

УДК 551.463.22

## **ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА В ИЗМЕРЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ**

Поляков В.В., ЭПао1-30, 1 курс

Научный руководитель: Тарасов С.П., д.т.н, профессор, заведующий  
кафедрой ЭГА и МТ

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения  
Южный Федеральный Университет  
г. Таганрог

ADCP служит для непрерывного сбора данных о течениях в процессе движения судна, на котором расположен данный прибор. Кроме того, ADCP может проводить измерения скорости течений в слоях воды. Есть возможность удаленной работы прибора.

В основе своей работы ADCP используют эффект Доплера, передавая звук на фиксированной частоте и принимая эхо, возвращающееся от рассеивателей или отражателей звука в воде. Эти отражатели звука представляют собой мелкие частицы или являются планктонами, которые отражают звуковой сигнал обратно в ADCP. Данные отражатели можно встретить по всему океану. Они плавают и обитают в воде и движутся в среднем с той же горизонтальной скоростью, что и течения. В зависимости от того, в каком направлении движутся отражающие элементы по отношению к источнику сигнала, изменяется частота излученного сигнала ADCP. Если отражающий элемент отдаляется от источника, то частота излученного сигнала становится меньше. Если отражающий элемент движется навстречу источнику, то частота увеличивается.

Звук рассеивается от отражателей во все стороны (рис. 1). Большая часть звука идет вперед без изменений. Небольшая величина, которая отражается обратно, - это доплеровский сдвиг.

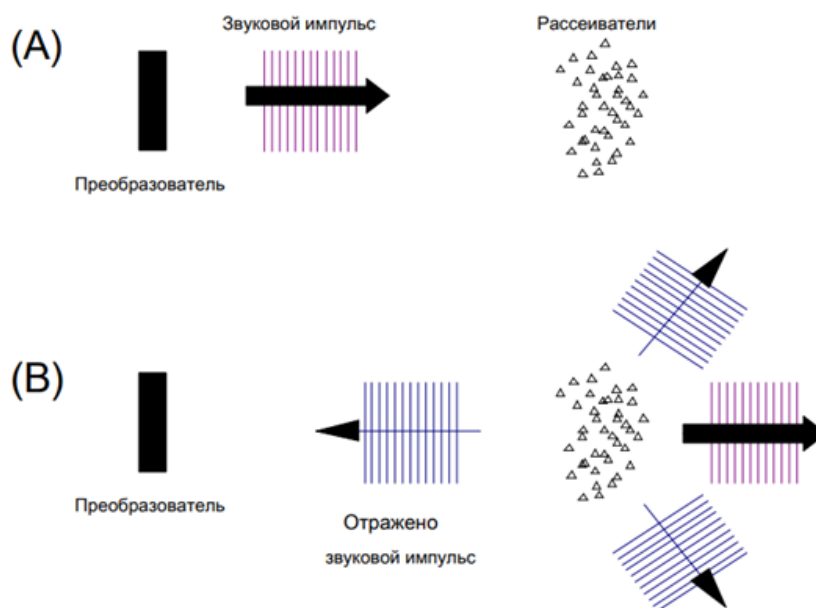


Рисунок 1. Обрато рассеянный звук: (А) переданный импульс; (В) небольшая часть звуковой энергии отражается назад (и смещается Доплер), а большая часть энергии идет вперед.

Когда частицы-отражатели «посылают» обратно сигнал, посланный профилографом, доплеровский сдвиг пропорционален относительной скорости между профилографом и отражателями (рис.2 а). Затем, сигнал, отраженный от частиц, принимается профилографом, частицы выступают в роли мнимого излучателя (рис.2 б). Профилограф принимает сигнал, полученный во втором случае, как двойной доплеровский сдвиг [1].

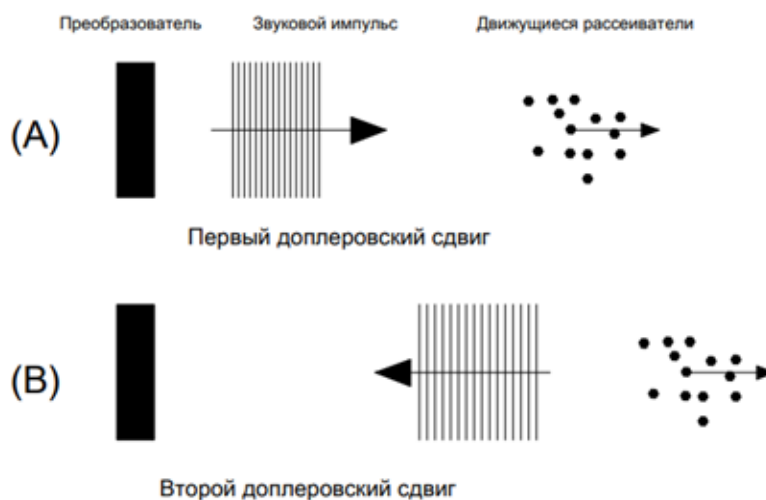


Рисунок 2. Обрато рассеянный звук включает два доплеровских сдвига: (А) один по пути к рассеивателям и (В) второй по пути назад после отражения.

Следовательно, поскольку ADCP и передает, и принимает звук, доплеровский сдвиг удваивается.

Формула для определения частоты доплеровского сдвига можно записать в виде:

$$Fd = F - Fs, \quad (1)$$

где  $Fd$  – частота доплеровского сдвига;  $Fs$  – частота излученного сигнала;  $F$  – частота принятого сигнала.

Частоту принятого сигнала запишем в следующем виде:

$$F = Fs \left( \frac{v + c}{c} \right), \quad (2)$$

где  $Fs$  – частота излученного сигнала;  $v$  – относительная скорость между источником звука и приемником;  $c$  – скорость звука.

Преобразовав данное выражение с учетом уравнений (1) и (2), получаем окончательную формулу для расчета частоты доплеровского сдвига:

$$Fd = Fs \left( \frac{v}{c} \right). \quad (3)$$

Поскольку ADCP принимает второй доплеровский сдвиг, то частоту доплеровского сдвига можно определить по формуле:

$$Fd = 2Fs \left( \frac{v}{c} \right). \quad (4)$$

Теперь рассмотрим на примере движение источника и приемника, который изображен на рисунке 3. Вектор А лодки параллелен волне. Это означает, что лодка встречает полную составляющую доплеровского сдвига. Если же вектор лодки встречается с волной под углом, то он встречает только часть доплеровского сдвига. Данный случай соответствует вектору лодки В. В случае вектора лодки С, доплеровского сдвига не наблюдается, поскольку вектор С и волна встречаются под прямым углом [2].

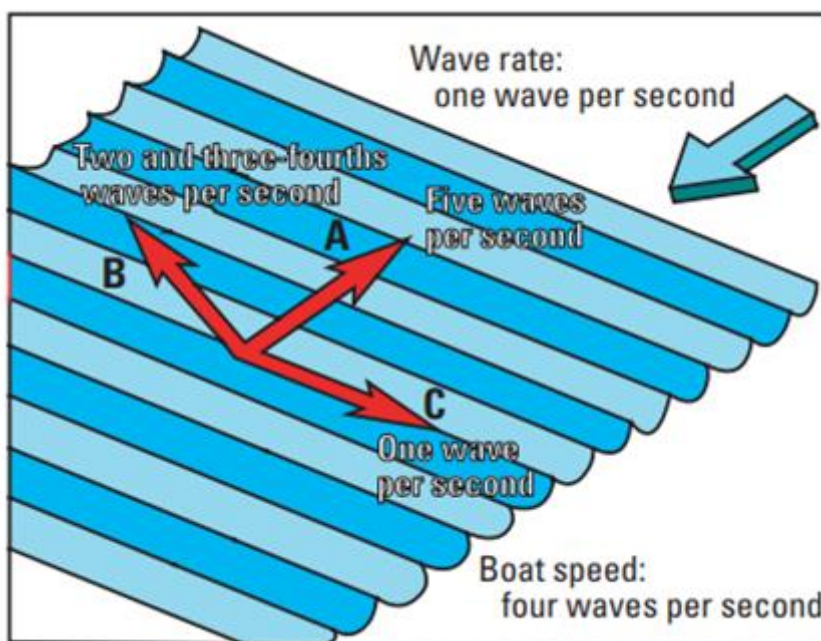


Рисунок 3. Влияние радиального движения на доплеровский сдвиг

Запишем математически, как будет выглядеть доплеровский сдвиг с учетом радиального движения:

$$Fd = 2Fs \left( \frac{v}{c} \right) \cos(A). \quad (5)$$

где угол  $A$  - угол между относительной скоростью и линией между ADCP и рассеивателями.

Данный случай представлен на рисунке 4.

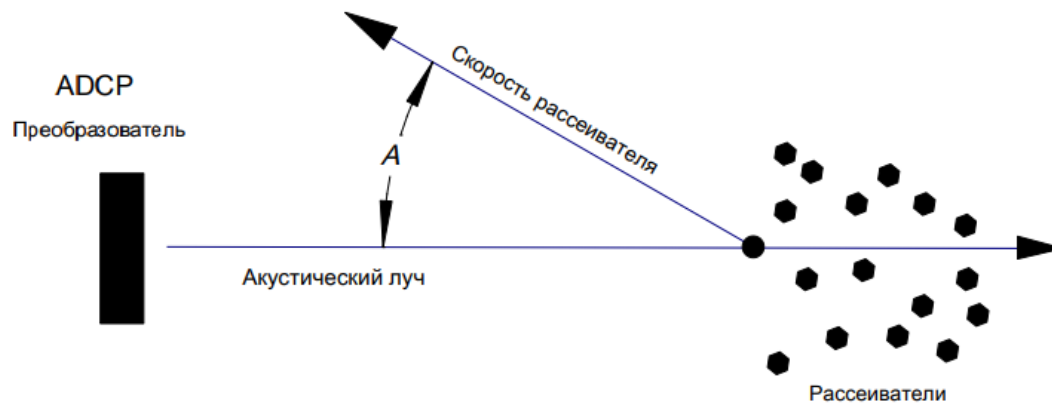


Рисунок 4. Составляющая скорости

Доплеровский сдвиг работает только при приближении или отдалении источника и приемника звука друг от друга. Угловое движение меняет лишь направление, но не расстояние между источником и приемником. Отсюда следует, что радиальное движение не вызывает доплеровского сдвига.

#### Список литературы:

1. Комлев А.М. Режим скоростей течения воды в некоторых реках Западного Урала и Приуралья. / Гидрология и метеорология. – Б/и.: 2006. - С. 66-68.
2. Michael R. Simpson Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler / United States Geological Survey; Sarcamento, California 2001