

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»**

28047

регистрационный номер

Секция: Радиоэлектроника, лазерная и медицинская техника (БМТ1, БМТ2, РЛ1, РЛ2, РЛ6)

Разработка и изготовление устройства для определения расстояния между узлами в стоячих волнах и практическое применение этого метода

Автор:

Кищенко Алексей Александрович
МАУ ДО ЦТТ «Новолипецкий»,
МБОУ гимназия № 12 города Липецка, 9 класс

Научный руководитель:

Самохин Юрий Петрович
Педагог дополнительного образования
МАУ ДО ЦТТ «Новолипецкий»



подпись научного руководителя

Липецк - 2024

АННОТАЦИЯ

Цель работы - разработать компактное устройство, которое позволяет производить измерение расстояния между узлами (пучностями) стоячих волн. Оно будет основой датчика структурного состояния звуковода, который при изменении температуры в любой точке звуковода, выше заданной, выдаст сигнал тревоги. Данное устройство будет применяться как погонный датчик изменения температуры.

Впервые про стоячие волны было описано в 19 веке Майклом Фарадеем в 1831 году. Он показал, что стоячие волны имеют определенную частоту и длину [1]. За прошедшее время было изготовлено большое количество различных приспособлений и всевозможных датчиков с использованием эффекта стоячих волн: всевозможные насосы для перегонки жидкости (газа) без использования подвижных или вращающихся частей, датчики локационного типа – эхолоты, уровнемеры, дефектоскопы. КСВ-метр, также известный как измеритель коэффициента стоячей волны, используется для измерения эффективности антенной системы [2].

В информационных источниках можно найти описание устройств, позволяющих производить различные измерения параметров стоячих волн, но они все имеют ряд недостатков - они громоздки, занимают большие объемы, а также требуют большое количество побочных приборов и приспособлений для проведения измерений.

В отличие от имеющихся на рынке приборов [3], разрабатываемое устройство будет компактно, доступно и представлять из себя погонный датчик температуры на основе эффекта стоячих волн. Оно позволит измерять температуру кабелей на больших расстояниях.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Основная часть.....	5
1. Особенности стоячих волн.....	5
2. Сравнение существующих методов и приборов.....	7
3. Описание разработанного устройства.....	11
Заключение.....	14
Список использованных источников.....	15

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к стоячим волнам у меня возник в процессе изготовления и апробации акустических систем (колонок). Они по-разному звучали в разных комнатах. Далее было интересно, как и с какими потерями происходит отражение волн. Когда начал изучать теорию о стоячих волнах, то выяснил, что не так-то просто определить их пучности и узлы. Имеющиеся устройства для определения предлагались довольно сложной конструкции. Исходя из полученной мною информации про механические стоячие волны, я предположил, что энергия, затраченная на механические волны в узлах и пучностях будет различной.

Для реализации моего предположения были поставлены следующие задачи в проекте:

1. Изучение схем и принципов работы подобных устройств;
2. Разработка схемы устройства раскачки без элемента на ультразвуковых частотах;
3. Разработка схемы контроля и индикации;
4. Изготовление печатных плат, монтаж устройства;
5. Испытания распространение волн и их отражение как в воздухе, так и в металле;
6. Оптимизация элементов схемы по наибольшей чувствительности индикации расстояния между «пучностями»;
7. Изготовление стального звуковода для погонного датчика изменения внутренней структуры;
8. Комплексные испытания устройства, доводка и устранение неполадок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Особенности стоячих волн

Процесс распространения колебаний в упругой среде называют механической волной. Для механических волн обязательно нужна среда, которая должна обладать инертными и упругими свойствами. Различают поперечные и продольные волны. Продольные волны могут распространяться в любых средах: твердых, жидких и газообразных; поперечные - только в твердых средах. Как в поперечных, так и в продольных волнах перенос вещества в направлении распространения волны не происходит. Волны переносят энергию колебаний. Колебательные движения тела в упругой среде являются источником механических волн. В однородной среде скорость распространения волн остается величиной постоянной. Расстояние, равное длине волны λ , волна пробегает за период T , следовательно $\lambda = vT$. При отражении от более плотной среды волна, изменив свое направление на обратное, меняет фазу на " π ", то есть на противоположную точку.

В результате сложения падающей и отраженной волн образуется стоячая волна. В стоячей волне существуют подвижные точки, которые называются узлами. Посредине между узлами находятся точки, которые колеблются с максимальной амплитудой. Эти точки называют пучностями.

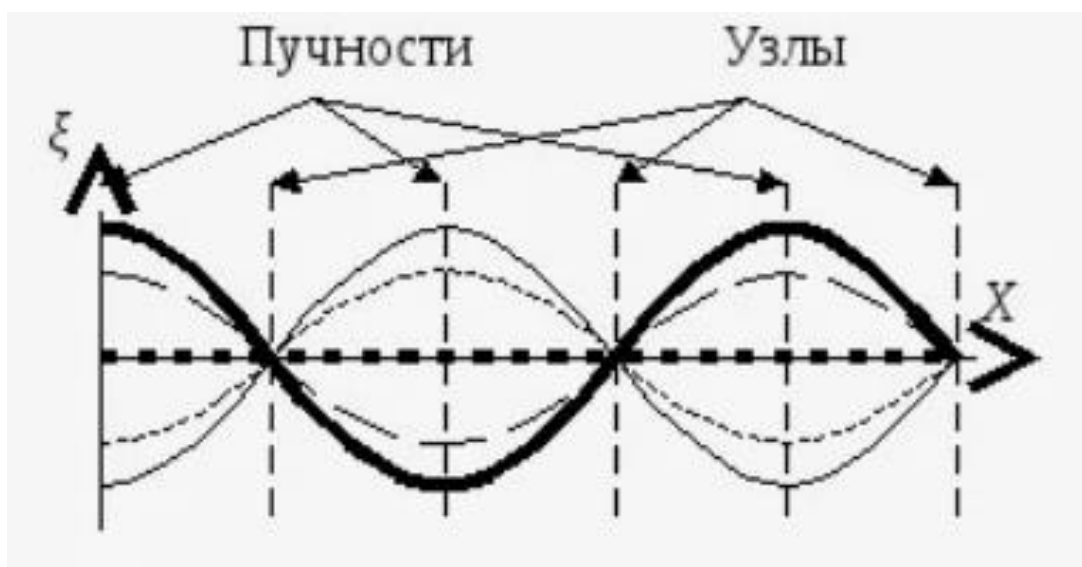


Рисунок 1 – Пучности и узлы стоячей волны

Расстояние между двумя соседними пучностями или двумя соседними узлами равно $\lambda/2$.

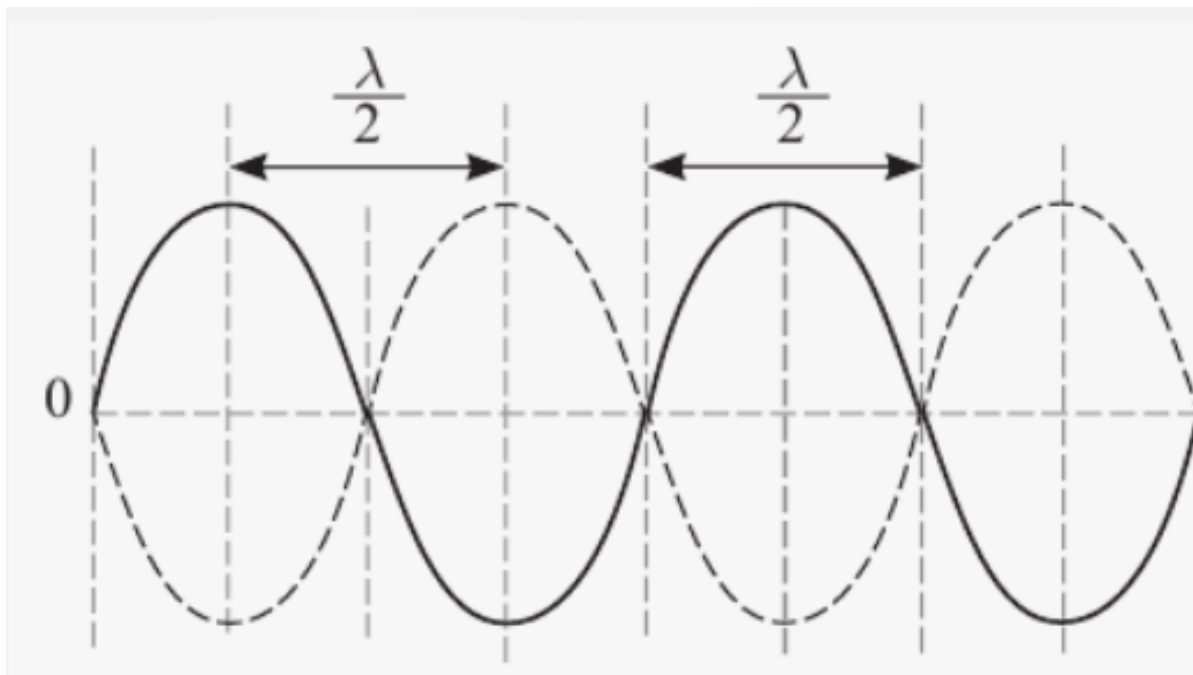


Рисунок 2 - Расстояние между двумя соседними пучностями стоячей волны

В стоячей волне нет потока энергии. Только в каждом отрезке между двумя соседними узлами дважды за один период происходит превращение кинетической энергии в потенциальную и обратно, как в обычной колебательной системе. Отсутствие переноса энергии является отличительной чертой особенностью стоячей волны [3].

Стоячие волны имеют широкий спектр применения в различных областях:

- Акустика. В акустике стоячие волны широко используются для создания резонансных ящиков и резонаторов. Они используются в музыкальных инструментах, таких как гитара или скрипка, что позволяет повысить громкость и качество звука инструмента.

- Оптика. В оптике стоячие волны используются для создания интерферометров, где они служат для измерения длины волны света, а также для создания голограмм и оптических решёток.

- Электроника. В электронике стоячие волны могут использоваться в антеннах и полупроводниковых приборах. Например, они могут помочь создать специализированные антенны с усиленными направленными характеристиками для радиосвязи и радиолокации.

- Промышленность. В промышленности стоячие волны используются для обработки материалов и изготовления определенных продуктов. Например, они могут использоваться для ультразвуковой сварки пластиков или для создания стоячей волны в резонаторе, что позволяет обрабатывать поверхности различных материалов.

- Медицина. В медицине стоячие волны применяются в ультразвуковой терапии, где они могут использоваться для лечения различных заболеваний. Например, они могут помочь сократить длительность заживления ран и улучшить эффективность процесса регенерации тканей [4].

2 Сравнение существующих методов и приборов

Методы измерения стоячей волны включают использование различных инструментов и приборов. Например, для измерения амплитуды стоячей волны можно использовать осциллограф, который позволяет записать и анализировать изменение амплитуды в зависимости от времени. Для измерения длины стоячей волны можно использовать различные оптические методы, такие как метод Френеля или метод Юнга. Также можно использовать звуковой генератор и микрофон для анализа паттернов интерференции и определения расстояния.

Метод Френеля – это метод изучения интерференции света, который основан на использовании зон Френеля. Этот метод был разработан французским физиком Огюстеном Френелем в XIX веке. Основная идея метода Френеля заключается в том, что световые волны, проходящие через отверстия или препятствия, создают интерференционную картину на экране.

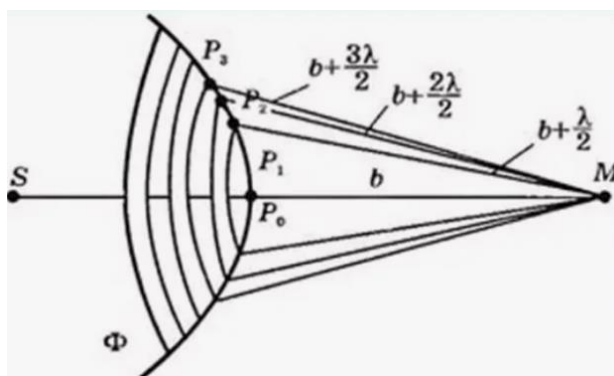


Рисунок 3 – Метод зон Френеля

Для создания интерференционной картины с помощью метода Френеля необходимо выполнить следующие шаги:

- На экране устанавливается отверстие или препятствие, через которое пропускается свет.
- Свет, проходящий через отверстие или препятствие, падает на экран и создает интерференционную картину.
- Интерференционная картина наблюдается с помощью микроскопа или другого устройства для увеличения изображения.

Метод Френеля позволяет изучать различные свойства света, такие как дифракция, интерференция и дифракционные и интерференционные явления. Этот метод широко применяется в оптике для создания дифракционных решеток, дифракционных объективов и других устройств.

Метод Юнга, также известный как метод двух щелей, основан на использовании двух параллельных щелей, через которые проходит свет. Он был разработан немецким физиком Томасом Юнгом в XIX веке.

Основная идея метода Юнга заключается в том, что световые волны, проходящие через две щели, создают интерференционную картину на экране. Эта интерференционная картина состоит из чередующихся светлых и темных полос, называемых интерференционными полосами.

Для создания интерференционной картины с помощью метода Юнга необходимо выполнить следующие шаги:

- На экране устанавливаются две параллельные щели.

- Свет, проходящий через щели, падает на экран и создает интерференционную картину.

- Интерференционная картина наблюдается с помощью микроскопа или другого устройства для увеличения изображения.

Метод Юнга позволяет изучать различные свойства света, такие как интерференция, дифракция и дифракционные и интерференционные явления. Этот метод широко применяется в оптике для измерения длины волн света и создания интерферометров.

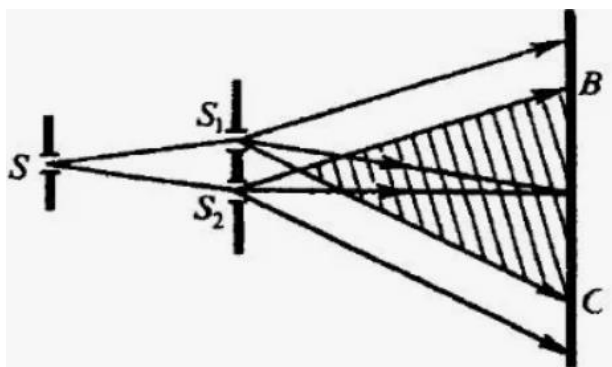


Рисунок 4 – Метод Юнга

Рассмотрим некоторые из устройств для измерения и применения явления стоячих волн.

Интерферометр — измерительный прибор, в котором используется явление волн. Применяются для звуковых и электромагнитных волн: оптических и радиоволн различной длины.



Рисунок 5 - Интерферометр

Принцип действия интерферометра заключается в следующем:

Пучок электромагнитного излучения (света, радиоволн и т. п.) с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее число когерентных пучков. Каждый из пучков проходит различные оптические пути и направляется на экран, создавая интерференционную картину. По интерференционной картине можно установить разность фаз интерферирующих пучков в данной точке картины.

КСВ метры — это приборы, предназначенные для измерения коэффициента стоячей волны (КСВ) на передатчиках и антеннах. Измеритель косвенно измеряет степень несоответствия между линией передачи и ее нагрузкой (обычно антенной). Электронщики используют его для настройки радиопередатчиков, их антенн и линий питания на согласование импеданса, чтобы они должным образом работали вместе, и оценки эффективности других мер по согласованию импеданса.



Рисунок 6 – КСВ-метр

Измеритель КСВ направленного действия измеряет величину прямой и отраженной волн, воспринимая каждую из них по отдельности с помощью направленных ответвителей. Затем вычисляется коэффициент стоячей волны.

Можно заметить, что в основном все приборы для определения пучностей и узлов стоячих волн громоздкие, сложные в конструкции и требуют дополнительных приспособлений для измерения.

3 Описание разработанного устройства

На основе микросхемы K561ЛН2 я разработал схему (рисунок 5), внутри которой расположено 6 логических элементов «НЕ», собрал следующее: на первых двух логических элементах перестраиваемый RC генератор, на следующем элементе буфер. Полученную импульсную последовательность через резистор R4, подаю на двухполярный эмиттерный повторитель (усилитель мощности), который нагружен на пьезоэлемент (пьезоэлемент взят тот, который был доступен) на 40.000 Гц, а в отрицательную цепь усилителя мощности поставил стрелочный миллиамперметр с соответствующими резисторами R5 и R6 (для коррекции индикации).

На оставшихся трех элементах «НЕ» микросхемы собрал формирователь прямоугольных импульсов и полученные импульсы подал на микроконтроллер LGT328. Написал программу для измерения частоты и поступающих импульсов и вывода результатов на ЖК дисплей.

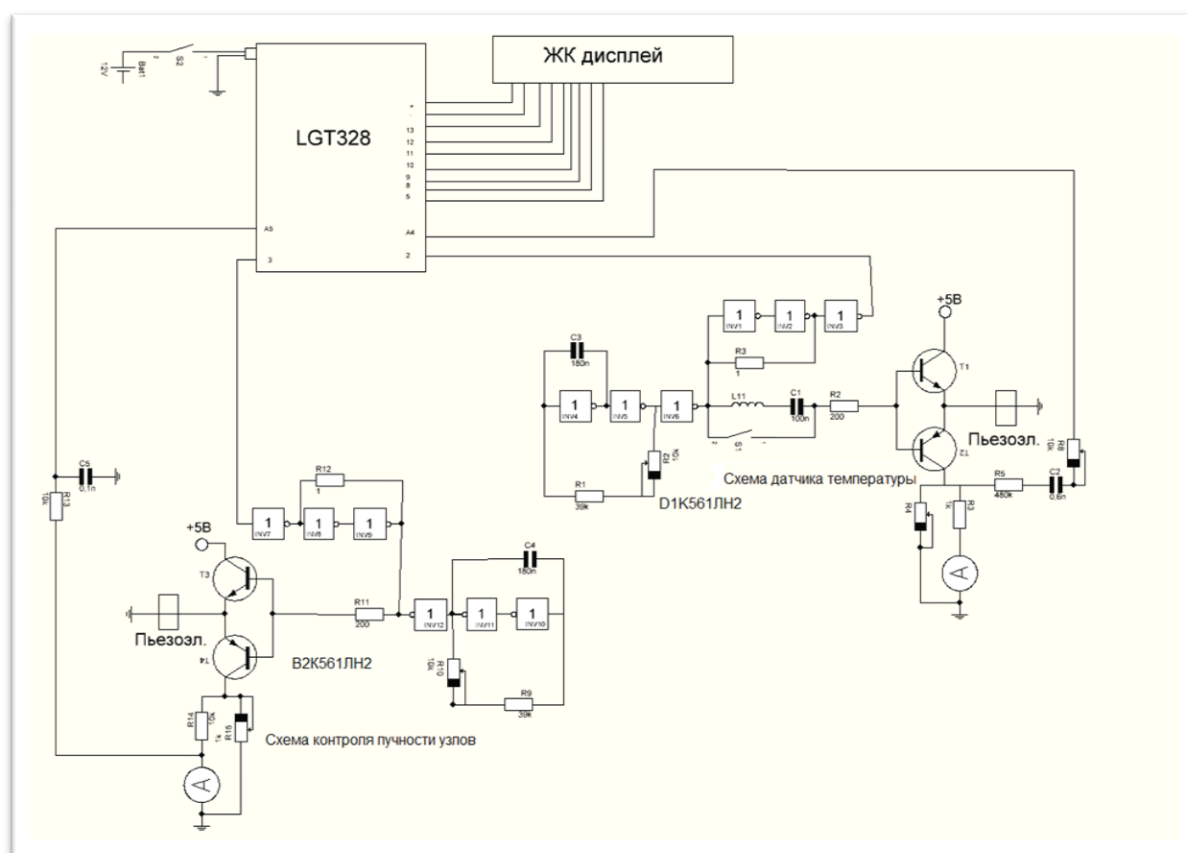


Рисунок 7 - Принципиальная схема устройства

Кроме того, с точки “А” через резисторы R7, C3, R8 вывел постоянную составляющую для подачи на аналоговый вход микроконтроллера. Во-первых, это своего рода дубляж для более точных показаний, а во-вторых, оно уже используется для подачи сигнала “SOS”.

Для дальнейших исследований по распространению волн в твердых предметах собрал второй комплект такого же генератора и усилителя, только к пьезоэлементу, на котором он работает, припаял стальную проволоку.

Работа с устройством такова: после включения устройства выдержка 2–3 минуты (стабилизация параметров), далее, вращая ручку переменного резистора R2 (рисунок 5), добиваемся отклонения стрелки на максимальное положение. Далее стоит поднести к излучателю (пьезоэлементу) любой твердый предмет и, перемещая его вдоль продольной оси, видим изменения в показаниях. Соберем простое устройство, линейку поставим чуть ниже излучателя в направлении продольного излучения. На линейку приставим любой твердый предмет и начнем приближать по линейке в сторону излучателя. Мы увидим, что через определенное расстояние стрелка уменьшает свои показания.

Зная формулу определения расстояния между узлами, произведем вычисления $f = 40000$ Гц, $T = 1/40000 = 0.25$ мсек. Возьмём скорость распространения в воздухе $v = 340$ м/сек, найдем длину волны $\lambda = vT$, $340 \cdot 0,00025 = 0,0085$ метра. Расстояние между узлами получим $\lambda/2 = 4,2$ мм.

На линейке такие же показания. Проводя различные исследования, пропуская полученный излучающий ультразвук через трубку и на конце трубки производил измерения, пришел к выводу, если изменить структуру материала, где получали стоячие волны, то и изменим потребляемую мощность усилителя.

Далее получил стоячие волны в стальной проволоке. Настроил стрелочный прибор по максимальному показанию. Потом изменил температуру звуковода в дальней точке (поднес пламя зажигалки) и тут же получил изменение показания стрелочного прибора, то есть реакцию на тепло. Заставил программно реагировать на это изменение микроконтроллер и получил в устройство, контролирующее изменение температуры в любой точке звуковода.

Думаю, что данное устройство можно применить для контроля температуры вдоль ответственных кабельных каналов или трубопроводах, резервуарах, а также различных агрегатах.

Были выведены следующие параметры моего устройства (они будут другими, если будет другой звуковод): сигнал срабатывания “SOS”, если температура превысила 60 градусов; время (продолжительность воздействия 1–5 минут) данного превышения температуры; время возвращения в исходные параметры не более 2 минут. Длительность контролируемых объектов зависит от звуковода и системы излучения (мощности излучения) и мощности усилителя.

Устройство, которое я изготовил (рисунок 6), автономно, настольного типа, несложное в изготовлении, доступное по себестоимости.



Рисунок 8 – Фотографии устройства (внешний вид и изнутри)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе моего исследования было изготовлено устройство, позволяющее в доступной форме производить измерение длины стоячих волн, которое поможет решить проблему отсутствия устройств подобного типа в широком доступе.

Сферы применения прибора крайне обширны: такие датчики являются важными элементами систем мониторинга и контроля технических процессов, и находят применение в различных областях, включая энергетику, транспорт, нефтяную и газовую промышленность [5]. Они применяются для контроля и предотвращения перегрева кабелей, что позволяет предотвратить возможные аварийные ситуации и повысить безопасность эксплуатации [6]. Кроме того, разрабатываемое устройство позволит сэкономить энергию и ресурсы, так как обеспечит более эффективный и точный контроль температуры. Благодаря своей способности осуществлять непрерывный контроль, устройство позволит повысить безопасность и эффективность работы систем и оборудования.

Разработанное устройство может являться замечательным наглядным пособием для демонстрации узлов и пучностей стоячих волн в учебных заведениях.

На базе прибора можно разработать универсальные датчики широкого спектра применения, такие как датчики пожарной безопасности, датчики температуры, которые будут широко использоваться в различных сферах.

Работая над этим проектом, я получил расширенные знания по физике, радиоэлектронике, программированию, приобрел навыки в конструировании и дизайне радиоэлектронного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федин, К. В. Стоячие волны в геофизических исследованиях: учебно-методическое пособие / К. В. Федин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 56 с.
2. Федин, К. В. Практическое применение стоячих волн на инженерных сооружениях: учебно-методическое пособие / К. В. Федин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 44 с.
3. Глущенко, Е. П. Стоячие волны в изотропных и невзаимных средах: учебное пособие / Е. П. Глущенко. — Самара : ПГУТИ, 2018. — 16 с. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/182367>
4. Что такое стоячая волна: статья [сайт.] - URL: <https://promenter.ru/fakty/cto-takoe-stoyasaya-volna> (дата обращения: 01.02.2024)
5. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. — М.: Мир, 1989. — 196 с, ил.
6. Шерстобитова А.С. Датчики физических величин. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 57 с.