

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем

**В. Ю. Серенков**

## Датчики электронных систем безопасности

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники для специальности  
1-39 03 01 «Электронные системы безопасности» в качестве пособия*

Минск БГУИР 2018

УДК [681.586+004.056](076)  
ББК 32.96-04я73+32.973.26-018.2я73  
С32

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра автоматизированных систем  
управления производством учреждения образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет»  
(протокол №12 от 15.06.2016);

декан факультета инжиниринга и технологий связи учреждения  
образования «Белорусская государственная академия связи»,  
кандидат технических наук, доцент А. В. Будник

**Серенков, В. Ю.**

С32 Датчики электронных систем безопасности : пособие / В. Ю. Серенков. –  
Минск : БГУИР, 2018. – 64 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-371-3.

Рассмотрены датчики как составные части конструкций технических средств  
электронной системы безопасности (ЭСБ), их влияние на характеристики, надежность  
и эффективность функционирования ЭСБ.

**УДК [681.586+004.056](076)  
ББК 32.96-04я73+32.973.26-018.2я73**

**ISBN 978-985-543-371-3**

© Серенков В. Ю., 2018  
© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2018

## Содержание

1. Датчики электронных систем безопасности .....	4
1.1. Общие сведения и классификация датчиков .....	4
1.2. Физические принципы работы датчиков .....	7
1.3. Структура, функциональное назначение и эксплуатационно-технические характеристики датчиков .....	12
1.4. Выбор датчиков для ЭСБ .....	31
1.5. Интерфейсные схемы датчиков .....	41
2. Общая характеристика контрольной работы .....	46
Литература .....	63

Библиотека БГУИР

## 1. Датчики электронных систем безопасности

### 1.1. Общие сведения и классификация датчиков

#### 1.1.1. Понятие и классификация датчиков, их место в электронной системе безопасности

Датчик – это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением электрических сигналов.

Назначение датчиков – реакция на определённое внешнее физическое воздействие и преобразование его в электрический сигнал, совместимый с измерительными схемами. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, которые описываются следующими характеристиками: амплитудой, частотой, фазой или цифровым кодом. Этот набор характеристик называется *форматом выходного сигнала*. Таким образом, каждый датчик характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных электрических параметров.

Вне зависимости от типа измеряемой величины всегда происходит передача энергии от исследуемого объекта к датчику. Работа датчика – это особый случай передачи информации, а любая передача информации связана с передачей энергии. Очевидным является тот факт, что передача энергии может проходить в двух направлениях, т. е. она может быть как положительной, так и отрицательной, например, энергия может передаваться от объекта к датчику, и, наоборот, от датчика к объекту. Особым случаем является ситуация, при которой энергия равна нулю, но и в этом случае происходит передача информации о существовании именно такой особой ситуации.

Понятие *датчик* необходимо отличать от понятия *преобразователь*. Преобразователь конвертирует один тип энергии в другой, тогда как датчик преобразует любой тип энергии внешнего воздействия в электрический сигнал. Примером преобразователя может служить громкоговоритель, конвертирующий электрический сигнал в переменное магнитное поле для последующего формирования акустических волн.

**Все датчики** можно разделить на две группы: **датчики прямого действия** и **составные датчики**. Датчики прямого действия преобразуют внешнее воздействие непосредственно в электрический сигнал, используя для этого соответствующее физическое явление, в то время как в составных датчиках прежде чем получить электрический сигнал на выходе окончательного датчика прямого действия, необходимо осуществить несколько преобразований энергии.

На практике датчики не работают сами по себе. Как правило, они входят в состав измерительных систем, часто довольно больших, объединяющих много разных детекторов, преобразователей сигналов, сигнальных процессоров, запоминающих устройств и приводов. Датчики в таких системах могут быть как наружными, так и встроенными.

Все датчики можно разделить на две категории: **пассивные** и **активные**. Пассивный датчик не нуждается в дополнительной энергии и в ответ на изменение внешнего воздействия на его выходе всегда появляется электрический сигнал. Это означает, что такой датчик преобразует энергию внешнего сигнала в выходной сигнал. Примерами пассивных датчиков являются термопары, фотодиоды и пьезоэлектрические чувствительные элементы. Большинство пассивных датчиков являются устройствами прямого действия. В отличие от пассивного активный датчик для своей работы требует внешней энергии, называемой *сигналом возбуждения*. При формировании выходного сигнала активный датчик тем или иным способом воздействует на сигнал возбуждения. Поскольку такие датчики меняют свои характеристики в ответ на изменение внешних сигналов, их иногда называют *параметрическими*. Другим примером активных датчиков является резистивный тензодатчик, чьё электрическое сопротивление зависит от величины его деформации. Для определения сопротивления датчика через него также необходимо пропустить электрический ток от внешнего источника питания.

В зависимости от выбора точки отсчёта датчики можно разделить на **абсолютные** и **относительные**. Абсолютный датчик определяет внешний сигнал в абсолютных физических единицах, не зависящих от условий проведения измерений, тогда как выходной сигнал относительного датчика в каждом конкретном случае может трактоваться по-разному. Примером абсолютного датчика является термистор. Его электрическое сопротивление напрямую зависит от абсолютной температуры по шкале Кельвина. Другой же популярный датчик температуры – термопара – является относительным устройством, поскольку напряжение на его выходе является функцией градиента температуры на проволочках термопары.

Для каждого датчика можно вывести *идеальное*, или *теоретическое*, соотношение, связывающее сигналы на его входе и выходе. Выведенное идеальное соотношение между входным и выходным сигналом можно выразить в виде либо таблицы, либо графика, либо математического выражения. Это идеальное (теоретическое) выражение часто называют *передаточной функцией*. Передаточная функция устанавливает взаимосвязь между выходным электрическим сигналом датчика  $S$  и внешним воздействием  $s$ :  $S = f(s)$ . Эта функция может быть как линейной, так и нелинейной (например, логарифмической, экспоненциальной или степенной). Во многих случаях передаточная функция является одномерной (т. е. связывает выходной сигнал только с одним внешним воздействием) [1, 3].

### 1.1.2. Общие и специальные характеристики датчиков

К статическим характеристикам датчиков относятся следующие характеристики: диапазон изменения значений, диапазон выходных значений, точность, калибровка, гистерезис, нелинейность, воспроизводимость, мёртвая зона, разрешающая способность, выходной импеданс, сигнал возбуждения.

Динамический диапазон внешних воздействий, который датчик может воспринять, называется *диапазоном измеряемых значений (FS)*. Эта величина показывает максимально возможное значение входного сигнала, которое датчик может преобразовать в электрический сигнал, не выходя за пределы допустимых погрешностей.

*Диапазон выходных значений (FSO)* – алгебраическая разность между электрическими выходными сигналами, измеренными при максимальном и минимальном внешнем воздействии.

*Точность* – очень важная характеристика любого датчика. Когда говорят о точности датчика, чаще всего подразумевают его *неточность*, или *погрешность измерений*. Под погрешностью измерений, как правило, понимают величину максимального расхождения между показаниями реального и идеального датчиков.

*Калибровка*. Если производственные допуски на датчик и допуски на интерфейс (схемы преобразования сигналов) превышают требуемую точность системы, всегда необходимо проводить калибровку. *Ошибка калибровки* – это погрешность, допущенная производителем при проведении калибровки датчика на заводе.

*Гистерезис* – это разность значений выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученная при его возрастании и убывании. Типичными причинами возникновения гистерезиса являются трение и структурные изменения материалов.

*Нелинейность* определяется для датчиков, передаточную функцию которых возможно аппроксимировать прямой линией. Под нелинейностью понимается максимальное отклонение  $L$  реальной передаточной функции от аппроксимирующей прямой линии. Нелинейность обычно выражается либо в процентах от максимального входного сигнала, либо в единицах измеряемых величин (например, в килопаскалях (кПа) или градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ )).

Каждый датчик имеет свои пределы рабочих характеристик. Даже если он считается линейным, при определённом уровне внешнего воздействия его выходной сигнал перестанет отвечать приведённой линейной зависимости. В этом случае говорят, что датчик вошёл в зону нелинейности, или в зону насыщения.

*Воспроизводимость* – способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты.

*Мёртвая зона* – нечувствительность датчика в определённом диапазоне входных сигналов. В пределах этой зоны выходной сигнал остаётся почти постоянным (часто равным нулю).

*Разрешающая способность* характеризует минимальное изменение измеряемой величины, которое может почувствовать датчик.

*Выходной импеданс  $Z_{out}$*  является характеристикой, указывающей насколько легко датчик согласовывается с электронной схемой.

*Сигнал возбуждения* – это электрический сигнал, необходимый активному датчику для работы. Сигнал возбуждения описывается интервалом напряжений

и/или тока. Для некоторых типов датчиков также необходимо указывать частоту сигнала возбуждения и его стабильность.

Любой датчик обладает параметрами, зависящими от времени, называемыми *динамическими характеристиками*. Если датчик имеет ограниченное быстродействие, он может регистрировать значения внешних воздействий, отличающиеся от реальных. Это означает, что датчик работает с *динамической погрешностью*.

Частотные характеристики напрямую связаны с *быстродействием* датчика, выражаемым в единицах внешнего воздействия на единицу времени. Для датчиков первого порядка очень удобно использовать параметр, называемый *постоянной времени*.

*Частота среза* характеризует наименьшую или наибольшую частоту внешних воздействий, которую датчик может воспринять без искажений.

*Фазовый сдвиг* на определённой частоте показывает, насколько выходной сигнал отстает от внешнего воздействия.

*Демпфирование* – это значительное снижение или подавление колебаний в датчиках второго и более высоких порядков.

Для некоторых датчиков необходимо указывать *специальные характеристики входных сигналов*. Например, для детекторов освещённости такой характеристикой является его чувствительность в пределах ограниченной оптической полосы. Следовательно, для таких датчиков необходимо определять спектральные характеристики [3, 6].

## 1.2. Физические принципы работы датчиков

### 1.2.1. Используемые физические эффекты

Физические параметры, явления и эффекты, используемые для преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы (физика работы датчиков): заряды, поля, потенциалы, ёмкости, сопротивления, магнетизм, индукция, пьезоэлектрический эффект, эффект Холла, Зеебека, Пельтье, звуковые волны, температурные и тепловые явления материалов, теплопередача, световое взаимодействие, биофизические параметры человека и др. [2, 3, 6].

Основные принципы функционирования современных датчиков и их особенности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физические принципы функционирования датчика

Эффект или явление	Преобразование	Сущность
Закон <b>Фарадея</b> и <b>Генри</b>	Магнитное поле – электричество	Способность изменяющего магнитного поля индуцировать в проводнике электрический ток

Эффект или явление	Преобразование	Сущность
Пьезоэлектрический эффект	Давление – электричество	Возникновение разности потенциалов на гранях сегнетоэлектрика, находящегося под давлением
Пироэлектрический эффект	Температура – электричество	Возникновение электрорядов на гранях кристаллов при повышении температуры
Эффект Зеебека	Температура – электричество	Возникновение ЭДС в цепи с биметаллическими соединениями при разной температуре слоев
Термоэлектрический эффект	Тепловая энергия – электроны	Испускание электронов при нагревании металла в вакууме
Электротермический эффект Пельтье	Электричество – тепловая энергия	Поглощение (генерация) тепловой энергии при электротоке в цепи с биметаллическими соединениями
Электротермический эффект Томсона	Температура и электричество – тепловая энергия	Поглощение (генерация) тепловой энергии при разных температурах участков в однородной цепи
Теплопроводность	Тепловая энергия – изменение физических свойств	Переход тепла внутри объекта в область с более низкой температурой
Тепловое излучение	Тепловая энергия – инфракрасные лучи	Оптическое излучение при повышении температуры объекта
Фотогальванический эффект	Свет – электричество	Возникновение ЭДС в облучаемом светом <i>p-n</i> -переходе
Эффект фотопроводимости	Свет – электросопротивление	Изменение электросопротивления полупроводника при его облучении светом
Эффект Зеемана	Свет, магнетизм – спектр	Расщепление спектральных линий при прохождении света в магнитном поле
Эффект Рамана (комбинационное рассеяние света)	Свет – свет	Возникновение в веществе светового излучения, отличного по спектру от исходного монохроматического
Эффект Поккельса	Свет и электричество – свет	Расщепление светового луча на обыкновенный и необыкновенный при прохождении через пьезокристалл с приложенным к нему электронапряжением
Эффект Керра	Свет и электричество – свет	Расщепление светового луча на обыкновенный и необыкновенный в изотопном веществе с приложенным к нему электронапряжением
Эффект Фарадея	Свет и магнетизм – свет	Поворот плоскости поляризации светового луча при прохождении через парамагнитное вещество

Эффект или явление	Преобразование	Сущность
Эффект Холла	Магнетизм и электричество – электричество	Возникновение разности потенциалов на гранях твердого тела при пропускании через него электротока и приложении магнитного поля
Эффект Доплера	Звук, свет – частота	Изменение частоты при взаимном перемещении объектов
Магнитосопротивление	Магнетизм и электричество – электросопротивление	Увеличение электрического сопротивления твердого тела в магнитном поле
Магнитострикция	Магнетизм – деформация	Деформация ферромагнитного тела в магнитном поле
Закон Био – Савара – Лапласа	Электрический ток – магнитное поле	При протекании по электропроводнику электрического тока вокруг него в пространстве возникает магнитное поле

### 1.2.2. Физические основы оптических систем и оптоэлектронных устройств и приборов

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, поэтому оптика – часть общего учения об электромагнитном поле. Оптический диапазон длин волн охватывает около 20 октав и ограничен с одной стороны, рентгеновскими лучами, а с другой – микроволновым диапазоном радиоизлучения. Такое ограничение условно и в значительной степени определяется общностью технических средств и методов исследования явлений в указанном диапазоне. Для этих средств и методов характерно основанное на волновых свойствах излучения формирование изображений оптических предметов с помощью приборов, линейные размеры которых много больше длины волны излучения, а также использование приёмников света, действие которых основано на его квантовых свойствах.

Оптика – раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом. Учение о свете принято делить на три части:

- геометрическая, или лучевая оптика, в основе которой лежит представление о световых лучах;

- волновая оптика, изучающая явления, в которых проявляются волновые свойства света;

- квантовая оптика, изучающая взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света.

Геометрическая оптика – это раздел оптики, изучающий законы распространения света в прозрачных средах и отражения света от зеркальных или полупрозрачных поверхностей.

Основные законы геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света, закон отражения и преломления света, закон независимости световых пучков, зеркальное и диффузное отражение, закон независимости световых пучков.

Волновая оптика изучает явления, в которых проявляются волновые свойства света. Интерференция – один из двух путей переноса энергии в пространстве. Это явление происходит при взаимодействии двух и более волн одинаковой частоты, распространяющихся в разных направлениях. При встрече двух волн в противофазе наблюдается штиль, деструктивная интерференция (мёртвая точка); при совпадении по фазе – удваивание амплитуды, конструктивная интерференция. На основе этого явления создан интерферометр: один луч разбивается на два синфазных луча. Смещение интерференционной картины позволяет отслеживать положение луча.

Дифракция – в основе лежит принцип Гюйгенса, т. е. каждая точка на пути распространения луча может являться новым источником вторичных волн.

Квантовая оптика – раздел оптики, изучающий явления, в которых выражается корпускулярная природа света. Одна из главных проблем – описание взаимодействия света с веществом с учётом квантовой природы объекта, а также исследований света в специальных природных условиях [3, 5].

Оптоэлектроника – важная самостоятельная область функциональной электроники и микроэлектроники.

Оптоэлектроника охватывает два основных независимых направления – оптическое и электронно-оптическое.

Оптическое направление базируется на эффектах взаимодействия твёрдого тела с электромагнитным излучением. Оно опирается на голографию, фотохимию, электрооптику и другие явления. Оптическое направление иногда называют лазерным.

Электронно-оптическое направление использует принцип фотоэлектрического преобразования, реализуемого в твёрдом теле посредством внутреннего фотоэффекта, с одной стороны, и электролюминесценции, с другой. В основе этого направления лежит замена гальванических и магнитных связей в традиционных электронных цепях оптическими. Это позволяет повысить плотность информации в канале связи, а также его быстродействие и помехозащищённость.

Оптоэлектронный прибор – это устройство, в котором при обработке информации происходит преобразование электрических сигналов в оптические и обратно. Существенная особенность оптоэлектронных устройств состоит в том, что элементы в них оптически связаны, а электрически – изолированы друг от друга.

Основным элементом оптоэлектроники является оптрон – электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно – светодиод, в ранних изделиях – миниатюрная лампа накаливания) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототиристоров, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе (рис. 1).

Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал [4, 8].

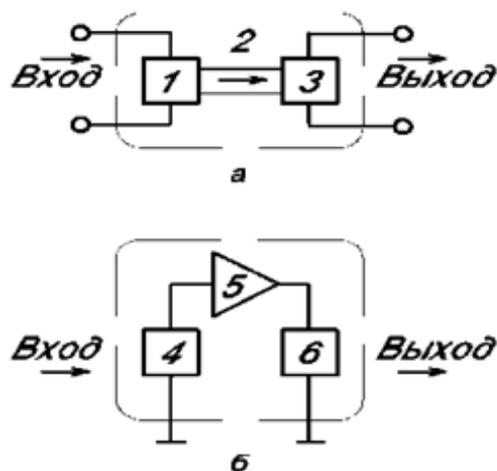


Рис. 1. Оптрон с внутренними (а) и внешними (б) фотонными связями; 1, 6 – источники света; 2 – световод; 3, 4 – приёмники света; 5 – усилитель

### 1.2.3. Основы электроакустики и принцип работы электроакустических преобразователей

Звуковыми (акустическими) волнами называются распространённые в среде упругие волны, обладающие частотами в пределах от 16 Гц до 20 кГц. Волны указанных частот воздействуют на слуховой аппарат человека и вызывают чувство звука. Источник любых колебаний – волна. Упругие волны, которые распространяются в сплошных средах, называются звуковыми.

Звуковое поле – это пространство, в котором происходит процесс звуковых колебаний. Звуковые колебания в жидкой и газообразной средах представляют собой продольные колебания, образующиеся посредством сгущения и разжижения частиц среды,двигающихся от источника колебаний со скоростью звука. Скорость звука – постоянная величина для данной среды и метеоусловий, определяющаяся соотношением

$$c(0) = \sqrt{\frac{y \rho(ct)}{\rho(0)}}$$

где  $\rho(ct)$  – статическое давление среды ( $1,013 \cdot 10^5$  Па);

$\rho(0)$  – плотность;

$y$  – постоянная адиабаты.

Звуковой волной называется процесс распространения деформаций сжатия и растяжения в сплошной среде, происходящий с конечной скоростью. Звуковое давление – это разность между мгновенным значением плотности давления и статическим давлением среды.

Акустическое сопротивление – отношение звукового давления к скорости колебания частиц среды, наличие реактивной составляющей свидетельствует о наличии сдвига фаз между звуковым давлением и скоростью колебаний. Интенсивность звука – средний поток звуковой энергии, переносимый звуковой волной в единицу времени через единичную площадку перпендикулярно направле-

нию распространения звуковой волны [2]. Логарифмическая единица уровней затуханий и усиления – децибел:

$$A_{dB} = 10 \lg \frac{A}{A_0}.$$

Действие электродинамических преобразователей основано на электродинамическом эффекте. Электродинамическими называют индукционные системы, электрический контур которых перемещается в магнитном поле, порождённом внешним по отношению к контуру источником электродвижущей силы (ЭДС) [10].

Действие электростатических преобразователей основано на изменении силы притяжения обкладок конденсатора при изменении напряжения на нём и на изменении положения обкладок конденсатора относительно друг друга под действием, например, акустических волн.

Пьезоэлектрические преобразователи основаны на прямом и обратном пьезоэлектрическом эффекте, к ним относятся кристаллические вещества и специальные керамики, в которых при сжатии и растяжении в определенных направлениях возникает электрическое напряжение. Это прямой пьезоэффект, при обратном появляются механические деформации [5].

### 1.3. Структура, функциональное назначение и эксплуатационно-технические характеристики датчиков

#### 1.3.1. Датчики (детекторы) контроля присутствия и идентификации объектов

Датчики присутствия детектируют нахождение людей (а иногда и животных) в контролируемой зоне. Они вырабатывают выходной сигнал независимо от того, движется объект или замер, в то время как сигнал на выходе появляется только в случае перемещения объекта. Такие датчики применяются в системах наблюдения и охраны, устройствах управления энергией для управления включением/выключением электрического света, интерактивных игрушках и т. д. В зависимости от конкретной ситуации присутствие может определяться по некоторым параметрам тела или характеристикам поведения. Например, датчик может реагировать на вес человека, тепло от его тела, звуки, изменения диэлектрической проницаемости и т. д. Для определения присутствия людей и их передвижений в настоящее время применяются следующие типы датчиков.

*Датчики давления воздуха:* детекторы перепадов давления воздуха, возникающих при открывании дверей и окон.

*Акустические датчики:* детекторы звуков, производимых людьми.

*Фотоэлектрические датчики:* детекторы пересечения луча света движущимися объектами.

*Детекторы напряжений:* датчики деформации, встроенные в пол, ступени и другие конструктивные элементы.

*Детекторы открывания:* электрические контакты, встроенные в двери и окна.

*Магнитные детекторы открывания:* бесконтактная версия детекторов открывания.

*Детекторы вибраций:* устройства, реагирующие на вибрации стен или других конструкций зданий; могут крепиться к дверям и окнам обнаружения передвижений объектов.

*Детекторы разбитых стёкол:* датчики, реагирующие на специфические вибрации, характерные для бьющегося стекла.

*СВЧ-детекторы (микроволновые датчики):* активные устройства, реагирующие на СВЧ электромагнитные волны, отражённые от объектов.

*Видеодетекторы появления новых объектов:* видеоустройства, сравнивающие текущее изображение охраняемой зоны с записанным в памяти эталонным изображением.

*Системы видеораспознавания:* анализаторы изображений, сравнивающие характерные особенности лиц людей с портретами, хранящимися в базе данных.

*Лазерные детекторы:* устройства, использующие узкие лучи света и комбинацию отражателей.

*Ёмкостные датчики:* детекторы изменения ёмкости человеческого тела.

*Оптоэлектронные датчики:* детекторы уровня освещённости или контрастности в охраняемой зоне.

*Ультразвуковые датчики:* устройства, аналогичные СВЧ-датчикам, только в них вместо электромагнитных волн используются ультразвуковые колебания.

*Электростатические детекторы:* датчики, способные детектировать статические электрические заряды, переносимые движущимися объектами.

*Микроволновые детекторы:* устройства, принцип действия которых основан на излучении электромагнитных радиочастотных волн в сторону охраняемой зоны, что позволяет контролировать большие площади; работает в широком температурном диапазоне и сильно зашумлённых условиях (при ветре, пыли, влаге и т. д.).

*ИК-детекторы движения:* устройства, реагирующие на тепловые волны, испускаемые тёплыми или холодными движущимися объектами.

Принцип работы ИК-детектора движения основан на отслеживании уровня ИК-излучения в поле зрения датчика (как правило, пироэлектрического). Сигнал на выходе датчика монотонно зависит от уровня ИК-излучения, усреднённого по полю зрения датчика. При появлении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) на выходе пироэлектрического датчика повышается напряжение. Для того чтобы определить, движется ли объект, в датчике используется оптическая система – линза Френеля. Иногда вместо линзы Френеля используется система вогнутых сегментных зеркал. Сегменты оптической системы (линзы или зеркала) фокусируют ИК-излучение на пироэлементе, выдающем при этом электроимпульс. По мере перемещения источника ИК-излучения оно улавливается и фокусируется разными сегментами оптической системы, что формирует несколько последовательных импульсов. В зависимости от установки чувствительности датчика для выдачи итогового сигнала на пироэлемент датчика должно поступить два или три импульса [3].

Датчик движения обнаруживает только изменения ИК-фона, т. е. неподвижный объект не будет обнаружен.

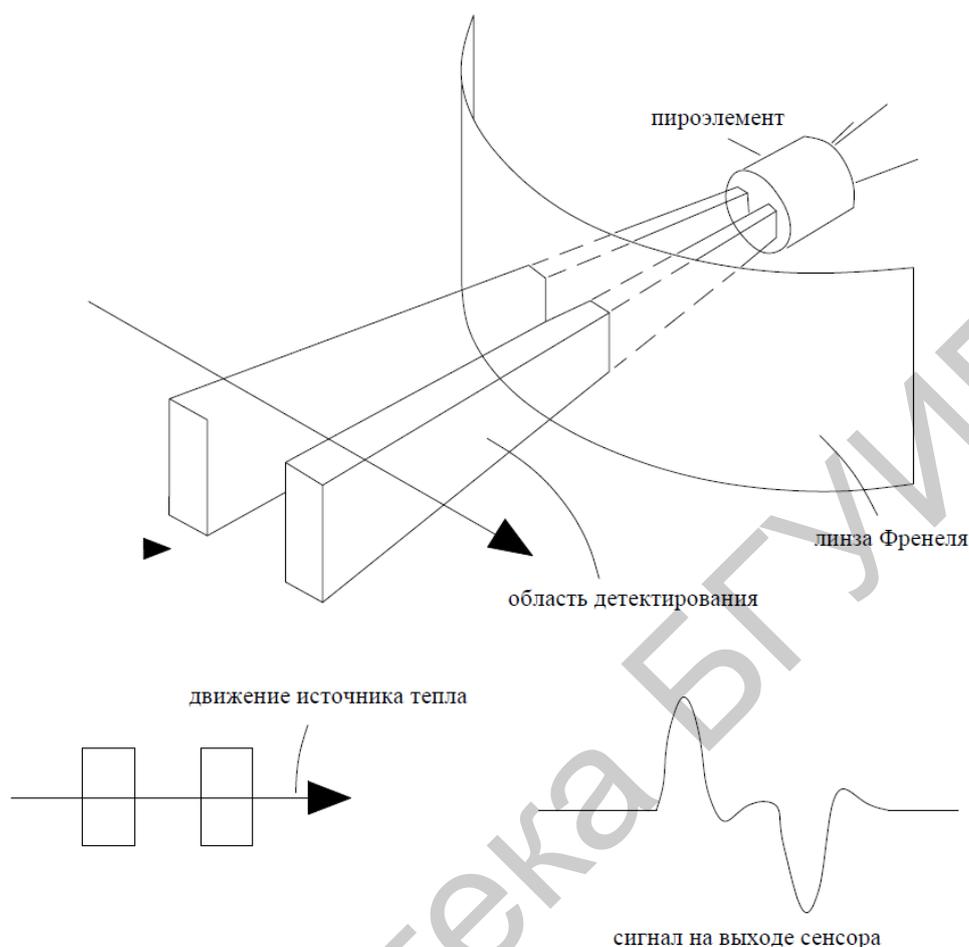


Рис. 2. Пирозлектрический датчик движения

### 1.3.2. Датчики перемещения, положения, уровня, ускорения

Датчики перемещения, положения, уровня бывают потенциметрические, гравитационные, ёмкостные, индуктивные, магнитные, оптические, ультразвуковые, датчики толщины и уровня – пьезорезистивные, пьезоэлектрические, датчики ускорения – ёмкостные.

Датчик перемещения – это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта. Все датчики перемещения можно разделить на две основные категории: датчики линейного перемещения и датчики углового перемещения.

По принципу действия *датчики перемещения* могут быть: ёмкостными, оптическими, индуктивными, вихретоковыми, ультразвуковыми, магниторезистивными, потенциметрическими, магнитострикционными и на основе эффекта Холла.

*Ёмкостные* датчики перемещения. В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигураци-

ей. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами вследствие внешнего физического воздействия.

*Индуктивные датчики перемещения.* В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора.

*Вихревые датчики перемещения.* Датчики данного типа содержат генератор магнитного поля и регистратор, с помощью которого определяется величина индукции вторичных магнитных полей. Вблизи интересующего объекта генератор создаёт магнитное поле, которое, пронизывая материал объекта, порождает в его объёме вихревые токи, создающие, в свою очередь, вторичное магнитное поле.

*Ультразвуковые датчики перемещения.* В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара – фиксируются отражённые от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором, которые обычно заключены в компактный корпус.

*Магниторезистивные датчики перемещения.* В магниторезистивных датчиках перемещения используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления и величины индукции внешнего магнитного поля.

*Датчики на основе эффекта Холла.* Датчики этого типа имеют конструкцию, подобную конструкции магниторезистивных датчиков, однако в основу их работы положен эффект Холла: прохождение тока через проводник, на который воздействует внешнее магнитное поле, приводит к возникновению разности потенциалов в поперечном сечении проводника.

*Потенциометрические датчики перемещения.* Датчик данного типа в своей основе имеет электрический контур, содержащий потенциометр. Линейное перемещение объекта приводит к изменению сопротивления потенциометра (переменного резистора).

*Датчик движения* представляет собой устройство, при помощи которого в зоне обнаружения можно определить движение объекта. Применяются такие приборы в охранной сигнализации (в таком случае они имеют название инфракрасных извещателей), а также в быту – для автоматического включения освещения. Мы рассматриваем датчики, которые используются в системах охранной сигнализации.

Виды датчиков движения:

1. По принципу действия:

- инфракрасные;
- ультразвуковые;
- радиоволновые;
- совмещённые.

2. По конструкционным особенностям:

- однопозиционные (приёмник и передатчик расположены в одном блоке);

- двухпозиционные (передатчик и приёмник – в разных блоках);
- многопозиционные (в системе находится больше двух блоков приёмников и передатчиков).

Датчики движения бывают активные и пассивные.

*Активные* датчики движения. В этом случае используется передатчик, который излучает один или несколько инфракрасных лучей, и приёмник, который их улавливает. В случае пересечения человеком лучей выдаётся соответствующий сигнал.

*Пассивные* датчики движения. В этом случае передатчика нет, есть приёмник ИК-излучения человека, который реагирует на тепло и выдаёт соответствующий сигнал на выходное реле. В низкочастотной области (в полосе частот порядка 1 Гц) довольно хорошую точность измерений обеспечивают датчики положения и перемещения объектов. В зоне средних частот (менее 1 кГц) уже предпочтительнее использовать датчики скорости. Тогда как на высоких частотах, когда перемещения соизмеримы с уровнем шума, применяются датчики ускорения. Как правило, применяется метод сравнения с эталонными величинами. Принцип действия таких детекторов часто основан на измерении перемещений объекта относительно некоторого эталонного объекта, который часто входит в состав самого детектора. Поэтому чувствительный элемент, реагирующий на перемещение объекта, является одним из компонентов многих датчиков скорости и ускорения. Иногда таких элементов в составе датчиков скорости и акселерометров нет, поскольку они сами преобразуют своё движение в электрические сигналы. Например, в соответствии с законом Фарадея, магнит, двигающийся в катушке индуктивности, приводит к возникновению в ней напряжения. Это напряжение пропорционально скорости движения магнита и силе поля. Линеинные датчики скорости построены на принципе магнитной индукции.

*Датчики ускорения* – акселерометры – считаются устройствами с одной степенью свободы. В состав всех акселерометров входят: специальный элемент, называемый инерционной массой, движение которого отстаёт от движения корпуса, упругая поддерживающая система (пружина) и демпфирующее устройство.

По конструктивному исполнению акселерометры подразделяются на одно-, двух- и трёхкомпонентные. Соответственно, они позволяют измерять ускорение вдоль одной, двух и трёх осей.

#### *Пьезорезистивные акселерометры*

Чувствительным элементом пьезорезистивных акселерометров является тензодатчик, измеряющий деформацию пьезорезистивных элементов, поддерживающих инерционную массу, путём измерения их сопротивлений, зависящих от степени деформации. Эта деформация пропорциональна величине и скорости перемещения массы, а значит, и ускорению. Такие устройства могут измерять ускорения в широком частотном диапазоне: 0...13 кГц. При разработке соответствующей конструкции пьезорезистивные акселерометры выдерживают перегрузку, равную 10 000 г.

### *Пьезоэлектрические акселерометры*

В основе пьезоэлектрических акселерометров лежит пьезоэлектрический эффект, заключающийся в прямом преобразовании механической энергии в электрическую в материалах, имеющих кристаллическую структуру с электрическими диполями. Для улучшения частотных характеристик пьезоэлектрический сигнал усиливается при помощи преобразователя заряд – напряжение или ток – напряжение. Эти датчики работают в широком температурном диапазоне (от 0 до 120 °С) с высокой линейностью в частотном диапазоне от 2 Гц до 10 кГц.

### *Ёмкостные акселерометры*

Ёмкостный метод преобразования перемещений в электрический сигнал является самым проверенным и надёжным. Ёмкостный датчик ускорений состоит из двух пластин: стационарной, часто соединённой с корпусом, и свободно перемещающейся внутри корпуса, к которой подсоединена инерционная масса. Эти пластины формируют конденсатор, величина ёмкости которого зависит от расстояния между ними, а значит, и от ускорения движения, испытываемого датчиком. Максимальное перемещение, определяемое ёмкостным акселерометром, редко превышает 20 мкм. Следовательно, в таких датчиках всегда необходимо компенсировать дрейф различных параметров, а также подавлять всевозможные помехи. Поэтому обычно акселерометры имеют дифференциальную структуру, для чего в их состав вводится дополнительный конденсатор, ёмкость которого должна быть близка к ёмкости основного конденсатора. При этом напряжения на конденсаторы подаются со сдвигом фаз 180°. Тогда величина ускорения датчика будет пропорциональна разности значений ёмкостей конденсаторов [3, 6, 11].

### 1.3.3. Датчики силы, механического напряжения, прикосновения и давления

*Датчик давления* – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газы, пар). В датчиках давление измеряемой среды преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код. Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого имеется чувствительный элемент – приёмник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий, и устройства вывода информационного сигнала. Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от метода преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, ёмкостный, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и др.

Тензометрический метод – чувствительные элементы датчиков базируются на принципе изменения сопротивления при деформации тензорезисторов, приклеенных к упругому элементу, который деформируется под действием давления [2, 7].

Пьезорезистивный метод – основан на интегральных чувствительных элементах из монокристаллического кремния. Кремниевые преобразователи имеют высокую чувствительность благодаря изменению удельного объёмного сопротивления полупроводника при деформировании давлением. Для измерения агрессивных сред и большинства промышленных применений используется преобразователь давления в герметичном металлостеклянном корпусе с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, передающей давление измеряемой среды посредством кремнийорганической жидкости.

Ёмкостный метод – ёмкостные преобразователи используют метод изменения ёмкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические и кремниевые ёмкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение ёмкости. В элементе из керамики или кремния пространство между обкладками обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью. Недостаток – нелинейная зависимость ёмкости от приложенного давления.

Резонансный метод – в основе метода лежит изменение резонансной частоты колеблющегося упругого элемента при деформировании его силой или давлением. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора. К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

Индуктивный метод – основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном. Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создаётся ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки даёт возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.

Ионизационный метод – в основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются ламповые диоды. Лампа оснащена двумя электродами – катодом и анодом, а также нагревателем. В некоторых лампах последний отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. Преимуществом таких ламп является возмож-

ность регистрировать низкое давление – вплоть до глубокого вакуума с высокой точностью. Однако следует строго учитывать, что подобные приборы нельзя эксплуатировать, если давление в камере близко к атмосферному. Поэтому подобные преобразователи необходимо сочетать с другими датчиками давления, например, ёмкостными. Зависимость сигнала от давления является логарифмической.

Пьезоэлектрический метод – в основе лежит прямой пьезоэлектрический эффект, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению. Пьезоэлектрические датчики используются для измерения быстроменяющихся акустических и импульсных давлений, обладают широкими динамическими и частотными диапазонами, имеют малую массу и габариты, высокую надёжность и могут использоваться в жёстких условиях эксплуатации.

Пьезоэлектрики являются обратимыми электромеханическими преобразователями, т. е. способны преобразовывать механическую энергию в электрическую и, наоборот, электрическую энергию в механическую. Преобразователи, основанные на использовании прямого пьезоэффекта, называют преобразователями-генераторами; они имеют механический вход и электрический выход. Преобразователи, основанные на использовании обратного пьезоэффекта, называют преобразователями-двигателями; они имеют электрический вход и механические выходы. Известно множество пьезоэлектрических устройств, основанных на использовании как прямого, так и обратного эффекта. Прямой эффект используется, например, в микрофонах, звукоснимателях, датчиках механических сил, перемещений и ускорений, бытовых зажигалках для газа и др. Обратный эффект послужил основой для создания телефонов, громкоговорителей, ультразвуковых излучателей, реле, двигателей и т. п. Пьезотрансформатор представляет собой пьезоэлектрический преобразователь в виде четырёхполюсника, имеющего только электрические вход и выход. Исходя из физического принципа действия все пьезоэлектрические преобразователи делятся на три группы:

- преобразователи, использующие прямой пьезоэффект и применяемые в приборах для измерения параметров механических процессов, в том числе силы, акустического и быстропеременного давления, линейных и угловых ускорений, а также вибрации, ударов;

- преобразователи, использующие обратный пьезоэффект и применяемые в качестве излучателей ультразвука в гидроакустике и дефектоскопии, преобразователях напряжения в перемещение (пьезодвигатели и пьезореле) для юстировки зеркал оптических приборов и исполнительных элементов систем автоматики;

- преобразователи параметрического типа, использующие одновременно прямой и обратный пьезоэффекты – пьезоэлектрические резонаторы, наиболее эффективно излучающие и принимающие энергию на фиксированной резонансной частоте. Пьезорезонаторы применяются в полосовых фильтрах, линиях задержки, преобразователях перемещения или присоединённой массы в частоту для датчиков уровня, плотности и др. Пьезоэлектрические датчики применяются

для измерения быстропеременных процессов в диапазоне частот от единиц герцев до сотен килогерцев [1, 5, 7].

#### 1.3.4. Акустические датчики

Микрофон – электроакустический прибор, преобразовывающий звуковые колебания в колебания электрического тока, устройство ввода. Принцип работы: давление звуковых колебаний воздуха, воды или твёрдого вещества действует на тонкую мембрану микрофона, колебания мембраны возбуждают электрические колебания. Свойства акустико-механической системы зависят, во-первых, от того, воздействует ли звуковое давление на одну сторону диафрагмы (микрофон давления) или на обе, а во-вторых – симметрично ли это воздействие (микрофон градиента давления) или на одну из сторон диафрагмы действуют колебания, непосредственно возбуждающие её, а на вторую – прошедшие через какое-либо механическое или акустическое сопротивление или систему задержки времени (асимметричный микрофон градиента давления) [10].

По признаку преобразования акустических колебаний микрофоны подразделяются на следующие виды:

- электродинамические;
- электромагнитные;
- электростатические (например электретные);
- угольные;
- пьезоэлектрические;
- полупроводниковые.

Микрофоны характеризуются следующими параметрами:

1. *Чувствительность микрофона* – это отношение напряжения на выходе микрофона к воздействию на него звуковому давлению при заданной частоте (как правило, 1000 Гц), выраженное в милливольтгах на паскаль (мВ/Па). Чем больше это значение, тем выше чувствительность микрофона.

2. *Номинальный диапазон рабочих частот* – диапазон частот, в котором микрофон воспринимает акустические колебания и в котором нормируются его параметры.

3. *Неравномерность частотной характеристики* – разность между максимальным и минимальным уровнем чувствительности микрофона в номинальном диапазоне частот.

4. *Модуль полного электрического сопротивления* – нормированное значение выходного или внутреннего электрического сопротивления на частоте 1 кГц.

5. *Характеристика направленности* – зависимость чувствительности микрофона (в свободном поле на определённой частоте) от угла между осью микрофона и направлением на источник звука.

6. *Уровень собственного шума микрофона* – выраженное в децибелах отношение эффективного значения напряжения, обусловленного флуктуациями давления в окружающей среде и тепловыми шумами различных сопротивлений в электрической части микрофона, к напряжению, развиваемому микрофоном на

нагрузке при давлении 1 Па при воздействии на микрофон полезного сигнала с эффективным давлением 0,1 Па.

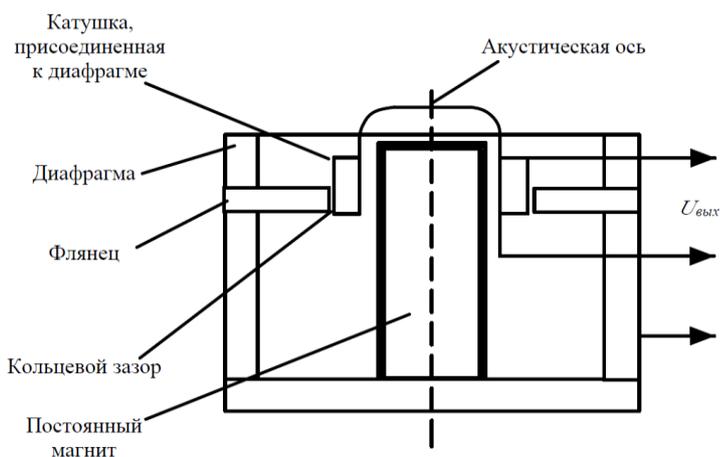


Рис. 3. Электродинамический микрофон

Наиболее распространён электродинамический микрофон (рис. 3). Он представляет собой мембрану, соединённую с лёгким токопроводом, который помещён в сильное магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом. Колебания давления воздуха (звук) воздействуют на мембрану и приводят в движение токопровод. Когда токопровод пересекает силовые линии магнитного поля, в нём наводится ЭДС индукции. ЭДС индукции пропорциональна амплитуде колебаний мембраны и частоте колебаний.

На рис. 4. приведена схема, объясняющая принцип работы электростатического (конденсаторного) микрофона.

Выполненные из электропроводного материала мембрана 1 и электрод 2 разделены изолирующим кольцом 3 и представляют собой конденсатор. Жёстко натянутая мембрана под воздействием звукового давления совершает колебательные движения относительно неподвижного электрода.

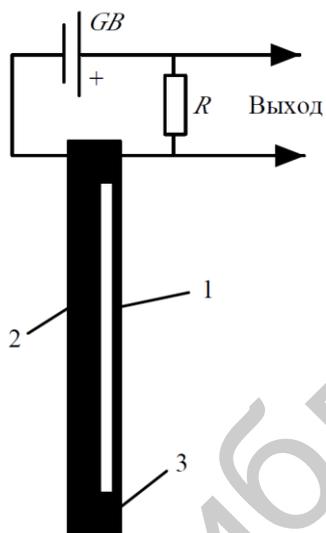


Рис. 4. Конденсаторный микрофон:

- 1 – мембрана;
- 2 – электрод;
- 3 – изолирующее кольцо

Конденсатор включён в электрическую цепь последовательно с источником напряжения постоянного тока и активным нагрузочным сопротивлением  $R$ . При колебаниях мембраны ёмкость конденсатора меняется с частотой воздействующего на мембрану звукового давления. В электрической цепи появляется переменный ток той же частоты и на нагрузочном сопротивлении возникает переменное напряжение, являющееся выходным сигналом микрофона.

Угольные микрофоны (резистивные) – один из первых типов, содержащих угольный порошок, размещённый между пластинами и заключённый в капсулу (рис. 5). Одна из пластин соединяется с мембраной, при изменении давления на порошок изменяется давление между отдельными зёрнами порошка и в результате изменяется сопротивление между пластинами. Если пропускать между пластинами постоянный ток, то напряжение будет зависеть от давления на мембрану.

Такой микрофон практически не требует усиления, с его выхода можно подавать на наушники усилитель. Однако у него плохая полоса пропускания, он не чувствителен к сильно низким и высоким частотам, требует питания постоянным током, имеет высокий уровень шумов.

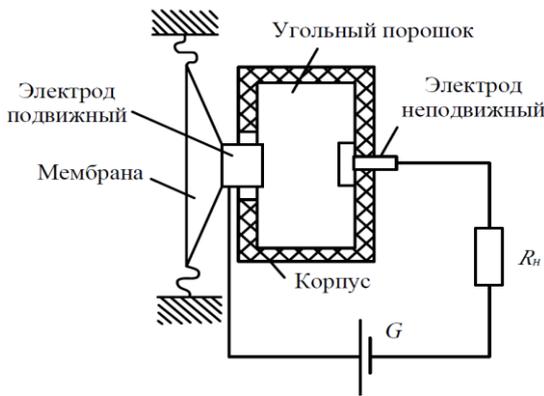


Рис. 5. Угольный микрофон

сопротивление до величины не более 3...4 кОм и уменьшить потери сигнала при подключении ко входу усилителя сигнала микрофона. У электретных микрофонов с

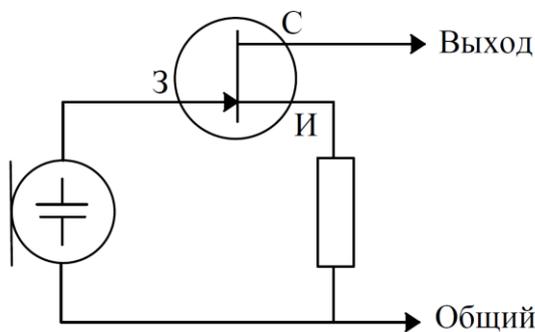


Рис. 6. Электретный микрофон

двумя выводами выход микрофона выполнен по схеме усилителя с открытым стоком. Для разработки простых микрофонов может использоваться пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрический кристалл является прямым преобразователем механического напряжения в электрический заряд. Наиболее часто используемым материалом для изготовления датчиков является пьезоэлектрическая керамика, которая может работать на очень высоких частотах. По этой причине пьезоэлектрические датчики применяются для преобразования ультразвуковых волн. Такие датчики также используются и в звуковом диапазоне. Пьезоэлектрические микрофоны часто можно встретить в разнообразной аудиоаппаратуре. Примерами применения пьезоэлектрических акустических датчиков являются управляемые голосом устройства, состоящие из пьезоэлектрического керамического диска с двумя электродами, нанесёнными на него с двух сторон. Электроды соединяются проводами либо при помощи токопроводящей эпоксидной смолы или методом пайки [3, 9, 10].

### 1.3.5. Детекторы светового излучения

Для преобразования световых сигналов в электрические используют фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы, фототиристоры, фотодетекторы ИК-излучения и другие приборы.

**Фотодиод** (рис. 7) представляет собой смещённый в обратном направлении *p-n*-переход, обратный ток насыщения которого определяется ко-

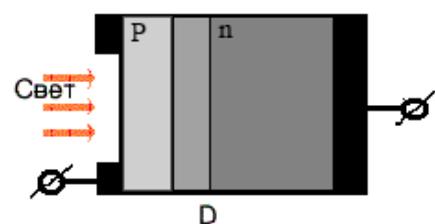


Рис. 7. Фотодиод

Электретные микрофоны (рис. 6) по принципу работы являются теми же конденсаторными, но постоянное напряжение в них обеспечивается зарядом электрета на материале, который тонким слоем нанесён на мембрану и сохраняет этот заряд продолжительное время. Поскольку электростатические микрофоны обладают высоким выходным сопротивлением, то для его уменьшения, как правило, в корпус микрофона встраивают истоковый повторитель на полевом *n*-канальном транзисторе с *p-n*-переходом. Это позволяет снизить выходное сопротивление до величины не более 3...4 кОм и уменьшить потери сигнала при подключении ко входу усилителя сигнала микрофона. У электретных микрофонов с двумя выводами выход микрофона выполнен по схеме усилителя с открытым стоком.

Для разработки простых микрофонов может использоваться пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрический кристалл является прямым преобразователем механического напряжения в электрический заряд. Наиболее часто используемым материалом для изготовления датчиков является пьезоэлектрическая керамика, которая может работать на очень высоких частотах. По этой

личеством носителей заряда, порождаемых в нем действием падающего света. Параметры фотодиода выражают через значения тока, протекающего в его цепи. Чувствительность фотодиода, которую принято называть интегральной, определяют как отношение фототока к вызвавшему его световому потоку  $\Phi$ . Порог чувствительности фотодиодов оценивают по известным значениям интегральной (токовой) чувствительности и темнового тока  $I_d$ , т. е. тока, протекающего в цепи в отсутствие облучённости чувствительного слоя. Основными материалами для фотодиодов являются германий и кремний.

**Фототранзисторы** представляют собой приемники лучистой энергии с двумя или с большим числом *p-n*-переходов, обладающие свойством усиления фототока при облучении чувствительного слоя (рис. 8). Фототранзистор соединяет в себе свойства фотодиода и усилительные свойства транзистора. Наличие у фототранзистора оптического и электрического входов одновременно позволяет создать смещение, необходимое для работы на линейном участке энергетической характеристики, а также компенсировать внешние воздействия. Для обнаружения малых сигналов напряжение, снимаемое с фототранзистора, должно быть усилено. В этом случае следует увеличить сопротивление выхода переменному току при минимальном темновом токе в цепи коллектора, создавая положительное смещение на базе.

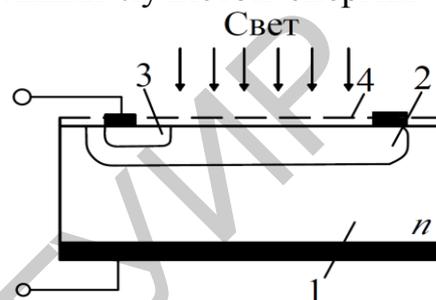


Рис. 8. Фототранзистор:  
1 – эмиттер; 2 – база; 3 – коллектор;  
4 – защитная плёнка

**Фоторезистор** – это пластина полупроводника, на противоположных концах которого расположены омические контакты (рис. 9).

В качестве *детекторов ИК-излучения* чаще всего применяются пироэлектрические элементы. Пироэлектрические материалы вырабатывают электрические заряды в ответ на тепловой поток, проходящий через них. В упрощённом виде можно считать, что пироэлектричество появляется вследствие теплового расширения материалов. Поглощённое тепло заставляет расширяться переднюю часть чувствительного элемента. Поскольку все пироэлектрики также обладают пьезоэлектрическими свойствами, возникшее в результате расширения напряжение приводит к появлению зарядов на электродах элемента. Это означает, что между электродами, расположенными с двух сторон элемента, возникает разность потенциалов [14].



Рис. 9. Фоторезистор

### 1.3.6. Датчики температуры

Самым простым и самым распространённым способом определения температуры является измерение теплового расширения различных веществ. В настоящее время широко распространены следующие датчики температуры: ре-

зистивные, термоэлектрические, полупроводниковые, оптические, пьезоэлектрические и др.

Существует два основных метода измерения температуры: *равновесный* и *прогнозируемый*. В равновесном методе измерение температуры проводится, когда между измеряемой поверхностью и чувствительным элементом, находящимся в зонде (контактном детекторе), наступает тепловое равновесие, т. е. между датчиком и объектом измерения нет существенной разности температур. В методе прогнозирования в процессе проведения измерений тепловое равновесие не наступает, а значение текущей температуры определяется по скорости изменения температуры датчика.

Возможные ошибки при измерении температуры возникают из-за того, что датчик соединяется не только с объектом, температуру которого он измеряет, но и с другими предметами. Другая причина содержится в использовании соединительных кабелей, которые не только передают электрический сигнал датчика, но и часть тепла от элемента или к нему.

Типовой контактный датчик температуры (рис. 10, а) состоит из следующих компонентов:

- чувствительного элемента – материала, реагирующего на изменение его собственной температуры;
- контактов – проводящих пластинок или проводов, связывающих чувствительный элемент с внешней электронной схемой;
- защитного корпуса – специальной оболочки или покрытия, физически отделяющего чувствительный элемент от окружающей среды.

*Бесконтактный* датчик температуры, представляющий собой оптический детектор теплового излучения, показан на рис. 10, б. Основное отличие контактных и бесконтактных датчиков заключается в способе передачи тепла от объекта к элементу: в контактных датчиках задействован механизм теплопроводности через физический контакт, в бесконтактных тепло передаётся через излучение или оптическим методом.

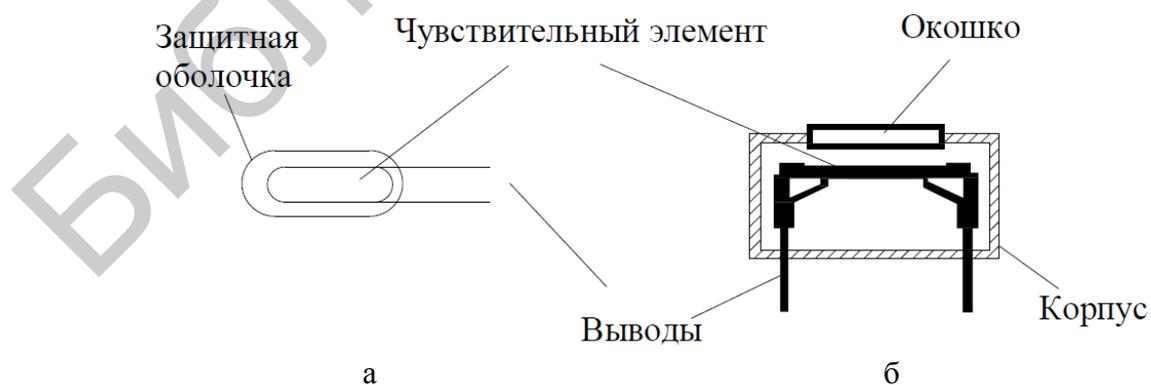


Рис. 10. Датчики температуры:  
а – контактный; б – бесконтактный (детектор теплового излучения)

Все датчики температуры можно разделить на два класса: *абсолютные* и *относительные* детекторы. Абсолютные датчики измеряют температуру отно-

сительно либо абсолютного нуля, либо любой другой точки на температурной шкале (термисторы и резистивные детекторы температуры (РДТ)). Относительные датчики измеряют разность температур двух объектов, один из которых называется эталонным (термопара).

#### *Терморезистивные датчики*

Достоинствами терморезистивных датчиков являются высокая чувствительность, простота создания интерфейсных схем и долговременная стабильность.

#### *Резистивные детекторы температуры*

Выпускается несколько типов РДТ: тонкопленочные, проволочные, кремниевые.

Тонкопленочные РДТ изготовлены из тонких слоёв платины или её сплавов, нанесённых на подходящую подложку, например, на кремниевую микромембрану.

В проволочных РДТ платиновая проволока намотана внутри керамической трубочки и прикреплена к ней при помощи высокотемпературного клея.

Кремниевые резистивные датчики часто встраиваются в микроструктуры для осуществления температурной компенсации или проведения прямых измерений температуры. Положительный температурный коэффициент (ПТК) кремниевых резисторов позволяет использовать их в системах, обеспечивающих безопасность нагревательных устройств.

#### *Термисторы (тепловой датчик + резистор)*

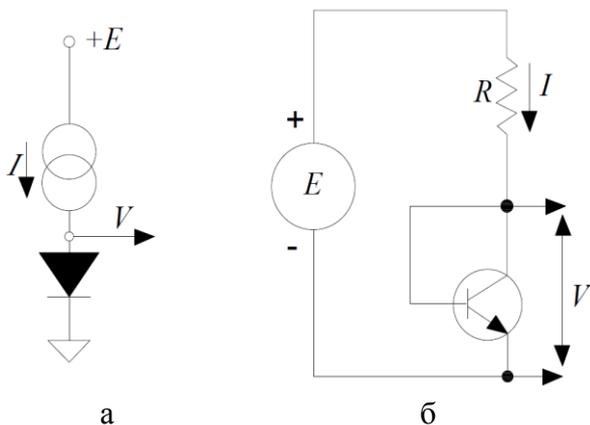
Термисторы относятся к классу датчиков абсолютной температуры. Все термисторы делятся на две категории: с отрицательным температурным коэффициентом (НТК) и положительным температурным коэффициентом сопротивления.

#### *Термоэлектрические контактные датчики*

Поскольку термоэлектрические контактные датчики состоят по крайней мере из двух разных проводников и двух соединений (пар) этих проводников, их часто называют *термопарами*. Они являются пассивными датчиками, т. к. сами вырабатывают напряжение в ответ на изменение температуры и не требуют для этого внешнего источника питания. Термопары относятся к классу относительных датчиков.

Характеристики полупроводниковых датчиков температуры на основе полупроводникового *p-n*-перехода в диодах и биполярных транзисторах довольно сильно зависят от температуры. Если прямосмещённый переход соединить с генератором постоянного тока (рис. 11, а), выходное напряжение, снимаемое с него, будет прямо пропорционально изменению его температуры. Достоинством такого датчика является его линейность [3].

Термоэлектрические контактные датчики используются при работе в агрессивных средах, в условиях сильных электрических, магнитных и электромагнитных полей, при воздействии высокого напряжения и там, где до объекта измерений просто невозможно добраться.



а  
б  
Рис. 11. Датчики температуры на основе

прямосмещённого  $p-n$  перехода:  
а – диод; б – транзистор, включённый по схеме диода

Флуоресцентные датчики реализуются на основе свойства некоторых фосфорных компонентов излучать свет в ответ на возбуждение лучами видимого диапазона спектра. Такие компоненты наносятся на поверхность объекта, температуру которого необходимо измерить. После чего объект подвергается воздействию УФ импульсного излучения. Возникшее в результате этого облучения послесвечение детектируется и анализируется. Процесс измерения температуры заключается в определении скорости ослабления флуоресцентного свечения [6].

### *Интерферометрические датчики*

Другой метод оптического измерения температуры заключается в модуляции интенсивности света, возникающей вследствие интерференции двух лучей света. Один луч является эталонным, а другой пропускается через среду, параметры которой зависят от температуры, что вызывает появление фазового сдвига между сигналами. Величина этого фазового сдвига определяется температурой. В качестве чувствительного элемента интерферометрического датчика температуры часто используют тонкий слой кремния [4].

### *Датчики на основе растворов, изменяющих цвет от температуры*

Такие датчики применяются в биомедицинских системах. В качестве хроматического раствора часто применяют  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (раствор хлорида кобальта). Принцип действия таких датчиков основан на характерной для определённых хроматических растворов температурной зависимости коэффициентов поглощения излучений видимого диапазона спектра (400...800 нм). В состав таких датчиков входят: источник излучения, детектор и раствор хлорида кобальта, имеющий тепловую связь с объектом измерения.

### *Акустические датчики температуры*

При работе в экстремальных условиях, а также при проведении измерений в замкнутом герметичном объёме, где невозможно разместить контактные датчики или использовать ИК-детекторы, применяют акустические датчики температуры, принцип действия которых основан на зависимости скорости звука от температуры среды, через которую он распространяется.

В пьезоэлектрических датчиках температуры используют зависимость частоты вибраций кварцевого кристалла от температуры [3, 4, 5].

### 1.3.7. Датчики, реагирующие на биофизические параметры человека

Все биометрические технологии имеют общие подходы к решению задачи идентификации, которые отличаются удобством применения и точностью результатов сканирования объекта:

- извлечение индивидуальной информации;
- формирование шаблона;
- сравнение текущего шаблона с базой данных.

Достаточно важным является вопрос о пропускной способности биометрической системы контроля доступа. Поскольку объём данных, анализируемых считывателем, очень велик, то даже простой перебор базы данных происходит достаточно долго. Чтобы уменьшить время анализа, биометрические считыватели имеют обычно дополнительно встроенную клавиатуру, на которой пользователь набирает свой личный код доступа и только после этого приступает к процессу биометрической идентификации. Преимущество биометрической системы контроля доступа заключается также в том, что идентифицируется не предмет (ключ «тач-мемори», проксимити-карта), а сам человек, т. е. используемая характеристика неразрывно связана с ним – «биометрический паспорт» невозможно потерять, передать или забыть дома.

Принципы работы автоматических геометрических считывателей систем контроля доступа основан на анализе персональных характеристик людей, таких как форма и размер руки, голос и параметры глаза [11].

Таблица 2

Биофизические параметры человека

Характеристика	Универсальность	Уникальность	Постоянство	Собираемость
Видеообраз лица	++	+	++	+++
Термограмма лица	+++	+++	+	+++
Отпечаток пальца	++	+++	+++	++
Геометрия руки	++	++	++	+++
Радужная оболочка глаза	+++	+++	+++	++
Сетчатка	+++	+++	++	+
Подпись	+	+	+	+++
Голос	++	+	+	++
Отпечаток губ	+++	+++	++	+
Особенности ушной раковины	++	++	++	++
Динамика письма	+++	+++	+	+++
Походка	+++	++	+	+

### 1.3.8. Датчики для специальных применений

Химические сенсоры (датчики) – чувствительные миниатюрные устройства, реагирующие на изменение содержания химического компонента в анализируемой смеси веществ.

Химические сенсоры представляют собой датчики, в которых два типа преобразователей – химический и физический – находятся в тесном контакте между собой.

Химический преобразователь состоит из слоя чувствительного материала, который формирует селективный отклик на определяемый компонент: он способен отражать присутствие определяемого компонента и изменение его содержания. Физический преобразователь – трансдьюсер – преобразует энергию, которая возникает в ходе реакции селективного слоя с определяемым компонентом, в электрический или световой сигнал. Этот сигнал затем измеряется с помощью светочувствительного и/или электронного устройства.

В зависимости от характера отклика (первичного сигнала), возникающего в чувствительном слое, химические сенсоры подразделяют на следующие типы:

- электрохимические (потенциметрические, кулонометрические и др.);
- электрические (полупроводниковые на основе оксидов металлов и др.);
- магнитные (датчики Холла, магниторезистивные полупроводниковые элементы);
- термометрические;
- оптические (люминесцентные, спектрофотометрические и др.);
- биосенсоры (на основе различного биологического материала: ферментов, тканей, бактерий, антигенов, рецепторов и др.).

Для повышения избирательности на входном устройстве перед химически чувствительным слоем размещаются мембраны, которые селективно пропускают частицы определяемого компонента (ионообменные, гидрофобные и другие плёнки).

#### *Датчики радиоактивного излучения*

Действие всех разработанных датчиков радиоактивности основано на эффектах, возникающих в результате взаимодействия излучений (альфа, бета, гамма, нейтронного, рентгеновского) с газообразными, жидкими или твёрдыми веществами. Радиоактивность обнаруживается по наличию ионизирующего излучения. Оно является результатом взаимодействия продуктов ядерного распада (частиц или электромагнитного излучения) с определённой средой. В результате взаимодействия продукты распада теряют свою энергию, что приводит к образованию разноимённых носителей заряда – ионов или электронов и дырок. Направленное движение зарядов легко преобразуется в электрические сигналы, связанные с характеристиками радиоактивности. Структурная схема датчика радиоактивности приведена на рис. 12.



Рис. 12. Структурная схема датчика радиоактивности

Наиболее распространены три типа датчиков радиоактивности:

- полупроводниковые;
- прямого заряда;
- с ионизационной камерой.

Счётчик Гейгера – Мюллера (рис. 13) – газоразрядный прибор для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц. Представляет собой газонаполненный конденсатор, который пробивается при пролёте ионизирующей частицы через объём газа. Такие счётчики отличаются от остальных ионизационных камер использованием более высоких напряжений возбуждения. Его недостатком являются его большие размеры.

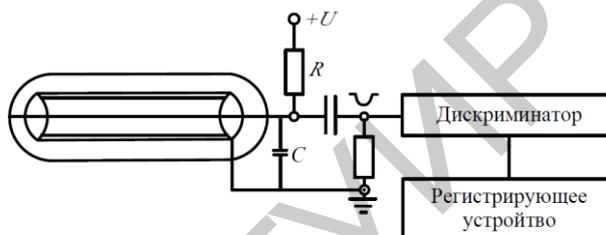


Рис. 13. Счётчик Гейгера – Мюллера

Счётчик представляет из себя вакуумную трубку: внутри очень тонкой стеклянной пробирки находятся две пластины и небольшое количество газа, например аргона. Излучение радиоактивного вещества проникает в трубку и начинает взаимодействовать с молекулами газа. От этого они получают энергию и заставляют газ светиться. Через трубку проходит электрический ток. Если его пропустить через счётчик, то можно узнать количество радиации, попавшее в трубку.

Полупроводниковые датчики радиоактивности. В датчиках этого типа чувствительным элементом является обеднённая носителями электрического заряда зона полупроводника. Проходя через эту зону, энергия излучения продуцирует новые носители зарядов. Количество возникающих зарядов связано с характеристиками радиоактивного излучения. Конструктивно полупроводниковая структура датчика состоит из двух соединённых полупроводников с различными типами проводимости. В полупроводниках *p*-типа носителями заряда являются положительно заряженные дырки, а в полупроводниках *n*-типа – отрицательно заряженные электроны. Зона контакта на границе их соединения называется электронно-дырочным переходом, или запретной зоной. В обесточенном состоянии (рис. 14) дырки и электроны диффундируют через переход в противоположных направлениях. При этом на границах своей зоны электроны, покидая её, оставляют положительный заряд, а дырки – отрицательный. Этот слой оставленных зарядов своим электрическим полем перекрывает пути миграции электронов и дырок.

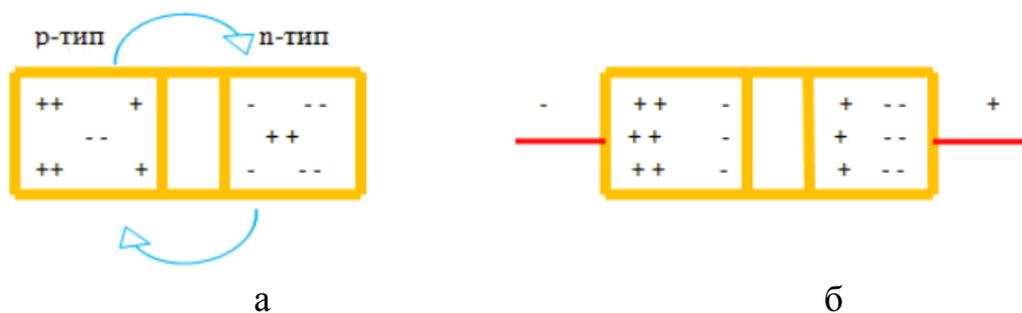


Рис. 14. Распределение носителей заряда:  
 а – без внешнего поля; б – в электрическом поле

Внешнее электрическое поле концентрирует дырки у отрицательного электрода, а электроны – у положительного. Благодаря этому узкая граница перехода превращается в широкую, свободную от носителей зарядов зону. Ширина этой зоны определяется величиной приложенного «концентрирующего» напряжения. Это обеднённая носителями зона, в ней «обитают» только атомы исходных полупроводников и примесей. Сформированная таким образом зона чувствительна к ионизирующему излучению. При прохождении через чувствительную зону ионизирующего излучения (рис. 15) в её объёме формируются новые электронно-дырочные пары. Они перемещаются к соответствующим электродам, создавая ток во внешней цепи. Величина этого тока пропорциональна энергии ионизирующего излучения.

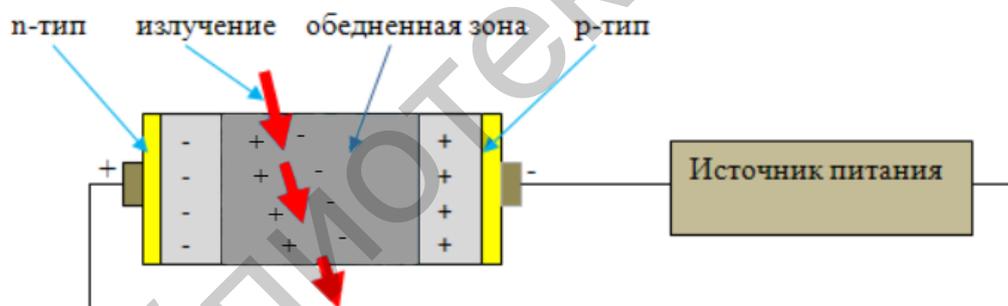


Рис. 15. Полупроводниковый датчик радиоактивности

Вне зависимости от механизма формирования пар электрон-дырка на создание одной пары первичная заряженная частица затрачивает одинаковую среднюю энергию, которую часто по аналогии с газоразрядными детекторами называют «энергией ионизации». Основное достоинство полупроводниковых детекторов заключается в очень малой величине этой энергии. Её значение для кремния и германия составляет порядка 3 эВ, тогда как в газовых детекторах энергия, необходимая для создания ионной пары, равна 30 эВ. Поэтому при одной и той же мощности исходного излучения в полупроводниковых детекторах возникнет в 10 раз большее количество носителей зарядов [4, 6].

## 1.4. Выбор датчиков для ЭСБ

### 1.4.1. Датчики систем контроля и управления доступом

Работу системы контроля и управления доступом (СКУД) можно в упрощённом виде описать следующим образом. Каждый сотрудник или постоянный посетитель организации получает идентификатор (электронный ключ) – пластиковую карточку или брелок с индивидуальным кодом. Электронные ключи выдаются в результате регистрации перечисленных лиц с помощью средств системы. Паспортные данные, фото (видеоизображение) и другие сведения о владельце электронного ключа заносятся в персональную электронную карточку. Персональная электронная карточка владельца и код его электронного ключа связываются друг с другом и заносятся в специально организованные компьютерные базы данных. У входа в здание или подлежащее контролю помещение устанавливаются считыватели, которые считывают с карточек их код и информацию о правах доступа владельца карты и передают эту информацию в контроллер системы. В системе каждому коду поставлена в соответствие информация о правах владельца карточки. На основе сопоставления этой информации и ситуации, при которой была предъявлена карточка, система принимает решение: контроллер открывает или блокирует двери (замки, турникеты), переводит помещение в режим охраны, включает сигнал тревоги и т. д. Все факты предъявления карточек и связанные с ними действия (проходы, сигналы тревоги и т. д.) фиксируются в контроллере и сохраняются в компьютере. Информация о событиях, связанных с предъявлением карточек, может быть использована в дальнейшем для получения отчётов по учёту рабочего времени, нарушениям трудовой дисциплины и др. На предприятиях можно выделить четыре характерные точки контроля доступа: проходные, офисные помещения, помещения особой важности и въезд/выезд автотранспорта. В зависимости от способа проверки принято различать несколько видов СКУД:

- ручные (определение подлинности личности осуществляется контроллером на основе предъявляемого пропуска с фотографией владельца);
- механизированные (фактически та же ручная проверка с элементами автоматизации хранения и предъявления пропусков);
- автоматизированные (идентификация пользователя и проверка личностных атрибутов осуществляется электронным автоматом, а аутентификация и принятие решения о предоставлении доступа производится оператором КПП);
- автоматические (вся процедура проверки и принятия решения осуществляется компьютером).

Набор функций, выполняемых комплексными системами, даёт возможность использовать систему контроля для выполнения различных контрольных задач на объекте. В зависимости от стоящей задачи можно выбрать соответствующую систему контроля и управления доступом.

## 1.4.2. Датчики охранных и пожарно-охранных сигнализаций

### *Охранные извещатели*

*Магнитоконтактные* и контактные извещатели предназначены в основном для блокировки дверей, окон, люков, витрин и других подвижных конструкций при открывании и выдачи тревожного извещения в виде размыкания (иногда замыкания) электрической цепи. Магнитоконтактный извещатель состоит из герметизированного магнитоуправляемого контакта (геркона) и магнита, конструктивно выполненных в виде двух отдельных модулей в пластмассовых или металлических немагнитных корпусах. Принцип действия основан на замыкании (или размыкании) контактов при подносе к ним постоянного магнита, а при несанкционированном его отходе от колбы с магнитоуправляемым контактом происходит размыкание шлейфа охранной сигнализации.

*Ударноконтактные извещатели* формируют тревожное извещение при нормированном ударном воздействии на контролируемую поверхность охраняемого объекта.

*Пьезоэлектрические извещатели* предназначены для защиты помещений от попыток проникновения через стены, полы, потолки, а также для защиты металлических шкафов, сейфов, банкоматов от разрушения с помощью ударов, пиления или сверления. Принцип действия пьезоэлектрических извещателей основан на преобразовании механических колебаний датчиками сигналов вибрации (ДСВ) в электрический сигнал.

*Ёмкостные извещатели* предназначены для защиты металлических шкафов, сейфов, отдельных предметов, создания защитных ограждений для периметра. Их принцип действия основан на регистрации величины, скорости и длительности изменения электрической ёмкости подключаемых к извещателю предметов или размещаемого на строительной конструкции провода относительно «земли» или специального экрана.

*Акустические извещатели* предназначены для блокировки остеклённых конструкций при разрушении. Принцип работы данных извещателей основан на бесконтактном методе акустического контроля разрушения стеклянного полотна по возникающему при его разрушении сигналу в звуковом диапазоне частот, распространяющемуся по воздуху.

*Ультразвуковые извещатели* предназначены для охраны объемов закрытых помещений. Они формируют извещение о проникновении при возмущении поля упругих волн ультразвукового диапазона, вызываемом движением нарушителя в зоне обнаружения.

*Активные опико-электронные извещатели* применяются для охраны внутренних и внешних периметров, окон, витрин, отдельных предметов. Они формируют тревожное извещение при изменении отражённого потока или прекращении (изменении) принимаемого потока энергии оптического излучения, вызываемом движением нарушителя в зоне обнаружения.

Принцип действия *пассивных опико-электронных извещателей* основан на регистрации разницы между интенсивностью инфракрасного излучения, ис-

ходящего от проникающего в контролируемую зону нарушителя, и фоновой температурой на охраняемом объекте. Чувствительным элементом извещателя является пироэлектрический преобразователь, на котором фокусируются инфракрасные лучи с помощью зеркальной или линзовой оптической системы.

*Радиоволновые извещатели* могут применяться для охраны объемов закрытых помещений, внутренних и внешних периметров, отдельных предметов и строительных конструкций, открытых площадок. Они формируют извещение о проникновении при возмущении поля электромагнитных волн сверхвысокой частоты (СВЧ), вызываемом движением нарушителя в зоне обнаружения.

*Комбинированные извещатели* – это извещатели, принцип действия которых представляет собой сочетание двух (реже – трех) принципов обнаружения. Наиболее широкое распространение получила комбинация инфракрасного пассивного и радиоволнового принципов обнаружения [12, 15].

#### *Пожарные извещатели*

Упрощенная классификация пожарных извещателей (ПИ) может быть представлена в следующем виде [11, 12]:

- точечные пороговые извещатели;
- точечные дифференциальные извещатели;
- точечные дифференциально-пороговые извещатели;
- линейные пороговые извещатели.

*Точечные пороговые извещатели* предназначены для обнаружения возгорания, сопровождающегося повышением температуры в месте их установки. Формируют сигнал «пожар» при достижении температурой заданного уровня сработки. По физическим принципам действия подразделяются на извещатели, работающие на основе:

- плавких свойств материалов;
- изменения свойств материалов;
- изменения геометрических размеров материалов;
- генерирования термоЭДС;
- изменения электрофизических параметров элементов.

*Точечные дымовые извещатели.* Основным признаком пожара является дым, поскольку в подавляющем большинстве случаев на первой стадии пожара происходит тление материала, сопровождающееся задымлением, а лишь затем образуются очаги пламени и, следовательно, выделение тепла. Поэтому сегодня дымовые ПИ являются самыми распространенными в мире. Принципом действия точечного дымового оптического извещателя является эффект оптического рассеивания инфракрасного (ИК) излучения на частицах дыма. Более 80 % всех дымовых извещателей работают на этом принципе. Модель устройства, поясняющая данный принцип работы, показана на рис. 16.

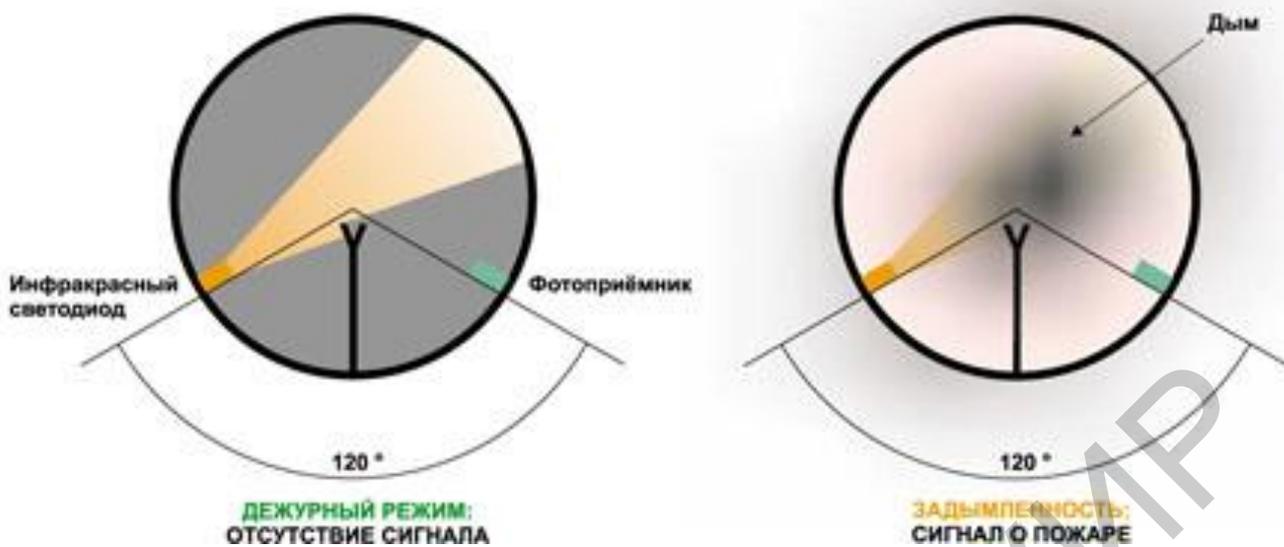


Рис. 16. Дымовой пожарный извещатель

При отсутствии дыма сигнал ИК-передатчика не попадает на приёмник, поскольку стенки камеры имеют рельеф, обеспечивающий его переотражение в противоположную сторону. При появлении частиц дыма часть ИК-лучей отражается и в результате рассеяния попадает на ИК-приёмник. Для уменьшения токопотребления фотопередатчик работает в импульсном режиме, периодически формируя ИК-сигнал. При незначительном уровне задымления с увеличением оптической плотности среды происходит увеличение тока ИК-приёмника. При сильном задымлении часть ИК-лучей поглощается и ток приёмника начинает падать. Уровень плотности оптической среды, при которой извещатель формирует сигнал «пожар», называется его чувствительностью. По большей части качество извещателя определяется конструкцией его дымовой камеры. С одной стороны, её конструкция должна переотражать ИК-лучи в сторону от приёмника, с другой, обеспечивать малое аэродинамическое сопротивление газовоздушному потоку.

К точечным ПИ относятся также ионизационные дымовые пожарные извещатели, содержащие источник слабого радиоактивного излучения (чаще всего используется америций-241) со сверхнизким уровнем порядка – 0,9 мкКи (ниже фонового излучения). Поток радиоактивных частиц направляется в две отдельные камеры: изолированную от окружающей среды контрольную и открытую для внешнего воздуха измерительную. При попадании частиц дыма в измерительную камеру происходит уменьшение тока, протекающего через неё, поскольку при этом происходит уменьшение длины пробега альфа-частиц и увеличение рекомбинации ионов. Для обработки используется разностный сигнал между измерительной и контрольной камерами.

Аспирационные дымовые извещатели относятся к наиболее современным средствам определения дыма. За счёт гораздо более высокой чувствительности они позволяют определить возгорание на ранних стадиях при контроле значительно большего защищаемого объёма. Работа извещателя осуществляется сле-

дующим образом: вентилятор засасывает газозвоздушную смесь через отверстия в трубе забора воздуха. После грубой очистки смесь проходит через фильтр тонкой очистки и поступает в высокочувствительную дымовую камеру. После контроля смесь через выпускной коллектор выбрасывается наружу.

Так как дымовая камера определяет наличие дыма в газозвоздушной смеси из трубы забора, крайне важным является контроль объёма воздушного потока. При отсутствии потока дымовая камера будет анализировать наличие дыма только в окружающем её пространстве. Снижение потока свидетельствует о загрязнении фильтров или впускных отверстий. Высокая чувствительность аспирационного извещателя определяется особой конструкцией его дымовой камеры. В составе камеры используется лазерный передатчик и приёмник. Эффективность обнаружения связана с высокой энергией лазерного излучателя и острым углом между директрисой прямого и отражённого луча. Чувствительность аспирационного извещателя на порядок выше любого оптико-электронного дымового извещателя. Его применение удобно для контроля задымлённости в труднодоступных местах (подшивные потолки, кабель-каналы), поскольку отпадает необходимость в периодической профилактике дымовой камеры.

*Оптические дымовые пожарные извещатели* используют оптический эффект рассеивания инфракрасного излучения на частицах дыма. Измерительная камера таких пожарных извещателей содержит ИК-светодиод и фотоприёмник, ориентированные относительно друг друга так, чтобы излучение светодиода в нормальных условиях не попадало на фотоприёмник. Для исключения возможности случайного попадания излучения на фотоприёмник, например, отражённого от стенок, оно направляется в специально сконструированную оптическую камеру. Частицы дыма при появлении в воздухе попадают в оптическую камеру и на них происходит хаотическое рассеяние излучения диода, вследствие чего часть излучения начинает попадать на фотоприёмник, обеспечивая получение электрического сигнала. Уровень этого сигнала тем выше, чем больше концентрация рассеивающих частиц дыма в воздухе. При превышении сигналом определённого порога принимается решение о наличии возгорания. Важно отметить, что для устойчивой работы оптических дымовых пожарных извещателей весьма важной является степень совершенства конструкции оптической камеры, поскольку именно она определяет степень совершенства всего прибора и во многом его стоимость.

*Линейные дымовые пожарные извещатели* представляют собой активный инфракрасный барьер, при попадании частиц дыма на луч которого уменьшается сигнал с выхода фотоприёмника. Извещение «пожар» формируется не по отсутствию светового луча на фотоприёмнике (это классифицируется как неисправность), а по его ослаблению за счёт дыма при наличии возгорания. Линейные дымовые пожарные извещатели используются в тех случаях, когда либо необходимо минимальным количеством извещателей перекрыть большие линейные пространства, либо при очень высоких потолках (выше 4 м), когда время достижения дымом обычного извещателя велико. Отсюда следует их область применения: протяжённые складские и производственные помещения, зрительные за-

лы и пр. Дымовые линейные извещатели широко используются в системах пожарной безопасности. Они незаменимы в помещениях с высокими потолками и большими площадями, имеют максимальную чувствительность по чёрным дымам. Отмечается более раннее обнаружение возгорания линейным извещателем по сравнению с точечным дымовым извещателем в реальных условиях. Линейные дымовые извещатели можно разделить на два крупных класса: двухкомпонентные, состоящие из отдельных блоков приёмника и передатчика, и современные однокомпонентные, содержащие один блок приёмопередатчика с пассивным рефлектором. Построение линейного извещателя определяет требования к техническим характеристикам компонентов, их конструкции и размещению. Для двухкомпонентного извещателя необходимо обеспечить стабильный уровень сигнала передатчика во всем диапазоне рабочих температур и напряжений питания, т. к. снижение уровня сигнала передатчика приводит к формированию ложного сигнала «пожар». Приёмник должен обеспечивать хранение значения уровня опорного сигнала в энергонезависимой памяти приёмника и корректировку порога срабатывания при запылении оптики в процессе эксплуатации.

*Извещатель пламени «Открытый факел пламени»* содержит характерное излучение как в ультрафиолетовой, так и в инфракрасной части спектра. Соответственно, существует два типа этих устройств: ультрафиолетовые и инфракрасные извещатели пламени. Ультрафиолетовый извещатель пламени с помощью высоковольтного газоразрядного индикатора постоянно контролирует мощность излучения в спектральном диапазоне 220...280 мкм. При появлении возгорания резко повышается интенсивность разрядов между электродами индикатора, что и фиксируется излучателем. Один такой пожарный извещатель может контролировать до 200 м<sup>2</sup> поверхности при высоте установки до 20 м. Инерционность срабатывания извещателя этого типа не превышает 5 с.

*Инфракрасный извещатель пламени* с помощью ИК-чувствительного элемента и оптической фокусирующей системы регистрирует характерные всплески ИК-излучения при появлении открытого пламени. Инфракрасный извещатель пламени позволяет определять в течение 3 с наличие пламени размером от 10 см на расстоянии до 20 м при угле обзора 90°. На практике извещатели пламени применяются не часто, однако есть случаи, когда они просто незаменимы.

*Газоанализаторные извещатели* предназначены для определения процентного содержания газов в воздухе, сопутствующих пожару или являющихся его предвестниками, в частности, развитие пожара сопровождается выделением углекислого (CO<sub>2</sub>) и угарного (CO) газов. Основным элементом любого газового анализатора является датчик, переводящий процентную концентрацию газов в электрический сигнал. По принципу работы газовые датчики бывают:

- на основе доокисления;
- термохимические;
- спектральные;
- мембранные.

### 1.4.3. Средства обнаружения в периметральных системах охраны

*Вибрационные периметральные системы охраны (ВПСО).* ВПСО разработаны на основе сенсорных микрофонных кабелей, которые крепятся к ограде и регистрируют механические колебания при попытке вторжения, преобразуя колебания в электрический сигнал. Вибрационные ПС предназначены для защиты:

- внешних периметров (проволочные сетки, барьеры из колючей проволоки и режущей ленты, тяжёлые кованые решётки, массивные деревянные ограды);
- стен зданий и внутренних перекрытий помещений.

*Проводно-радиоволновые периметральные системы охраны (ПРПСО).* Принцип работы – регистрация возмущений электромагнитного поля, вызываемых попадающим в это поле нарушителем. Объёмная зона обнаружения формируется «открытой антенной» – двумя параллельно расположенными кабелями, к которым соответственно подключается генератор УКВ-диапазона и приёмник. Объёмная зона обнаружения может быть «kozyрькового» и «приземного» типов, отслеживает линию периметра сложной конфигурации. ПРПСО используются в следующих целях:

- блокировка верхней части заграждений и крыш стационарных объектов;
- защита открытых временных рубежей охраны, локальных участков на неподготовленной местности (стоянок, складов, грузовых площадок и т. п.);
- усиление охраны в отдельных направлениях (со стороны леса, оврага и т. п.).

«Линия вытекающей волны» (ЛВВ) – радиоволновая система, разработанная для защиты неогороженных территорий, когда использование пассивного заграждения невозможно или нежелательно. Состоит из двух параллельных размещённых в грунте вдоль периметра кабелей. Зона обнаружения: ширина до 3,5 м, высота до 1 м. Схема маскируема и обнаруживается только специальными приборами.

*Сейсмические периметральные системы охраны (СПСО).* Принцип работы – регистрация геофонными датчиками механических вибраций. СПСО предназначены для защиты периметров, ограниченных каменными (бетонными) стенами, жёсткими металлическими оградами. При монтаже под землёй система обнаруживает осторожно перемещающегося по ней человека.

*Ёмкостные периметральные системы охраны (ЕПСО).* Принцип работы – использование эффекта изменения характеристик электрического поля при приближении или прикосновении нарушителя к ограждению объекта. ЕПСО – антенная система, включающая единую электрическую цепь проводящих чувствительных элементов, укрепляемых на изоляторах по периметру объекта. Система подключена к электронному блоку, выдающему сигнал тревоги при изменении ёмкости антенного устройства относительно земли. Возможны варианты конструкций антенной части. В зависимости от расположения (по верху или вдоль средней линии ограды) система будет срабатывать при попытке пересечь заграждение, приблизиться к нему. Достоинства ЕПСО:

- отсутствие мёртвых зон;

- стабильная высокая чувствительность (95 % обнаружения);
- регулировка зон обнаружения;
- монтаж на сложных рельефах, периметрах, сооружениях и ограждениях, трубопроводах, подземных коллекторах;
- эффективное применение на механически прочных оградах, оборудованных распашными или раздвижными воротами.

*Инфракрасные периметральные системы охраны (ИПСО).* Принцип работы основан на применении оптического инфракрасного излучения. ИПСО строятся на основе активных и пассивных инфракрасных извещателей (ИКИ). Активные лучевые ИКИ являются двухпозиционными, состоят из излучателя, формирующего ИК-луч, и фотоприёмника, расположенных в зоне взаимной видимости. Сигнал тревоги формируется при прерывании луча, падающего на блок фотоприёмника в результате пересечения его посторонним объектом. Особенность активных лучевых систем – очень узкая зона отчуждения (3...6 см), что важно для объектов, для которых невозможно создать зону отчуждения. Активные лучевые ИКИ предназначены для блокировки прямолинейных участков периметра объекта. Система может устанавливаться:

- по верху ограждения;
- на грунте;
- в виде нескольких лучей, образующих вертикальный барьер.

Пассивные ИПСО – однопозиционные пассивные ИК-детекторы с пространственной диаграммой чувствительности в виде луча. Поперечное сечение зоны обнаружения у них больше, чем у активных ИКИ, просты в монтаже и настройке. Используются для перекрытия коротких участков (зон въезда транспорта, разрывов в ограждениях, ворот, окон и т. п.).

*Радиолучевые периметральные системы охраны (РЛПСО).* РЛПСО строятся на основе нескольких радиолучевых (микроволновых) средств обнаружения. РЛПСО являются двухпозиционными, состоят из приёмника и передатчика, синхронизируются по кабелю/радиолучу. Попадание в зону луча вызывает у системы сигнал тревоги. Зона обнаружения объёмная в форме вытянутого эллипсоида (поперечный диаметр 0,7...6 м в зависимости от параметра антенны и частоты излучения). РЛПСО практически не подвержены влиянию дождя, тумана, ветра, но требуют наличия прямой видимости между приёмником и передатчиком. Устанавливаются на грунте, ограде или стене здания. Предназначены для защиты объектов от попыток несанкционированного преодоления периметральных ограждений (оград, стен зданий т. п.). Предусмотрено использование микрофонного эффекта в специальном сенсорном кабеле, который прикрепляется к ограде и регистрирует её механические колебания при попытках вторжения на объект. Сигналы сенсора обрабатываются анализатором, который при идентификации реальной попытки нарушения включает сигнал тревоги.

*Микрофонный кабель.* Сенсорный кабель представляет собой распределённый электромагнитный микрофон. Он содержит два неподвижных и два подвижных проводника, расположенных в зазоре между двумя гибкими магнитными полосками полукруглого сечения (рис. 17).

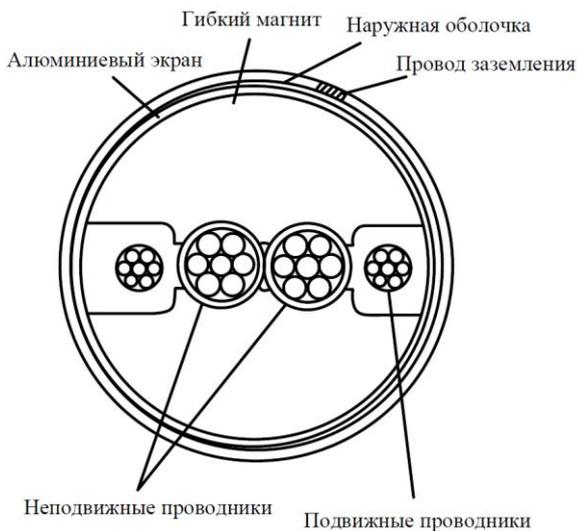


Рис. 17. Микрофонный кабель

В зависимости от принципа действия периметральные системы охранной сигнализации (далее ПСОС) защищают:

- только периметры, имеющие заграждение;
- только периметры, не имеющие заграждения.

На выбор типа ПСОС в первую очередь влияет её устойчивость к воздействию внешних климатических факторов объекта, а именно:

- наличие ограждения и его вид (кирпичный забор, сетка-рабица и т. п.);
- наличие полосы отчуждения и её ширина;
- протяжённость периметра;
- рельеф местности.

#### 1.4.4. Камеры систем видеонаблюдения

В настоящее время существует три типа систем видеонаблюдения: аналоговая, полуцифровая и цифровая системы.

##### *Аналоговая система*

В аналоговых системах видеонаблюдения (рис.18) изображение от видеокамеры до монитора передаётся в виде высокочастотного сигнала с различными значениями в заданном диапазоне и постоянными импульсами синхронизации. Стоит отметить: такой сигнал не защищён от помех, что может привести к изменению значения видеосигнала и появлению помех (шумов) на мониторе.

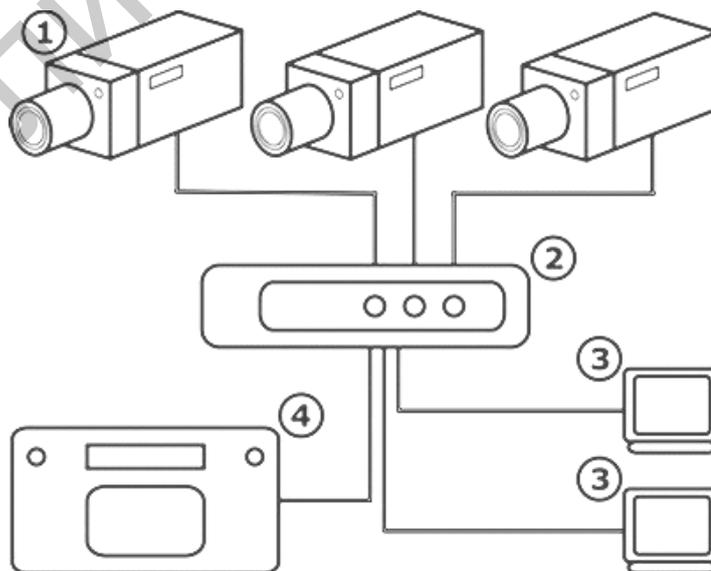


Рис. 18. Аналоговая система видеонаблюдения:

- 1 – телекамеры; 2 – квадратор;  
3 – мониторы; 4 – видеомэгнитофон

### *Полуцифровая система*

Главным преимуществом полуцифровой системы (рис.19) является её функциональность. Не надо использовать видеокассеты и тратить многие часы на поиск необходимых фрагментов записи. Цифровые видеорегистраторы обладают стабильно высоким качеством изображения и имеют аналоговые интерфейсы для подключения аналоговых видеокамер и мониторов.

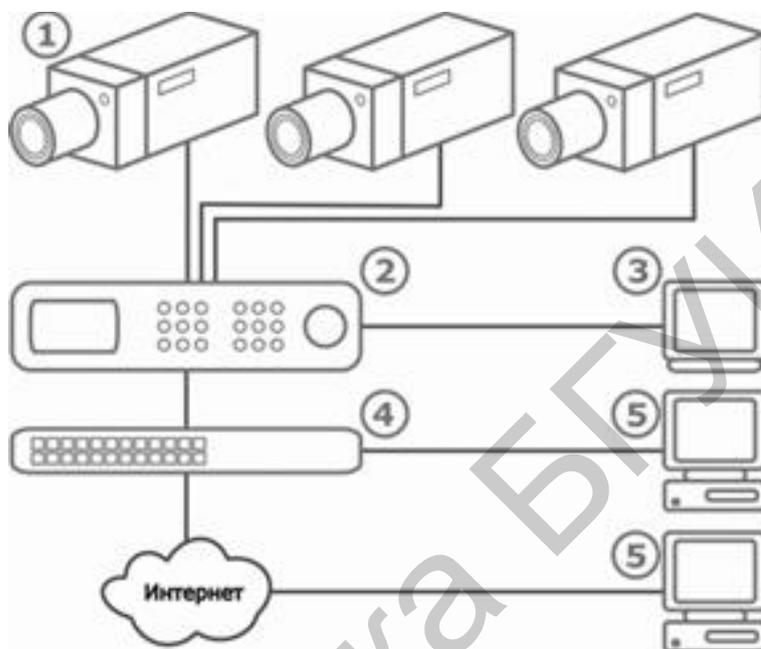


Рис. 19. Полуцифровая система видеонаблюдения:  
1 – телекамеры; 2 – видеорегистратор; 3 – монитор;  
4 – сетевой коммутатор; 5 – персональные компьютеры

### *Цифровая система*

Компоненты цифровой системы – IP-камеры (рис. 20) и видеосерверы – устанавливают связь через стандартные компьютерные сети, Интернет или с использованием беспроводных технологий. Современные технологии формирования видеоизображений и сетевое оборудование позволяют создавать системы видеонаблюдения с неограниченными возможностями.

По конструктивным особенностям видеокамеры можно разделить на следующие типы: модульные, мини-видеокамеры, корпусные, купольные, гиростабилизированные [16, 17].

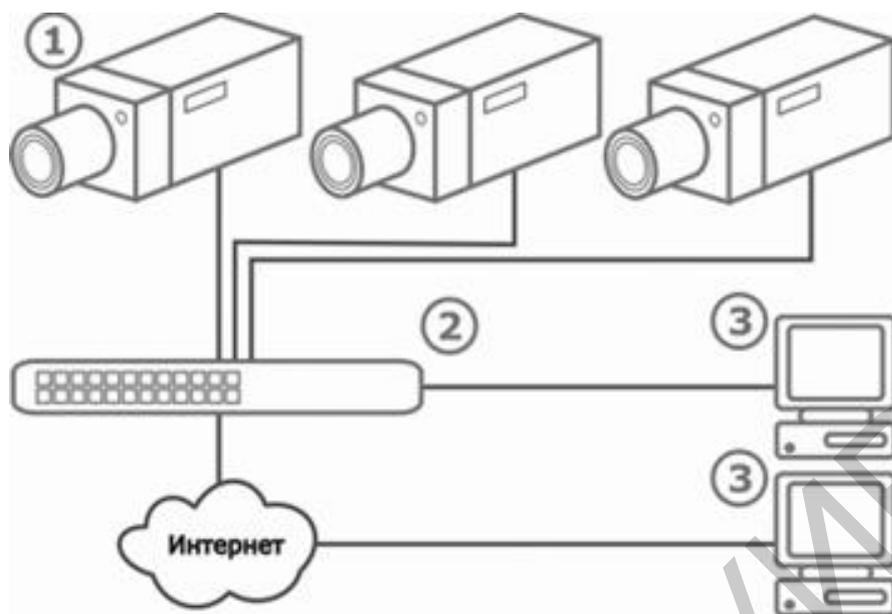


Рис. 20. Цифровая система видеонаблюдения:  
1 – телекамеры; 2 – сетевой коммутатор; 3 – персональные компьютеры

## 1.5. Интерфейсные схемы датчиков

### 1.5.1. Электронные устройства интерфейсных схем датчиков

Если датчик не оснащён встроенной электронной схемой, формирующей выходной сигнал в определённом формате, его практически никогда не удаётся напрямую подключить к процессору, монитору или другой регистрирующей аппаратуре. Обычно сигнал на выходе датчика бывает либо слишком зашумленным, либо очень слабым, либо содержит нежелательные составляющие. В дополнение к этому его формат может не соответствовать формату системы приёма данных. Для подключения датчика к процессорному устройству, как правило, требуется промежуточное согласующее устройство. Выходной сигнал необходимо преобразовать к определённому виду, перед тем как подать в устройство обработки данных. Для нагрузки входным сигналом обычно является либо ток, либо напряжение. Схема согласования сигналов часто называется интерфейсом между датчиком и последующими устройствами. Её основная цель – преобразование сигнала датчика в формат, совместимый с нагрузкой. На рис. 21 показан внешний сигнал, действующий на датчик, подключённый к нагрузке через интерфейсную схему. Для эффективной работы интерфейса его входные характеристики должны быть совместимы с выходными параметрами датчика, а выходные – с входным форматом нагрузки [4].

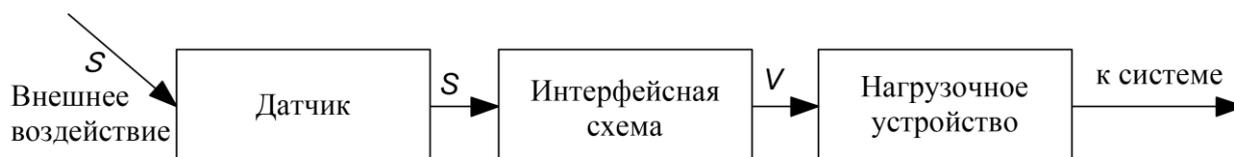


Рис. 21. Интерфейсная схема, согласующая форматы сигналов датчика и нагрузочного устройства

Входная часть интерфейсной схемы характеризуется несколькими стандартными параметрами, показывающими, насколько точно схема может преобразовать сигнал датчика и какой вклад она внесёт в общую погрешность.

Входной импеданс показывает, насколько сильно интерфейс нагружает датчик. Он определяется в комплексном виде:

$$Z = \frac{V}{I},$$

где  $V$  и  $I$  – комплексные числа, соответствующие напряжению и току через входной импеданс.

Если входную часть интерфейсной схемы представить в виде параллельного соединения входного сопротивления  $R$  и входной ёмкости  $C$ , то входной импеданс в комплексном виде можно записать как

$$Z = \frac{R}{1 + j\omega RC},$$

где  $\omega$  – круговая частота.

На очень низких частотах схема обладает относительно небольшой входной ёмкостью, и ее входной импеданс определяется сопротивлением  $R$ , поэтому можно считать, что в этом случае  $Z \approx R$ . Следовательно, реактивная часть уравнения становится очень маленькой, т. е. выполняется следующее соотношение:

$$RC \ll \frac{1}{\omega}.$$

### 1.5.2. Передача аналоговых сигналов датчиков

Выходное сопротивление, соответствующее выходному импедансу датчика, подключается параллельно сопротивлению, характеризующему входной импеданс электронной схемы  $Z$  (потенциальное соединение), или последовательно с ним (токовое соединение). Оба варианта соединений показаны на рис. 22. Обычно входные и выходные импедансы представляются в комплексном виде, поскольку они, как правило, включают в себя активные и реактивные компоненты. Для минимизации искажений выходного сигнала датчик с токовым выходом (рис. 22, б) должен иметь максимально возможный выходной импеданс, а его интерфейсная схема – минимальный входной импеданс. В случае потенциального соединения (рис. 22, а) датчику следует иметь низкий выходной импеданс, а интерфейсной схеме – высокий входной.

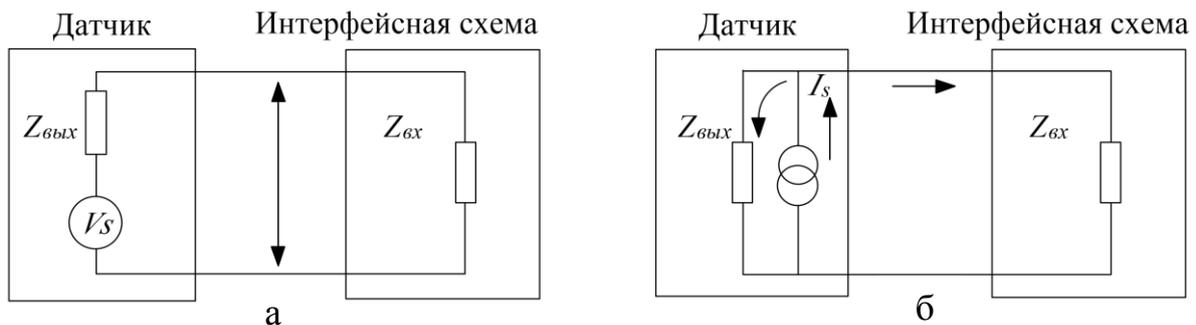


Рис. 22. Соединение датчика с интерфейсной схемой:

а – датчик с выходным сигналом в виде напряжения; б – датчик с токовым выходом

Сигнал от датчика может передаваться в устройство обработки данных либо в цифровом, либо в аналоговом виде. На практике чаще используется цифровая передача данных. Для выполнения этого желательно датчик совмещать с АЦП. Передача данных в цифровом коде имеет ряд достоинств, самым главным из них является высокая помехозащищенность. В некоторых случаях, когда цифровые методы применяться не могут, используются аналоговые способы передачи. В зависимости от типа соединений они могут быть разделены на двух-, четырех- и шестипроводные способы передачи.

Двухпроводные аналоговые передатчики (рис. 23) используются для сопряжения датчиков с управляющими и регистрирующими устройствами в промышленных системах управления технологическими процессами. Например, при измерении температуры в какой-либо точке системы двухпроводной передатчик доставляет полученные данные либо на управляющий контроллер, либо в пультовую комнату, где происходит наблюдение за процессом. По двухпроводной линии можно передавать как напряжение, так и ток. В качестве промышленного стандарта выбран ток, изменяющийся в пределах 4...20 мА, который позволяет отображать весь диапазон внешних сигналов: 4 мА соответствует нулевому внешнему сигналу; 20 мА – максимальному. В схеме связь между датчиком и контроллером осуществляется при помощи двух проводов. Для этого на выход датчика подключается так называемый двухпроводной передатчик, в роли которого может выступать преобразователь напряжения в ток, конвертирующий сигнал датчика в ток. Со стороны контроллера подсоединяется источник напряжения, обеспечивающий передачу тока до 20 мА. Таким образом формируется токовая петля, состоящая из датчика, передатчика, источника питания и сопротивления нагрузки, включённого последовательно с ним. При изменении сигнала датчика меняется и выходное сопротивление передатчика, что приводит к модуляции тока в диапазоне 4...20 мА. Тот же самый ток, несущий информацию, используется для питания передатчика и датчика. Поскольку минимальный ток в цепи равен 4 мА, его хватает для поддержания работы этих устройств. Ток, текущий в контуре, приводит к падению напряжения на сопротивлении нагрузки,

расположенном со стороны контроллера. Это падение напряжения является информационным сигналом, используемым для дальнейшей обработки.

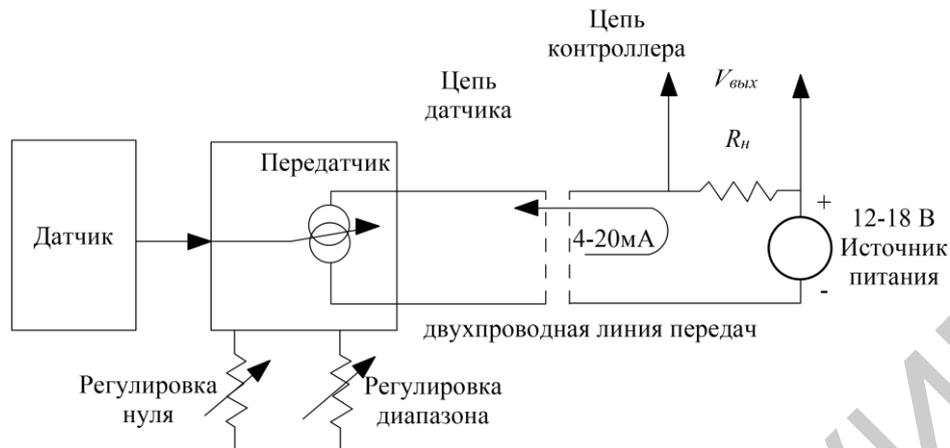


Рис. 23. Двухпроводной способ передачи аналоговых данных

На практике часто бывают ситуации, когда резистивный датчик необходимо подключать к удалённой интерфейсной схеме. Если датчик обладает относительно низким сопротивлением (например, сопротивление пьезорезисторов и резистивных датчиков температуры обычно составляет порядка 100 Ом), сопротивление соединительных проводов может привести к серьёзным проблемам, так как оно влияет на напряжение возбуждения, поданное на мостовую схему. Эта проблема решается применением четырехпроводного метода подключения, который позволяет измерять сопротивление удаленного резистора без учета сопротивления соединительных проводов. Измеряемое сопротивление подключается к интерфейсной схеме при помощи четырёх проводов: два провода подсоединяются к источнику тока, два – к вольтметру.

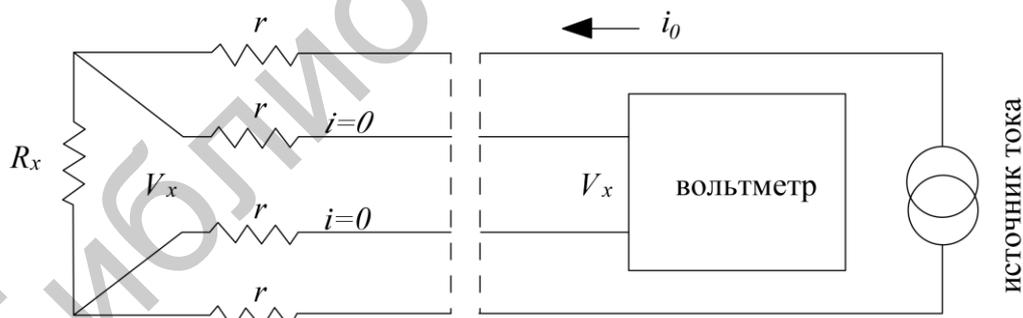


Рис. 24. Дистанционное измерение сопротивлений – четырёхпроводной метод, применяемый с мостовыми схемами

Источник постоянного тока имеет очень высокое выходное сопротивление, поэтому ток в цепи практически не зависит от сопротивлений в контуре. Вольтметр имеет очень высокий входной импеданс, поэтому ток из токового контура к нему не течёт. Падение напряжения на резисторе  $R_x$  равно

$$V_x = R_x i_0.$$

Напряжение  $V_x$  не зависит от сопротивления соединительных проводов. Четырехпроводной метод передачи данных является удобным средством измерения сопротивления удаленных датчиков, часто используемым в промышленных АСУТП и научных исследованиях.

При удалённом подключении моста Уитстона для поддержания температурной стабильности необходимо следить за напряжением возбуждения, питающего его. Длинные соединительные провода могут внести слишком большое последовательное сопротивление в цепь возбуждения, что скажется на работе компенсационных схем. Эту проблему можно решить при помощи двух дополнительных проводов, питающих мостовую схему напряжением, и двух выделенных проводов для измерения напряжения в диагонали моста.

Вольтметр, имеющий высокий входной импеданс и незначительный входной ток, служит для измерения действующего напряжения возбуждения, поданного на мост, и дифференциального выходного напряжения моста. При шестипроводном способе подключения (рис. 25) исключается влияние сопротивления соединительных проводов [4, 6].

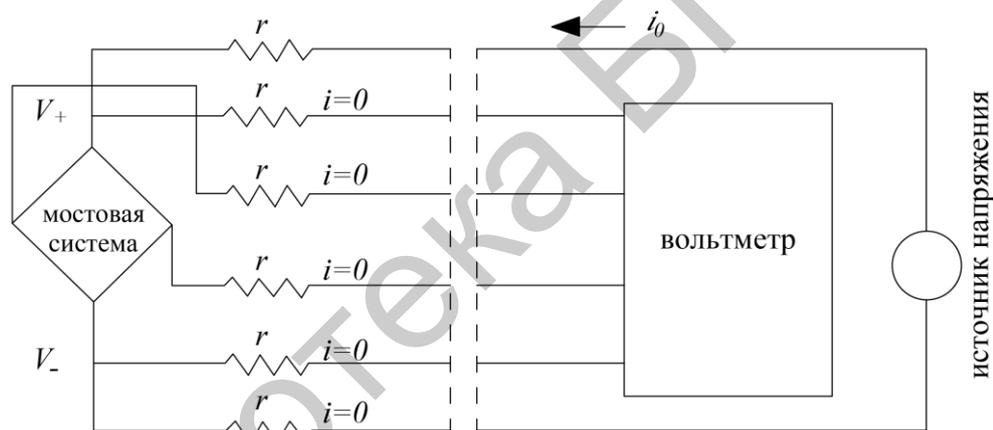


Рис. 25. Дистанционное измерение сопротивлений – шестипроводной метод, применяемый с мостовыми схемами

## 2. Общая характеристика контрольной работы

Данная работа предусматривает выполнение трёх заданий. В первом задании требуется представление в письменном виде ответа на один или группу связанных вопросов по подразд. 1.1...1.5. Во втором задании необходимо ознакомиться с физическими принципами работы датчиков, выпускаемых промышленностью, сделать технический анализ, привести структурные схемы. Третье задание предусматривает расчет шлейфа охранно-пожарной сигнализации с контролем по напряжению.

В первом задании каждый студент получает один вопрос или группу связанных вопросов, которые необходимо изучить и представить в письменном виде с представлением поясняющих иллюстраций. Вопросы могут быть получены студентом в электронном виде из предложенного списка в соответствии с заданным номером. При ответе необходимо использовать не только рекомендуемую литературу, но и другие источники, позволяющие более глубоко и полно ответить на поставленные вопросы.

Во втором задании проводится сравнительный анализ (с использованием интернет-ресурсов) эксплуатационно-технических характеристик датчиков или извещателей.

В третьем задании проводится расчет шлейфа охранно-пожарной сигнализации с контролем по напряжению.

Студент должен представить в письменном виде описание принципов работы шлейфов сигнализации, разработать структурную и эквивалентную схему шлейфа охранно-пожарной сигнализации, провести расчет уровней срабатывания нормально замкнутого или нормально открытого извещателя, выбрать и описать конструкцию выбранных извещателей.

### Задание №1

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует порядковому номеру списка.

В табл. 3 представлены номера вопросов, составляющие контрольное задание для каждого варианта.

Таблица 3

Варианты к заданию №1

Номер варианта	Номера вопросов	Номер варианта	Номера вопросов
01	15, 45	09	8, 55
02	2, 43	10	4, 48
03	5, 39	11	7, 52
04	9, 29	12	13, 30
05	6, 41	13	1, 46
06	11, 40	14	64, 26

07	12, 59	15	16, 10
08	3, 56	16	17, 44
17	31, 38	25	54, 35
18	18, 28	26	21, 51
19	23, 42	27	22, 55
20	25, 37	28	14, 62
21	36, 27	29	49, 34
22	19, 32	30	63, 24
23	20, 33	31	3, 61
24	53, 47	32	15, 60

## Контрольные вопросы:

1. Классификация датчиков.
2. Составные датчики и датчики прямого действия.
3. Пассивные, активные, абсолютные и относительные датчики.
4. Передаточная функция.
5. Статические характеристики датчиков.
6. Калибровка, гистерезис, насыщение.
7. Разрешающая способность. Выходной импеданс.
8. Динамические характеристики датчиков.
9. Датчики нулевого и первого порядка.
10. Демпфирование.
11. Ёмкость. Применение ёмкостного метода в преобразователях.
12. Магнетизм и его применение в преобразователях.
13. Сопротивление. Тензочувствительность.
14. Пьезоэлектрический эффект. Пьезопреобразователи.
15. Пироэлектрический эффект. Пироэлектрические преобразователи.
16. Эффект Холла. Преобразователи на его основе.
17. Эффект Зеебека и Пельтье.
18. Теплопроводность. Тепловое излучение.
19. Основные физические явления и принципы, использующиеся в преобразователях.
20. Физические основы оптики и оптоэлектроники.
21. Фотоэлектронные преобразователи.
22. Фотоэлектронные преобразователи с внешним фотоэффектом.
23. Фотоэлектронные преобразователи с внутренним фотоэффектом.
24. Фоторезисторы, принцип работы.
25. Фотодиоды, принцип работы.

26. Фототранзисторы, принцип работы.
27. Полупроводниковые излучатели света.
28. Эффект Доплера и его измерения в определении характеристик движения.
29. Приборы зарядовой связи.
30. Основные направления оптоэлектроники.
31. Оптические волоконные системы.
32. Принципы распространения света в оптических волноводах.
33. Устройства и принцип передачи по волоконным системам.
34. Элементы оптоэлектронной оптики.
35. Оптические волоконные кабели и их применение.
36. Структура волоконно-оптического кабеля.
37. Принципы передачи информации по волоконно-оптическому кабелю.
38. Оптоэлектронные преобразователи и устройства.
39. Оптрон с фотодиодом .
40. Оптрон с фототранзистором.
41. Оптрон с фототиристором.
42. Линзы Френеля.
43. Практическое применение оптоэлектронных пар.
44. Характеристики звукового поля.
45. Устройства и принцип работы микрофонов.
46. Угольные микрофоны и их конструкция.
47. Электродинамические микрофоны.
48. Конденсаторные микрофоны.
49. Электретные микрофоны.
50. Пьезоэлектрические микрофоны.
51. Устройства и принцип работы громкоговорителей.
52. Устройства и принцип работы телефонных капсулей.
53. Диффузорные динамические громкоговорители и их конструкция.
54. Электростатические громкоговорители.
55. Акустоэлектрические преобразователи.
56. Устройства на поверхностно-акустических волнах.
57. Физические основы терморезистивных преобразователей.
58. Физические основы термоэлектрических преобразователей.
59. Применение электромагнетизма для преобразования неэлектрических величин в электрический сигнал.
60. Физика преобразования механических воздействий в электрический сигнал.

61. Физика преобразования радиоактивных излучений в электрический сигнал.
62. Светоизлучающие элементы.
63. Основные законы геометрической оптики в применении к оптическим системам видеокамер.
64. Классификация электромеханических преобразователей.

## **Задание №2**

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует порядковому номеру списка.

В контрольной работе необходимо ознакомиться с физическими принципами работы датчиков, выпускаемых промышленностью, сделать технический анализ, привести структурные схемы, а также провести сравнительный анализ (с использованием интернет-ресурсов) эксплуатационно-технических характеристик, перечисленных датчиков и извещателей:

- 1) контроля присутствия и идентификации;
- 2) перемещения и положения;
- 3) силы и механических напряжений;
- 4) уровня различных жидкостей;
- 5) давления (высокое и низкое);
- 6) светового излучения;
- 7) температуры;
- 8) радиации (полупроводниковые детекторы радиации);
- 9) систем контроля и управления доступом;
- 10) охранной сигнализации;
- 11) пожарной сигнализации;
- 12) дыма;
- 13) пламени;
- 14) определения опасных концентраций газов;
- 15) заградительных средств обнаружения с использованием волоконно-оптических систем;
- 16) акселерометры, гироскопы;
- 17) акустические;
- 18) твердотельные акустические;
- 19) реагирующие на биофизические параметры человека;
- 20) химические и электрохимические;
- 21) использующие биофизические параметры человека в системах контроля и управления доступом;
- 22) используемые в периметральных системах охраны;

- 23) датчики в периметральных системах охраны;
- 24) видеокамеры;
- 25) автомобильные видеокамеры и видеорегистраторы;
- 26) видеокамеры отечественного и зарубежного производства;
- 27) тепловизоры;
- 28) тепловые, линейные, аспирационные пожарные извещатели;
- 29) системы видеонаблюдения;
- 30) электронные устройства интерфейсных схем датчиков;
- 31) пассивные и активные пироэлектрические датчики движения;
- 32) для обеспечения эффективного функционирования ЭСБ;
- 33) на поверхностных акустических волнах;
- 34) работающие на эффекте Холла.

### Задание №3

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует двум последним цифрам шифра зачётной книжки студента. Номера заданий берутся из табл. 4 и 5.

В общем случае охранно-пожарная сигнализация состоит из четырех компонентов: источника питания, шлейфа сигнализации, цепи сравнения и окончного устройства. Схема электрическая структурная охранно-пожарной сигнализации показана на рис. 26.

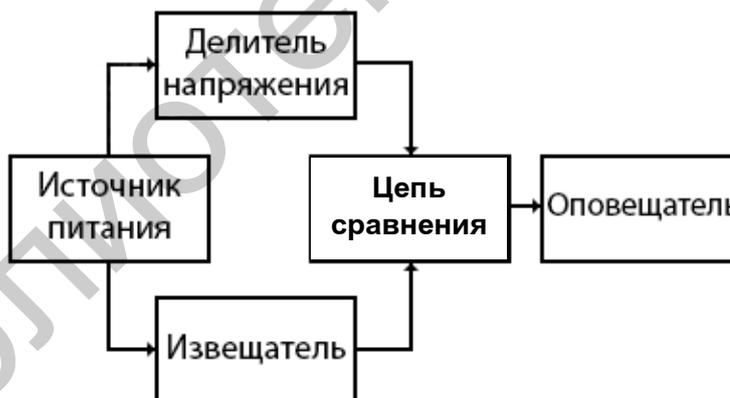


Рис. 26. Схема электрическая структурная охранно-пожарной сигнализации

Источник питания предназначен для подачи напряжения на извещатели и на делитель напряжения.

Делитель напряжения предназначен для деления опорного напряжения на напряжение уровней срабатывания, рассчитанных при проектировании системы. Напряжение с делителя поступает в цепь сравнения.

Цепь сравнения предназначена для сравнения напряжения в цепи извещателей с напряжением на делителе. По результатам этого сравнения получаем соответствующий сигнал от оповещателя.

Принцип работы системы охранно-пожарной сигнализации заключается в контроле датчиков (извещателей) охранной или пожарной сигнализации, по которым оценивается состояние объекта.

Задача извещателей – определить параметры контролируемой среды и передать информацию на прибор сигнализации. Принцип передачи информации является основной и наиболее существенной характеристикой охранной или пожарной системы. Традиционно существуют три основных способа передачи информации от извещателей к прибору сигнализации:

- изменением напряжения в шлейфе сигнализации;
- изменением тока в шлейфе сигнализации;
- передачей информации в виде кодовых посылок, осуществляемых модуляцией тока или напряжения в шлейфе сигнализации.

Передача информации путём изменения напряжения в шлейфе является наиболее распространённым и простым методом. Принцип передачи показан на рис. 27. В дежурном режиме извещатели имеют состояние, показанное на схеме. Напряжение в шлейфе  $U_{шс}$  обусловлено номиналами резисторов  $R_{пр}$ ,  $R_{ок}$ , которые образуют делитель для напряжения  $U_n$ . При сработке одного извещателя типа  $D_{нз}$  его контакты размыкаются и последовательно к оконечному резистору подключается сопротивление  $R_{и}$ . Нижнее плечо делителя увеличивается и напряжение в шлейфе повышается. Величина повышения определяется номиналом резистора  $R_{и}$ . При сработке второго извещателя типа  $D_{нз}$  происходит дополнительное повышение напряжения. При обрыве шлейфа – напряжение  $U_{шс}$  сравнивается с напряжением  $U_n$ . При сработке извещателя типа  $D_{но}$  его контакты замыкаются и параллельно резистору  $R_{ок}$  подключается резистор  $R_{и}$ , что приводит к уменьшению напряжения. Аналогично предыдущему случаю номинал резистора  $R_{и}$  и количество сработавших извещателей определяют величину изменения напряжения. При замыкании шлейфа его напряжение будет равно нулю.

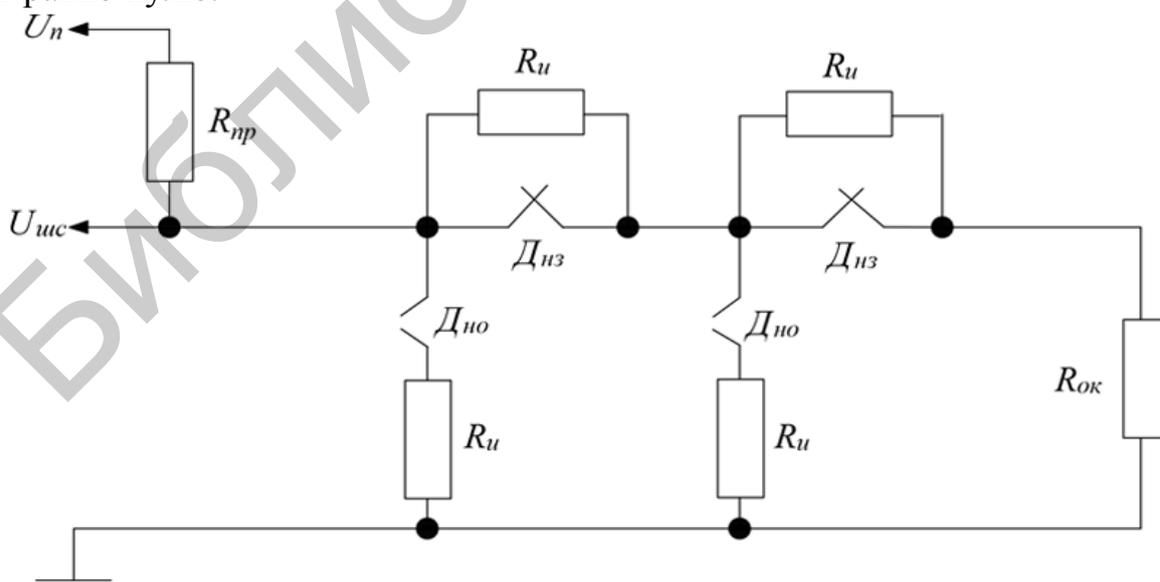


Рис. 27. Передача информации в шлейфе сигнализации

Здесь:  $U_n$  – напряжение питания прибора;

$U_{шс}$  – напряжение в шлейфе сигнализации;

$R_{ок}$  – оконечный резистор, устанавливаемый на конце шлейфа;

$R_{пр}$  – резистор, установленный внутри прибора;

$R_{и}$  – резисторы, устанавливаемые параллельно или последовательно с извещателями;

$D_{но}$  – извещатель с нормально-разомкнутыми контактами;

$D_{нз}$  – извещатель с нормально-замкнутыми контактами.

Очевидно, что действие извещателей обоих типов противоположно и их одновременная сработка взаимно компенсирует изменение напряжения, поэтому в шлейф допускается включать извещатели только одного типа или исключить возможность сработки обоих типов извещателей одновременно.

В реальных условиях эксплуатации необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- номиналы резисторов имеют отклонения как в положительную, так и в отрицательную сторону;
- провода шлейфа имеют сопротивление, отличное от нуля;
- между проводами шлейфа возможно образование цепей утечки.

С учётом этих обстоятельств состояния нормы неисправности и сработки будут характеризоваться не чёткими уровнями, а областями, в пределах которых могут находиться напряжения, соответствующие каждому состоянию извещателей и шлейфа [1, 5].

Кроме того, при анализе шлейфа с извещателями типа  $D_{но}$  необходимо учитывать, что ими, как правило, являются дымовые извещатели, питающиеся от этого же шлейфа. Эквивалентная схема шлейфа сигнализации показан на рис. 28.

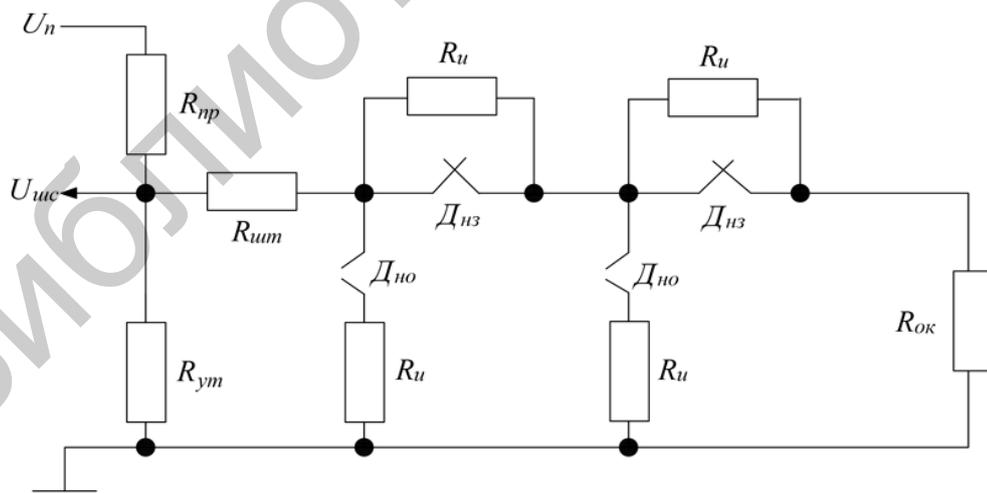


Рис. 28. Эквивалентная схема шлейфа сигнализации

Здесь:  $R_{шс}$  – паразитное сопротивление проводов шлейфа;

$R_{ут}$  – эквивалентное сопротивление цепей утечки.

**Примечание.** Предельные значения  $R_{шс}$  и  $R_{ут}$  являются обязательными для указания в эксплуатационной документации сигнализации.

Минимальное напряжение питания извещателей в большинстве случаев не ниже 9 В, потребляемый ток от 50 до 100 мкА, при срабатывании на извещателе происходит падение напряжения от 5 до 8 В (в зависимости от типа извещателя). Эквивалентная схема дымового извещателя для анализа шлейфа с контролем по напряжению показана на рис. 29.

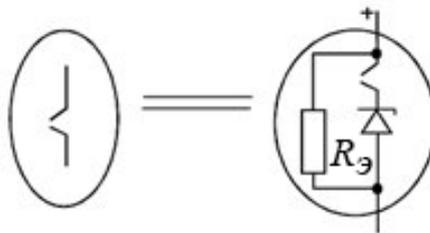


Рис. 29. Эквивалентная схема дымового извещателя

Здесь:  $R_э$  – эквивалентное сопротивление тока потребления извещателя.

Для обеспечения напряжения, необходимого для питания дымовых извещателей, параллельно резистору прибора предполагается устанавливать добавочное сопротивление такого номинала, чтобы напряжение в шлейфе поднялось выше 9,5 В. Если предполагается, что прибор должен распознавать сработку двух извещателей, отношение сопротивлений прибора (с учётом добавочного сопротивления) и сопротивления извещателя выбирают таким, чтобы при срабатывании первого извещателя напряжение в шлейфе было достаточным для питания оставшихся извещателей. Чтобы прибор мог идентифицировать уровни, соответствующие состояниям дымовых извещателей, кроме добавочных резисторов, в приборе устанавливают соответствующую опцию.

Для увеличения числа извещателей в шлейфе сигнализации необходимо уменьшать добавочное сопротивление, однако это затруднит отличие границ «норма – обрыв». Кроме того, при большом числе извещателей их эквивалентное сопротивление может «подменять» оконечный резистор и удаление части извещателей окажется незамеченным.

Напряжение на шлейфе  $U_{шс}$  обусловлено номиналами сопротивлений прибора  $R_{пр}$  и оконечного резистора  $R_{ок}$ . Это напряжение является номинальным, т. е. система находится в исправном, идеальном состоянии. Оконечный элемент предназначен для выполнения антисаботажных требований и обеспечения возможности контроля шлейфа на всем протяжении. В качестве оконечного элемента в шлейфах такого типа используется резистор. Его номинал является условно скрытым, т. е. частично обеспечивающим элемент скрытности. При сработке одного из извещателей его контакты размыкаются и последовательно к оконечному резистору подключается сопротивление  $R_{и}$ , что приводит к увеличению нижнего плеча делителя – напряжение в шлейфе увеличивается. Величина повышения напряжения определяется номиналом резистора  $R_{и}$ . При сработке ещё одного извещателя происходит дополнительное увеличение напряжения. В случае обрыва напряжение  $U_{шс}$  сравнивается с напряжением источника питания  $U_{п}$ , при коротком замыкании – близко к потенциалу земли.

В реальных условиях эксплуатации необходимо учитывать, что провода шлейфов имеют сопротивление, отличное от нуля ( $R_{шс}$ ), между проводами шлейфов возможно образование цепей утечки ( $R_{ут}$ ), номиналы резисторов имеют отклонения как в положительную, так и в отрицательную сторону.

С учётом этого рассчитывается не точный уровень, а область возможных значений напряжения, т. е. область срабатывания датчика. Выделяют следующие области: обрыв, короткое замыкание, номинальное напряжение, область срабатывания датчика 1, 2, 3... $N$ . Обрыв и короткое замыкание относятся к неисправностям системы.

Шлейф охранной сигнализации представляет собой делитель напряжения, схематично представлен на рис. 30.

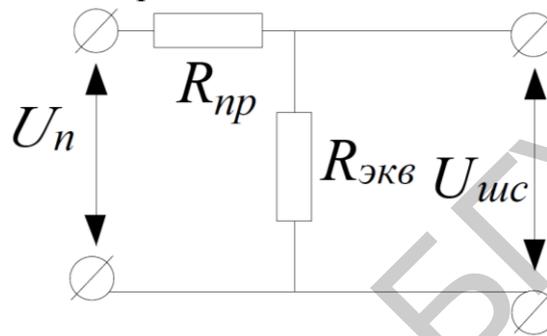


Рис. 30. Делитель напряжения

Здесь:  $U_{п}$  – напряжение питания;

$U_{шс}$  – напряжение шлейфа;

$R_{пр}$  – выходное сопротивление прибора;

$R_{экв}$  – эквивалентное сопротивление шлейфа.

Расчёт делителя напряжения осуществляется по формуле

$$U_{шс} = \frac{U_{п} \cdot R_{экв}}{R_{пр} + R_{экв}}. \quad (1)$$

Согласно эквивалентной схеме, показанной на рис. 28, в режиме «нормы» эквивалентное сопротивление  $R_{экв}$  можно выразить как

$$R_{экв} = \frac{U_{шс} \cdot R_{пр}}{U_{п} - U_{шс}}. \quad (2)$$

Так как  $U_{шс} = 1/3 U_{п}$ , то подставляя значения  $U_{шс}$  и  $R_{экв}$  в формулу (1), определяем значение  $R_{ок}$ :

$$R_{ок} = \frac{R_{шс} \cdot (R_{ут} - R_{экв}) - R_{экв} \cdot R_{ут}}{R_{экв} - R_{ут}}. \quad (3)$$

В нормальном состоянии сопротивление резисторов извещателей не учитывается, т. к. по нему не протекает ток. При срабатывании извещателей на него начинает поступать ток, в результате чего сопротивление шлейфа сигнализации увеличивается:

$$R_{\text{экв}} = \frac{(R_{\text{шс}} + R_{\text{ок}} + n \cdot R_{\text{из}}) \cdot R_{\text{ут}}}{R_{\text{ут}} + R_{\text{шс}} + R_{\text{ок}} + n \cdot R_{\text{из}}}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество сработанных извещателей.

С увеличением сопротивления шлейфа также будет увеличиваться напряжение шлейфа.

Следует также учесть, что сопротивление шлейфа сигнализации в среднем составляет около 100 Ом, а сопротивление утечки – 20 кОм, в основном используются резисторы с параметрами разброса  $\pm 5\%$ . Расчеты уровней напряжений производятся для следующих состояний: при нормальном состоянии, коротком замыкании, обрыве, срабатывании одного, двух и трех извещателей. Так как у резисторов нет постоянного номинального сопротивления, а имеется диапазон, то каждый из уровней срабатывания будет представлять собой область, со своим минимальным и максимальным значением. В зависимости от значения напряжения (в какой области оно находится) будет срабатывать определённый тип оповещателя.

Аналогично проводится расчёт шлейфа сигнализации с нормально разомкнутыми контактами.

В дежурном режиме, когда все контакты датчиков разомкнуты, на выходе шлейфа устанавливается напряжение, равное

$$U_{\text{шс}} = \frac{U_{\text{п}} \cdot R_{\text{экв}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{экв}}}. \quad (5)$$

Оно принимается за норму. Так как  $U_{\text{шс}}$  равно  $0,9 U_{\text{п}}$ , из формулы (5) можно определить  $R_{\text{ок}}$ .

При срабатывании извещателя в нижнем плече делителя параллельно с  $R_{\text{ок}}$  добавляется сопротивление датчика, что приводит к снижению уровня  $U_{\text{шс}}$ . Прибор идентифицирует это как сработку извещателя. При одновременном срабатывании нескольких извещателей напряжение  $U_{\text{шс}}$  снижается ступенчато, что позволяет прибору определять количество сработавших извещателей.

В нормальном состоянии сопротивление резисторов извещателей не учитывается, т. к. по нему не протекает ток. При срабатывании извещателей на него начинает поступать ток, в результате чего сопротивление шлейфа сигнализации увеличивается:

$$R_{\text{экв}} = \frac{\left( \frac{R_u^n \cdot R_{\text{ок}}}{n \cdot R_u + R_{\text{ок}}} + R_{\text{шс}} \right) \cdot R_{\text{ут}}}{\frac{R_u^n \cdot R_{\text{ок}}}{n \cdot R_u + R_{\text{ок}}} + R_{\text{шс}} + R_{\text{ут}}}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество сработавших датчиков.

При обрыве шлейфа  $U_{\text{шс}} \approx U_{\text{пит}}$  при коротком замыкании  $U_{\text{шс}} \approx 0$ .

### Пример 1

Охранная сигнализация с контролем по напряжению. Дано:

$R_{ут}$ , кОм	20
$R_{шс}$ , Ом	100
$U_{пит}$ , В	22
$R_{пр}$ , кОм	1
$U_{изв}$	$1/3 U_{пит}$
$R_{ок} R_{и}$	$R_{и}$
Количество ШС	1
Тип извещателей	Охранные нормально замкнутые (НЗ) – 2 шт.

Используются резисторы с параметрами разброса  $\pm 5\%$ .

1. Произведём расчёт  $R_{ок}$  и  $R_{и}$ :

$$U_{шс} = \frac{U_{пит}}{3} = \frac{22}{3} = 7,33 \text{ В};$$

$$R_{эқв} = \frac{U_{шс} \cdot R_{пр}}{U_{пит} - U_{шс}} = \frac{7,33 \cdot 10^3}{22 - 7,33} = 500 \text{ Ом};$$

$$R_{ок} = \frac{R_{шс} \cdot (R_{ут} - R_{эқв}) - R_{эқв} \cdot R_{ут}}{R_{эқв} - R_{ут}};$$

$$R_{ок} = \frac{100 \cdot (20 \cdot 10^3 - 500) - 500 \cdot 20 \cdot 10^3}{500 - 20 \cdot 10^3} = 413 \text{ Ом};$$

$$R_{ок} = R_{изв} = 413 \text{ Ом}.$$

2. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для нормального состояния:

а)  $U_{\min}$  при  $R_{эқв \min}$  и  $R_{пр \max}$ :

$$R_{ок-5\%} = R_{ок} \cdot 0,95 = 392 \text{ Ом};$$

$$R_{пр+5\%} = R_{пр} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{эқв} = \frac{(R_{ок} + R_{шс}) \cdot R_{ут}}{R_{ок} + R_{шс} + R_{ут}} = \frac{(392 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{392 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 480 \text{ Ом};$$

$$U_{\min} = \frac{U_{пит} \cdot R_{эқв}}{R_{пр} + R_{эқв}} = \frac{22 \cdot 480}{1050 + 480} = 6,9 \text{ В};$$

б)  $U_{\max}$  при  $R_{эқв \max}$  и  $R_{пр \min}$ :

$$R_{ок+5\%} = R_{ок} \cdot 1,05 = 434 \text{ Ом};$$

$$R_{пр-5\%} = R_{пр} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ОК}} + R_{\text{ШС}}) \cdot R_{\text{УТ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{(434 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{434 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 520 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 520}{950 + 520} = 7,8 \text{ В.}$$

Уровни напряжения шлейфа для нормального состояния:

$$U_{\text{min}} = 6,9 \text{ В}; \quad U_{\text{max}} = 7,8 \text{ В.}$$

3. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для состояния, когда сработал один датчик:

а)  $U_{\text{min}}$  при  $R_{\text{ЭКВ min}}$  и  $R_{\text{ПР max}}$ :

$$R_{\text{ОК}} - 5\% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 392 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}} - 5\% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 392 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}} + 5\% = R_{\text{ПР}} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}} + R_{\text{ШС}}) \cdot R_{\text{УТ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(392 + 392 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{392 + 392 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 847 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{min}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 847}{1050 + 847} = 9,8 \text{ В};$$

б)  $U_{\text{min}}$  при  $R_{\text{ЭКВ max}}$  и  $R_{\text{ПР min}}$ :

$$R_{\text{ОК}} + 5\% = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 434 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}} + 5\% = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 434 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}} - 5\% = R_{\text{ПР}} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}} + R_{\text{ШС}}) \cdot R_{\text{УТ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(434 + 434 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{434 + 434 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 923 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 923}{950 + 923} = 10,8 \text{ В.}$$

Уровни напряжения шлейфа для состояния, когда сработал один датчик:

$$U_{\text{min}} = 9,8 \text{ В}; \quad U_{\text{max}} = 10,8 \text{ В.}$$

4. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для состояния, когда сработали два датчика.

а)  $U_{\min}$  при  $R_{\text{ЭКВ min}}$  и  $R_{\text{пр max}}$ :

$$R_{\text{ок}} - 5\% = R_{\text{ок}} \cdot 0,95 = 392 \text{ Ом}; \quad R_{\text{изв}} - 5\% = R_{\text{ок}} \cdot 0,95 = 392 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пр}} + 5\% = R_{\text{пр}} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ок}} + 2 \cdot R_{\text{изв}} + R_{\text{шс}}) \cdot R_{\text{ут}}}{R_{\text{ок}} + 2 \cdot R_{\text{изв}} + R_{\text{шс}} + R_{\text{ут}}};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(392 + 2 \cdot 392 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{392 + 2 \cdot 392 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 1199,5 \text{ Ом};$$

$$U_{\min} = \frac{U_{\text{пит}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 1199,5}{1050 + 1199,5} = 11,7 \text{ В.}$$

б)  $U_{\max}$  при  $R_{\text{ЭКВ max}}$  и  $R_{\text{пр min}}$ :

$$R_{\text{ок}} + 5\% = R_{\text{ок}} \cdot 1,05 = 434 \text{ Ом}; \quad R_{\text{изв}} + 5\% = R_{\text{ок}} \cdot 1,05 = 434 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пр}} - 5\% = R_{\text{пр}} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ок}} + 2 \cdot R_{\text{изв}} + R_{\text{шс}}) \cdot R_{\text{ут}}}{R_{\text{ок}} + 2 \cdot R_{\text{изв}} + R_{\text{шс}} + R_{\text{ут}}};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(434 + 2 \cdot 434 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{434 + 2 \cdot 434 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 1310 \text{ Ом};$$

$$U_{\max} = \frac{U_{\text{пит}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 1030}{950 + 1030} = 12,8 \text{ В.}$$

Уровни напряжения шлейфа для состояния, когда сработали два датчика:

$$U_{\min} = 11,7 \text{ В}; \quad U_{\max} = 12,8 \text{ В.}$$

Графики уровней напряжения при сработке датчиков НЗ изображены на рис. 31.

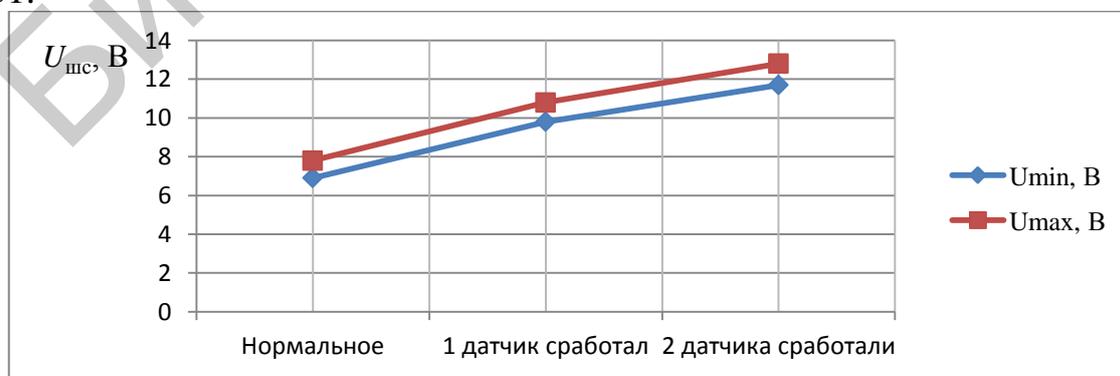


Рис. 31. Графики уровней напряжения при сработке датчиков НЗ

## Пример 2

Пожарная сигнализация с контролем по напряжению. Дано:

$R_{ут}$ , кОм	20
$R_{шс}$ , Ом	100
$U_{пит}$ , В	22
$R_{пр}$ , кОм	1
$U_{изв}$	$0,9 \cdot U_{пит}$
$R_{ок}$	$R_{и}$
Количество ШС	1
Тип извещателей	Пожарные нормально открытые (НО) – 2 шт.

Используются резисторы с параметрами разброса  $\pm 5\%$ .

1. Произведём расчёт  $R_{ок}$  и  $R_{и}$ :

$$U_{шс} = 0,9 \cdot U_{пит} = 0,9 \cdot 22 = 19,8 \text{ В};$$

$$R_{экв} = \frac{U_{шс} \cdot R_{пр}}{U_{пит} - U_{шс}} = \frac{19,8 \cdot 10^3}{22 - 19,8} = 9000 \text{ Ом};$$

$$R_{ок} = \frac{R_{шс} \cdot (R_{ут} - R_{экв}) - R_{экв} \cdot R_{ут}}{R_{экв} - R_{ут}};$$

$$R_{ок} = \frac{100 \cdot (20 \cdot 10^3 - 9000) - 9000 \cdot 20 \cdot 10^3}{9000 - 20 \cdot 10^3} = 16263 \text{ Ом};$$

$$R_{ок} = R_{изв} = 16263 \text{ Ом}.$$

2. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для нормального состояния.

а)  $U_{\min}$  при  $R_{экв \min}$  и  $R_{пр \max}$ :

$$R_{ок-5\%} = R_{ок} \cdot 0,95 = 15450 \text{ Ом}; \quad R_{пр+5\%} = R_{пр} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{экв} = \frac{(R_{ок} + R_{шс}) \cdot R_{ут}}{R_{ок} + R_{шс} + R_{ут}} = \frac{(392 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{392 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 8748 \text{ Ом};$$

$$U_{\min} = \frac{U_{пит} \cdot R_{экв}}{R_{пр} + R_{экв}} = \frac{22 \cdot 8748}{1050 + 8748} = 19,6 \text{ В};$$

б)  $U_{\max}$  при  $R_{экв \max}$  и  $R_{пр \min}$ :

$$R_{ок+5\%} = R_{ок} \cdot 1,05 = 17076 \text{ Ом}; \quad R_{пр-5\%} = R_{пр} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_{\text{ОК}} + R_{\text{ШС}}) \cdot R_{\text{УТ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{(17076 + 100) \cdot 20 \cdot 10^3}{17076 + 100 + 20 \cdot 10^3} = 9240 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 17076}{950 + 17076} = 20 \text{ В.}$$

Уровни напряжения шлейфа для нормального состояния:

$$U_{\text{min}} = 19,6 \text{ В}; \quad U_{\text{max}} = 20 \text{ В.}$$

3. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для состояния, когда сработал один датчик:

а)  $U_{\text{min}}$  при  $R_{\text{ЭКВ min}}$  и  $R_{\text{ПР max}}$ :

$$R_{\text{ОК}} - 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 15\,450 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}} - 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 15\,450 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}} + 5 \% = R_{\text{ПР}} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{\left(\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}}\right) \cdot R_{\text{УТ}}}{\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{\left(\frac{15450^2}{2 \cdot 15450} + 100\right) \cdot 20 \cdot 10^3}{\frac{15450^2}{2 \cdot 15450} + 100 + 20 \cdot 10^3} = 5624 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{min}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 5624}{1050 + 5624} = 18,5 \text{ В};$$

б)  $U_{\text{max}}$  при  $R_{\text{ЭКВ max}}$  и  $R_{\text{ПР min}}$ :

$$R_{\text{ОК}} + 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 17\,076 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}} + 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 17\,076 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}} - 5 \% = R_{\text{ПР}} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{\left(\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}}\right) \cdot R_{\text{УТ}}}{\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}}{R_{\text{ОК}} + R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{\left(\frac{17076^2}{2 \cdot 17076} + 100\right) \cdot 20 \cdot 10^3}{\frac{17076^2}{2 \cdot 17076} + 100 + 20 \cdot 10^3} = 6033 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 6033}{950 + 6033} = 19 \text{ В.}$$

Уровни напряжения шлейфа для состояния, когда сработал один датчик:

$$U_{\text{min}} = 18,5 \text{ В}; \quad U_{\text{max}} = 19 \text{ В.}$$

4. Произведём расчёт уровней напряжения шлейфа для состояния, когда сработали два датчика:

а)  $U_{\text{min}}$  при  $R_{\text{ЭКВ min}}$  и  $R_{\text{ПР max}}$ :

$$R_{\text{ОК}} - 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 15\,450 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}} - 5 \% = R_{\text{ОК}} \cdot 0,95 = 15\,450 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}} + 5 \% = R_{\text{ПР}} \cdot 1,05 = 1050 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{\left(\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}^2}{R_{\text{ОК}} + 2 \cdot R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}}\right) \cdot R_{\text{УТ}}}{\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}^2}{R_{\text{ОК}} + 2 \cdot R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{\left(\frac{15450^3}{3 \cdot 15450} + 100\right) \cdot 20 \cdot 10^3}{\frac{15450^3}{3 \cdot 15450} + 100 + 20 \cdot 10^3} = 4158 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{min}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 4158}{1050 + 4158} = 17,6 \text{ В};$$

б)  $U_{\text{max}}$  при  $R_{\text{ЭКВ max}}$  и  $R_{\text{ПР min}}$ :

$$R_{\text{ОК}+5\%} = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 17\,076 \text{ Ом}; \quad R_{\text{ИЗВ}+5\%} = R_{\text{ОК}} \cdot 1,05 = 17\,076 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ПР}-5\%} = R_{\text{ПР}} \cdot 0,95 = 950 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{\left(\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}^2}{R_{\text{ОК}} + 2 \cdot R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}}\right) \cdot R_{\text{УТ}}}{\frac{R_{\text{ОК}} \cdot R_{\text{ИЗВ}}^2}{R_{\text{ОК}} + 2 \cdot R_{\text{ИЗВ}}} + R_{\text{ШС}} + R_{\text{УТ}}} = \frac{\left(\frac{17076^3}{3 \cdot 17076} + 100\right) \cdot 20 \cdot 10^3}{\frac{17076^3}{3 \cdot 17076} + 100 + 20 \cdot 10^3} = 4491 \text{ Ом};$$

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ПИТ}} \cdot R_{\text{ЭКВ}}}{R_{\text{ПР}} + R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{22 \cdot 4491}{950 + 4491} = 18,2 \text{ В}.$$

Уровни напряжения шлейфа для состояния, когда сработали два датчика:

$$U_{\text{min}} = 17,6 \text{ В}; \quad U_{\text{max}} = 18,2 \text{ В}.$$

Графики напряжений при сработке датчиков НО приведены на рис. 32.



Рис. 32. Графики напряжений при сработке датчиков НО

Данные к вариантам задания №2 приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Значения  $U_{\text{пит}}$  и  $R_{\text{пр}}$  охранной сигнализации с контролем по напряжению

Номер варианта	$U_{\text{пит}}$	$R_{\text{пр}}$	Номер варианта	$U_{\text{пит}}$	$R_{\text{пр}}$
01	12 В	1 кОм	10	16 В	1,2 кОм
02	14 В	1 кОм	11	18 В	1,2 кОм
03	16 В	1 кОм	12	20 В	1,2 кОм
04	18 В	1 кОм	13	22 В	1,2 кОм

Окончание табл. 4

Номер варианта	$U_{пит}$	$R_{пр}$	Номер варианта	$U_{пит}$	$R_{пр}$
05	20 В	1 кОм	14	24 В	1,2 кОм
06	22 В	1 кОм	15	12 В	1,2 кОм
07	24 В	1 кОм	16	14 В	1,2 кОм
08	12 В	1,2 кОм	17	16 В	1,2 кОм
09	14 В	1,2 кОм	18	18 В	1,2 кОм
19	20 В	1,2 кОм	24	16 В	2,4 кОм
20	22 В	1,2 кОм	25	18 В	2,4 кОм
21	24 В	2,2 кОм	26	20 В	2,4 кОм
22	12 В	2,4 кОм	27	22 В	2,4 кОм
23	14 В	2,4 кОм	28	24 В	2,4 кОм

**Примечание.** Во всех вариантах количество шлейфов сигнализации (ШС) равно 1, тип извещателей – охранные (НЗ),  $R_{изв\ НЗ}=R_{ок}$ ,  $U_{шс\ НЗ}=1/3 U_{пит}$ , количество датчиков  $D_{НЗ}=2$ .

Таблица 5

Значения  $U_{пит}$  и  $R_{пр}$  пожарной сигнализации с контролем по напряжению

Номер варианта	$U_{пит}$	$R_{пр}$	Номер варианта	$U_{пит}$	$R_{пр}$
01	12 В	1 кОм	11	18 В	1,2 кОм
02	14 В	1 кОм	12	20 В	1,2 кОм
03	16 В	1 кОм	13	22 В	1,2 кОм
04	18 В	1 кОм	14	24 В	1,2 кОм
05	20 В	1 кОм	15	12 В	2,2 кОм
06	22 В	1 кОм	16	14 В	2,2 кОм
07	24 В	1 кОм	17	16 В	2,2 кОм
08	12 В	1,2 кОм	18	18 В	2,2 кОм
09	14 В	1,2 кОм	19	20 В	2,2 кОм
10	16 В	1,2 кОм	20	22 В	2,2 кОм

**Примечание.** Во всех вариантах количество шлейфов сигнализации (ШС) равно 1, тип извещателей – пожарные (НО),  $R_{изв\ НО}=R_{ок}$ ,  $U_{шс\ НО}=0,9 U_{пит}$ ,  $I_{потр}=100$  мкА, количество датчиков  $D_{НО}=2$ .

## Литература

1. Виглеб, Г. Датчики / Г. Виглеб. – М. : Мир. 1989. – 196 с.
2. Бейлина, Р. А. Микроэлектронные датчики / Р. А. Бейлина, Ю. Г. Гросберг, Д. А. Довгялло. – Новополоцк : ПГУ, 2001. – 295 с.
3. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2006. – 592 с.
4. Джексон, Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон ; под ред. В. В. Лучинина пер с англ. – М. : Техносфера, 2007. – 380 с.
5. Средства и методы измерений неэлектрических величин / Е. С. Полищук [и др.]. – Львов : Бескид Бит, 2008. – 618 с.
6. Датчики. Справочное пособие / под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
7. Измерение электрических и неэлектрических величин / Н. Н. Евтихийев [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
8. Носов, Ю. Р. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов. – 2-е изд. – М. : Радио и связь, 1989. – 360 с.
9. Алдошин, И. А. Высококачественные акустические системы и излучатели / И. А. Алдошин, А. Г. Войшвилло. – М. : Радио и связь, 1985. – 368 с.
10. Сапожков, М. А. Электроакустика : учебник / М. А. Сапожков. – М. : Связь, 1978. – 368 с.
11. Шачнев, А. И. Устройства и системы охранно-пожарной сигнализации / А. И. Шачнев. – Минск : Технопринт, 2001. – 228 с.
12. Синилов, В. Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации / В. Г. Синилов. – М. : Изд. центр «Академия», 2010. – 509 с.
13. Емкостные датчики / В. М. Шарапов [и др.] ; под ред. В. М. Шарапова. – Черкассы : Брана-Украина, 2010. – 184 с.
14. Ишанин, Г. Г. Источники и приемники излучения / Г. Г. Ишанин. – СПб. : Политехника, 1931. – 360 с.
15. Петраков, А. В. Основы практической защиты информации / А. В. Петраков. – М. : Радио и связь, 1999. – 368 с.

*Учебное издание*

**Серенков Валентин Юрьевич**

## **ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

**ПОСОБИЕ**

Редактор *М. А. Зайцева*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *О. И. Толкач*

Подписано в печать 27.03.2018. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 3,84. Уч.-изд. л. 4,1. Тираж 70 экз. Заказ 157.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,  
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.  
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.  
220013, Минск, П. Бровки, 6