

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

А.И. Солдатов

Изучение ультразвуковых сенсоров для ориентации роботов в пространстве.

Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Сенсорные системы роботов» для студентов направления Информационное и программное обеспечение программно-аппаратных комплексов робототехнических систем

Томск 2023

УДК 372.862

ББК 30

С 60

Рецензент:

Костина М.А., доцент каф. управления инновациями ТУСУР,
канд. техн. наук

Солдатов, Алексей Иванович

С 60 Изучение ультразвуковых сенсоров для ориентации роботов в пространстве: метод. указания по выполнению студентами лабораторных работ/ А.И.Солдатов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 27 с.

Методические указания по выполнению студентами лабораторной работы «Изучение ультразвуковых сенсоров для ориентации роботов в пространстве» разработаны для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Одобрено на заседании научно-методической комиссии ФИТ, протокол № 5 от 28.12.2022 г.

УДК 372.862

ББК 30

© Солдатов А.И., 2023

© Томск.гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023

Оглавление

Цель работы	2
Задачи	2
Краткие теоретические сведения:	2
Используемое оборудование.....	16
Описание лабораторной установки.....	21
Порядок работы.....	22
Предварительное задание.....	23
Программа работы	23
Содержание отчета.....	24
Контрольные вопросы	24
Источники информации	25

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИЗУЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ
ОРИЕНТАЦИИ РОБОТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ.

Цель работы

Изучение принципа работы ультразвукового локатора.

Задачи

Познакомиться с конструкцией ультразвукового датчика, изучить способы согласования акустических импедансов газообразных и жидких сред с акустическим сенсором, изучить способы генерирования и приема упругих колебаний, изучить время-импульсный способ определения дистанции до отражателя, изучить чувствительность и разрешающую способность ультразвукового датчика, изучить погрешности измерения дистанции.

Краткие теоретические сведения:

Физические основы применения акустических датчиков

Область физики, посвященная получению, распространению и взаимодействию упругих колебаний с веществом, называется акустикой, а эти колебания – акустическими.

Частота акустических колебаний может лежать в диапазоне от долей Герц до сотен Гигагерц. По частотной классификации упругие волны делят на несколько диапазонов (рис.1).

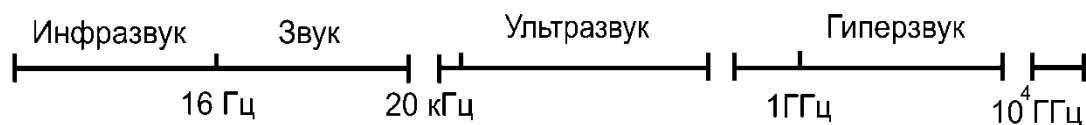


Рис. 1. Частотный диапазон упругих волн

По своей природе инфразвуковые, звуковые, ультразвуковые и гиперзвуковые волны не отличаются друг от друга, это все упругие колебания, распространяющиеся в упругих средах. Минимальное значение длины упругой волны зависит от длины свободного пробега молекул в газах или межмолекулярных (межатомных) расстояний в жидкостях и твердых телах. Длина волны должна быть больше. С учетом этого максимальная частота упругих колебаний в газах составляет около 1 ГГц (10^9 Гц), а в твердых телах – примерно 10^{13} Гц.

Деление акустических колебаний на ультразвук, звук и инфразвук условно и связано с особенностями восприятия ухом человека только определенного диапазона частот упругих колебаний.

Связь длины волны со скоростью и частотой определяется классическим соотношением:

$$\lambda = \frac{C}{f} = C \cdot T, \quad (9)$$

где f – частота упругих колебаний, C – скорость распространения, T – период колебаний.

При решении простых задач акустики при длине волны много меньше размеров отражателей можно считать, что распространение упругих колебаний в среде подчиняется законам геометрической акустики. Отражение и преломление упругой волны на границе раздела двух сред с разными акустическими свойствами подчиняется закону Снеллиуса. Фокусировка упругих колебаний осуществляется с помощью линз и сферических зеркал.

Распределение амплитуды акустического давления в пространстве, заполненном упругой средой, называется *акустическим полем*. Основными параметрами акустического поля являются переменное давление и интенсивность распространяющейся волны.

Периодическая деформация в виде сжатия и расширения каждого тонкого слоя упругой среды, в которой распространяется акустическая волна, есть результат действия переменного акустического давления, амплитуда которого определяется из выражения:

$$P = \rho \cdot C \cdot A \cdot \omega = \rho \cdot C \cdot V_m, \quad (10)$$

где ρ – плотность среды, C – скорость ультразвука в среде, V_m – амплитуда колебательной скорости частиц, A – максимальное смещение частицы относительно положения равновесия (амплитуда); ω – циклическая частота колебаний.

Величина $\rho \cdot C$ характеризует рассеяние энергии волны в акустическом поле и называется *акустическим импедансом среды*:

$$Z = \rho \cdot C \quad (11)$$

Ультразвуковое поле излучателя

Практическое использование ультразвука базируется на знании характера акустического поля, т.е. пространственного распределения переменного звукового давления или интенсивности, создаваемого излучателем ультразвуковых волн в объекте контроля.

В акустических локаторах широко применяется плоский излучатель круглой формы. В первом приближении можно считать, что амплитуда колебаний на его поверхности постоянна, а $d \gg \lambda$. Идеализированная форма звукового поля такого излучателя представлена на рис. 2.

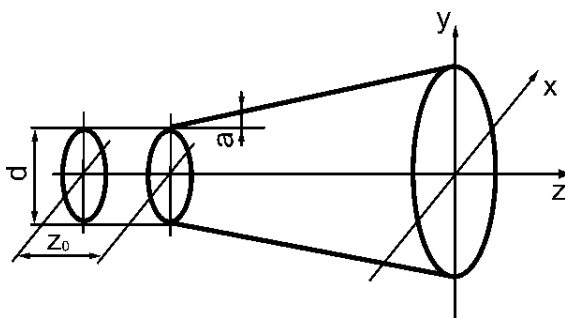


Рис. 2. Идеализированное поле плоского акустического излучателя,
 d – диаметр излучателя, Z_0 – ближняя зона

В ближней зоне излучателя (ее еще иногда называют зоной Френеля) ультразвуковое поле сосредоточено внутри цилиндра, диаметром d и длиной Z_0 , которая является границей ближней зоны:

$$Z_0 = \frac{d^2}{\lambda}, \quad (14)$$

где d – диаметр преобразователя, λ – длина волны излучения.

Поле в ближней зоне очень неравномерное, имеет несколько максимумов и минимумов, которые появляются из-за интерференции волн, от отдельных участков поверхности излучателя (рис. 3). При синфазном сложении волн получается максимум, при противофазном – минимум.

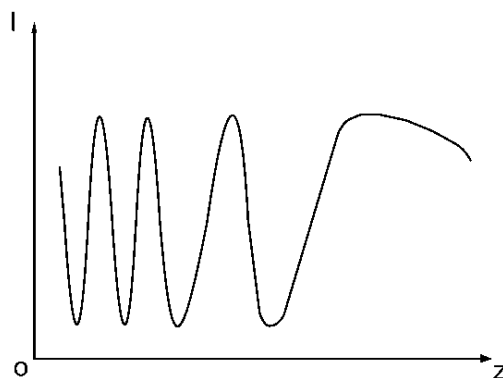


Рис. 3. Изменение интенсивности колебаний в упругой волне в ближней зоне излучателя

Последний максимум находится на границе ближней и дальней зон. За ближней зоной располагается дальняя зона или зона Фраунгофера. В этой зоне интенсивность поля монотонно уменьшается пропорционально расстоянию от излучателя, а акустическое поле начинает расходиться. Угол расхождения акустического поля определяется условием:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{A \cdot \lambda}{d}\right). \quad (15)$$

где d – диаметр преобразователя (для круглой пластины) или сторона прямоугольника (для прямоугольной пластины), λ – длина волны излучения,

A – коэффициент пропорциональности (для круглой пластинки $A = 1,22$, для квадратной пластинки $A = 1$).

Нормированная зависимость амплитуды (или интенсивности) акустического поля в дальней зоне от угла распространения называется диаграммой направленности (рис.4).

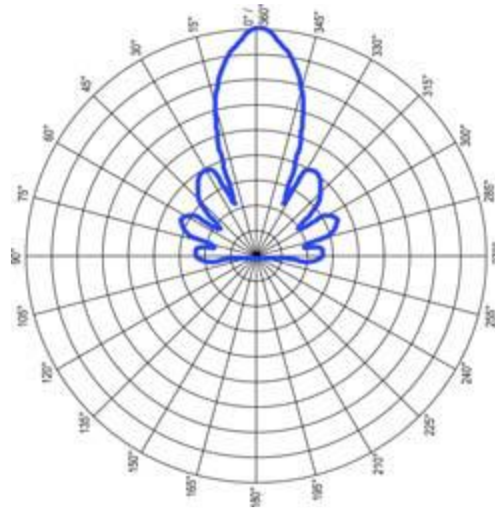


Рис.4. Диаграмма направленности плоского круглого излучателя.

Центральная часть диаграммы направленности, в пределах которой нормированная амплитуда уменьшается от единицы до нуля, называется основным лепестком диаграммы направленности. В нем сосредоточено до 85% энергии поля излучения. Кроме основного лепестка диаграмма направленности содержит добавочные максимумы (лепестки) интенсивности, они называются боковыми лепестками диаграммы направленности. Форма диаграммы направленности зависит от величины отношения размеров излучателя к длине волны, от свойств излучающего элемента и от способа его крепления в излучателе.

Затухание ультразвука

При распространении в упругой среде амплитуда колебания частиц среды уменьшаются с увеличением расстояния от источника. Это происходит из-за поглощения энергии средой. В однородной среде затухание плоской волны связано в основном с поглощением. Изменение

амплитуды колебания частиц и интенсивности ультразвука по мере распространения упругой волны можно определить из выражений:

$$A = A_0 e^{-\delta \cdot x}, \quad (16)$$

$$I = I_0 e^{-2 \cdot \delta \cdot x}, \quad (17)$$

где I_0 – интенсивность ультразвука вблизи источника; A_0 – амплитуда колебания частиц вблизи источника; I – интенсивность в точке измерения; A – амплитуда в точке измерения; x – расстояние прошедшее волной; δ – коэффициент поглощения.

Коэффициент затухания определяется как сумма коэффициентов поглощения и рассеяния:

$$\delta = \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{р}} \quad (18)$$

При поглощении акустическая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии не превращается другой вид, но только изменяет направление распространение в результате отражений от неоднородностей.

Значения коэффициентов затухания в некоторых жидкостях и газах, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты затухания некоторых жидких и газообразных сред

Вещество	Температура, °С	Частота, МГц	$\frac{\delta}{f^2}$, Нп/МГц ² ·мм	K_{δ} 1\град
Вода	20	0,1-250	25	-0,031
Глицерин	20	0,15-4	2500	-0,069
Ртуть	20	0,5-1000	61	-0,15
Воздух	20	1,1-1,4	17500	

Как правило, твердые тела имеют зернистую структуру и на границах зерен происходит рассеяние упругих колебаний. Коэффициент рассеяния

зависит от размеров зерен и частоты. Например, для металлов δ_p пропорционален f^n , ($n = 2 \dots 4$). При среднем размере зерен меньше длины волны $n = 2$, а при размерах зерен равных или больше длины волны $n = 4$. Значения коэффициента рассеяния для некоторых твердых тел приведены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты рассеяния некоторых твердых тел

Материал изделия	δ_p , Дб/м
Отливки из алюминия и магния. Стекло, фарфор. Штамповки (не легированные) сталь, никель, титан.	0,1-10
Пластики (оргстекло, резина, синтетические смолы). Медь, латунь, бронза. Низколегированная сталь.	10...100
Пластик с наполнителем. Высоколегированная сталь. Пористая керамика, горные породы.	Свыше 100

Отражение и преломление ультразвука

При падении плоской упругой волны на границу раздела двух сред, с разными импедансами, происходит частичное отражение падающей энергии и частичное прохождение в другую среду (рис. 5). Количество энергии упругой волны, прошедшей из первой среды во вторую среду, зависит от соотношения их импедансов. Энергия падающей волны, не прошедшая во вторую среду, отражается обратно в первую. Коэффициент отражения определяется отношением разности акустических импедансов двух сред к их сумме:

$$V = \frac{I_{ref}}{I_{total}} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (20)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность первой и второй сред соответственно; c_1 и c_2 – скорость распространения ультразвука в первой и второй средах соответственно, $Z_1 = \rho_1 c_1$ и $Z_2 = \rho_2 c_2$ – акустические импедансы, соответственно, первой и второй сред.

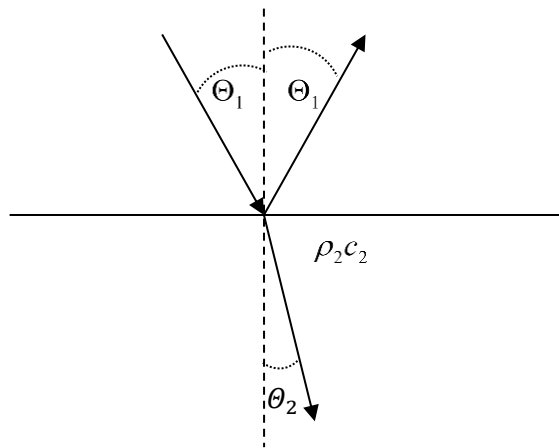


Рис. 5. Отражение и преломление ультразвуковой волны на границе раздела двух сред

При наклонном падении волны на границу раздела двух сред акустический импеданс будет зависеть от угла падения и преломления и определяется по формулам:

$$Z_1 = \frac{\rho_1 c_1}{\cos \Theta_1}; \quad Z_2 = \frac{\rho_2 c_2}{\cos \Theta_2}, \quad (21)$$

где Θ_1 и Θ_2 – углы падения и преломления, соответственно.

Если выполняется условие $Z_2 < Z_1$, то коэффициент отражения будет отрицательным. Это значит, что фаза отраженной волны будет отличаться на 180 градусов от фазы падающей волны. При положительном коэффициенте отражения фазы падающей и отраженной волн совпадают.

При прохождении через границу раздела двух сред выполняется закон сохранения энергии: энергия отраженной и прошедшей волн в сумме равны энергии падающей волны, поэтому коэффициент прохождения, равный

отношению интенсивностей прошедшей и падающей волн при нормальном падении определяется из выражения:

$$W = \frac{I_{np}}{I_{пад}} = 1 - V = 1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (22)$$

где $I_{пад}$ – интенсивность падающей волны, I_{np} – интенсивность прошедшей волны.

Однако следует учитывать, что при наклонном падении акустической волны в твердом теле кроме продольной волны появляются другие типы волн, например поперечные, как отраженная, так и прошедшая.

Угол преломления Θ_2 можно найти из закона Снеллиуса:

$$\frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_2} = \frac{c_1}{c_2}. \quad (23)$$

где Θ_1 и Θ_2 – углы падения и преломления, соответственно, c_1 и c_2 – скорость распространения ультразвука в первой и второй средах соответственно.

При увеличении угла падения продольной волны углы преломления продольной и сдвиговой волн Θ_2 и γ также увеличиваются и при некотором значении $\alpha = \alpha_{кр1}$ (первый критический угол) угол Θ_2 становится равным 90 градусов при этом преломленная продольная волна распространяется только по поверхности, не проникая в глубь второй среды. При дальнейшем увеличении угла падения до $\alpha_{кр2}$ (второй критический угол) угол γ становится равным 90 градусов при этом по поверхности распространяется преломленная сдвиговая волна.

Из выражения 22 следует, что чем больше различаются между собой акустические импедансы сред, тем меньшая доля энергии проходит во вторую среду. Например, при падении ультразвуковой волны на границу раздела вода – воздух, интенсивность прошедшей волны составляет всего 0,1% от интенсивности падающей волны, при этом 99,9% отразится обратно. Именно поэтому для эффективной работы датчика необходим

хороший акустический контакт между датчиком и средой распространения упругой волны. Для этого часто используют специальные гели, воду, глицерин, различного типа масла и т.д.

При нормальном падении на границу раздела двух сред падающая и отраженная волны накладываются друг на друга. Если между излучателем и границей раздела укладывается целое число длин полуволн, то в среде возникает *стоячая волна*.

Электрическое возбуждение упругих колебаний в средах возможно с помощью магнитострикционного и пьезоэлектрического эффектов. Оба эти эффекта основаны на возможности создавать в электромеханических активных веществах упругие деформации при приложении магнитного или электрического поля. В ультразвуковых локаторах применяют только пьезоэлектрические излучатели.

Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики предназначены для работы в жидких, твердых и газообразных средах. Пьезоэлектрический датчик, разработанный для работы в жидких и твердых средах, состоит из чувствительного элемента (пьезоплатина) 1, демпфера 2, протектора 3, корпуса 6, подводящих проводов 7 (рис.6). Пьезоэлемент 1 изготовлен из поляризованной керамики цирконата титаната свинца ЦТС19. На тыльной стороне пьезокерамики закрепляется с помощью клея демпфер, который укорачивает зондирующий сигнал. Для защиты рабочей поверхности пьезокерамики от внешних воздействий используется протектор в виде эпоксидной смолы с наполнителем. К обеим сторонам пьезокерамики припаиваются соединительные провода для подачи и снятия электрического сигнала. Вся конструкция помещается в металлический корпус и заливается эпоксидной смолой.

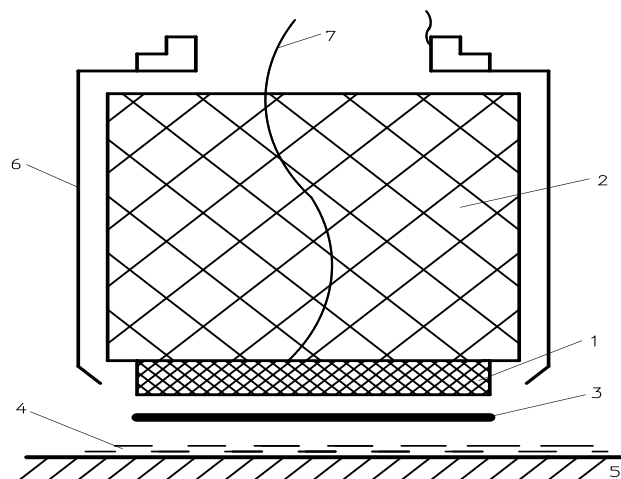


Рис. 6. Конструкция акустического датчика, предназначенная для работы в жидких и твердых средах.

1 – пьезоэлемент; 2 – демпфер; 3 – протектор; 4 – прослойка контактной смазки;
5 – среда; 6 – корпус; 7 – вывод

Пьезоэлектрический датчик, разработанный для работы в газообразных средах, состоит из чувствительного элемента (пьезоплатина), металлической пластины, приклеенной сверху пьезопластины. Сверху круглой металлической пластины в ее центре закреплен рупор. Снизу к пьезопластине приклеен демпфер. Вся конструкция закрепляется на диэлектрическом основании, к нему же прикрепляются два выводных контакта в виде цилиндрических стержней. Вся конструкция помещается в пластмассовый корпус. Основание приклеивается к пластмассовому корпусу (рис.7).

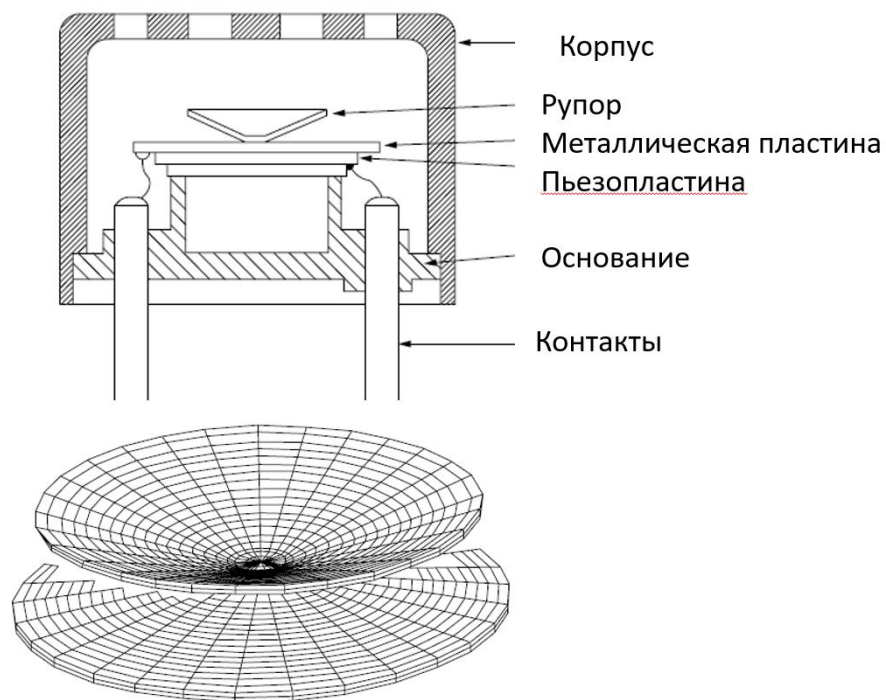


Рис. 7. Конструкция акустического датчика, предназначенная для работы в воздушных средах

Для измерения расстояния используют акустические локации (рис.8).

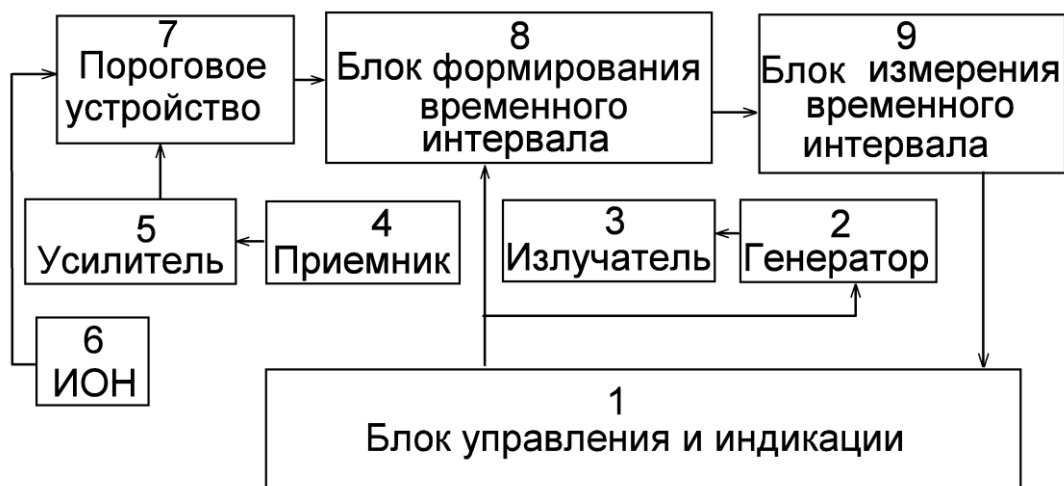


Рис.8. Структурная схема акустического локатора

Типовая структурная схема акустического локатора состоит из блока управления 1, генератора упругих колебаний 2, излучающего сенсора 3,

приемного сенсора 4, усилителя эхо-сигнала 5, источника опорного напряжения 6, порогового устройства (компаратора) 7, блока формирования временного интервала (измерительного триггера) 8, блока измерения временного интервала 9. Работа акустического локатора начинается с формирования блоком управления 1 сигнала запуска генератора 2 и блока формирования временного интервала 8. Генератор 2 воздействует на излучатель 3, который преобразует электрический сигнал в упругую волну (момент t_1 на рис.9). Упругая волна распространяется до отражателя и обратно, приходит на приемник 4, который преобразует энергию упругой волны в электрический сигнал (момент t_0 на рис.9). Усилитель 5 усиливает эхо-сигнал до величины необходимой для работы порогового устройства 7. Как только амплитуда эхо-сигнала превысит напряжение источника опорного напряжения 6 (момент t_2 на рис.9), пороговое устройство 7 выдаст сигнал на остановку работы блока формирования временного интервала 8. На выходе измерительного триггера получится импульс, длительность которого пропорциональна дистанции до отражателя и обратно. Этот импульс поступает в блок измерения временного интервала 9, на выходе которого появляется двоичный код пропорциональный длительности входного импульса. Полученный двоичный код поступает в блок управления и индикации 1, в котором происходит вычисление дистанции до отражателя и обратно в соответствии с формулой:

$$L = \frac{Ct}{2}$$

где t – время распространения упругой волны до отражателя и обратно, C – скорость распространения упругой волны в среде.

Так упругая волна распространяется в прямом и обратном направлениях, то числитель делится пополам.

На рисунке 9 представлена типичная форма эхо-сигнала.

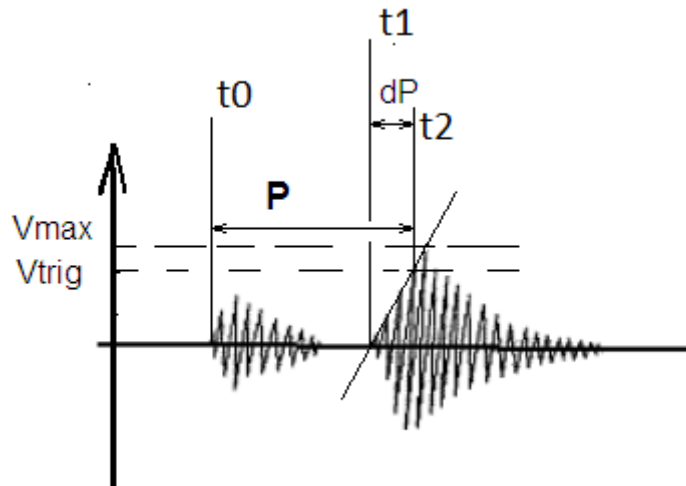


Рис.9. Типовая форма эхо-сигнала

На диаграмме эхо-сигнала виден зондирующий сигнал в момент времени t_0 . Акустический датчик представляет собой резонансную систему, поэтому сигнал упругой волны после прекращения воздействия на излучатель не завершается, а плавно уменьшается в течении нескольких периодов. Длительность затухающей части упругой волны зависит от добротности датчика. Чем выше добротность, тем больше периодов требуется для уменьшения упругой волны до нуля. Но чем выше добротность, тем больше энергии отдает излучатель в среду. Однако, чем больше время затухания, тем больше неконтролируемая дистанция, т.к. на фоне большого излучаемого сигнала приемный сигнал маленькой амплитуды незаметен. Через время распространения упругой волны до отражателя и обратно на приемник поступает отраженная волна. Это происходит в момент времени t_1 . Однако выделить начало эхо-сигнала практически невозможно, т.к. в реальных ультразвуковых локаторах присутствуют как шумы акустического тракта, так и шумы электронного тракта, которые не позволяют выделить начальный момент эхо-сигнала. Поэтому в электронном тракте предусмотрено пороговое устройство (компаратор), которое настроено на уровень превышающий уровень шумов

в несколько раз. На рис.4 этот уровень обозначен V_{trig} . Как было отмечено выше, акустический датчик, это резонансная система. Эхо-сигнал плавно нарастает и также плавно затухает. Из-за этого между началом эхо-сигнала (t_1) и срабатыванием порогового устройства (t_2) проходит несколько периодов несущей частоты. Это приводит к погрешностям измерения дистанции. Применяя современные алгоритмы обработки эхо-сигналов можно существенно уменьшить эту погрешность. Например, можно в нарастающей части эхо-сигнала определить положительные экстремумы и по ним построить прямую линию.

$$y = Ax + B$$

где B - момент времени t_1 , A – тангенс угла наклона касательной.

Точка пересечения этой линии с осью времени будет близка к t_1 .

Используемое оборудование

Специальный стенд на основе микроконтроллера ARDUINO с датчиком HC-SR04 и персональный компьютер. Лабораторный стенд с микроконтроллером ARDUINO работает в программной среде Arduino IDE. Работа в этой среде обычно включает в себя следующие шаги:

1. Подключите Arduino-плату к компьютеру через USB-порт.
2. Для создания нового проекта откройте Arduino IDE. Для этого на рабочем столе ПК найдите пиктограмму, показанную на ри.10.

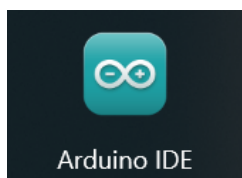


Рис. 10. Пиктограмма программы Arduino IDE

3. Создайте новый файл проекта, выбрав пункт «File» -> «New» в верхнем меню (рис.11).

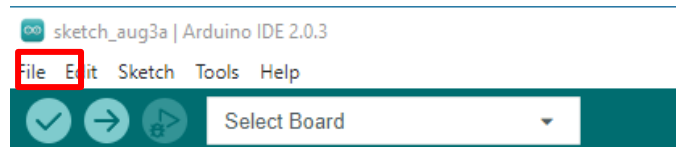


Рис.11. Вкладка «File» программы Arduino IDE

4. Откроется окно с основной структурой вашей программы (рис.12).

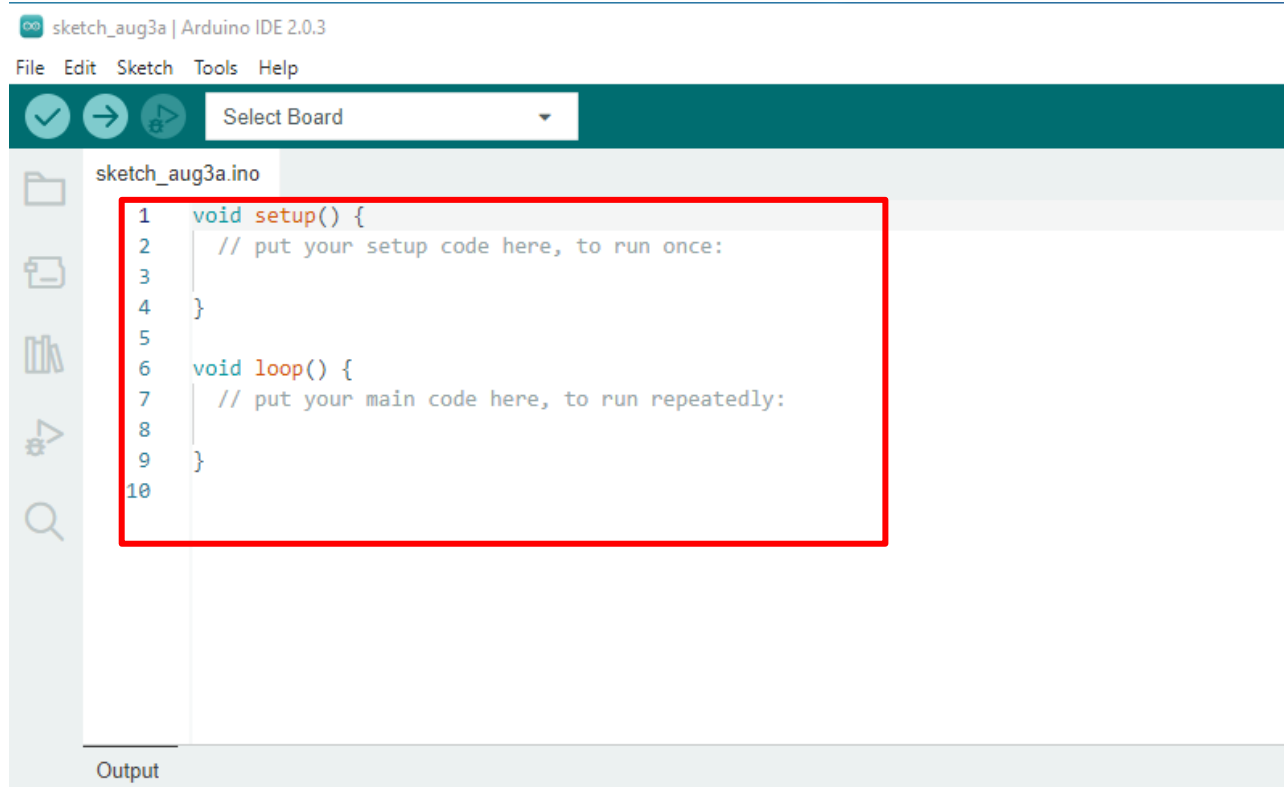


Рис. 12. Окно редактора Arduino IDE

5. Напишите код вашей программы в окне редактора Arduino IDE, используя вышеуказанные функции, команды и конструкции языка C/C++.

Используйте встроенные библиотеки Arduino, чтобы расширить возможности вашей программы. Интересующие библиотеки можно найти в разделе «Library Manager» в Arduino IDE (пункт «Sketch» -> «Include Library» или на панели слева (рис.13)).

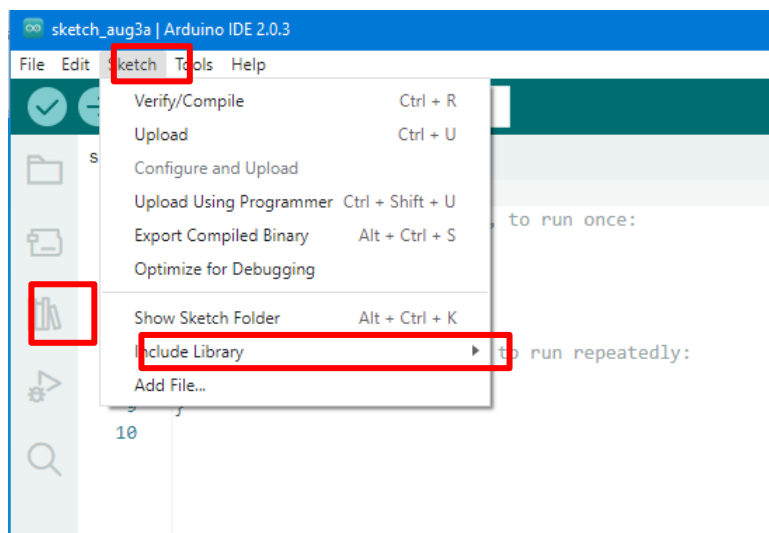


Рис.13. Вкладка «Sketch» для выбора встроенных библиотек Arduino

6. Проверьте синтаксис вашего кода, нажав кнопку «Verify» (галочка) в верхней панели Arduino IDE (рис.14).

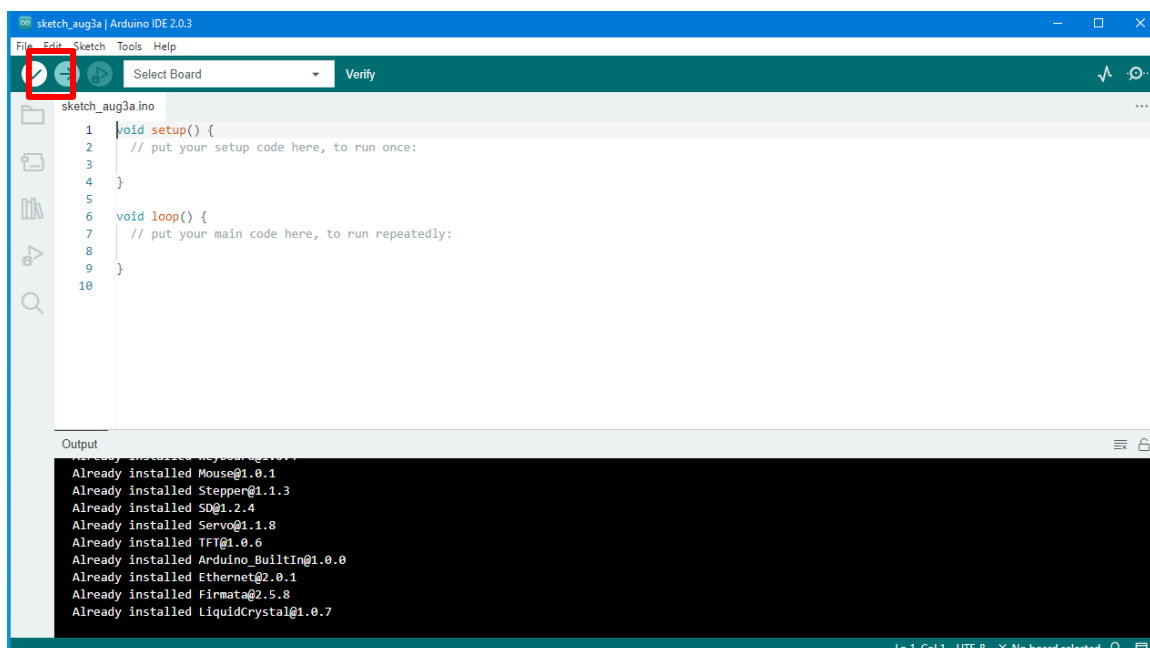


Рис.14. Кнопка «Verify» программы Arduino IDE

Если нет ошибок, ваш код будет успешно скомпилирован в машинный код, готовый для загрузки на Arduino-плату.

7. Убедитесь, что выбрана правильная плата и порт коммуникации в меню «Tools» (рис.15).

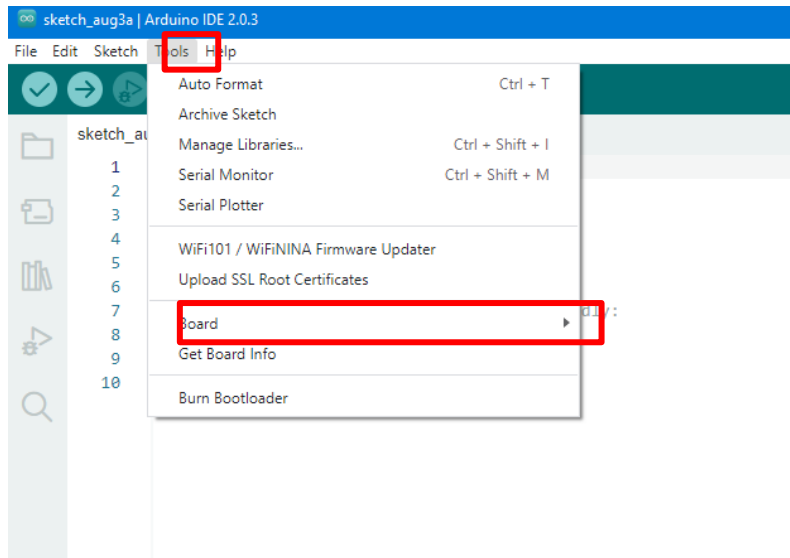


Рис.15. Вкладка «Tools» для выбора платы

8. Нажмите кнопку «Upload» (стрелка вниз) в верхней панели Arduino IDE, чтобы загрузить скомпилированный код на Arduino (рис.16).

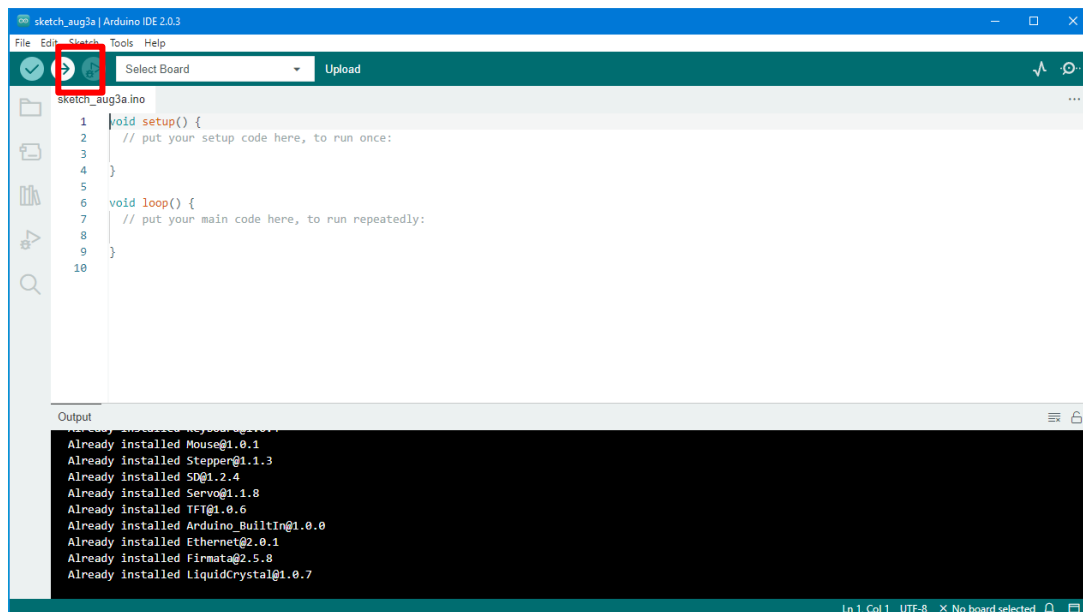


Рис.16. Кнопка «Upload» программы Arduino IDE

Плата будет перезагружена и начнет выполнять Вашу программу.

9. Откройте монитор порта, выбрав пункт «Tools» -> «Serial Monitor» в верхнем меню или плоттер по последовательному соединению, выбрав пункт «Serial Plotter» (рис.17).

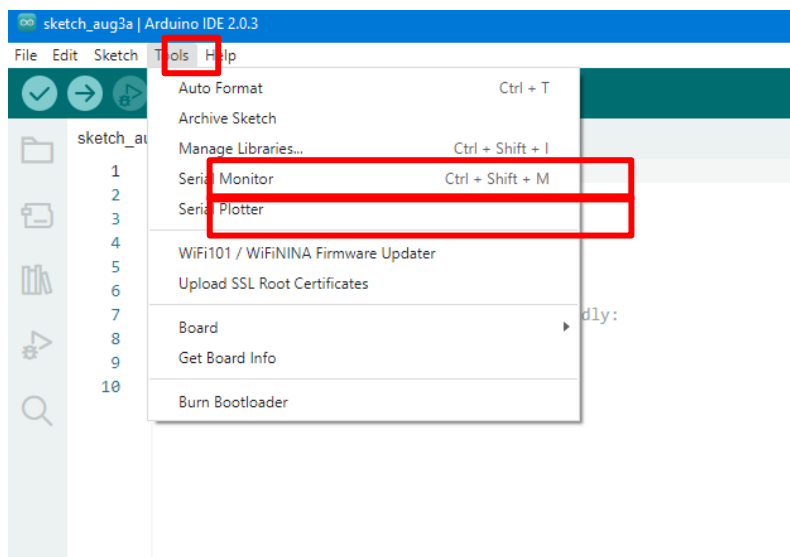


Рис.17. Вкладка «Tools» для выбора просмотра полученных данных

В мониторе порта вы сможете просматривать числовые данные, выводимые вашей программой, а в плоттере по последовательному соединению данные отображаются в графическом виде.

Для правильной работы лабораторного стенда необходимо загрузить программу работы микроконтроллера для измерения напряжения. Пример программы для измерения расстояния приведен на рис.18.

```

#define PIN_TRIG      11
#define PIN_ECHO      12
long duration, cm;

void setup()
{
  pinMode(PIN_TRIG, OUTPUT);
  pinMode(PIN_ECHO, INPUT);
  Serial.begin(115200);      // Включаем Serial
}
void loop()
{
  digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);      //      Время задержки
  акустического сигнала на эхолокаторе.
  duration = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH);
  cm = (duration / 2) / 29.1;
  Serial.println(cm);
  delay(300);
}

```

Рис.18. Пример программы для измерения расстояния

Описание лабораторной установки

Для выполнения лабораторной работы необходимо собрать схему ультразвукового локатора, состоящего из сенсора HC-SR04. Фотография датчика приведена на рис. 19.



Рис. 19. Внешний вид датчика

Основные технические характеристики датчика:

Напряжение питания: 5V DC

Ток покоя: <math><2\text{mA}</math>

Эффективный угол: <math><15^\circ</math>

Диапазон измерения расстояния: 2–400 см

Разрешение: 0.3 см

Сенсор подключается к микроконтроллеру Arduino. Схема соединения показано на рис.20.

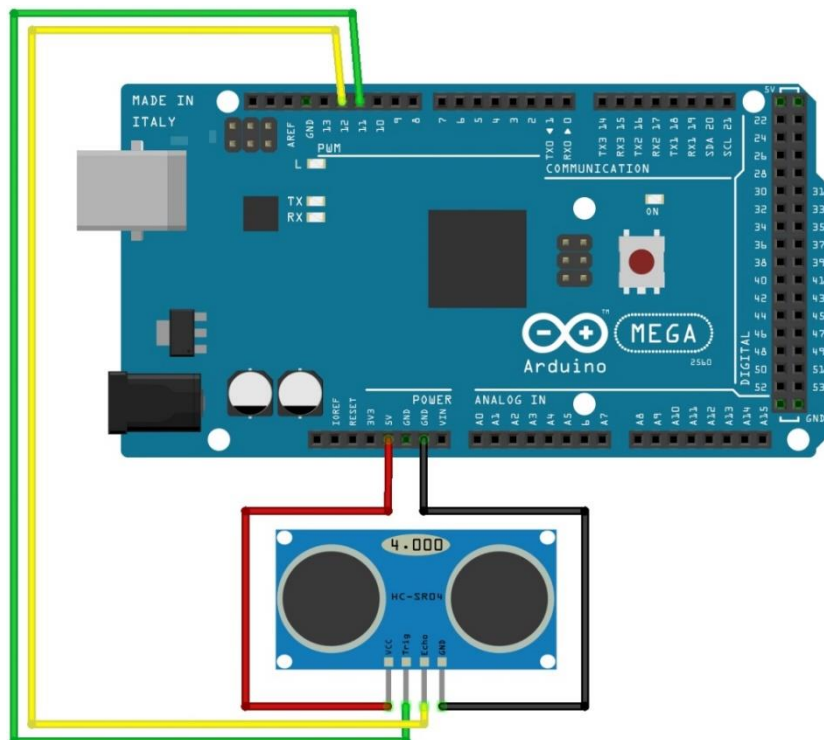


Рис. 20. Схема подключения датчика

Микроконтроллер подключается к персональному компьютеру через порт USB, находящийся в модуле Arduino.

Порядок работы

Подключаем Arduino к ПК. Открываем монитор порта программы Arduino IDE. Назначаем выходы микроконтроллера, соединенные с датчиком. Настраиваем эти выходы. Формируем длительность импульса 10мкс на выводе, для запуска датчика. Считываем длительность импульса функцией `pulseIn`. Функция `pulseIn` позволяет узнать длительность импульса в μs . Запишем результат работы этой функции в переменную `duration`.

Теперь вычислим расстояние, переведя скорость из м/с в см/мкс:

$$\text{distance} = \text{duration} * 340 \text{ м/с} = \text{duration} * 0,034 \text{ м/мкс}$$

Преобразуем десятичную дробь в обыкновенную

$$\text{distance} = \text{duration} * 1/29,1 = \text{duration} / 29,1$$

Принимая во внимание то, что звук преодолел расстояние до объекта и обратно, поделим полученный результат на 2

$$\text{distance} = \text{duration} / 58,2$$

Предварительное задание

1. Изучить разделы курса и краткие теоретические сведения.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
3. Ознакомиться с рабочим заданием, методическими указаниями к работе.
4. Подготовить бланк отчёта.

Программа работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе.
2. Подключить датчик к микроконтроллеру АРДУИНО.
3. Падать напряжение питания равное 5В (рис.7).
4. Запустить программу в среде отладки.
5. Подключить оба канала осциллографа — синхронизацию поставить по каналу, подключенному к выходу ЕСНО, канал, подключенный к выходу микроконтроллера перевести в режим “АС”
6. Установить отражатель на расстоянии 50 см от излучателя.
7. Провести измерения времени задержки сигнала, результаты занести в таблицу, зарисовать сигнал с выхода датчика, уточнить время задержки сигнала аппроксимацией максимумов осциллограммы.
8. Изменить расстояние, повторить измерения 4-5 раз
9. Рассчитать скорость упругой волны по полученным данным, усредненное значение сравнить с вычисленным значением

10. Установить отражатель на дистанциях 20, 40, 60, 80 и 100 см и записать показания локатора и амплитуды сигнала с осциллографа

11. Оценить ослабление амплитуды сигнала с увеличением расстояния. Заполнить таблицу, построить графики.

№	S, см измерено рулеткой	P, мкс	V _{max} , мВ	dP, мкс	S1, рассчи тано по P	Погреш ность, %	S2, рассчи тано по P-dP	Погреш ность, %
1								
2								
3								
4								
5								

12. Оформить отчёт по проделанной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Заполнить Таблицу экспериментальных данных и построить зависимость погрешности и ослабления сигнала от дистанции.
5. Сделать выводы.
6. Привести ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Зависит ли скорость звука от влажности воздуха?
2. Какие типы датчиков применяют в локаторах?

3. Датчик собран на основе схемы с отдельным излучателем и приемником. Также возможна схема с совмещенными узлами. В чем различия этих схем, опишите их недостатки и достоинства.
4. Чем отличаются акустические датчики для работы в водной среде и в газообразной?
5. Чем отличаются отдельные датчики от раздельно-совмещенных?
6. Почему упругая волна отражается от границы раздела двух сред?
7. Что такое акустический импеданс?
8. Какова роль демпфера в конструкции акустического датчика?
9. Как определяется длина волны излучения пьезоизлучателя?
10. В каких случаях используют иммерсионную жидкость?
11. Нарисуйте схемы включения акустического датчика к усилителю.
12. Какие недостатки присущи совмещенным преобразователям?
13. Зависит ли скорость звука от температуры воздуха?

Источники информации

1. Барбенец А. Ультразвуковые преобразователи фирмы Sencera. Компоненты и технологии №3, 2004, стр 29-30.
2. ru.wikipedia.org/wiki/Звук
3. [ru.wikipedia.org/wiki/Скорость звука](http://ru.wikipedia.org/wiki/Скорость_звука)