

# Влияние кавитационных процессов на распространение акустической волны внутри магистрального водопровода

В.А. Зибров, С.А. Тряпичкин, О.В. Соколовская

Возникающие экологические проблемы и требования потребителей водных ресурсов, стали существенно влиять на развитие систем водоснабжения и соответственно повышения уровня предоставляемых услуг жилищно-коммунальным хозяйством. При этом стремительно развиваются передовые технологии систем водоснабжения и водоотведения, контрольно-измерительная аппаратура и инфокоммуникационные технологии.

В работах [1,2,3] рассмотрены вопросы организации акустического канала передачи информации (АКПИ) в магистральных водопроводных сетях.

Целью статьи является определение влияния кавитационных процессов в водопроводной трубе, полностью заполненной водой, на распространение «плоской» волны.

При изменении поперечного сечения трубы (задвижка, вентиль и т.п.) возникают кавитационные процессы, оказывающие влияние на потери переданной акустической волны, т.к. поглощают, отражают, и повторно излучают звуковую энергию [5,6,7,8,9,10]. На рис. 1 приведена зависимость резонансной частоты кавитационного пузыря от длины трубы [4].

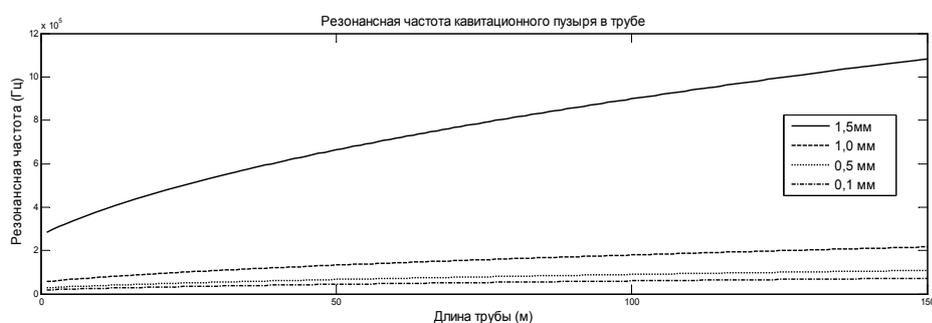


Рис. 1. – Зависимость резонансной частоты кавитационного пузыря от длины трубы

Рассмотрим источник акустического сигнала с координатами  $(r_0, \theta_0, x_0)$  и приёмник акустической волны с координатами  $(r, \theta, x_1)$ , расположенные внутри водопроводной трубы, полностью заполненной водой, на участке которой уменьшен диаметр (рис. 2).

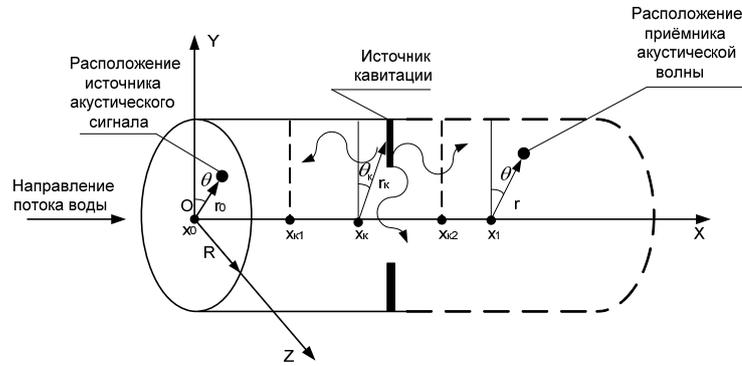


Рис. 2. – Воздействие кавитационных процессов на участке трубы

Для определения акустического давления вызванного вибрацией на участке трубы справедливы утверждения, приведенные в работах [1,2,3]:

$$p(r_k, \theta_k, x_k, \omega_k) = \frac{\rho}{cR^2} f(\omega_k) \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_n(\eta_{nm} r_k) \cos(n\theta_k)}{\left(1 - \left(\frac{n}{\eta_{nm}}\right)^2 J_n(\eta_{nm})\right)^2} e^{-i\gamma_{nm}|x_{k2} - x_{k1}|},$$

где  $R$  – радиус трубы;  $\gamma_{nm}$  – осевое волновое число;  $\eta_{nm}$  – радиальное волновое число;  $f(\omega_k)$  – функция сигнала кавитации, выраженная в частотной области;  $\rho$  – плотность воды;  $c$  – скорость звука в воде;  $J_n$  – функция Бесселя первого рода;  $r_k, \theta_k, x_k$  – координаты источника кавитации;  $|x_{k2} - x_{k1}|$  – интервал распространения кавитационных процессов;  $n, m$  – осевые и радиальные моды.

Акустическое давление на входе приёмника акустической волны:

$$p(r, \theta, x_1, \omega) = \frac{\rho}{cR^2} f(\omega) \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_n(\eta_{nm} r_0) \cos(n\theta_0) J_n(\eta_{nm} r) \cos(n\theta)}{\left(1 - \left(\frac{n}{\eta_{nm}}\right)^2 J_n(\eta_{nm})\right)^2} e^{i\gamma_{nm} x_1} + p(r_k, \theta_k, x_k, \omega_k).$$

Для «плоской» волны уравнение акустического давления примет вид:

$$p(r, \theta, x_1, \omega) = \frac{\rho}{cR^2} \left[ f(\omega) e^{i\gamma_{nm} x_1} + f(\omega_g) e^{-i\gamma_{nm} |x_{k2} - x_{k1}|} \right].$$

Проведём расчёт акустического давления, распространяемого внутри магистральной водопроводной напорной трубы из полиэтилена (ГОСТ 18599-2001, ТУ 2248-016-40270293-2002, рабочее давление 1,0МПа, диаметр 200мм, толщина 14,7мм), с помощью интерактивной системы MatLab. Координаты источника акустического сигнала ( $r_0 = 0,5R$ ,  $\theta_0 = 5^0$ ,  $x_0 = 0$  м); координаты приёмника акустической волны ( $r = 0,5R$ ,  $\theta = 5^0$ ,  $x_1 = 400$  м); плотность воды  $1000\text{кг/м}^3$ ; скорость звука в воде  $1500\text{м/с}$ , частота ультразвукового импульса  $f_c = 55\text{кГц}$ , длительность  $200\text{мс}$ . Интервал воздействия вибрации от  $x_{к1} = 100$  м до  $x_{к2} = 300$  м. На рис. 3 приведена форма и спектр сигнала кавитации. Временные области распространения акустического давления, приведены на рис. 4.

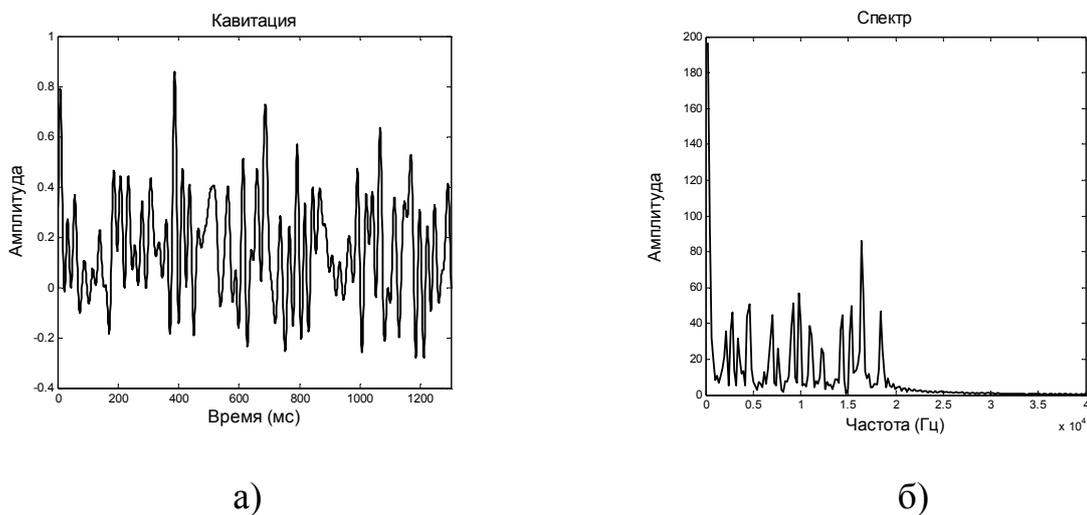
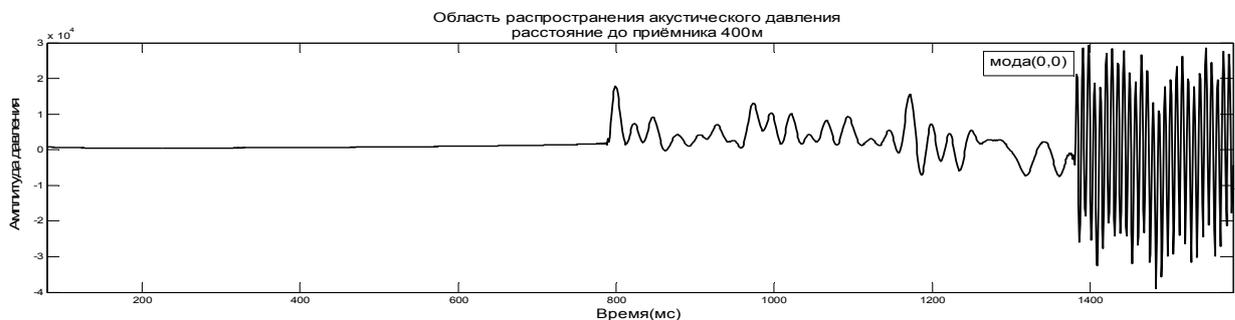


Рис. 3. – Форма сигнала кавитации (а) и его спектр (б)



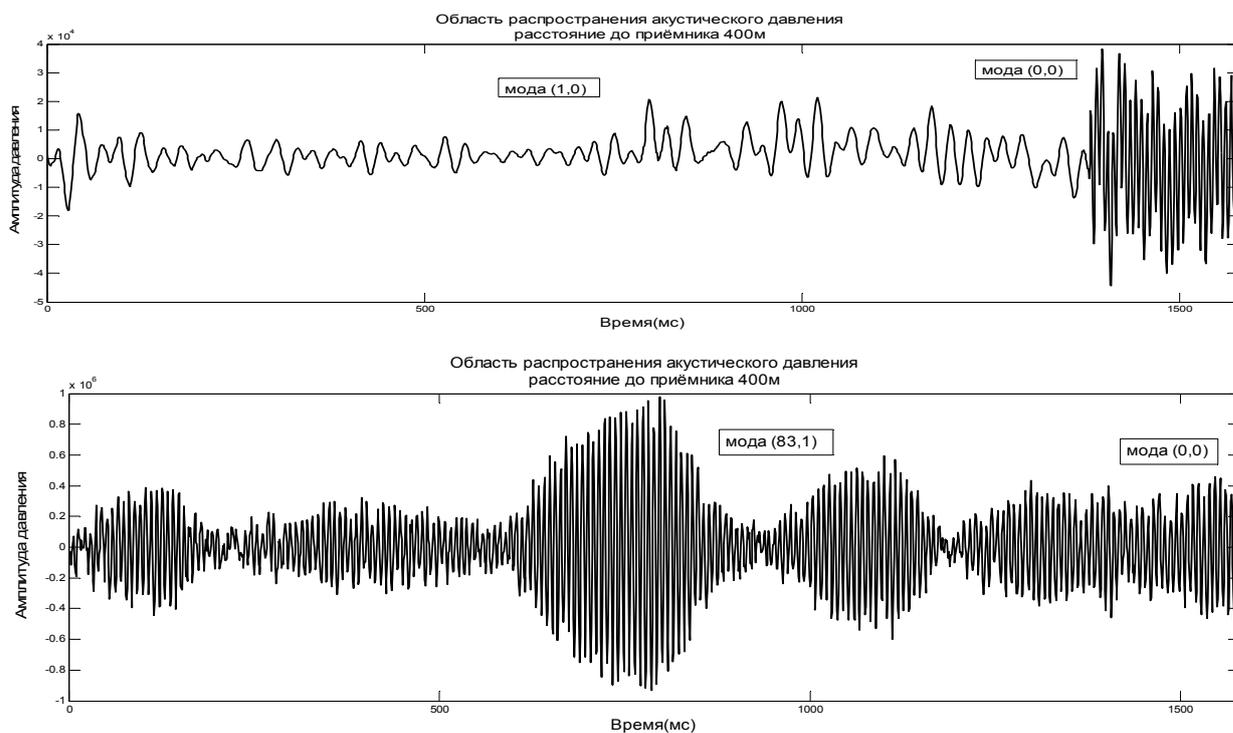


Рис. 4. – Области распространения акустического давления, при воздействии кавитации

Как видно из рис. 4, область распространения кавитационных процессов, не вносит существенных искажений в форму «плоской» волны и более высоких мод. Однако амплитуда «плоской» волны, в сравнении с амплитудами мод высоких порядков, ослаблена в 2,5 раза.

Таким образом, кавитационные процессы, возникающие за счет влияния структурных компонентов водопроводных сетей (вентили, распорки и т.п.) вносят в поток периодические колебания, которые уменьшают энергию распространяемого акустического давления внутри трубы и увеличивают многолучевое распространение волн. Поэтому, при организации акустического канала передачи информации в магистральном водопроводе, заполненном водой, необходимо применять качественные ультразвуковые датчики (гидрофоны) с фильтром для выделения «плоской» волны из принятых импульсов.

Улучшение основных тактико-технических показателей ультразвуковой аппаратуры возможно за счет применения сложных акустических сигналов и их корреляционной обработкой и использованием параметрических

эффектов. Важно также учитывать принцип модульности и компактности, что необходимо для оперативной сборки нужных конфигураций аппаратуры, в том числе в условиях ограничения дополнительной мощности источника питания.

### **Литература:**

1. Тарасов С.П, Зибров, В.А. Организация акустического канала передачи данных в продуктопроводе [Текст] // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Экология 2011 – море и человек, 2011. – №9(122). – С.57–62.

2. Зибров В.А. Ультразвуковая технология мониторинга продуктопровода [Текст] // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011», 2011. – Вып. 4. – т.9. – С.61–65.

3. Сапронов А.А, Зибров В.А., Занина И.А., Соколовская О.В. Исследование процесса передачи информации по акустическому каналу в водопроводе [Текст] // Энергосбережение и водоподготовка, 2012. – №4. – С.52–54.

4. Сапронов, А.А., Зибров, В.А., Тряпичкин, С.А. Распределение акустической волны в подземном трубопроводе [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, - №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1458> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. А.А. Сапронов, В.А. Зибров, О.В. Соколовская Распространение акустической волны в замкнутой структуре водопровода на границе раздела сред [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал. Инженерный вестник Дона, 2012. – №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1430> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия [Текст]. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 44с.
7. СНиП 2.04.12-86. Расчет на прочность стальных трубопроводов [Текст]. – М.: ГП ЦПП, 1986. – 18с.
8. ANSI/ASME B31.1-2010. ASME code for pressure piping, B31. Power piping. – NY, 2010. – 350p.
9. Thompson, M. Noise generation by water pipe leaks / M. Thompson, D.J. Allwright, C.J. Chapman, S.D. Howison, J.R. Ockendon // Study report of 40th European Study group with industry, 2001.
10. Пирсол, И. Кавитация [Текст] / И. Пирсол. – М.: Мир, 1975. – 95с.