**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  и приёмник акустической волны с координатами , 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]:

,

где  – радиус трубы;  – осевое волновое число;  – радиальное волновое число;  – функция сигнала кавитации, выраженная в частотной области;  – плотность воды;  – скорость звука в воде;  – функция Бесселя первого рода;  – координаты источника кавитации;  – интервал распространения кавитационных процессов;  – осевые и радиальные моды.

Акустическое давление на входе приёмника акустической волны:



Для «плоской» волны уравнение акустического давления примет вид:

.

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 (, , м); координаты приёмника акустической волны (, , м); плотность воды 1000кг/м3; скорость звука в воде 1500м/с, частота ультразвукового импульса =55кГц, длительность 200мс. Интервал воздействия вибрации от м до м. На рис. 3 приведена форма и спектр сигнала кавитации. Временные области распространения акустического давления, приведены на рис. 4.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

а) б)

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 увеличивать 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.