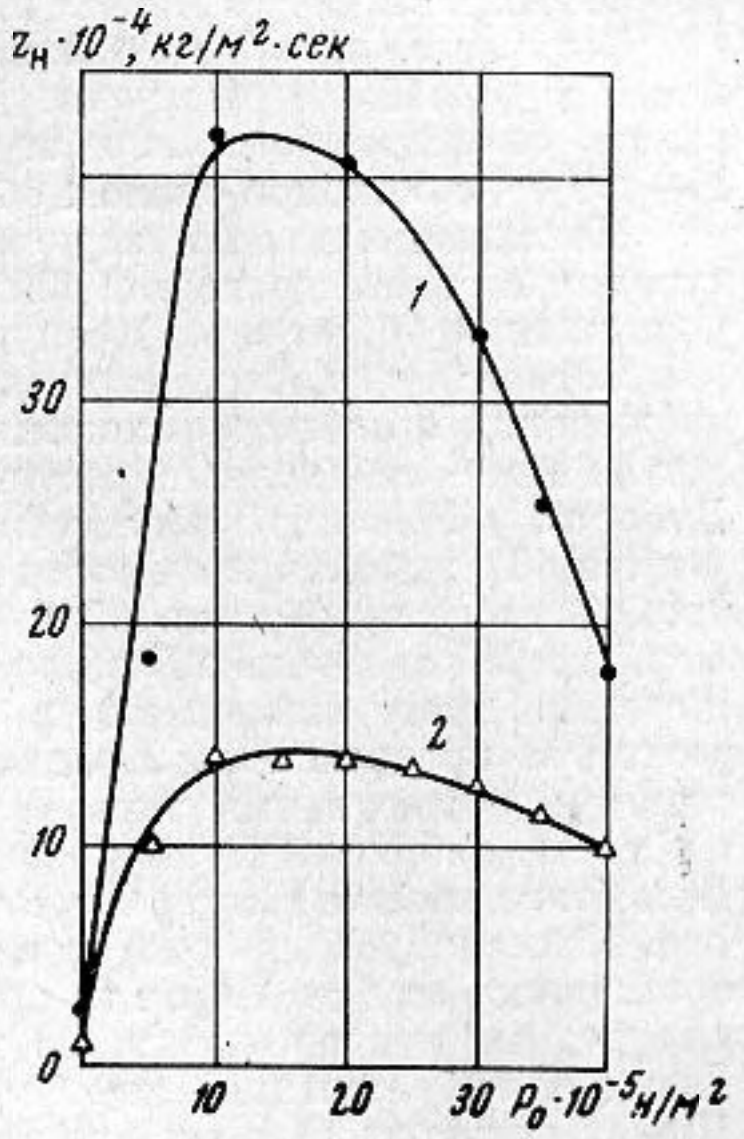
2 порядка меньше волнового сопротивления капельной жидкости. С повышением статического давления величина $z_н$ сначала растет, достигая максимума при 8—14 *атм*, и составляет $4{,}2 \cdot 10^5$ *кг/сек·м*^{2}, а затем падает. Аналогичная зависимость наблюдается и при более высоких интенсивностях ($A_0 = 18$ *мк*) звука (кривая *2*) с той разницей, что максимум смещается в сторону больших значений P_0, а нисходящая ветвь кривой оказывается более пологой.



Фиг. 5

Уменьшение величины $z_н$ в области высоких статических давлений, вероятно, связано с изменением реактивной составляющей сопротивления нагрузки, которая косвенно влияет на величину активных потерь, изменяя условия согласования системы преобразователь — нагрузка.

Действительно, в области высоких давлений для согласования величины внешней нагрузки и внутреннего сопротивления преобразователя необходимо соответствующим образом изменять высоту столба жидкости, в которой возникает стоячая волна, все более ярко выраженная по мере повышения статического давления. Возникновение стоячей волны наглядно видно из характера разрушения алюминиевой фольги, показанного на фиг. 6 (см. вклейку к стр. 509), где фотографии образцов фольги расположены последовательно, слева направо, соответственно изменению статического давления от 1 до 11 *атм* для амплитуды смещения торца излучателя при атмосферном давлении $A_0 = 7$ *мк*.

В наших опытах высота столба жидкости сохранялась постоянной и отличалась от резонансной, что привело к снижению $z_н$ при $P_0 > 20 \cdot 10^5$ *н/м*^{2}, тем более значительному, чем меньше величина $z_н$ отличалась от значений ρc капельной жидкости.

Проведенные исследования позволили установить, что, повышая статическое давление, можно увеличить механическое сопротивление кавитирующей жидкости более чем в 10 раз и соответственно увеличить мощность, отдаваемую преобразователем в нагрузку, без увеличения электрической мощности, потребляемой колебательной системой.

Авторы выражают благодарность Ю. И. Китайгородскому и И. П. Голяминой за внимание к работе и ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Розенберг, М. Г. Сиротюк. Причины, ограничивающие акустическую мощность преобразователя, работающего в жидкости. Сб. «Контр.-измерит. ультразв. приборы». М., ЦИНТИ, 1960, 157—164.
2. Ю. П. Розин, В. С. Тихонова. Об избыточном давлении и форме мениска в капилляре в ультразвуковом поле. Тр. VI Всес. акуст. конфер., Сер. БIV 7, 1968.
3. А. В. Витковский. Бесконтактные высокочастотные виброметры. Сб. «Контр.-измерит. ультразв. приборы». М., ЦИНТИ, 1960, 148—154.
4. Б. А. Агранат, В. И. Башкиров. Критерий оценки интенсивности ультразвуковой кавитации. Докл. АН СССР, 1968, 179, 4, 72—75.

Московский институт
стали и сплавов

Поступило в редакцию
12 ноября 1968 г.

УДК 534.24

ЛЕНСКОЕ ЭХО

В. И. Арабаджи

Согласно сообщениям путешественников, особенно благоприятные условия образования и наблюдения эха существуют в развалинах древнего города Пéтра (Иордания), в Лошадином каньоне в юго-восточной части штата Юта (США) и на реке Лене, в 100—300 *км* севернее г. Киренска.

В первой декаде июля 1967 г. нами были проведены наблюдения эха на Лене, в районе Ленских щек. Берега реки на этом участке представляют собой или вертикальные скальные стенки высотой 150—200 *м*, или вытянувшиеся по течению реки и поросшие лесом горы высотой до 800 *м*, вершины которых отстоят от берега на

расстоянии 1—3 *км* по горизонтали. Скальные утесы встречаются здесь то на одном то на другом берегу (но не одновременно на обоих берегах) и состоят в основном из плотных известняков, доломитов, песчаников и мергелей нижнекембрийского периода. Ширина реки в местах наблюдений составляла в среднем 220 *м*.

В качестве источника звука нами использовались гудки пароходов, тифоны танкеров и ружейные выстрелы. Длительность явления и его отдельных фаз фиксировалась секундомером. Сила звука измерялась шумомером, с диапазоном измерений 25—130 *дб*, с ошибкой около 1 *дб*.

Максимальная сила звуковых сигналов проходивших по Лене судов при регистрации с берега достигала 120 *дб*, уровень естественных шумов на берегу в среднем составлял 60 *дб*, но нередко опускался и ниже, до 45 *дб*.

Поскольку гудки пароходов дают более сильный звук, чем тифоны танкеров, при наблюдении степени многократности эха мы в основном пользовались гудками пароходов. Наиболее полные результаты нами получены 9 июля 1967 г., севернее села Дубовск, у Масляной пади, между 15 и 16 часами по местному времени, при температуре 18°, высокой влажности воздуха (после дождя) и сильной дымке. Эхо гудков, проходивших поочередно вблизи места наблюдения четырех пароходов, повторялось от 17 до 25 раз (чаще 20) за время от 11 до 17 *сек*. Регистрация сигналов приближавшегося к месту наблюдения парохода начиналась после ухода предшествующего парохода за пределы зоны слышимости. По мере удаления парохода количество повторений и общее время звучания монотонно уменьшались. На расстоянии 3—3,5 *км* от места наблюдения количество повторений составляло 7—10 за время 6—8 *сек*. При более низкой температуре воздуха здесь можно наблюдать и более многократное эхо. Южнее Дубовска эхо сигналов 16 пароходов и танкеров в различное время дня повторялось от 6 до 20 раз за время от 8 до 16 *сек*. При большом числе отражений эхо пароходных гудков и тифонов танкеров нередко воспринималось как монотонно затухающий вибрирующий звук музыкального характера. Эхо ружейного выстрела в Щеках повторялось в вечерние часы при штиле от 8 до 16 раз (чаще 9—12) за время 7—10 *сек*. Эхо человеческого голоса (крика) в тех же условиях повторялось 3—7 раз за время 4—5 *сек*. Резкие звуки человеческого голоса были удобны для наблюдения беспорядочно «порхающего» эха, поскольку этим звукам свойственна достаточно хорошая опознаваемость и высокая точность локализации по азимуту. Соударение камней у воды, на расстоянии 30—40 *м* от прибрежных скал, давало почти сливающееся со звуком источника эхо со временем звучания 0,7—0,8 *сек*.

Горьковский институт инженеров
водного транспорта

Поступило в редакцию
6 сентября 1968 г.

УДК 534.131

СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕЛКОСЛОИСТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Д. Б. Дианов, А. Г. Кузьменко

Цилиндрические преобразователи, используемые для излучения и приема звуковых волн, иногда представляют собой двух- или трехслойные оболочки (например, армированные конструкции). Применение дополнительных цилиндрических слоев из различных материалов может существенно изменять основные характеристики преобразователей, в частности резонансную частоту. В связи с этим представляет интерес получение формул как точных, так и приближенных, позволяющих рассчитывать резонансные частоты радиальных колебаний многослойных цилиндрических оболочек.

Рассмотрим систему коаксиальных цилиндрических слоев, бесконечно протяженных вдоль оси. Материал каждого из слоев будем считать однородным и изотропным и характеризующимся плотностью (ρ_i) и скоростями распространения продольных ($c_{ei} = \sqrt{\lambda_i + 2\mu_i / \rho_i}$) и поперечных ($c_{li} = \sqrt{\mu_i / \rho_i}$) волн. Предположим также, что характер вынуждающих сил таков, что гармоническое ($e^{-i\omega t}$) поле в слоях описывается только радиальной компонентой смещения, зависящей от одной пространственной координаты — радиуса-вектора.

Тогда можно написать рекуррентную формулу, позволяющую определять удельный радиальный импеданц системы из n слоев *, по найденному значению удельного радиального импеданца системы из $n-1$ слоев [1]:

$$Z^{(n)} = \frac{Z^{(n-1)} R_n - i z_n S_n}{z_n P_n - i Z^{(n-1)} Q_n} z_n. \qquad (1)$$

---

* Нумерация слоев принята следующей: внешней неограниченной среде приписывается номер 0, слою, имеющему наибольший радиус,— номер 1 и так далее.