

ПРОЦЕССЫ ФИЛЬТРАЦИИ, СЕПАРАЦИИ, ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
«СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ»

А.А. Кузнецов

Научный руководитель - С.Н. Харламов

Научный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**Аннотация.** Объект исследования статьи - явление «стоячей волны», предметом исследования выступают свойства механической «стоячей волны» в процессах фильтрации, сепарации, очистки жидкостей и газов с применением современных технологий на основе этих свойств. Автором сделан вывод о применимости современных устройств, основанных на свойствах стоячих волн.

**Ключевые слова:** когерентность, интерференция бегущая волна, стоячая волна, фильтрация, волновод

Если механические бегущие волны заключить в волновод (трубу), то в волноводе будут распространяться бегущие волны давления и если организовать встречные когерентные волны давления, то возможно образование стоячих волн давления (СВ) внутри волновода, а поскольку это также процесс волновой, то и здесь уместно использовать понятие интерференции, на этот раз, для волн давления, т.е. «стоячая волна» в волноводе это интерференция бегущих волн давления».

При образовании СВ в волноводе происходит фиксированное распределение давления по длине волновода, которое можно использовать для разработки различных технологий. Например - очистка жидкостей (газов) без применения фильтров, реактивное движение морских судов (без применения винтов) и др.

Изучим распределение энергии в случае явления «стоячей волне». Метод исследования - математическое моделирование на основе физических характеристик СВ.

Предположим, что в гомогенной изотропной среде образовалось устойчивая продольная стоячая волна, вид которой характеризуется следующей зависимостью:

$$\chi = 2A_0 \sin\left(2\pi \frac{x}{\lambda}\right) \cos(\omega t)$$

В дальнейшем представим элементарный объём, в силу малого размера которого можно принять следующие допущения. Во-первых, деформация однородна. Во-вторых, скорость колебательного движения частиц принимается одинаковой. Опишем кинематическую энергию такого элементарного объема:

$$\Delta E_k = \frac{m}{2} \left(\frac{d\chi}{dt}\right)^2 = \frac{\rho}{2} \left(\frac{d\chi}{dt}\right)^2 \Delta V$$

Продифференцировав по времени и подставив в формулу, получим:

$$\Delta E_k = 2\rho A_0^2 \omega^2 \sin^2\left(2\pi x/\lambda\right) \sin^2(\omega t) \Delta V$$

Из последнего выражения следует, что  $E_k$  заданного элементарного объема будет описываться периодической функцией. Так как, в волне существуют точки «узлы  $E_k$ », в которых энергия равна нулю для любого рассматриваемого момента времени ( $\sin^2\left(2\pi \frac{x}{\lambda}\right) = 0$ ), и точки «пучностей», характеризующих пиковые значения  $E_k$  ( $\sin^2\left(2\pi \frac{x}{\lambda}\right) = 1$ ), мы можем описать их координаты. Для пучностей  $\Delta E_k$  совпадают с координатами пучностей смещения стоячей волны, а координаты узлов совпадают с координатами узлов смещения стоячей волны.

Потенциальная энергия выделенного объема:

$$\Delta E_n = \frac{E \varepsilon^2}{2} \Delta V = \frac{E}{2} \left(\frac{d\chi}{dx}\right)^2 \Delta V$$

Подставив сюда выражение:

$$\frac{d\chi}{dx} = 4\pi \frac{A_0}{\lambda} \cos\left(2\pi \frac{x}{\lambda}\right) \cos(\omega t)$$

и принимая во внимание, что  $E = v^2 \rho$ ,  $v = \lambda \nu$ , а  $2\pi \nu = \omega$ , выводим итоговую закономерность для потенциальной энергии выделенного объема:

$$\Delta E_n = 2\rho A_0^2 \omega^2 \cos^2\left(2\pi x/\lambda\right) \cos^2(\omega t) \Delta V$$

Последнее выражение показывает, что по аналогии с кинетической энергией потенциальная энергия стоячей волны также описывается периодической функцией такого же периода. Сопоставив зависимости функций энергии определяем, что изменения кинетической и потенциальной энергии сдвинуты во времени на четверть периода ( $T/4$ ), когда как для бегущей волны оба вида энергии изменяются в одной фазе. Потенциальная энергия выделенного объема имеет также узлы и пучности.

В программной среде Excel смоделируем ситуацию. Для  $x \geq 0$  и фиксированном времени ( $t = \text{const}$ ), рассмотрим распределение кинетической и потенциальной энергии. Зададим исходные данные приведены (табл.1). Учитываем, что длина рассматриваемого участка должна быть кратна  $\lambda/2$ .

Таблица 1

Исходные данные

Исходный параметр	$\rho$	A	$\omega$	$\lambda$
Значение	860 кг/м <sup>3</sup>	0,1 м	0,52 рад.	2 м

Изменяя значения  $x$  на 0,1 м проведем расчёты  $E_k$  и  $E_p$  по приведенным ранее формулам, результаты расчётов отразим на графике (рис.1).



Рис.1 График распределения энергии

Данные свойства СВ позволяют использовать их в устройствах для фильтрации. Практическое функционирование основывается на его конструкции (учитывающей месторасположение узлов и пучностей энергии), а именно на том, что в устройстве для фильтрации жидкости или газа от примесей, имеющем как минимум одно входное устройство подачи фильтруемой жидкости или газа размещено на корпусе устройства в области узла давления генерируемой стоячей волны, минимум одно выходное устройство подачи отфильтрованной жидкости или газа расположено в области пучности максимального давления ( $P_{\max}$ ) стоячей волны, минимум одно выпускное устройство отвода механических примесей расположено в зоне пучности минимального давления ( $P_{\min}$ ) стоячей волны.(рис.2)

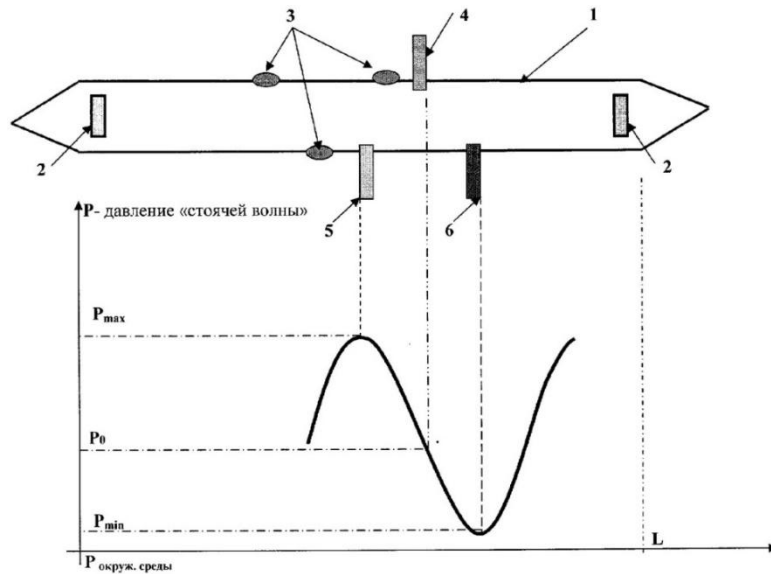


Рис.2 Устройство для очистки жидкости или газа

Литература

- Исакович, М.А. Общая акустика / М.А. Исакович – М.: Наука, 1973. – 496 с.
- Кречмер С. И., Ржевкин С. Н. Исследование волновых процессов по методу моделей с применением ультразвуковых волн //Успехи физических наук. – 1937. – Т. 18. – №. 5. – С. 1-10.
- Лепендин, Л.Ф. Акустика: Учеб. пособие для вузов / Л.Ф. Лепендин – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
- Моргалюк В. Д. Источник когерентных бегущих волн давления для жидкостей или газов. – 2017.
- Пейн Г., Колоколов А. А. Физика колебаний и волн: Пер. с англ. – Мир, 1979.
- Хайкин, С.Э. Физические основы механики / С.Э. Хайкин – М.: Наука, 1962. – 772 с.