеленый светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться желтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

*Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.*

## Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева вверху окна "Main.vi" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых *осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам* (рис. 2).

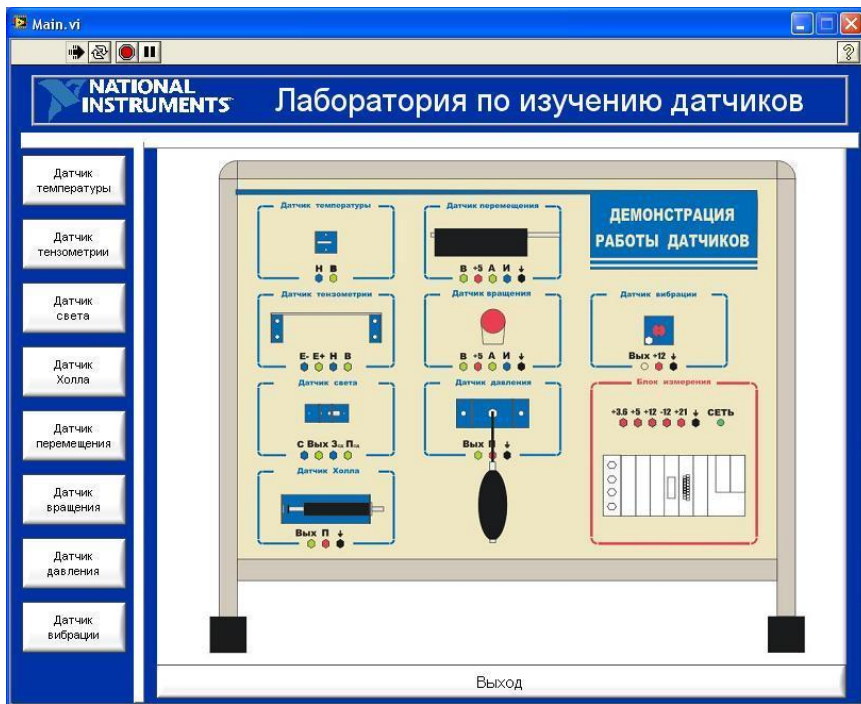


Рис.2. Лицевая панель стенда

Кнопка "Выход" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

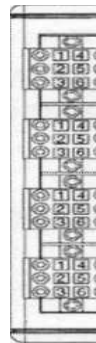
## Выполнение эксперимента

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков.

### Подключения

Подключите тензометрический датчик, установленный на стенде, к измерительному модулю NI-9219. Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал «Е-»	Контакт <b>5</b>
Сигнал «Е+»	Контакт <b>3</b>
Сигнал «Н»	Контакт <b>6</b>
Сигнал «В»	Контакт <b>4</b>



Ch 0

Ch 1

Ch 2

Ch 3

**NI-9219**

Ø	<b>1</b>	<b>4</b>	Ø
Ø	<b>2</b>	<b>5</b>	Ø
Ø	<b>3</b>	<b>6</b>	Ø

Для выполнения лабораторной работы нажмите на стенде кнопку **"Датчик тензометрии"**, в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 3).

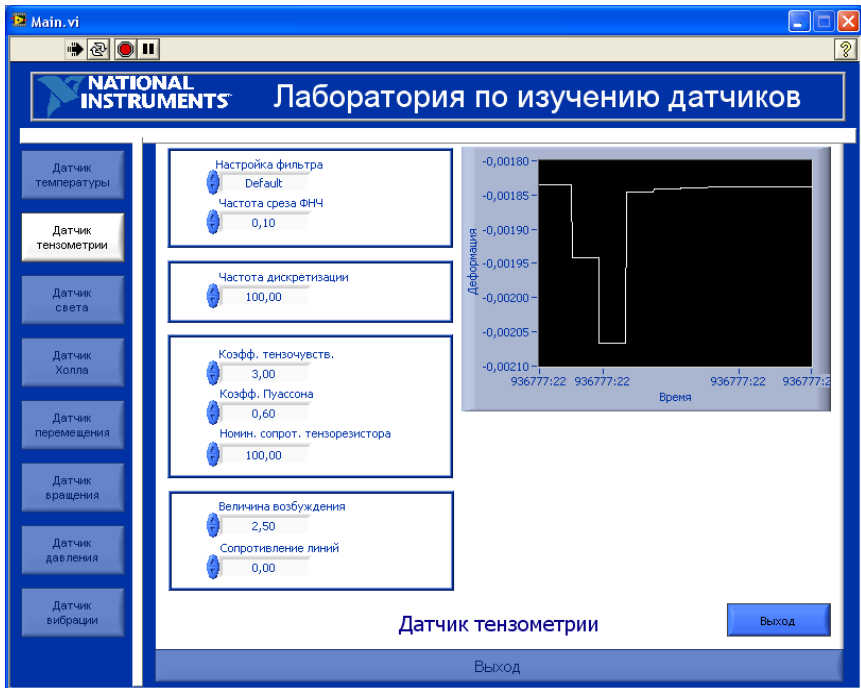


Рис.3. Лицевая панель «датчик тензометрии»

На лицевой панели представлены несколько блоков с управляющими элементами. Первый блок задает параметры фильтра, применяющегося при обработке полученных данных: **Настройка фильтра** и **Частота среза ФНЧ**. В следующем блоке задаётся параметр **Частота дискретизации**, используемый при оцифровке аналогового сигнала, поступающего с тензометрического моста. Следующий блок позволяет задать параметры, специфичные для конкретного применённого тензодатчика: **Коэффициент тензочувствительности**, **Коэффициент Пуассона**, **Номинальное сопротивление тензорезистора**. Эти параметры должны быть заданы в случае подключения к системе внешних тензодатчиков. И, наконец, в последнем блоке задаются параметры, специфичные для измерительной системы: **Величина возбуждения** (напряжение, подаваемое к диагонали AD моста) и **Сопротивление линий** (измерительных проводов).

### **Задания**

1. Используя встроенный в стенд тензорезистор, проведите измерение величины деформации:

- при различных прилагаемых усилиях,
- при изменении направления действующего усилия,
- при различных временах действия давления на пластину.

2. Проконтролируйте визуально величину смещения и порог срабатывания тензодатчика. Сравните чувствительность глаза и датчика.

### **Содержание отчёта**

Отчет должен содержать выводы по выполненным заданиям.

1.Объяснение зависимости величины деформации от прилагаемого усилия.

2. Графики зависимости деформации от направления действующей силы.

3. Изменение формы графика от времени действующего усилия.

## Работа 10.3

**Датчики света**

**Цель работы:** ознакомление с работой оптических датчиков, получение зависимости сопротивления фоторезистора от интенсивности падающего света.

Оптический диапазон спектра электромагнитных волн занимает интервал длин волн 1 мм – 1 нм. Обычно его делят на три поддиапазона: ультрафиолетовый (1 нм – 0,38 мкм), видимый (0,38–0,78 мкм), и инфракрасный (0,78 мкм – 1 мм). Рабочим диапазоном полупроводниковых датчиков является область длин волн 0,2 – 20 мкм.

**Принципы работы датчиков света**

В качестве датчиков света используются фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры и др.

**Фоторезистор** – это полупроводниковый прибор, принцип действия которого основан на явлении *фотопроводимости*, то есть на изменении проводимости полупроводникового материала под действием светового излучения. Это происходит потому, что при действии на полупроводник электромагнитного излучения светового диапазона часть электронов материала приобретает энергию, достаточную для разрыва валентной связи в атоме и перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости

Возбужденные электроны через некоторое время теряют избыток энергии и возвращаются в валентную зону. Среднее время пребывания электрона в виде свободного носителя заряда называется *временем жизни*, процесс его возвращения в валентную зону – *рекомбинацией*. При непрерывном воздействии излучения в материале устанавливается динамическое равновесие, при котором число генерируемых свободных электронов равно числу рекомбинирующих. Генерация свободных носителей заряда обуславливает уменьшение сопротивления (или увеличение проводимости) полупроводника.

**Принцип работы фоторезистора.** Фоторезистор является пассивным преобразователем, поэтому для преобразования оптического излучения в электрический сигнал необходимо использовать дополнительный источник питания (рис.1). При включении фоторезистора в электрическую цепь через него будет протекать ток  $I$ . В от-

существование освещения (световой поток  $\Phi = 0$ ) сопротивление фоторезистора большое (порядка  $10^6 - 10^7$  Ом), поэтому темновой ток будет иметь малую величину ( $\sim 10^{-6}$  А). При действии оптического излучения ток в цепи увеличится в результате появления фототока  $I_\Phi$ .

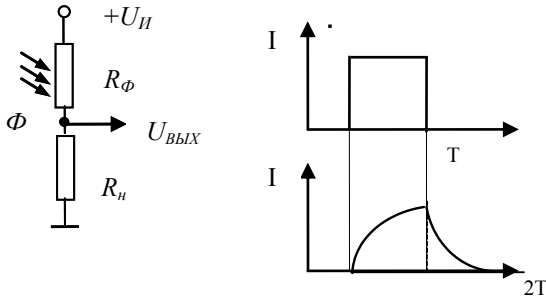


Рис. 1. Схема включения фоторезистора

Рассмотрим работу фоторезистора при импульсном воздействии излучения. Импульс светового потока генерирует в фоторезисторе  $R_\Phi$  носители заряда, снижающие его сопротивление на время жизни носителя. Величина тока в цепи  $I_\Phi$  возрастает пропорционально световому потоку, соответственно, изменяется падение напряжения на сопротивлении  $R_H$  на величину равную  $\Delta U = I_\Phi R_H$ . Процесс нарастания и спада фототока в относительных единицах показан на рис. 1.

**Примечание.** Модуляция интенсивности света может быть получена, например, с помощью непрозрачного вращающегося диска со щелями. Если ширина щелей равна ширине непрозрачных промежутков между ними, то полупроводник освещается в течение некоторого времени  $T$ , затем такое же время интенсивность подсветки равна нулю. Вследствие изменения проводимости полупроводника в цепи возникает переменный ток, а на сопротивлении  $R_H$  — переменное напряжение, которое можно зарегистрировать, например, осциллографом. Зная параметры цепи можно найти фотопроводимость и её изменение во времени. Начальный участок кривой нарастания — линейный.

Важнейшими параметрами фоторезисторов являются:

- **интегральная чувствительность** — отношение изменения напряжения на единицу мощности падающего излучения (при номинальном значении напряжения питания);

- *порог чувствительности* – величина минимального излучения, регистрируемого фоторезистором, отнесённая к единице полосы рабочих частот;
- *постоянная времени* – нарастания и спада фототока; ( $10^{-2}$  -  $10^{-9}$  с);
- *спектральная чувствительность* – чувствительность фоторезистора к излучению определённой длины волны.
- *темновое сопротивление*;
- *диапазон рабочих частот (длин волн)*,

При изготовлении фоторезисторов используют полупроводниковые материалы с шириной запрещённой зоны, подбираемой в зависимости от длины волны регистрируемого светового излучения.

Для регистрации *видимого света* используются фоторезисторы на основе кадмия: селенид кадмия CdSe, сульфид кадмия CdS, и селена Se. Для регистрации *инфракрасного излучения* используются Ge (чистый или легированный примесями Au, Cu или Zn), Si, PbS, PbSe, PbTe, InSb, InAs, HgCdTe, часто охлаждаемые до низких температур. Полупроводник наносится в виде тонкого слоя на стеклянную или кварцевую подложку, или вырезается в виде тонкой пластинки из монокристалла.

Высокая чувствительность, стабильность фотоэлектрических характеристик во времени, простота устройства, способность работать в широком диапазоне механических и климатических воздействий обусловили широкое использование фоторезисторов в приборах и устройствах оптоэлектроники.

Фоторезисторы используются в первичных преобразователях измерительных систем, оптических приёмниках инфракрасного диапазона, оптоэлектронных парах и др.

**Фотодиод** – приёмник оптического излучения, преобразующий попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов происходящих в *p-n* переходе (на границе между полупроводниками *p*- и *n*- типа). Под действием квантов излучения в *n*- области происходит генерация свободных носителей (электронно-дырочных пар), которые переносятся через *p-n*-переход внешним смещением. Ширина переходной области выбирается такой, чтобы дырки не успевали рекомбинировать до перехода в *p*-область. Ток фотодиода определяется током неосновных носите-



лей – дрейфовым током. Быстродействие фотодиода определяется скоростью разделения носителей и ёмкостью  $p-n$  перехода.

Кроме  $p-n$  фотодиодов существуют и  $p-i-n$  фотодиоды, в которых между  $p$ - и  $n$ - слоями находится слой  $i$  малой концентрации носителей. При освещении именно в нём рождаются пары носителей. Фотодиоды с  $p-i-n$  переходом имеют малую ёмкость перехода и более высокое быстродействие, чем обычный диод.

Фотодиод может работать в двух режимах:

*фотогальванический* – без внешнего напряжения,

*фотодиодный* – с внешним обратным напряжением.

### Основные параметры фотодиода:

- *токовая чувствительность* по световому потоку – изменение электрического состояния на выходе фотодиода при подаче на вход единичного светового потока;
- *постоянная времени нарастания и спада* фототока (граничная частота модуляции светового потока),
- *пороговая* мощность излучения,
- *диапазон рабочих волн/частот*,
- *номинальное рабочее напряжение*,
- *темновой ток*,
- *максимально допустимое обратное напряжение*.

### Характеристики фотодиода

*Вольт-амперная характеристика (ВАХ)* – зависимость выходного напряжения от входного тока;  $U_{\Phi} = f(I_{\Phi})$ .

*Спектральная* – зависимость фототока от длины волны падающего света на фотодиод. Для больших длин волн она определяется шириной запрещённой зоны, при малых длинах волн большим показателем поглощения и увеличения влияния поверхностной рекомбинации носителей заряда с уменьшением длины волны света.

*Световая* – зависимость фототока от освещённости – пропорциональная. Это обусловлено тем, что толщина базы фотодиода значительно меньше диффузионной длины неосновных носителей заряда, поэтому практически все неосновные носители заряда, возникшие в базе, принимают участие в образовании фототока.

*Постоянная времени* – время, в течение которого фототок изменяется после освещения или после затемнения фотодиода в  $e$  раз (63 %) по отношению к установившемуся значению.

*Темновое сопротивление* – сопротивление фотодиода в отсутствие освещения.

### Принцип работы фотодиода

В отсутствие освещения фотодиод на основе  $p-n$  перехода ведёт себя как обычный диод с обратным смещением, то есть при отрицательном напряжении от внешнего источника течёт очень малый (несколько микроампер) ток, называемый темновым током  $I_{обр.тм}$ . При этом падение напряжения на резисторе  $R_n$  мало и выходное напряжение практически равно напряжению источника  $E$  (рис. 2).

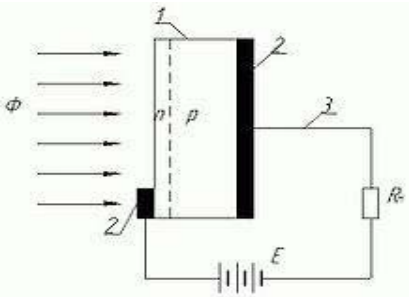


Рис. 2. Структурная схема фотодиода: 1 – кристалл полупроводника; 2 – контакты; 3 – выводы;  $\Phi$  – поток электромагнитного излучения;  $E$  – источник постоянного тока;  $R_n$  – сопротивление нагрузки.

Падающий свет создает электронно-дырочные пары в  $p-n$  – переходе, которые внешним смещением переносятся через  $p-n$  – переход, что приводит к увеличению фототока, который пропорционален амплитуде светового потока. Падение напряжения на резисторе  $R_n$  от фототока и, соответственно, изменение выходного напряжения  $U_{вых}$  так же пропорциональны амплитуде светового потока  $\Phi$ . (Выходной электрический сигнал повторяет закон модуляции входного оптического сигнала).

*Недостаток фотодиодов* – шумы. Помимо полезного сигнала на выходе фотодиода хаотический сигнал со случайной амплитудой и спектром – шум фотодиода. Шум фотодиода складывается из шумов полупроводникового материала и фотонного шума. Он не позволяет регистрировать малые полезные сигналы.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков.

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зеленый светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться желтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

***Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.***

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна "Main.vi" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых ***осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам*** (рис. 3).

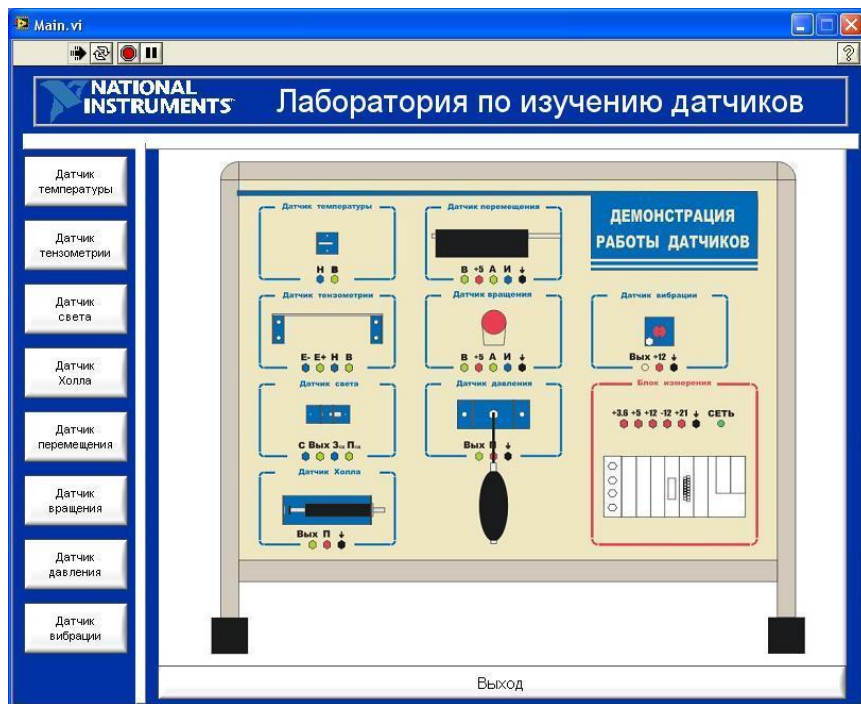


Рис.3. Лицевая панель стенда

Кнопка "**Выход**" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Выполнение эксперимента

### Подключения

Подключите фотоприемник и источник света, установленные на стенде, к модулям NI-9219 и NI-9263, соответственно. Необходимые подключения приведены ниже:

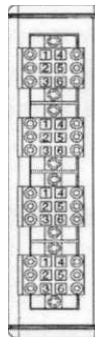
Фоторезистор	
Сигнал «С»	Контакт 5
Сигнал «Вых»	Контакт 3

Ch 0

Ch 1

Ch 2

Ch 3

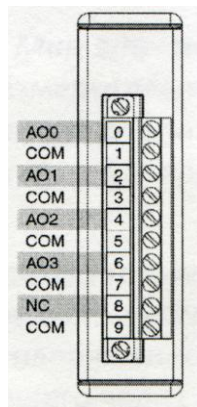


Ch 0

0	1	4	0
0	2	5	0
0	3	6	0

NI-9219

Светодиод	
Сигнал «Зсд»	Контакт 1
Сигнал «Псд»	Контакт 0



NI-9263

Для выполнения лабораторной работы на лицевой панели стенда нажмите кнопку **"Датчик света"**, в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 4):

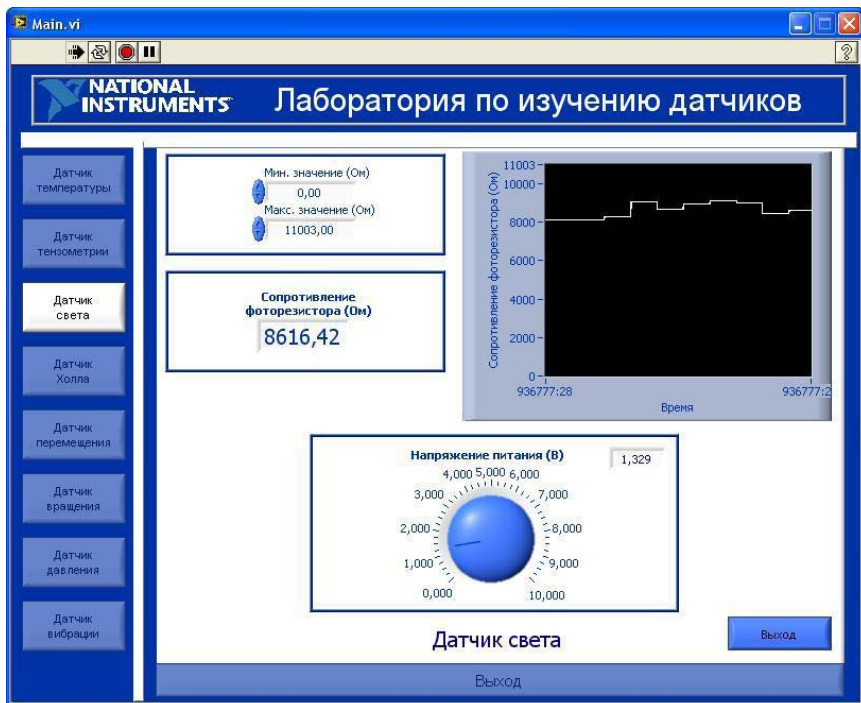


Рис.4. Лицевая панель «датчика света»

На лицевой панели представлены управляющие элементы **Мин. значение (Ом)** и **Макс. значение (Ом)**, при помощи которых можно задать пределы измерительной шкалы встроенного в лицевую панель монитора, определяя тем самым динамический диапазон выводимых значений. Действительное измеренное значение сопротивления фоторезистора выводится в соответствующем блоке слева от осциллограммы.

При выполнении лабораторной работы фоторезистор облучается световым потоком от светодиода, подключенного к управляемому источнику питания через резистор номиналом 600 Ом. Регулятор освещенности, выведенный в отдельном блоке, изменяет напряжение питания на этой цепочке, меняя яркость светодиода изменением проходящего через него тока.

Имеющееся на стенде высокоточное измерительное оборудование, можно использовать для выполнения дополнительных работ по

измерению интенсивности света с применением внешних датчиков – как фотодиодного, так и фоторезисторного типа (с соответствующими схемами измерения). В качестве «заготовок» для создания программного обеспечения, необходимого для измерений в среде LabView можно воспользоваться набором подпрограмм VI (virtual instruments), прилагаемых с демонстрационным стендом. Чтобы воспользоваться этой возможностью студент должен обладать минимальными навыками работы в среде LabView (см. руководство пользователя LabView).

### **Задания**

1. Используя встроенные в стенд светодиод и фоторезистор, проведите измерение зависимости сопротивления фоторезистора от величины напряжения, подаваемого на светодиод (интенсивности света).
2. Постройте соответствующий график.

### **Содержание отчёта**

В отчёте представьте полученные экспериментальные данные и сформулируйте выводы.

## Магнитоэлектрические датчики

**Цель работы:** изучение работы магнитоэлектрических датчиков, измерение величины магнитного поля индукционным датчиком, датчиком Холла.

### Принцип работы датчиков магнитного поля

Для измерения магнитных полей используются магнитомеханические и магнитоэлектрические преобразователи. Наибольшее применение имеют магнитоэлектрические преобразователи, в группу которых входят: индукционные, ферроиндукционные, гальваномагнитные и квантовые преобразователи.

**Индукционные датчики.** Принцип действия индукционных датчиков основывается на явлении электромагнитной индукции. Если взять катушку с известной площадью контура  $S$ , числом витков  $N$  и поместить её в магнитное поле  $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$  так, чтобы магнитное поле пересекало контур, то магнитный поток  $\Phi$ , проходящий через катушку будет равен  $\Phi = S\mu H \cos \alpha$ , ( $\alpha$  – угол между направлением вектора  $\mathbf{B}$  и нормалью к поверхности катушки,  $\mu$  – магнитная проницаемость среды). При изменении потока  $\Phi$  в катушке наведётся ЭДС, равная  $\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$ .

Изменение потока можно реализовать несколькими способами изменением: угла  $\alpha$ ,  $\mu$ ,  $S$  или  $H$ . Изменение  $\mu$  используется в ферроиндукционных датчиках (преобразователях).

Простейший вариант индукционного датчика – когда магнитная проницаемость  $\mu$  постоянная и магнитное поле однородно по всей площади катушки, тогда  $\mathcal{E} = -N \left( \frac{d\Phi}{dt} \right) = -NS\mu \left( \frac{dH}{dt} \right) \cos \alpha$ .

Индукционные датчики применяются для измерения как постоянного, так и переменного магнитного поля.

Для измерения статического магнитного поля изменение потока сцепления может быть реализовано различными способами: линейным перемещением катушки, вращением и вибрацией. Более часто применяют катушку, вращающуюся с угловой частотой  $\omega$ .



Для индукционных датчиков требуется изменяющийся магнитный поток, т.е. эксперимент может быть также реализован действием переменного магнитного поля на неподвижную катушку.

**Гальваномагнитные датчики.** Принцип работы гальваномагнитных датчиков основан на возникновении вторичных эффектов в проводниках/полупроводниках с током, при воздействии на них магнитного поля. Практическое применение получили датчики на основе эффекта Холла и магниторезистивные датчики.

**Эффект Холла** является результатом действия силы Лоренца на носители заряда в твёрдом теле. Если пластину из проводящего ма-

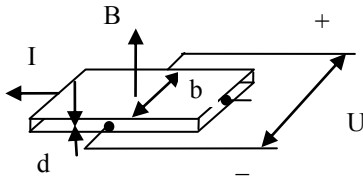


Рис. 1. Датчик Холла

териала поместить в магнитное поле  $\mathbf{B}$ , как показано на рис. 1, то носители заряда будут отклоняться перпендикулярно направлению их движения и вектору магнитного поля. Сила Лоренца, действующая на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $\mathbf{v}$  равна  $\mathbf{F}_L = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ .

Из-за отклонения носителей заряда возникает электрическое поле  $\mathbf{E}$ , направленное поперёк пластины. Это поле действует на носители заряда с силой  $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$ , направленной в противоположном направлении. В некоторый момент наступает равновесие между силой Лоренца и силой, обусловленной электрическим полем, поэтому  $\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ .

Если считать, что все носители заряда имеют одинаковую скорость  $\mathbf{v}$ , то плотность тока  $\mathbf{J}$  будет равна  $\mathbf{J} = nq\mathbf{v}$ ,  $n$  – концентрация носителей заряда. При  $\mathbf{B}$  перпендикулярном  $\mathbf{v}$  электрическое поле равно:  $E = \frac{JB}{nq}$ . Множитель  $\frac{1}{nq}$  называется постоянной Холла и обозначается  $R_H$ . При  $I = bdJ$  и  $U = bE$  находим:

$$U = \frac{1}{nq} \frac{IB}{d} = R_H \frac{IB}{d}.$$

Эффект Холла сильнее проявляется в полупроводниках, так как в них концентрация носителей заряда много меньше, чем у металлов (примерно в  $10^7$ ).

Если основными носителями заряда являются дырки ( $q$  положительный), то ЭДС Холла имеет полярность, показанную на рис. 1, если электроны (полупроводник  $n$ -типа), то полярность потенциалов – противоположная.

**Достоинства** датчиков Холла: возможность измерять статические магнитные поля без движущихся/вращающихся деталей, высокая надежность, долговечность, малые габариты.

Возможные **погрешности** при измерении магнитного поля с помощью датчика Холла:

- не эквипотенциальное расположение контактов, на которых возникает ЭДС Холла;
- ток, протекающий через датчик, приводит к нагреванию образца, а, следовательно, к изменению подвижности заряда;
- возникновение термоЭДС в месте присоединения потенциальных выводов;
- провода от Холловских электродов образуют петлю площадью  $S_n$ , в которой будет индуцироваться напряжение:

$$\mathcal{E} = S_n \frac{dB}{dt}.$$

Принцип действия **магниторезисторов** основан на эффекте Гаусса, заключающемся в уменьшении подвижности носителей заряда в магнитном поле. Под действием магнитного поля траектория движения носителей заряда искривляется, поэтому скорость движения в направлении электрического поля уменьшается, что равносильно уменьшению подвижности носителей заряда и увеличению сопротивления.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков, индукционный датчик, дополнительный датчик Холла, двигатель с металлической пластинкой.

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зелёный светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться жёлтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

***Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.***

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "**Датчики. vi**" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна "**Main.vi**" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых ***осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам*** (рис. 2).

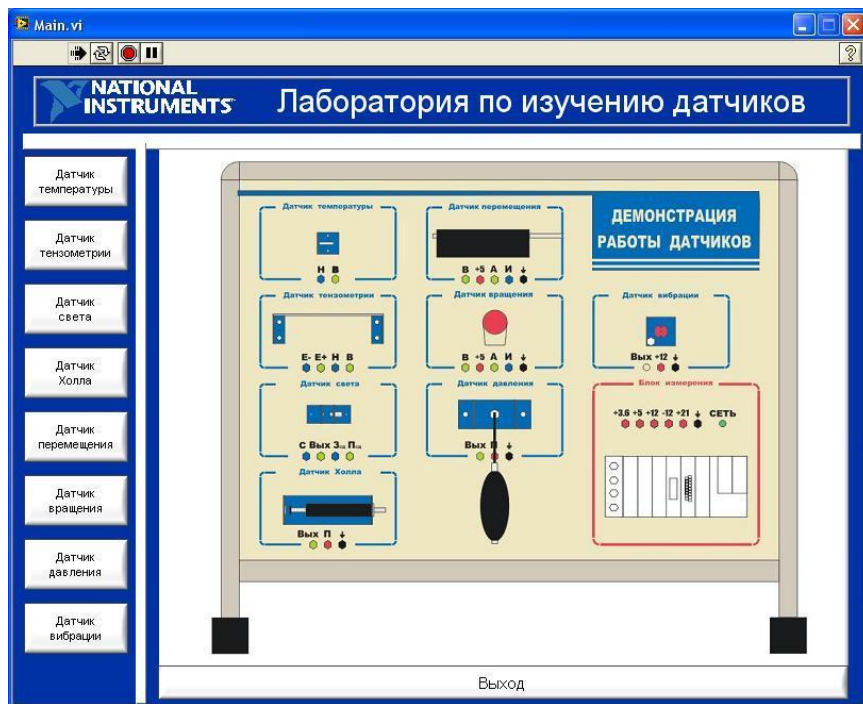


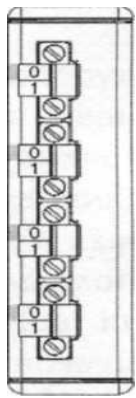

Рис. 2. Лицевая панель стенда

Кнопка "**Выход**" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Выполнение измерений

### Подключения

Подключите датчик Холла, установленный на стенде, к модулю NI-9239. Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал « <b>Вых</b> »	Контакт A10+	<div data-bbox="688 414 744 726"> A10+ A10-  A11+ A11-  A12+ A12-  A13+ A13- </div>  <b>NI-9239</b>
Сигнал « <b>+5</b> »	<b>+ 5 В</b>	Источник питания
Сигнал « $\perp$ »	 , Контакт A10-	Источник питания

Для выполнения лабораторной работы на лицевой панели стенда нажмите кнопку "**Датчик Холла**", в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 3).

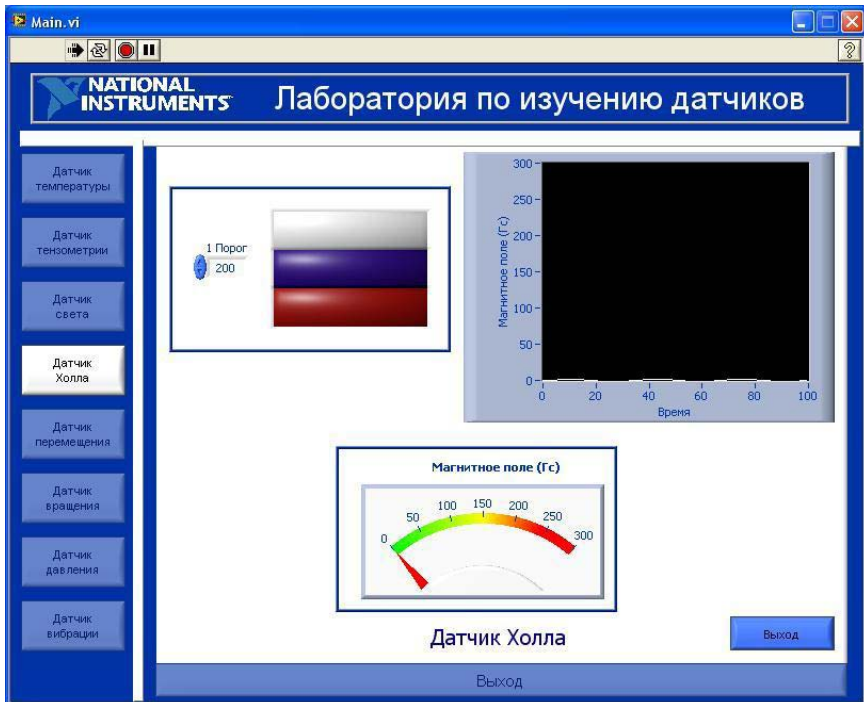


Рис. 3. Лицевая панель «датчика Холла»

На демонстрационном стенде установлена магнитоуправляемая микросхема К1116КП4. Нажмите на ручку пружинного штыря, приближая тем самым магнит к датчику. При этом напряженность магнитного поля возрастает, и при достижении порогового значения выходной логический уровень меняет свое значение, при этом загораются индикаторные светодиоды. Поскольку на стенде установлена магнитоуправляемая микросхема, выходной сигнал которой принимает только два дискретных значения, то все три светодиода загораются отдельно, и сигнал на осциллограмме скачком переходит из одного крайнего положения в другое.

***Вследствие наличия гистерезиса при отведении магнита обратно срабатывание датчика происходит в другом положении.***

В случае применения в качестве внешнего датчика магнитоуправляемой микросхемы с аналоговым выходом по мере приближения магнита выходной сигнал будет возрастать плавно.

### **Задания**

1. Проверьте порог срабатывания датчика.
2. Проверьте наличие гистерезиса.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

- определение типа встроенного датчика Холла,
- описание результатов эксперимента.

## Приложение

### Магнитоуправляемые микросхемы

Датчики Холла широко используются в качестве переключающих элементов, поскольку, благодаря отсутствию механических контактов, обладают очень высокой надёжностью. Датчики Холла используются в устройствах самого разнообразного назначения; в частности: в бесконтактных клавиатурах, вентильных электродвигателях постоянного тока, магнитных преобразователях угла поворота, положения, или перемещения (энкодерах), автоматических устройствах защиты сети, электронных бесконтактных реле и предохранителях, датчиках для дефектоскопии, измерителях электрического тока и т. д. Датчики с вращающейся цилиндрической шторкой используются также в бесконтактных прерывателях электронной системы зажигания автомобилей. В этих приложениях особо удобно пользоваться уже готовыми специализированными магнитоуправляемыми микросхемами, включающими датчик Холла вместе с электронной схемой, формирующей на выходе готовый цифровой сигнал.

Простейший датчик состоит из магнитоуправляемой микросхемы и постоянного магнита, укрепленного на подвижном звене контролируемого объекта. При приближении магнита к микросхеме на некотором расстоянии индукция магнитного поля становится достаточной для её срабатывания. Удаление магнита приводит к её переключению в исходное состояние.

Если на шторке расположить несколько рядов окон в порядке, соответствующему коду Грея, то с использованием соответствующего числа магнитоуправляемых микросхем и магнитов можно реализовать 5 – 8 разрядный датчик линейного перемещения или датчика «частота вращения – код». В отличие от светового датчика – магнитный не требует сложной оптической системы, более надёжен и экономичен.

На базе магнитного датчика могут быть выполнены электромеханические замковые устройства. На цилиндрической личине замка укрепляется магнит, так чтобы при повороте ключа он приблизился к расположенной рядом магнитоуправляемой микросхеме. Автомобильные замки зажигания, работающие на таком принципе, отличаются удобством и высокой надёжностью.



Широкое применение получило использование магнитоуправляемых микросхем в качестве датчиков положения ротора вентильных (бесколлекторных) электродвигателей. Датчик положения ротора обычно представляет собой неподвижное кольцо из немагнитного материала, на котором равномерно установлены по окружности 2, 3 или 4 магнитоуправляемые микросхемы (в зависимости от числа секций обмотки возбуждения). Ротором электродвигателя служит многополюсный постоянный магнит, а многосекционная обмотка возбуждения играет роль статора. Вращающее магнитное поле обмоток возбуждения формируется бесконтактным коммутатором по командам датчика положения ротора. Каждая микросхема управляет, как правило, одной секцией обмотки возбуждения. Подобная схема включения позволяет управлять частотой вращения вентильных электродвигателей в очень широких пределах – от единиц до десятков тысяч оборотов в минуту, обеспечивая также, благодаря отсутствию механического коллектора, очень высокий срок службы, компактность и бесшумность.

В большинстве случаев магнитоуправляемые микросхемы могут заменить герконы, обладая меньшими размерами, большей механической прочностью и устойчивостью, отсутствием дребезга контактов при переключении, значительно большим быстродействием и надёжностью.

Основные преимущества магнитоуправляемых микросхем по сравнению с другими преобразователями физических величин:

- в простоте обеспечения почти идеальных механической, электрической, тепловой и других видов развязки измерительных и управляющих цепей от объектов контроля,
- большой динамический диапазон и возможность непосредственного сопряжения со стандартными логическими узлами.

## Работа 10.5

**Датчики перемещения**

**Цель работы:** изучение работы датчиков перемещения, измерение глубины мензурки.

**Принципы работы датчиков перемещения  
(линейный энкодер)**

Линейные энкодеры – это датчики, которые могут иметь как относительную, так и абсолютную шкалу, и преобразуют считанное положение в аналоговый либо цифровой сигнал. Подобный датчик может также применяться в качестве датчика перемещения, определяя перемещение как функцию положения по времени.

Работа линейных датчиков положения может быть основана на применении различных внутренних датчиков: *ёмкостных, индуктивных, магнитных, оптических, а также на измерении токов Фуко*. Наиболее часто применяются оптические технологии, такие как подсчёт изменений светового потока, сравнение мгновенных микрофотографий, а также интерферометрию. Линейные датчики положения применяются в метрологическом оборудовании, высокоточных металлообрабатывающих станках, от цифровых штангенциркулей до координатных измерительных устройств.

**Датчики смещения**

Датчики смещения могут измерять как линейный сдвиг (при поступательном движении), так и угол поворота (при вращательном движении). По принципу преобразования можно провести деление на: *резистивные, ёмкостные, индуктивные, оптические датчики поступательного или вращательного движения*. Эти механические датчики называются тензометрическими или сенсорами.

**Резистивным датчиком** смещения является *потенциометрический датчик*: при поступательном движении – движковый потенциометр, при вращательном – поворотный. Для измерения угла поворота при вращении так же применяется поворотный потенциометр. Проволочные потенциометры обычно имеют большую точность, малый температурный коэффициент, но и малую разрешающую способность.

В другом типе резистивного датчика смещения используется зависимость электрического сопротивления проводника от его размеров:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала,  $l$  – длина, а  $S$  – сечение. Если проводник механически растягивается, то его параметры изменяются и, как следствие, меняется  $R$  (тензодатчик). Чувствительность тензодатчика определяется как отношение изменения сопротивления к изменению длины и определяется по формуле:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}.$$

Это даёт возможность измерять очень малые перемещения.

В **полупроводниковых** тензодатчиках давление вызывает деформацию кристаллической решетки (пьезокристаллический эффект). При этом изменение сопротивления значительно больше, чем в металлических датчиках, но они менее линейны и имеют более высокую температурную чувствительность.

### **Ёмкостные датчики смещения**

Ёмкость конденсатора  $C$ , образованного параллельными пластинами является функцией расстояния  $d$  между электродами, площади  $S$  и диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  диэлектрика между пластинами:  $C = \varepsilon \frac{S}{d}$ .

Из этого соотношения следует, что возможны **три** метода реализации ёмкостного датчика смещения:

- раздвижения пластин (меняется  $d$ ),
- изменение площади перекрытия ( $S = ab$ ),
- изменение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  под действием измеряемой величины.

Если в плоском датчике, пренебречь краевыми эффектами и ме-

нять  $d$  ( $C = \varepsilon \frac{S}{x}$ ), то получается гиперболическая характеристика; если изменять  $\varepsilon$ , то – линейная; если менять  $S$ , то – линейная при изменении  $a$  или  $b$ ; положение диэлектрика – тоже линейная.

Для получения выходного сигнала ёмкостной датчик смещения включается в мостовую схему для измерения ёмкости (или смещения), или используется в качестве элемента, определяющего частоту колебаний генератора. Ёмкостные датчики имеют хорошую частотную характеристику, могут применяться как для статических, так и для динамических измерений. Но они чувствительны к температурным колебаниям и будут давать значительную погрешность, если использовать длинные соединительные провода.

### ***Индуктивные датчики смещения***

Индуктивные преобразователи работают на принципе изменения собственной или взаимной индуктивности катушек.

Индуктивность катушки можно менять за счёт изменения числа витков, изменения магнитного сопротивления сердечника и изменения ширины воздушного зазора.

Для измерения смещений достаточно широко используется линейный дифференциальный трансформатор. Он работает на принципе изменения взаимной индуктивности между магнитосвязанными катушками.

Преимущество индуктивного преобразователя – в нём отсутствует трение. Он может использоваться для статических и динамических измерений. Чувствителен к внешним магнитным полям, ударам, вибрациям, ограниченный температурный диапазон.

### ***Оптические датчики смещения***

Смещение можно обнаружить оптически с помощью кодирующей ленты (при поступательном движении) или поворотного кодера (при вращении). На кодирующей ленте в несколько рядов чередуются прозрачные и непрозрачные участки. Положение ленты преобразуется в цифровой сигнал узким пучком света и рядом датчиков. Цифровой код определяется расположением прозрачных и непрозрачных полос на ленте.

Датчики смещения, в которых применяются поворотный или ленточный кодеры, имеют фиксированное положение нуля, поэтому они являются *абсолютными датчиками смещения*. Эти датчики удобны для подключения к компьютеру для цифрового управления перемещением.

При использовании единственной дорожки чередующихся прозрачных и непрозрачных полос изменение положения можно определить, посчитывая число импульсов света. Этот метод не имеет фиксированного положения нуля, и *измеряет приращение смещения*.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков.

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зелёный светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться жёлтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

*Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.*

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна "Main.vi" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых *осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам* (рис. 1).

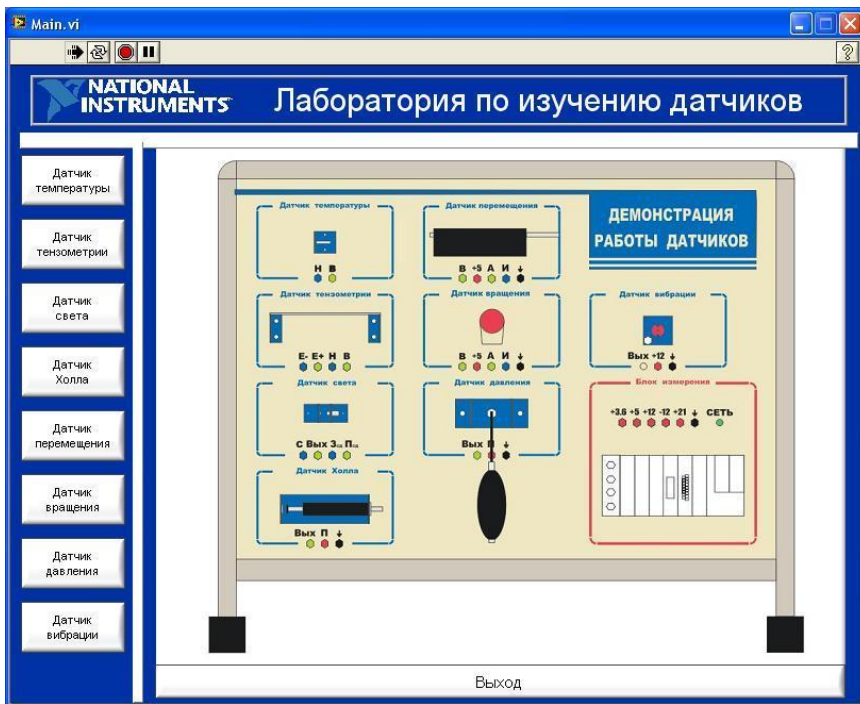


Рис. 1. Лицевая панель стенда

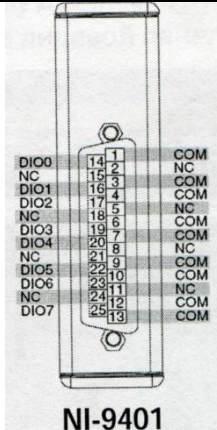
Кнопка **"Выход"** внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Выполнение измерений

На лабораторном стенде размещён линейный относительный датчик положения PE-120-2-I-S-D американской компании US Digital. Модуль энкодера этого датчика имеет в своем составе светодиодный источник с соответствующей линзой, работающий в паре с интегральной матрицей фотоприемников. Сигнал с матрицы поступает на электронную схему, формирующую двухканальный квадратурный сигнал. На датчике также имеется цифровой выход нулевой метки с функцией подавления дребезга. При использовании цифрового выхода нулевой метки положение по умолчанию находится в середине шкалы датчика (с точностью  $\pm 1,27\text{мм}$ ). Примененный датчик работает в линейной шкале 2" (50,8мм), применённая

матрица обладает чувствительностью 120 CPI (отсчетов на дюйм). С учётом использования принципа квадратурного детектора (выходной сигнал имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  друг относительно друга) абсолютное разрешение датчика учетверяется, приблизительно соответствуя 53 микрометрам.

Подключите датчик перемещения, установленный на стенде, к модулю N1-9401. К модулю подключается разъем DB-25, к которому уже подпаяны все необходимые провода (выделены цветом). Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал «В»	Синий провод	
Сигнал «А»	Синий провод	
Сигнал «И»	Жёлтый провод	
Контакт «+5»	+5В	
Сигнал « $\perp$ »	$\perp$	
		Источник питания
		Источник питания

Для проведения эксперимента нажмите кнопку "**Датчик перемещения**", в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 2):



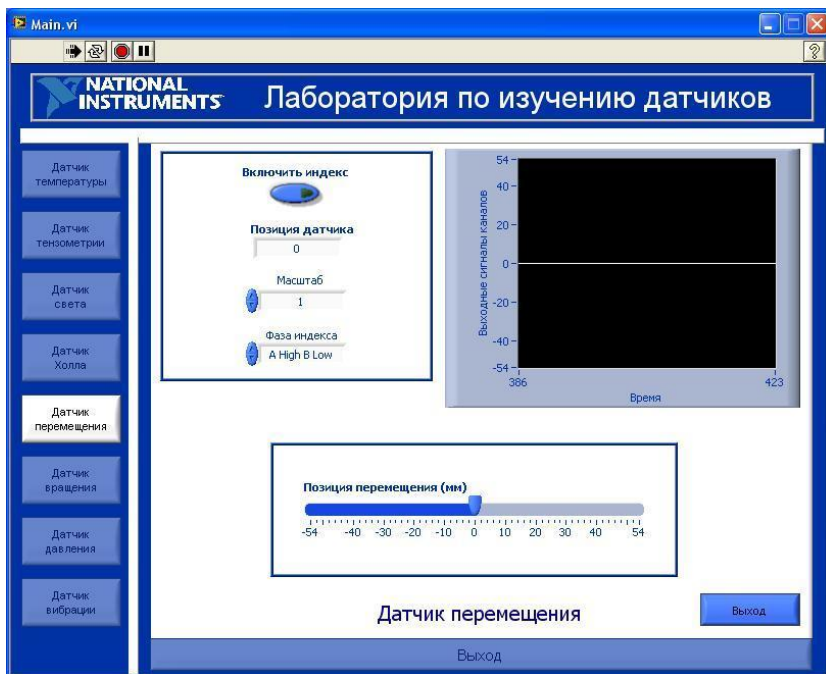


Рис.2. Лицевая панель «датчика перемещения»

Нажмите на ручку пружинного штыря линейного энкодера. По мере его перемещения положение будет отображаться на ползунке в нижней части экрана, а история перемещений – на осциллограмме.

## Задания

1. Проведите калибровку датчика по миллиметровке.
2. Используя встроенный в стенд датчик перемещения, проведите измерение глубины мензурки.
3. Выполните не менее 10 измерений и получите среднее значение.

## Работа 10.6

**Датчики вращения**

**Цель работы:** изучение работы датчиков вращения, наблюдение за изменением вида осциллограмм при изменении величины дискретизации АЦП, получение зависимости скорости вращения двигателей от питающего напряжения, с использованием индуктивного и оптического датчиков.

**Принцип работы датчиков вращения**

Датчик угла или преобразователь угол-код, также называемый энкодером, это устройство, предназначенное для преобразования поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота. Энкодеры подразделяются на инкрементальные и абсолютные.

**Инкрементальные энкодеры** генерируют последовательный импульсный цифровой код, содержащий информацию относительно угла поворота объекта. При остановке вала прекращается также передача импульсов. Основным рабочим параметром датчика является количество импульсов за один оборот. Мгновенную величину угла поворота объекта определяют посредством подсчёта импульсов от старта. Выходной сигнал имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  относительно друг друга, что позволяет определять направление вращения. Имеется также цифровой выход нулевой метки, который позволяет всегда рассчитать абсолютное положение вала.

**Абсолютные энкодеры** производят подсчет шагов, или уникальных кодов, на оборот, а также количество таких оборотов, при этом не требуется первичной установки и инициализации датчика. Поэтому абсолютные энкодеры не теряют позицию при исчезновении напряжения. Наиболее распространённые типы выходного сигнала – код Грея.

Работа энкодеров может быть основана на оптических, резистивных, или магнитных датчиках.

**Оптические энкодеры** имеют жёстко закреплённый соосно валу стеклянный диск с прецизионной оптической шкалой. При враще-

нии объекта оптопара считывает информацию, а электроника преобразовывает её в последовательность дискретных электрических импульсов. Абсолютные оптические энкодеры – это датчики угла поворота, где каждому положению вала соответствует уникальный цифровой выходной код, который, наряду с числом оборотов, является основным рабочим параметром датчика.

**Магнитные энкодеры** с высокой точностью регистрируют прохождение магнитных полюсов вращающегося магнитного элемента непосредственно вблизи чувствительного элемента, преобразуя эти данные в соответствующий цифровой код.

Существуют также **механические энкодеры**, содержащие диск из диэлектрика – стекла с проводящими участками. Считывание абсолютного угла поворота диска производится линейкой переключателей или контактов. Выходные сигналы представляют собой код Грея, позволяющий избавиться от неоднозначности интерпретации сигнала.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков, источник питания постоянного тока НУ1503D, панель с макетами для измерения скорости вращения моторов индуктивным и оптическим датчиками, осциллограф типа Tektronix TDS1012 (или аналогичный).

На лабораторном стенде размещён относительный датчик вращения S6-64-236-I-S-B американской компании US Digital. Модуль энкодера этого датчика имеет в своём составе светодиодный источник с соответствующим фотоприемником. Сигнал с фотоприемника поступает на электронную схему, формирующую двухканальный квадратурный сигнал. На датчике также имеется цифровой (ТТЛ) выход нулевой метки с функцией подавления дребезга. Применённый датчик обладает чувствительностью 64 CPR (отсчетов на оборот). С учётом применения принципа квадратурного детектора (выходной сигнал имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  друг относительно друга), абсолютное разрешение учетверяется, соответствуя приблизительно 2,7 угловым минутам.

## Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зелёный светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться жёлтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

***Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.***

## Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму «Датчики. Vi» и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна «Main.vi» («Лаборатория по изучению датчиков»).

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых ***осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам*** (рис. 1).

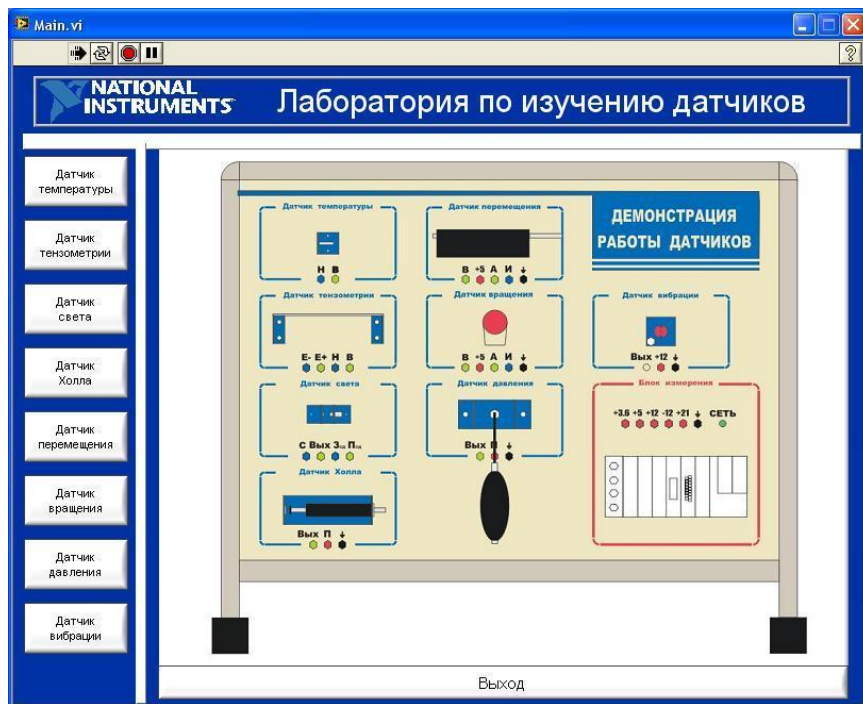
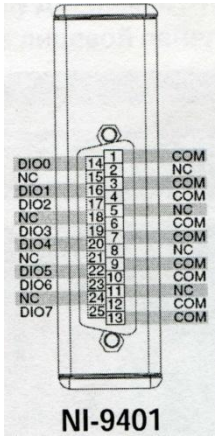


Рис. 1. Лицевая панель стенда

Кнопка «**Выход**» внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Выполнение измерений

Подключите датчик вращения, установленный на стенде, к модулю N1-9401. К модулю подключается разъем DB-25, к которому уже подпаяны все необходимые провода (выделены цветом). Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал «В»	Синий Провод	 <p>NI-9401</p>
Сигнал «А»	Синий Провод	
Сигнал «И»	Жёлтый Провод	
Контакт «+5»	+5В	Источник питания
Сигнал « $\perp$ »	$\perp$	Источник питания

Для выполнения измерений на лицевой панели стенда нажмите кнопку «Датчик вращения», после чего откроется соответствующая лицевая панель (рис.2):

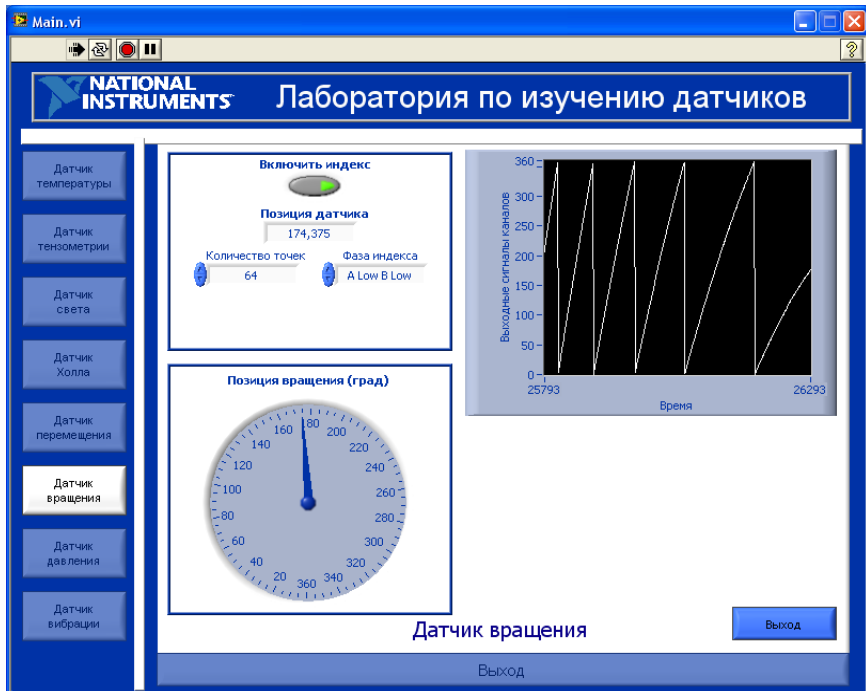


Рис. 2. Лицевая панель «датчика вращения»

Управляющий элемент «**Количество точек**» задает число точек, которые энкодер выдает за один полный оборот. Установленный на стенде энкодер выдает **64** точки за один оборот. В случае подключения внешних датчиков с другим числом точек на оборот этот параметр должен быть изменен в программе.

Параметр «**Фаза индекса**» определяет принцип синхронизации при считывании текущего положения датчика по передним или задним фронтам сигналов одного или двух каналов квадратурного энкодера.

В используемом датчике имеется выход нулевой метки, (так называемый индексный выход), который выдает короткий импульс при пересечении датчиком «нулевого» положения. Синхронизация может также производиться по индексному сигналу, выдаваемому датчиком. Этот режим может быть включен нажатием на переключатель «**Включить индекс**» на лицевой панели:

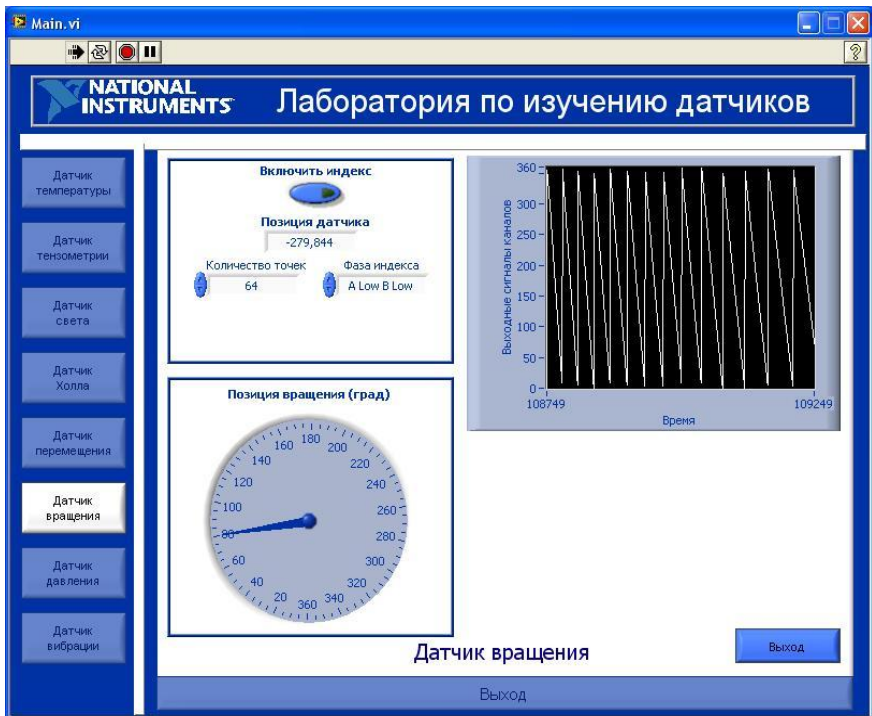


Рис. 3. Изменённое угловое положение вала

Поверните ручку энкодера. Угловое положение вала будет отображаться на стрелочном индикаторе внизу экрана, а история перемещений – на осциллограмме.

## Задания

### Задание 1

1. Используя встроенный в стенд датчик вращения, проверьте зависимость вида осциллограммы от величины дискретизации АЦП.
2. Пронаблюдайте за изменением осциллограммы при изменении направления вращения мотора.
3. Прокалибруйте угол поворота.



## Измерение скорости вращения индуктивным датчиком

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т. п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности датчика. Индуктивные датчики применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т. д.

Индуктивный датчик распознает и соответственно реагирует на все токопроводящие предметы. Он является бесконтактным, не требует механического воздействия, работает бесконтактно за счёт изменения электромагнитного поля. Индуктивный датчик является *активным*, то есть для его работы не требуется дополнительное питание.

### ***Преимущества индуктивного датчика:***

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов,
- отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания,
- высокая частота переключений до 3000 Hz,
- устойчив к механическим воздействиям.

### ***Недостатки:***

- чувствителен к ферромагнитному загрязнению,
- имеется обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счёт притяжения якоря к сердечнику).

Простейший индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижный элемент которого (якорь) перемещается под действием измеряемой величины.

Используемый в данной работе датчик (рис. 4), состоит из катушки индуктивности 1 с магнитом 3 и магнитопровода 7. Датчик работает совместно с диском синхронизации 8, установленном на вращающемся вале моторчика.

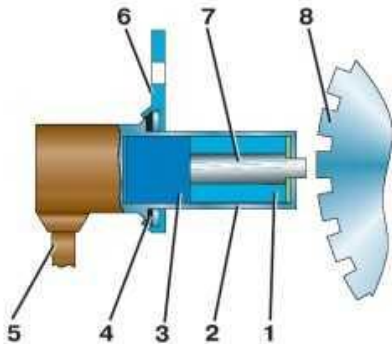


Рис. 4. Датчик положения:

1 – обмотка датчика;  
2 – корпус; 3 – магнит;  
4 – уплотнитель; 5 – привод;  
6 – кронштейн крепления;  
7 – магнитопровод;  
8 – диск синхронизации

При прохождении мимо торца сердечника/магнитопровода 7 зубьев диска 8 происходит изменение магнитного потока в датчике, которое вызывает возникновение переменного электрического тока в катушке. Возникающее напряжение регистрируется осциллографом. Частота регистрируемых сигналов  $f$  зависит от напряжения питания моторчика  $U$  (скорости вращения) и числа зубьев диска  $n$ .

## Задание 2

1. Подключите осциллограф к разъёму **Вых.1** на макетной плате; источник питания к клеммам: **Общ** – черная клемма источника, красную клемму источника к клемме «+15» и к клемме **М1**.

2. Ручку регулировки напряжения источника поверните влево/против часовой стрелки до упора. Включите сетевые тумблеры осциллографа и источника.

Для получения синхронизированной осциллограммы необходимо: выбрать: вход осциллографа – закрытый (AC); в **Trig Menu** (Меню синхронизации) выбрать для параметра **Mode** (Режим) значение **Normal** (Обычный).

3. Увеличивая выходное напряжение источника с шагом **1 В**, запишите в таблицу зависимость частоты  $f$  от напряжения  $U$ .

$U, \text{В}$	$f, \text{Гц}$	$\Omega, \text{об/мин}$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$

4. Зная число зубцов диска ( $n = 4$ ), по формуле  $\Omega = 60(f/n)$  рассчитайте число оборотов вала моторчика в минуту.

5. Постройте график к зависимости  $\Omega(f)$ , по угловому коэффициенту которого определите число оборотов вала на 1 В напряжения.

### Измерение скорости вращения вала мотора фотоэлектрическим датчиком с прерывателем

В качестве датчиков света используются фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры и др. В данной работе фотоэлектрическим датчиком является фотодиод, принцип действия которого описан в работе 10.3.

Схема макета для измерения скорости вращения с использованием фотоэлектрического датчика приведена на рис. 5.

Оптический датчик с прерывателем состоит из фотодиода 1, освещенность рабочей поверхности которого прерывается вращающимся диском с отверстиями 2, укрепленным на вале моторчика.

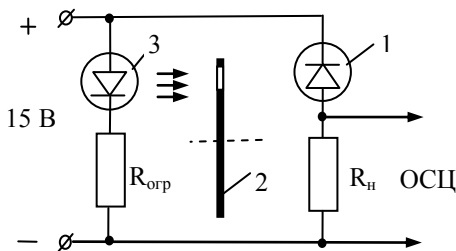


Рис. 5. Схема для определения скорости вращения вала моторчика фотодатчиком:

1 – фотодиод, 2 – прерыватель, 3 – светодиод,  
 $R_n$  – сопротивление нагрузки (47 кОм),  
 $R_{огр}$  – ограничивающее сопротивление (2к2)

Фотодиод подключён последовательно с сопротивлением нагрузки  $R_n$  к источнику постоянной ЭДС (15 В). Если фотодиод не освещён, то по нему течёт темновой ток, соответственно на экране осциллографа наблюдается постоянное напряжение. При включении освещения появляется фототок, зависящий от интенсивности освеще-

шения, что приводит к увеличению падения напряжения на сопротивлении  $R_n$ .

При включении моторчика освещенность фотодиода модулируется и в цепи протекает пульсирующий ток, соответственно, на экране осциллографа появятся импульсные сигналы. Частота пульсаций  $f$  определяется числом отверстий в диске ( $n=7$ ) и частотой его вращения  $\Omega$  (об/мин)  $f = (\Omega/60)n$ . Если площадь отверстий на диске равна площади промежутков, то вид осциллограммы близок к синусоиде.

### Задание 3

1. Подключите источник питания к клеммам: **Общ** – черная клемма источника, красную клемму источника к клемме «+15» и к клемме **М2**. К разъёму **Вых.П** на макетной плате подключите канал **СН1** осциллографа.

2. Ручку регулировки напряжения источника поверните влево/против часовой стрелки до упора. Включите сетевые тумблеры осциллографа и источника.

3. Увеличивая выходное напряжение источника с шагом 1 В, запишите в таблицу зависимость частоты  $f$  от напряжения  $U$ .

4. Зная число зубцов диска ( $n=7$ ), рассчитайте число оборотов вала моторчика в минуту  $\Omega$  по формуле  $\Omega=60(f/n)$ .

5. Постройте график к зависимости  $\Omega(U)$ , по угловому коэффициенту которого определите число оборотов вала на 1 В напряжения.

### Содержание отчёта

Отчёт должен содержать.

1. Схемы проведения эксперимента со всеми типами датчиков.

2. Таблицы экспериментальных данных для индуктивного и фотоэлектрического датчиков.

3. Графики зависимости числа оборотов вала от напряжения для обоих типов датчиков с указанием числа оборотов на 1 вольт напряжения.

## Работа 10.7

**Датчики давления**

**Цель работы:** изучение работы датчиков давления, измерение атмосферного давления и сравнение полученного значения с показанием образцового манометра.

**Принцип работы датчиков давления**

Датчики давления измеряют давление, преимущественно в газах или жидкостях, преобразовывая его в электрический сигнал, в аналоговой либо цифровой форме. Датчики давления используются для контроля и наблюдения и имеют множество прикладных применений. Они также могут применяться для косвенного измерения других величин, таких как поток и скорость в жидкостях и газах, уровень жидкости, высота над уровнем моря, и т. д.

Датчики давления могут быть различными по исполнению, применяемым технологиям и чувствительности. Некоторые датчики давления предназначены для измерения *очень быстрых изменений давления*, например в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины. Такие датчики обычно изготавливаются из пьезоэлектрических материалов, например, кварца.

Датчики *абсолютного* давления измеряют давление по отношению к совершенному вакууму. Так, атмосферное давление на уровне моря составляет 101.325 КПа.

Датчики *относительного* давления имеют множество применений, так как могут быть откалиброваны для измерения давления в нужном диапазоне. Примером датчика относительного давления может служить автомобильный манометр, который показывает давление внутри автомобильной шины по отношению к атмосферному. Когда такой манометр показывает ноль, это означает, что абсолютное давление внутри шины равно атмосферному (101 КПа).

В зависимости от применяемой технологии изготовления датчики давления, в основном, разделяются на несколько основных типов.

Датчики, основанные на *пьезорезистивных тензорезисторах*, могут быть изготовлены из монокристаллического кремния, тонкой поликристаллической плёнки, по толстоплёночным или тонкоплёночным технологиям или напылением, или из приклеенной металлической фольги. Обычно датчики давления подключаются по мостовой схеме.

*Ёмкостные датчики давления* используют диафрагму и камеру давления для создания конденсатора, ёмкость которого изменяется в зависимости от приложенного давления. Применяемые диафрагмы обычно изготавливаются из металла, керамики, или силиконовой резины. Эта технология обычно применяется при измерении небольших давлений.

*Индуктивные датчики давления* определяют сдвиг диафрагмы путем измерения изменений индуктивности, либо с применением измерительных преобразователей линейных перемещений, на основании эффекта Холла, либо путём измерения токов Фуко.

*Пьезоэлектрические датчики давления* основаны на пьезоэлектрическом эффекте, возникающем в определенных материалах, например кварце, для измерения механического напряжения, возникающего в измерительном механизме в результате давления. Эта технология широко применяется для измерения быстро изменяющихся давлений.

*Оптические датчики давления* основаны на физических изменениях, происходящих в оптоволокне для определения напряжений, возникающих в результате приложенного давления. Наиболее распространенное применение этого метода – оптоволоконные решетки Брегга, применяющиеся для удаленного распределенного мониторинга давления на больших расстояниях и в экстремальных условиях. Ещё одно преимущество этой технологии – невосприимчивость к электромагнитным помехам.

*Потенциометрические датчики давления* основаны на перемещении ползунка резистивного механизма для определения напряжения, возникающего под воздействием давления.

## Эксперимент

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков.

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зелёный светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться жёлтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

*Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.*

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна "Main.vi" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых *осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам* (рис. 1).

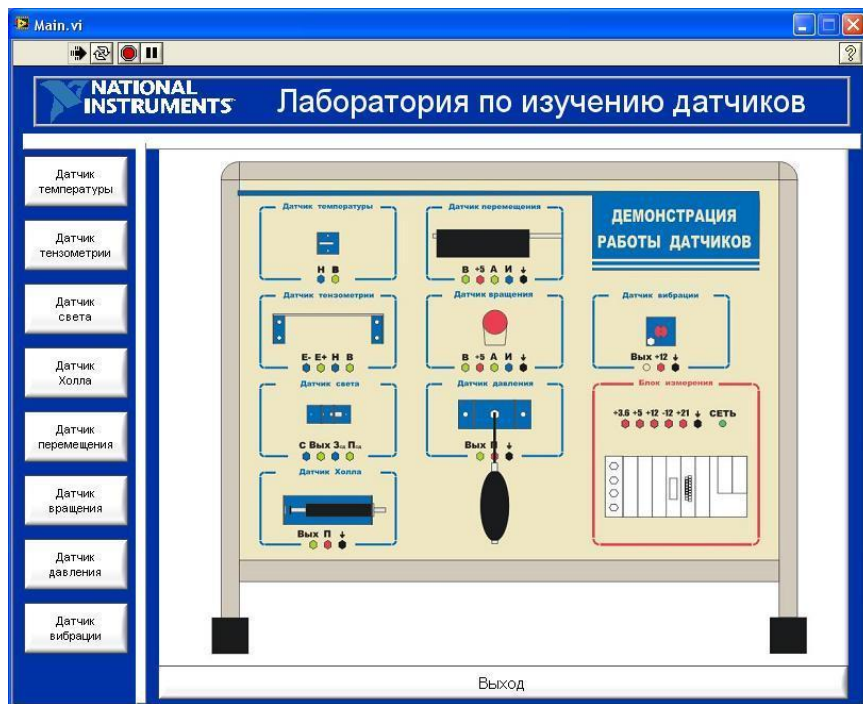


Рис. 1. Лицевая панель стенда

Кнопка "**Выход**" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

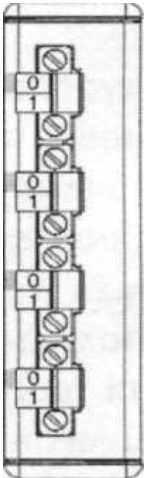




## Выполнение измерений

На лабораторном стенде размещен датчик давления MPX4115A американской компании Freescale Semiconductor. Датчик выдает калиброванный термокомпенсированный аналоговый сигнал для измерения абсолютного давления, основанный на ВАР (Barometric Absolute Pressure) сенсоре, и включает в себя интегральные схемы для усиления и нормирования выходного сигнала.

## Подключение

Подключите датчик давления, установленный на стенде, к модулю NI-9239. Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал « <b>Вых</b> »	Контакт <b>AI0+</b>	 <p><b>N-9239</b></p>
Сигнал « <b>+5</b> »	<b>+ 5 В</b>	Источник питания
Сигнал 	 , Контакт <b>AI0-</b>	Источник Питания

Для выполнения лабораторной работы на лицевой панели стенда нажмите кнопку "**Датчик давления**", в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 2):

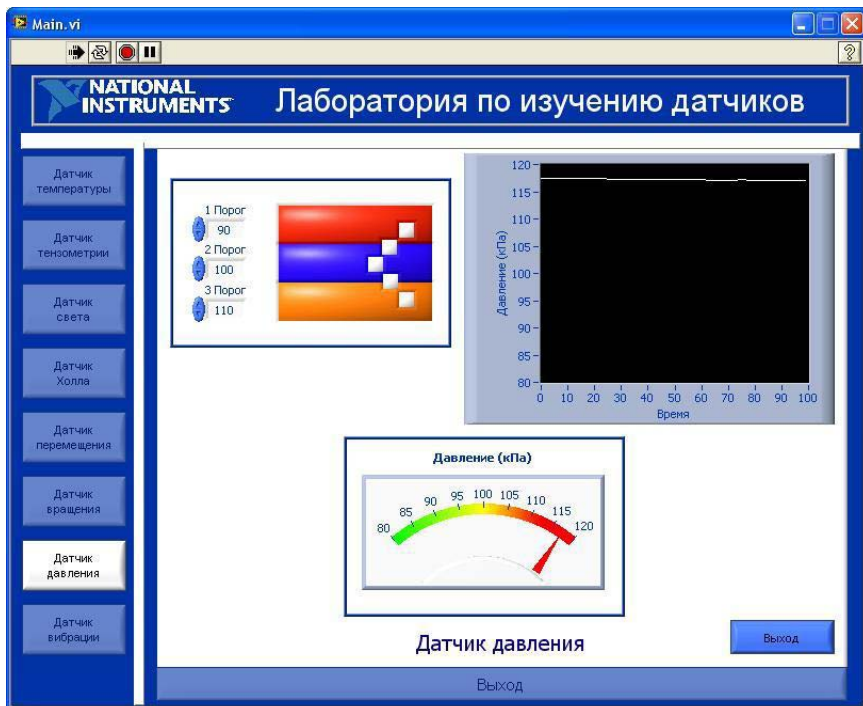


Рис. 2. Лицевая панель «датчика давления»

Нажмите на резиновую грушу, прикрепленную к датчику давления. Создаваемое грушей давление будет отображаться на индикаторах и осциллограмме. На панели также расположены три светодиода (красный, синий, и оранжевый), пороги срабатывания которых можно задать индивидуально при помощи соответствующих управляющих элементов. В прибор также встроен индикатор абсолютного максимума (светодиоды белого цвета), срабатывающий при выходе давления за пределы шкалы датчика.

### Задание

Измерьте атмосферное давление в комнате и сравните с показанием образцового манометра.

## Работа 10.8

**Датчик вибрации**

**Цель работы:** изучение работы датчиков вибрации, измерение зависимости амплитуды и частоты (спектра) вибрации от напряжения питания.

**Принцип работы датчиков вибрации**

Виброизмерительный преобразователь (вибропреобразователь) является источником сигнала измерительной информации о значениях вибрации путем преобразования механических колебаний в электрические. Виброизмерительные преобразователи классифицируются по ряду независимых признаков.

В зависимости *от измеряемого параметра* вибрации они могут называться:

- акселерометрами (для измерения ускорения)
- и велосиметрами (для измерения скорости).

По *роду измеряемых компонентов вибрации* различают преобразователи:

- для измерения линейных компонентов колебаний (однокомпонентные, двухкомпонентные, трехкомпонентные),
- для измерения угловых компонентов.

По *направлению приложения силы при механических воздействиях* различают измерительные преобразователи *направленного* и *ненаправленного* действия. В инерционных преобразователях ненаправленного действия упругий подвес обеспечивает сохранение положения и ориентации в абсолютном пространстве. В преобразователях направленного действия обеспечивается измерение только одного линейного или углового компонента вибрации.

По физическому явлению, заложенному в основу метода измерения параметров механических колебаний, измерительные преобразователи можно объединить в следующие основные группы:

- *механические,*
- *акустические (ультразвуковые),*
- *электрические,*
- *электромагнитные (радиотехнические),*
- *оптические (световые),*
- *радиационные.*

Основные параметры, характеризующие вибропреобразователи, и позволяющие осуществить их сравнение и выбор наиболее приемлемых для измерений, следующие:

- измеряемый параметр линейной вибрации: перемещение, скорость, ускорение, резкость, частота, коэффициент нелинейных искажений, и т. д.,
- диапазон значений измеряемого параметра вибрации,
- коэффициент преобразования вибропреобразователя – отношение изменения сигнала на выходе вибропреобразователя к вызывающему его изменению параметра вибрации на входе,
- минимальное измеряемое изменение параметра вибрации (порог чувствительности),
- рабочий диапазон частот гармонических вибраций,
- основная погрешность вибропреобразователя,
- коэффициент поперечного преобразования вибропреобразователя.

На лабораторном стенде размещён вибропреобразователь со встроенной электроникой AP2037-10 российской компании Глобал-Тест. Преобразователь предназначен для измерения вибрационного и ударного ускорения в диагностических системах и при лабораторных исследованиях и пригоден для использования в условиях сильных электромагнитных полей. Электрическая схема преобразователя изображена на рис. 1.

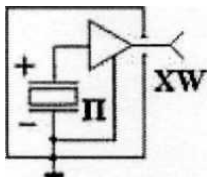


Рис. 1.

## Эксперимент

### Подготовка к измерениям

Перед тем, как начать выполнение лабораторной работы необходимо:

- изучить принципы работы электрических схем и датчиков,
- ознакомиться с методическими рекомендациями по проведению эксперимента.


Затем включите питание стенда, переведя основной выключатель питания (расположен на правой боковой стенке) в положение **ON**. При этом должен загореться зелёный светодиод индикации питания на передней панели стенда.

Включите питание контроллера, переведя выключатель питания на лицевой панели в положение **ON**. При этом должен загореться жёлтый светодиод **Active**, расположенный слева от выключателя.

***Запрещается производить какие-либо внешние подключения, не имеющие гальванической развязки от сети переменного тока.***

### Запуск программы

Найдите на рабочем столе пиктограмму "Датчики. vi" и запустите эту программу.

Нажмите кнопку  слева сверху окна "**Main.vi**" ("Лаборатория по изучению датчиков").

При запуске программы на экране монитора выводится лицевая панель с изображением учебного стенда и панели с кнопками с левой стороны экрана, при помощи которых ***осуществляется переход к соответствующим лабораторным работам*** (рис. 2).

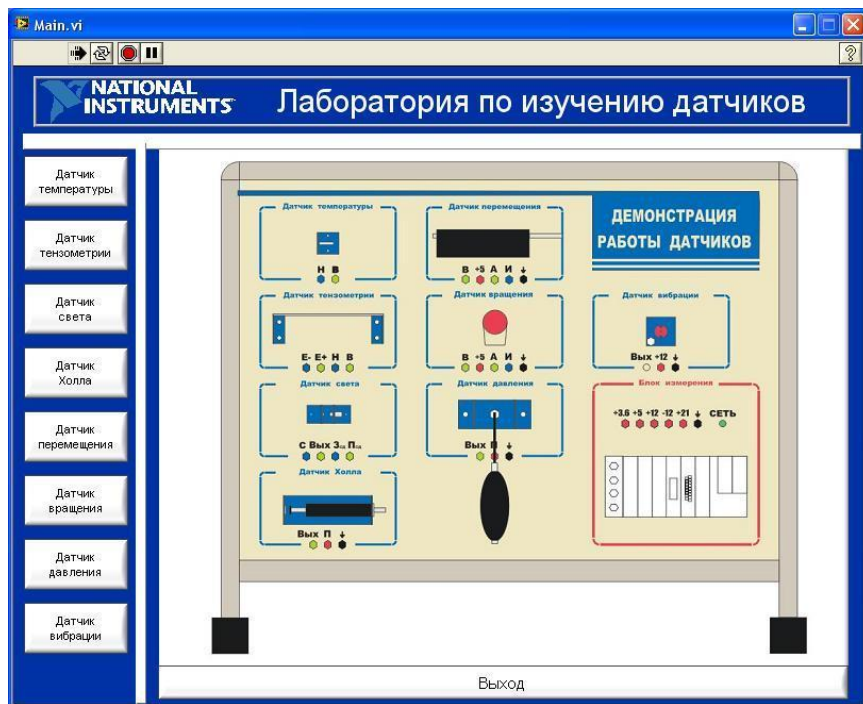


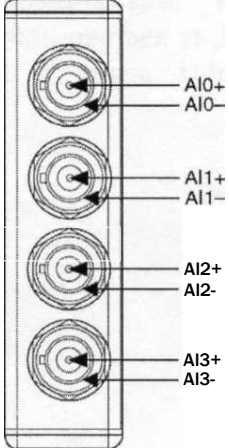
Рис. 2. Лицевая панель стенда

Кнопка "**Выход**" внизу экрана предназначена для выхода из программы.

## Выполнение эксперимента

**Оборудование:** лабораторный стенд для изучения датчиков.

Перед тем, как начать выполнение лабораторной работы, следует подключить вибропреобразователь и моторчик, установленные на стенде, к модулю NI-9234 и к источнику питания. Необходимые подключения приведены ниже.

Сигнал «Вых»	Контакт AI0+	 <p>NI-9234</p>
Сигнал «П»	+3,5 В, + 5 В, + 12 В	Источник питания
Сигнал « $\perp$ »	$\perp$ , Контакт AI0–	Источник питания

Для выполнения лабораторной работы на лицевой панели стенда нажмите кнопку "Датчик вибрации", в результате чего откроется соответствующая лицевая панель (рис. 3):

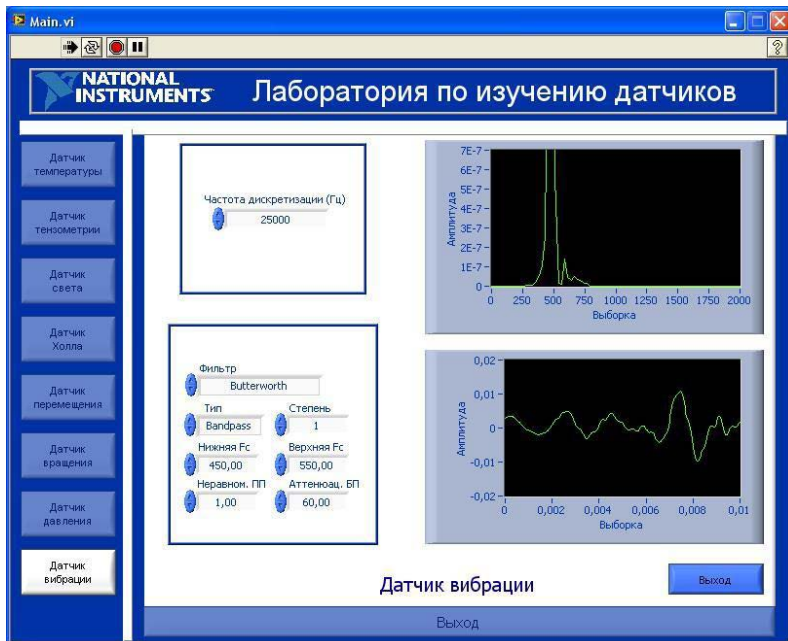


Рис. 3. Лицевая панель «датчика вибрации»

**Примечание.** Данный датчик чувствителен к звуку.

## Задание

Получите осциллограммы датчика вибрации и определите амплитуду и частоту вибраций при напряжениях питания: 3,5 В и 5 В.

## Содержание отчёта

Отчёт должен содержать полученные экспериментальные данные и их анализ.



### Рекомендуемая литература

1. *Клаассен К.Б.* Основы измерений (датчики и электронные приборы). Изд. дом. Интеллект. Долгопр., 2008.
2. *Мейзда Ф.* Электронные измерительные приборы и методы измерений. М.: Мир, 1990.
3. *Нуберт Г.П.* Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1970.
4. *Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005.
5. *Косинов А. Д., Костюрина А. Г.* Методы измерения температуры. Новосибирск : НГУ, 2013. 50 с.

Учебное издание

Косинов Александр Дмитриевич,  
Костюрина Александра Георгиевна

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Работа 10

### **ДАТЧИКИ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ И АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие