

## **Работа Ф13. Ультразвуковой эффект Доплера.**

### **Цель:**

- Изучение звукового эффекта Доплера.
- Определение сдвига частоты ультразвука в зависимости от скорости потока и угла измерения.

### **Замечания по технике безопасности**

1. Прибор питается от сети 220 В
2. Не закрывать отверстия и щели на приборе, служащие для вентиляции
3. Не засовывать предметы во внутрь прибора, что может привести к короткому замыканию.
4. Перед использованием ультразвукового датчика убедиться в его целостности. Заменить поврежденные датчики.
5. Отключать датчики только за разъем. Не тянуть за провод!
6. Пиковое напряжение на разъеме датчика может достигать 300 В. Не прикасаться к разъемам во время работы!
7. Не использовать приборы на людях и других предметах, кроме тестовых образцов.
8. Не отсоединять друг от друга трубки с жидкостью.
9. Не употреблять во внутрь доплеровскую жидкость.
10. Важно! При включении программы помпы-насоса «Start» убедиться, что ручка регулировки скорости находится в крайнем положении.

### **Экспериментальная установка (см. рисунок 1):**

1. Ультразвуковой сканер FlowDop;
2. Ультразвуковой датчик 2 МГц;
3. Набор для измерения (Призма 3/8``, набор трубок, помпа Multiflow, доплеровская жидкость);
4. Гель для ультразвука.

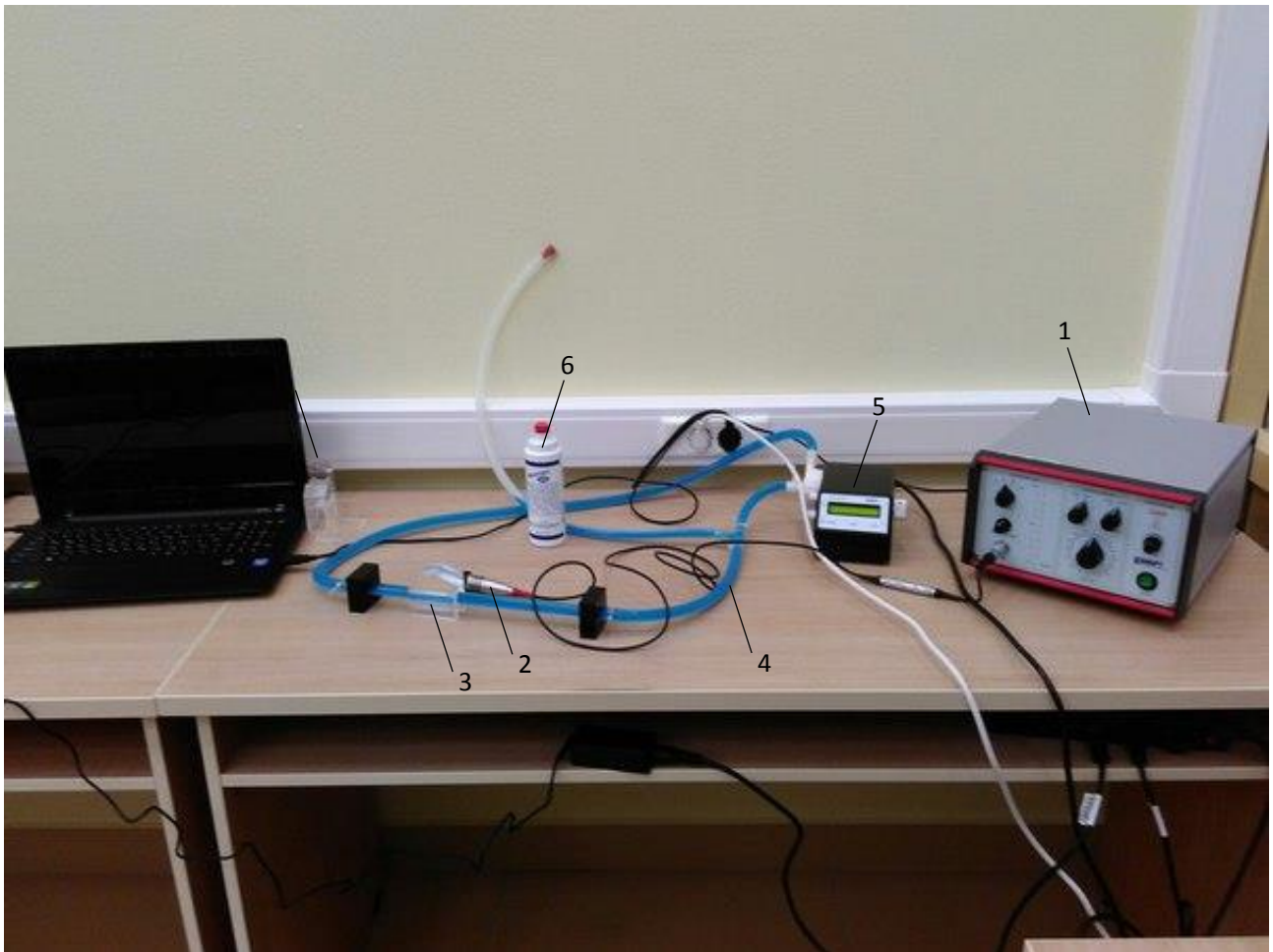


Рисунок 1. Общий вид лабораторной установки по изучению эффекта Доплера потока: 1 - ультразвуковой сканер FlowDop, 2 - ультразвуковой датчик 2 МГц, 3 - призма 3/8'', 4 - набор трубок, 5 - помпа Multiflow, 6 – гель для ультразвука.

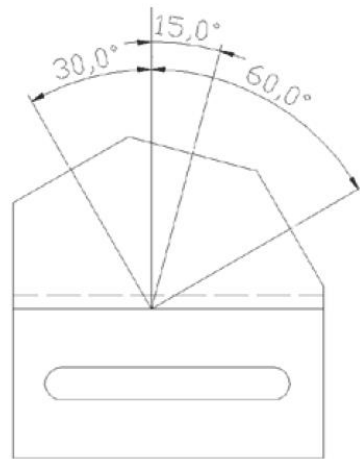


Рисунок 2. Призма для изучения эффекта Доплера.

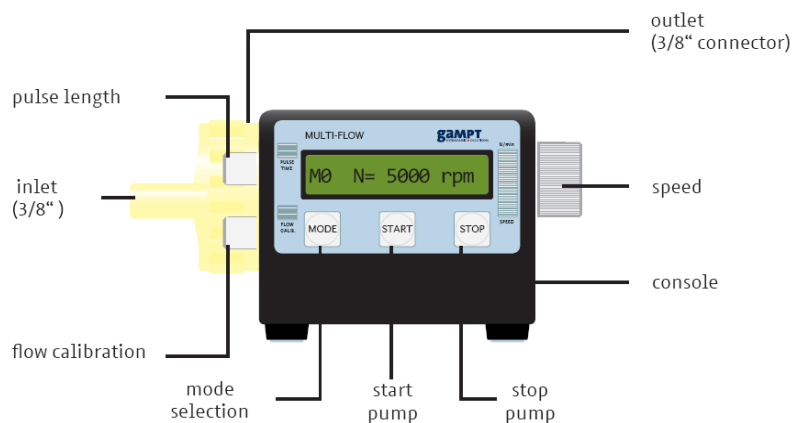


Рисунок 3. Схема насоса Multiflow

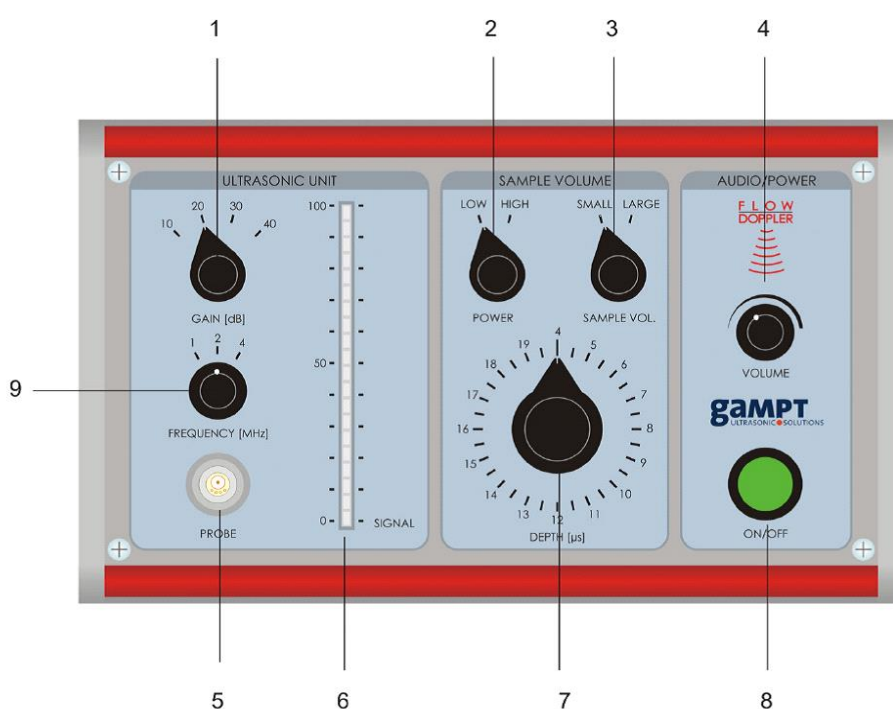


Рисунок 4. Передняя панель ультразвукового сканера Flow-Dop

1. Переключатель усиления сигнала
2. Переключатель времени пакета или мощности передатчика
3. Переключатель временного окна приемника или объема образца
4. Уровень громкости
5. Разъем для датчика
6. Индикатор входного сигнала
7. Переключатель временного окна приемника (при положении «3» на «Low»)
8. Включение питания сканера

### Краткая теория:

При отражении ультразвуковой волны от движущегося объекта происходит сдвиг ее частоты. Для относительно малых (по сравнению со скоростью звука  $c$ ) скоростей  $v$  сдвиг частоты ультразвука можно определить по формуле:

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} (\cos \alpha + \cos \beta) \quad (1),$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  углы между потоком и нормалью излучения, если  $\alpha = \beta$ :

$$\Delta f = 2f_0 \frac{v}{c} \cos \alpha \quad (2),$$

где  $f_0$  – частота излучаемой ультразвуковой волны,  $v$  – скорость движения объекта,  $c$  – скорость звука в жидкости.

### Ход работы:

#### Подготовительные работы:

1. Сбор и настройка установки;
2. Проверить отсутствие пузырьков воздуха в трубках установки;
3. Выставить ручки power и sample vol. на high и large соответственно (рис. 4).

### Проведение эксперимента:

1. Зная скорость звука в жидкости (Doppler dummy fluid) и призме ( $c_L=1800$  м/с и  $c_p=2670$  м/с, соответственно), можно записать закон отражения:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\left(\sin \alpha_p\right) \frac{c_L}{c_p}\right) \quad (3)$$

Рассчитайте значения угла  $\alpha$  и значения  $\cos \alpha$  для трех разных углов призмы и запишите их в таблицу 1

Таблица 1

Угол призмы	Угол $\alpha$ , °	$\cos \alpha$
15°		
30°		
60°		

4. Включите насос Multiflow (Запуск кнопкой «Start»). Во втором режиме (переключение кнопкой «Mode», режим M1) вращающейся ручкой сбоку помпы выставите величину потока 1 л/мин).
5. Включите ультразвуковой сканер Flow-Dop и запустите на компьютере программу Flow view.
6. Нанесите на стеклянную трубку небольшое количество геля и установите сверху призму. Убедитесь в отсутствии воздушных пузырей.

7. Нанесите небольшое количество геля на часть призмы соответствующей нужному углу и установите сверху ультразвуковой датчик с частотой излучения  $f_0=2$  МГц (красный).
8. В программе Flow view во вкладке «Parameter» выберите соответствующий диаметр трубки и угол (рис. 5).

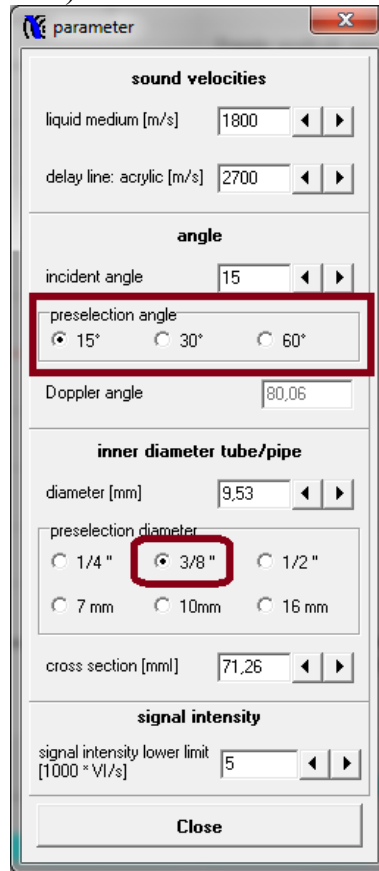


Рисунок 5. Вкладка «Parameter»

9. Закройте вкладку «Parameter» и запустите эксперимент кнопкой «Start»
10. Пронаблюдайте спектр и измерьте среднее значение сдвига частоты  $\Delta f$  (параметр  $f$ -mean в окне программы FlowView, рис. 6).

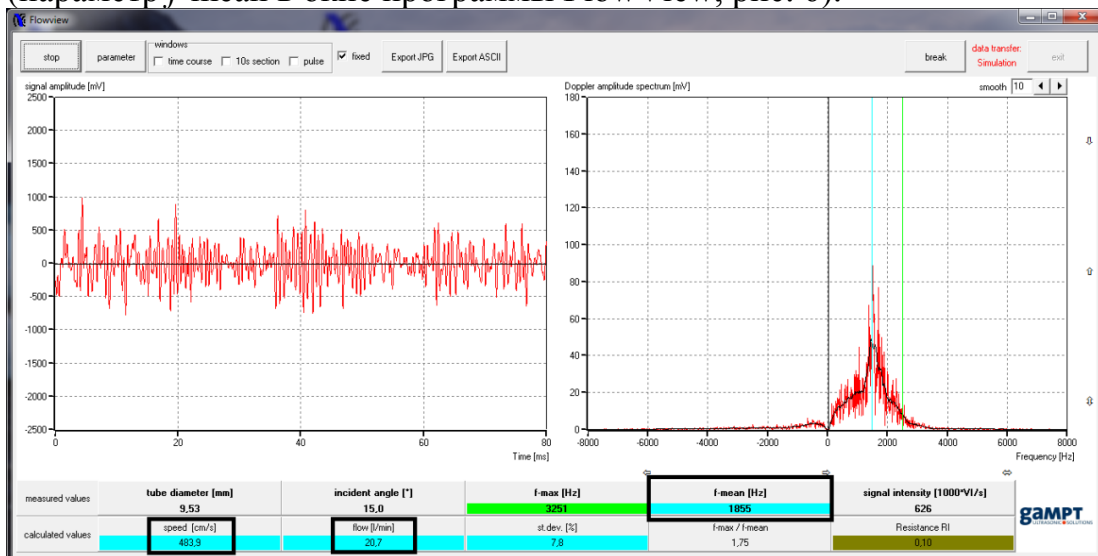


Рисунок 6. Вид окна FlowView

11. Зная величину сдвига частоты  $\Delta f$ , рассчитайте скорость потока  $v$ , выразив ее из формулы (2) сравните со значениями, полученными из эксперимента (параметр “speed”, рис.6).

12. Занесите результаты в таблицу 2:

13. Повторите пункты 4-12 для потоков 1,5 и 2 л/мин

Таблица 2

Поток, л/мин	15°			30°			60°		
	$\Delta f$ , Гц	V, см/с		$\Delta f$ , Гц	V, см/с		$\Delta f$ , Гц	V, см/с	
		Расчет.	Эксперимент		Расчет.	Эксперимент		Расчет.	Эксперимент
1									
1,5									
2									

14. Постройте график зависимости сдвига частоты от скорости потока  $\Delta f(v)$  и график зависимости сдвига частоты от  $\cos\alpha$ :  $\Delta f(\cos\alpha)$ .

15. Сделайте выводы.

### Контрольные вопросы:

1. Упругие волны. Волновые уравнения. Скорость упругих волн. Звуковые волны.
2. Эффект Доплера для звуковых волн.
3. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течение жидкости. Число Рейнольдса.
4. Гидравлическое сопротивление. Закон Хагена-Пуазейля.

### Список рекомендуемой литературы:

1. Звук и ультразвук в учебных исследованиях, Майер, Валерий Вильгельмович; Вараксина, Екатерина Ивановна, 2011г.
2. Применение ультразвука в стоматологии, Нестеров, Олег Викторович; Фролова, Лола Бахрамовна, 2013г.
3. Волновые процессы. Основные законы, Иродов, Игорь Евгеньевич, 2013г.
4. Змитрович, О.А. Ультразвуковая диагностика в цифрах [Электронный ресурс] : . Электрон. дан. СПб. : СпецЛит, 2014. 88 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=60112](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=60112)
5. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник. Электрон. дан. М. : Физматлит, 2009. ? 664 с. ? Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2239](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2239) 7.2.
6. Ультразвуковая диагностика заболеваний мелких домашних животных, Маннион, Пэдди; Фрейм, Майри; Редроб, Шерон, 2008г.

7. Майер, В.В. Физика упругих волн в учебных исследованиях [Электронный ресурс] : / В.В. Майер, Е.И. Вараксина. Электрон. дан. М. : Физматлит, 2007. 326 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59468](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59468)
8. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 263 с.
9. Савельев И.В. Курс физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1989. – 351 с.
10. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 1. Механика. – М.: Физматлит, 2005. – 560 с.