

Отчет по лабораторной работе №211

**Продольные ультразвуковые волны в проволоке**

Выполнили студенты 421 группы  
Мищенко Евгения, Смирнов Дмитрий

# **Введение**

Цель работы: измерение длины возбуждаемой волны и скорости ее распространения

Оборудование: передатчик, приемник, натянутая никелевая проволока, передающая и принимающая катушки, осциллограф

В работе изучается распространение продольных упругих волн в никелевой проволоке (диаметр проволоки мал по сравнению с длиной волны). Чтобы получить в никелевой проволоке длину волны порядка 1 см, необходимо для возбуждения применять генератор с частотой порядка 500 кГц. Колебания такой частоты называют ультразвуковыми в отличие от колебаний звуковых частот, воспринимаемых ухом человека (верхней границей слухового восприятия считаются колебания с частотами около 20 кГц). В данной лабораторной работе изучаются такие ультразвуковые колебания

## **Теоретическая часть**

### **1. Продольные упругие волны**

В пренебрежении поглощением распространение продольных упругих волн в проволоке описывается волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \quad (1)$$

где  $s(x, t)$  - смещение в момент  $t$  сечения, равновесная координата которого равна  $x$  ( $x$  и  $s$  отсчитываются вдоль оси, параллельной проволоке).  $E$  и  $\rho$  - соответственно модуль Юнга и плотность материала проволоки. Уравнение (1) справедливо при малых деформациях, лежащих в пределах применимости закона Гука. Общее решение этого уравнения представляет собой суперпозицию двух бегущих навстречу недеформирующихся волн:  $s = s_1(x + ut) + s_2(x - ut)$

Здесь  $u = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  - скорость распространения волны,  $s_1$  и  $s_2$  - произвольные функции, зависящие от способа возбуждения волн и от граничных условий

Важен случай, когда  $s_1$  и  $s_2$  - плоские синусоидальные волны с циклической частотой  $\omega$  и волновым числом  $k$ :

$$s_1 = A_1 \cos(\omega t + kx - \alpha_1), \quad s_2 = A_2 \cos(\omega t - kx - \alpha_2), \quad \omega = uk$$

В рассматриваемом случае связь частоты волны с волновым числом линейная (скорость распространения волны и не зависит от частоты  $\omega$ ), без свободного члена. Такие среды называются средами без дисперсии.

В нашей установке волны могут генерироваться в двух режимах: непрерывном и импульсном. В первом режиме непрерывно возбуждаются синусоидальные волны. Во втором режиме возбуждение

синусоидальных волн периодически прерывается (генерируются обрывки синусоид - радиоимпульсы).

Рассмотрим суперпозицию двух плоских синусоидальных волн одинаковой амплитуды ( $A = A_1 = A_2$ ), распространяющихся во встречных направлениях:  $s = s_1 + s_2$

Путем тригонометрических преобразований сумма двух гармоник может быть представлена в виде:

$$s = 2A \cos\left(kx - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \quad (2)$$

которая описывает синусоидальную стоячую волну. Величина  $s$  во всех точках струны совершает гармоническое колебание с одинаковой частотой, но амплитуда колебаний  $2A \left| \left( kx - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right) \right|$  различна в разных точках. Точки, где амплитуда равна нулю, и, следовательно,  $s = 0$  в любой момент времени, называются узлами стоячей волны. Точки, где амплитуда колебаний максимальна ( $\left| \left( kx - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right) \right| = 1$ ), называются пучностями стоячей волны. Амплитуда стоячей волны в пучности вдвое больше амплитуды каждой из бегущих волн. Расстояние между соседними пучностями, как и расстояние между соседними узлами, равно  $\lambda/2$ . Пучности и узлы сдвинуты друг относительно друга на четверть длины волны.

На практике получить такую идеальную волну не представляется возможным. Поэтому рассмотрим более общий случай суперпозиции двух бегущих плоских волн одинаковой частоты с различными амплитудами, которые представим в виде:

$$A_2 = A, \quad A = A + a$$

Легко видеть, что  $s = s_1 + s_2$  есть суперпозиция стоячей волны, описываемой уравнением (2), и бегущей волны

$$a \cos(kx - \omega t - \alpha_1)$$

Величина  $(a / A)^2$  называется коэффициентом бегучести. Отношение  $\frac{A_1^2 + A_2^2}{A_1^2 - A_2^2}$  называется коэффициентом стоячности волны (КСВ). Очевидно, что в стоячей волне КСВ равен бесконечности, а в чисто бегущей — единице.

## **2. Метод возбуждения и приема упругих волн**

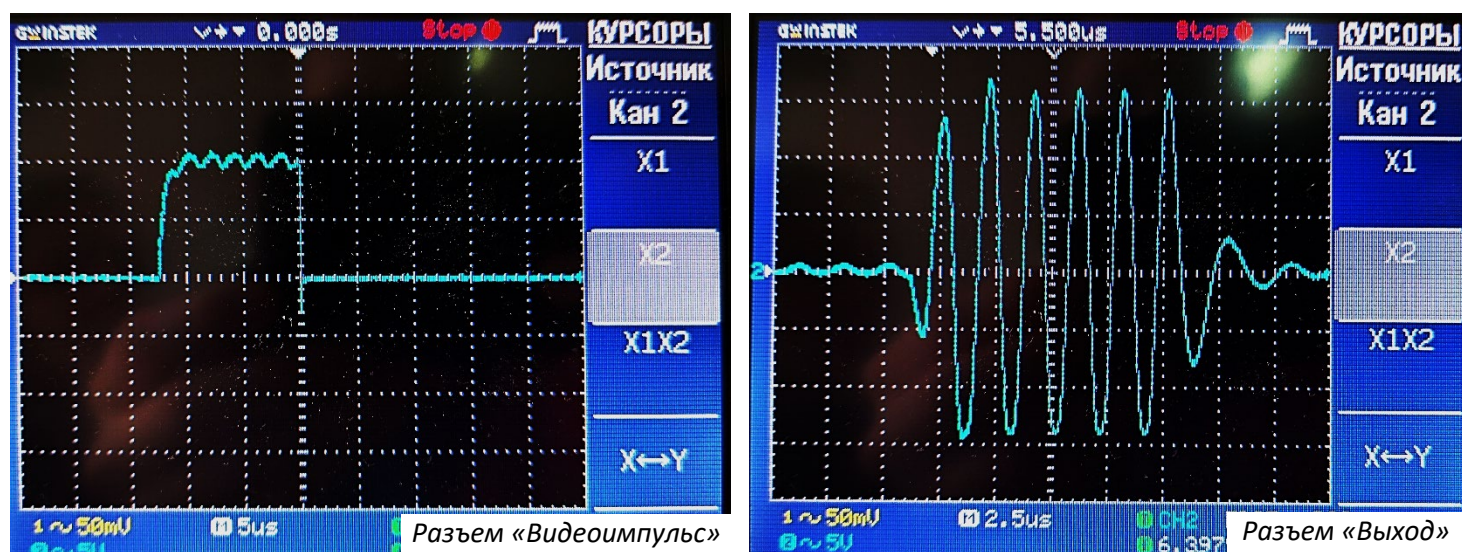
Для получения ультразвуковых волн в проволоке используется магнитострикционный эффект. Это явление, заключающееся в том, что при изменении состояния намагниченности тела его объем и линейные размеры изменяются. Эффект вызван изменением взаимосвязей между атомами в кристаллической решётке, и поэтому свойственен всем веществам. Изменение формы тела может проявляться, например, в растяжении, сжатии, изменении объёма, что зависит как от действующего магнитного поля, так и от кристаллической структуры тела. Наибольшие изменения размеров обычно происходят у сильномагнитных материалов.

# Практическая часть

## 1. Импульсный режим измерений

### Задание 1.

Получены осциллограммы напряжений с разъемов «Выход» и «Видеоимпульс»:



Длительность импульсов  $\tau$  в обоих случаях оказалась одинаковой, и равна 12 микросекундам

Период же  $T$  оказался равен 1,09 миллисекунды

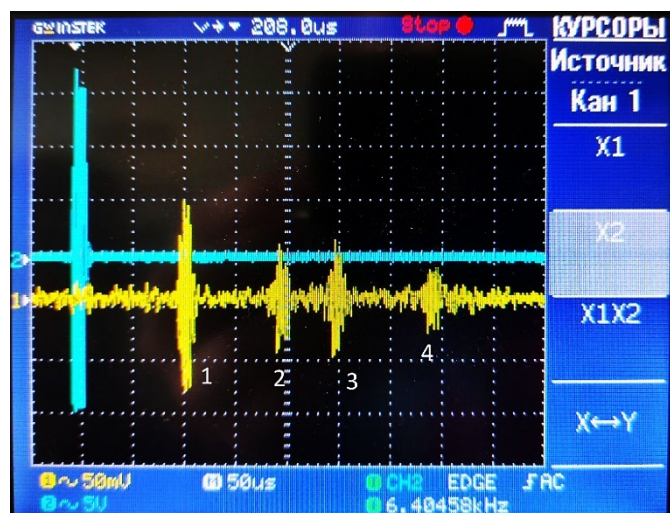
Отсюда получаем, что скважность  $T/\tau$  примерно равна 90,8

### Задание 2.

Получена осциллограмма напряжений с выхода приемника

Среди наблюдаемых импульсов:

- 1-ый – пришел без отражений
- 2-ой и 3-ий отразился однократно
- 4-ый – отразился двукратно



### Задание 3.

№	Время распространения	Дальность распространения	Скорость распространения	Абсолютная погрешность, м/с	Относительная погрешность
1	104 мкс	554 мм	5326 М/с	100	2%
2	196 мкс	1004 мм	5122 М/с	50	1%
3	250 мкс	1318 мм	5272 М/с	40	1%
4	342 мкс	1768 мм	5170 М/с	30	1%
Средняя скорость распространения – 5223 М/с					

#### Задание 4.

При сдвиге приемника на 200 мм смещение осциллограммы составило 40 мс, откуда  $u = 5000 \text{ м/с}$  (Абсолютная погрешность – 225 м/с, относительная погрешность – 4,5%)

Из теоретических расчетов же, имея  $\nu = 500 \text{ кГц}$  и  $\lambda = 0,01 \text{ м}$ , получаем, что  $u = 5000 \text{ м/с}$

Значит, метод определения скорости распространения путем сдвига приемника гораздо точнее, чем метод определения через замер времени распространения волны по проволоке.

## 2. Непрерывный режим измерений

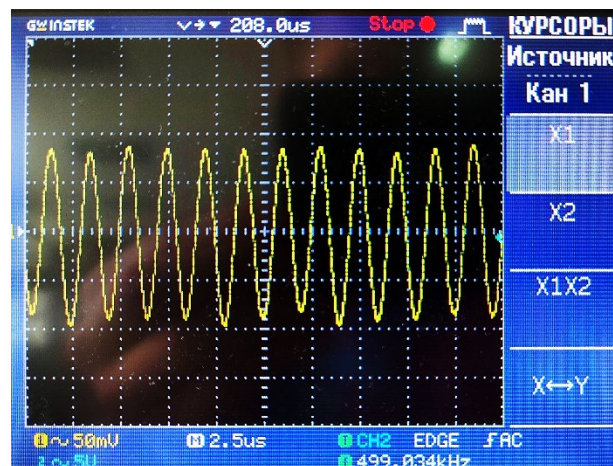
#### Задание 1.

Получена осциллограмма напряжения с разъема «Выход»  
С помощью осциллографа измерен период и частота колебаний:

$$T = 2 \text{ мкс}, \nu = 500 \text{ кГц}$$

При измерении периода по 20-ти колебаниям значение не изменилось

Шаг цены деления осциллографа при измерении – 0,1 мкс



#### Задание 2.

Из результатов опыта, расстояние между двумя узлами составило порядка 5 мм  $\Rightarrow \lambda = 10 \text{ мм}$ .

Измерив расстояние между 5-ю и 10-ю узлами, длину волны удалось посчитать более точно —  $\lambda = 10,4 \text{ мм}$  и  $\lambda = 10,6 \text{ мм}$  соответственно. Отсюда,  $\lambda_{\text{ср}} = 10,5 \text{ мм}$ .

Отсюда, по формуле, по формуле  $u = \lambda \nu$  получаем, что скорость распространения волны в проволоке составляет  $5250 \text{ м/с}$  (Абсолютная погрешность – 100 м/с, относительная погрешность – 2%)

#### Задание 3.

Определили коэффициент стоячности волны (КСВ), т.е. отношение амплитуды в максимуме к отношению амплитуды в минимуме при различных положениях катушек (схема расстановки представлена на рисунке). Результаты эксперимента занесли в таблицу, сделали вывод, что КСВ зависит от взаимного положения катушек

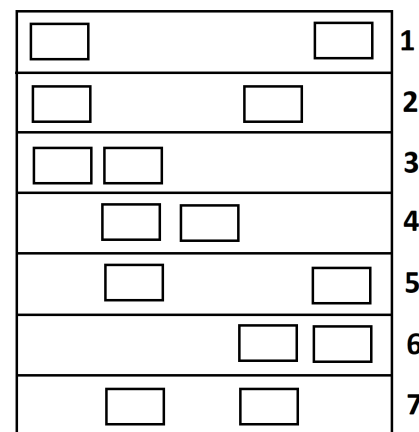


Схема расстановки катушек

Номер положения катушек	$A_{\min}$	$A_{\max}$	КСВ
1	178	72	2.47
2	272	70	3.88
3	14	18	6.33

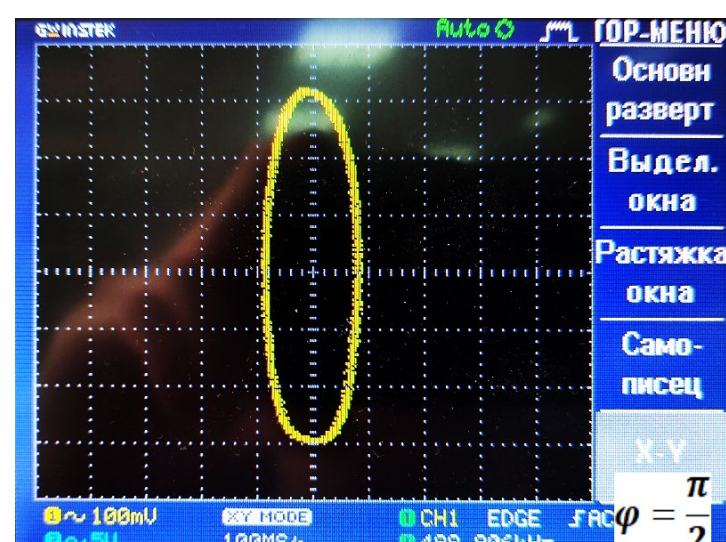
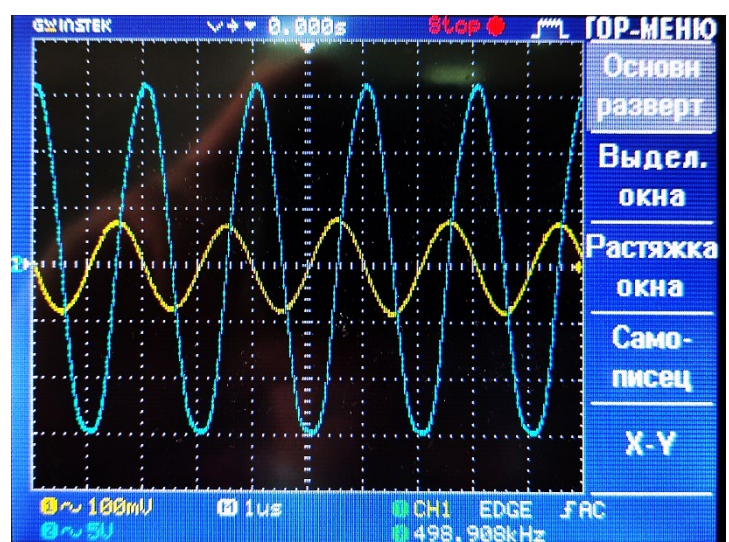
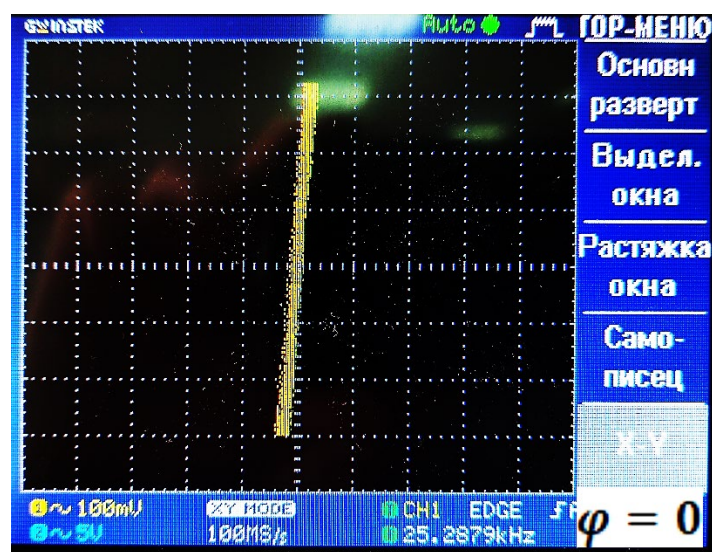
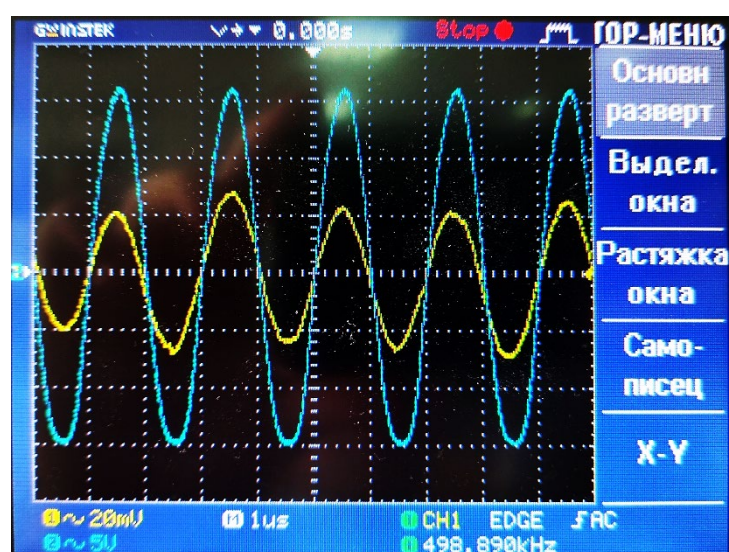


4	124	30	4.13
5	116	18	6.44
6	158	38	4.15
7	180	60	3

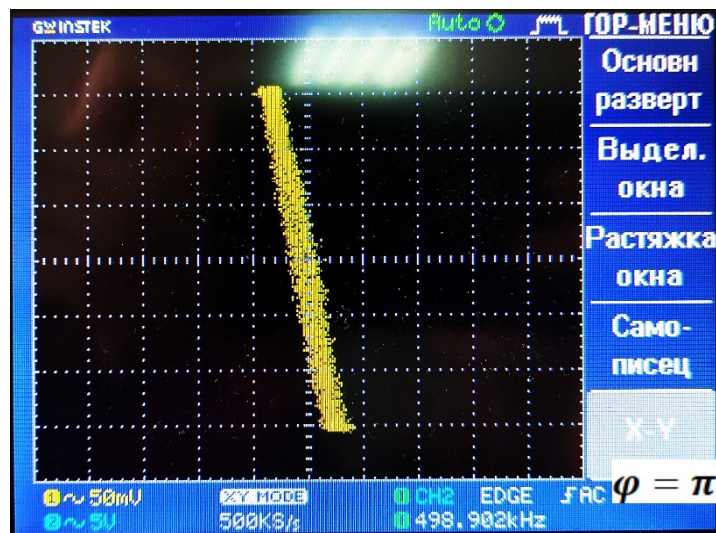
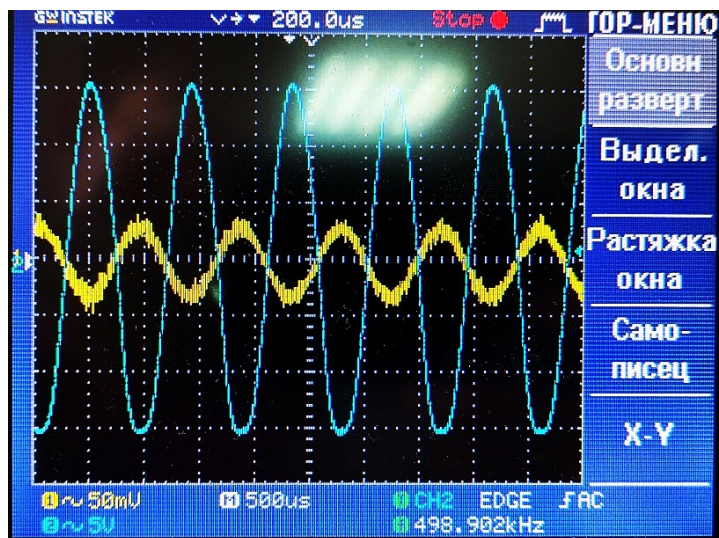
Зажим проволоки рукой влияет в данных случаях:

- На минимум, если зажим происходит справа от обеих катушек (повышение с 22 до 60 мВ), это приведет к понижению КСВ
- На максимум, если зажим происходит между первой и второй катушкой (понижение со 130 до 108 мВ), это приведет к понижению КСВ

#### Задание 4.



Изучили зависимость фазы принимаемого сигнала от положения приёмной катушки. За изменением фазы следили по эллипсу, полученному на экране осциллографа, когда на вертикально отклоняющие пластины подаётся усиленное напряжение с приёмной катушки, а на горизонтально отклоняющие пластины – напряжение с передающей катушки. Определили длину волны -  $\lambda = 10,6$  мм



## Вывод

В ходе лабораторной работы были изучены ультразвуковые колебания в проволоке, различные способы вычисления скорости ее распространения и длины волны.