

К РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРИОДИЧЕСКИ СЛЕДУЮЩИХ УДАРНЫХ ВОЛН

Г. И. СОКОЛ, д.т.н., доцент, У. Н. ТУЧИНА, конструктор

Днепропетровский национальный университет,

Государственное конструкторское бюро «Южное»

Представлены результаты разложения Фурье для случая воздействия на сплошную неподвижную воздушную среду периодическими следующими ударными волнами с частотой 20 Гц, которые образуются при работе преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в акустические колебания. Разработана методика, позволяющая провести анализ составляющих спектра. Показано, что наиболее энергонесущими в спектре являются низкочастотные составляющие. Построены характеристики направленности первых пяти гармоник.

ВВЕДЕНИЕ

Специально разработанные генераторы ударных волн и излучатели шума импульсного типа могут быть использованы для очистки котлов тепловых электростанций, для интенсификации процесса выплавки металлов в металлургических агрегатах [1, 2]. Возникает задача о создании методики, позволяющей провести спектральный анализ составляющих спектра периодически следующих ударных волн. Следует определиться с энергетическим вкладом отдельных гармоник в общем спектре и определить вклад низкочастотных гармоник как наиболее энергонесущих.

В [2] описано воздействие ударной волны на поверхность земли во время полета сверхзвукового самолета. Зарождается волна сложной N формы. На большом расстоянии волна N видоизменяется в результате более быстрого поглощения составляющих с низкой спектральной плотностью, она "округляется", и, в конечном итоге, остаются акустические инфразвуковые волны. Необходимость исследования спектрального состава единичных и периодически следующих ударных волн обусловлена вредным, но не выясненным в полной мере, физическим и психологическим воздействием «звукового удара» на людей, строения и почву, что определяет актуальность решаемой задачи.

Целью настоящей работы является определение процентного состава низкочастотных компонент шумов в общем спектре шума при работе устройств, которые вызывают в атмосфере периодически следующие ударные волны.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определяющим фактором в воздействии ударной волны на окружающую среду является избыточное давление в ударной волне или в скачке уплотнения, вызывающее силу воздействия на окружающее воздушное пространство [3]. Поэтому возмущения в среде, приводящие к возникновению звукового поля, являются следствием воздействия на среду периодическими следующими ударными волнами.

В задаче анализа шумов при воздействии на воздушную среду периодически следующих ударных волн определим спектральные компоненты при работе преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в периодически следующие ударные волны, а затем далее в акустические колебания. Действие преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в периодически следующие ударные волны и затем далее в акустические

основано на физическом эффекте возникновения ударных волн при взаимодействии тела, движущегося со сверхзвуковой скоростью и постоянного воздушного потока. Спектр отдельной волны N приведен на рисунке 1 [3].

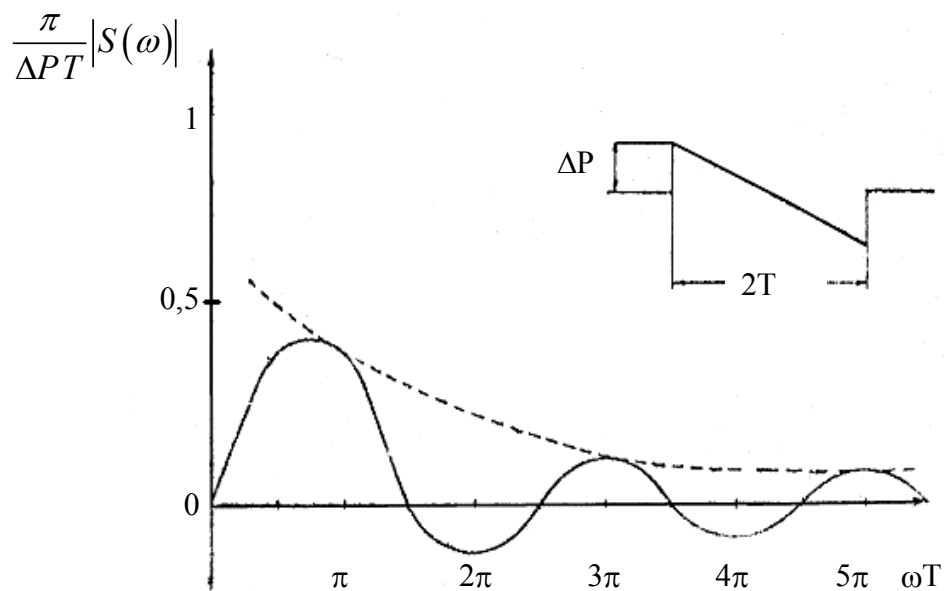


Рис. 1.

Энергетические спектры отдельных волн N с длительностью $2T=0,45$ с и $2T=0,045$ с приведены на рисунке 2.

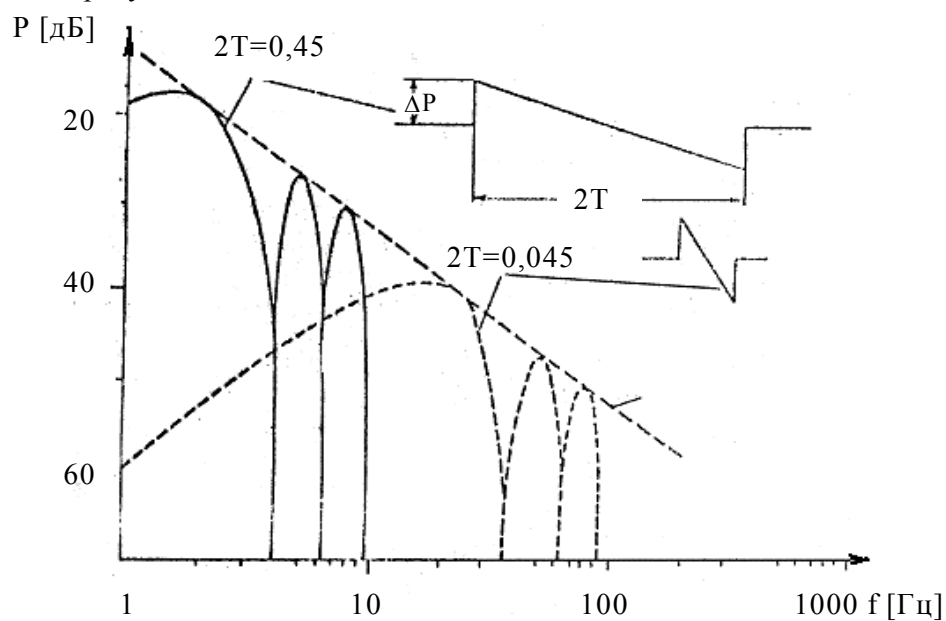


Рис.2.

Частотная характеристика звукового давления акустических волн достигает максимума на относительно низкой частоте 1,5 Гц для кривой спектра, показанной сплошной линией. Если повторять периодически следующие ударные волны все более реже, дискретные составляющие, относящиеся к периодическому спектру, будут появляться с большей частотой и смешиваться со сплошным спектром при периоде $T \rightarrow \infty$, т.е. со спектром одного сигнала.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ШУМА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ОТ ПЕРИОДИЧЕСКИ СЛЕДУЮЩИХ УДАРНЫХ ВОЛН. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Спектр пилообразной волны в форме N определяется рядом Фурье

$$y = \frac{2A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t \dots \right),$$

что показано на рисунке 3.

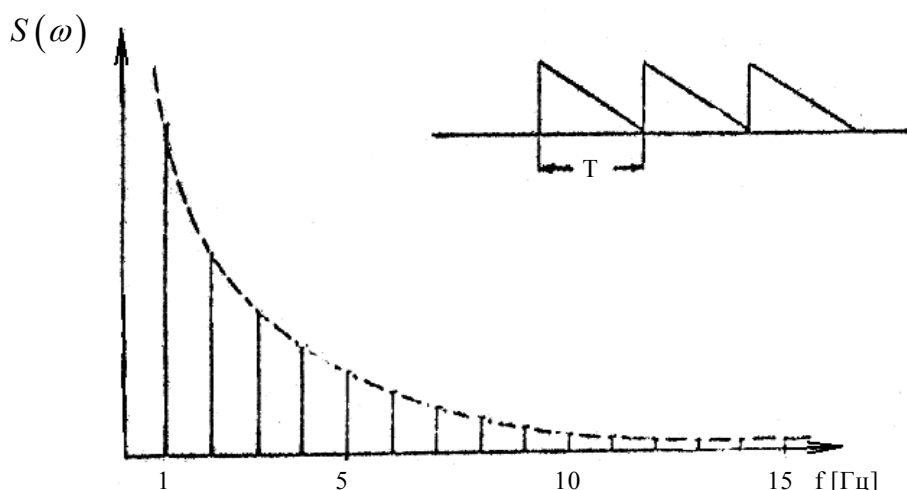


Рис. 3

Определяющим фактором в воздействии периодически следующей ударной волны на окружающую среду является избыточное давление в ударной волне или в скачке уплотнения $\Delta p_{\text{ирб}}$.

Если повторять ударную волну с интервалами T , то получим периодическое явление. Если периодическая функция с периодом T в интервале $t, t + T$ имеет конечное число максимумов и минимумов, а в точках разрывов удовлетворяет условию Дирихле [4]

$$f(t) = \frac{f(t-0) + f(t+0)}{2}, \quad (1)$$

то она может быть представлена в виде ряда Фурье [4], который записывают в форме

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos \left(\frac{2m\pi t}{T} - \alpha_m \right),$$

здесь где m — номер гармоники, A_0, A_m — коэффициенты ряда, α_m — фаза.

В выражение (1) для функции, описывающей воздействие на неподвижную атмосферу периодической ударной волны или периодически появляющимся скачком уплотнения, следует ввести избыточное давление $\Delta p_{изб}(t)$, показатель n - частоту следования ударных волн, и ω - круговую частоту. Тогда новое выражение для функции воздействия имеет вид

$$f(t) = \begin{cases} \Delta P_{изб} & \text{для } 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{для } t < 0 \text{ и } t > T \end{cases}, \quad (2)$$

где T – период следования отдельных ударных волн.

Из (2) видно, что характеристика $\Delta p_{изб}(t)$ является определяющим фактором в воздействии периодической ударной волны на окружающую среду.

Учитывая периодичность функции (2) и используя ряд Фурье определим коэффициенты ряда A_0 и A_m . [4]

$$A_m = \frac{2\tau}{T} R(t), \quad A_0 = \frac{\tau}{T} R(t) \quad (3)$$

здесь m - номер гармоники.

Звуковое давление определяется как

$$p = \left| \rho \frac{d\varphi}{dt} \right| = \frac{\omega_m \tau}{2\pi c T r} \Delta p_{изб}(t) S_{окна} \cos \vartheta \left(\frac{1}{kr} \cos kr + \sin kr \right), \quad (4)$$

здесь ϑ - угол характеристики направленности, $x/r = \cos \vartheta$ – направление косинуса радиуса-вектора, ω_m – круговая частота каждой из гармоник.

На рисунке 4 представлен спектр шума, возникающего в воздушной среде при воздействии на нее периодически следующими ударными волнами с частотой 20Гц.

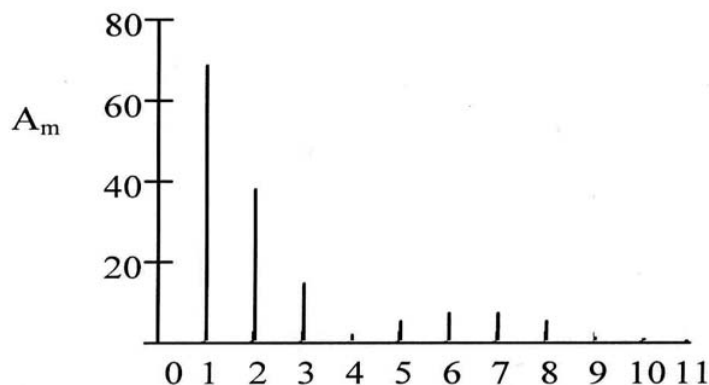


Рис. 4

На рисунке 5 представлены характеристики направленности первых пяти гармоник акустического поля преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в периодически следующие ударные волны и далее в акустические колебания.

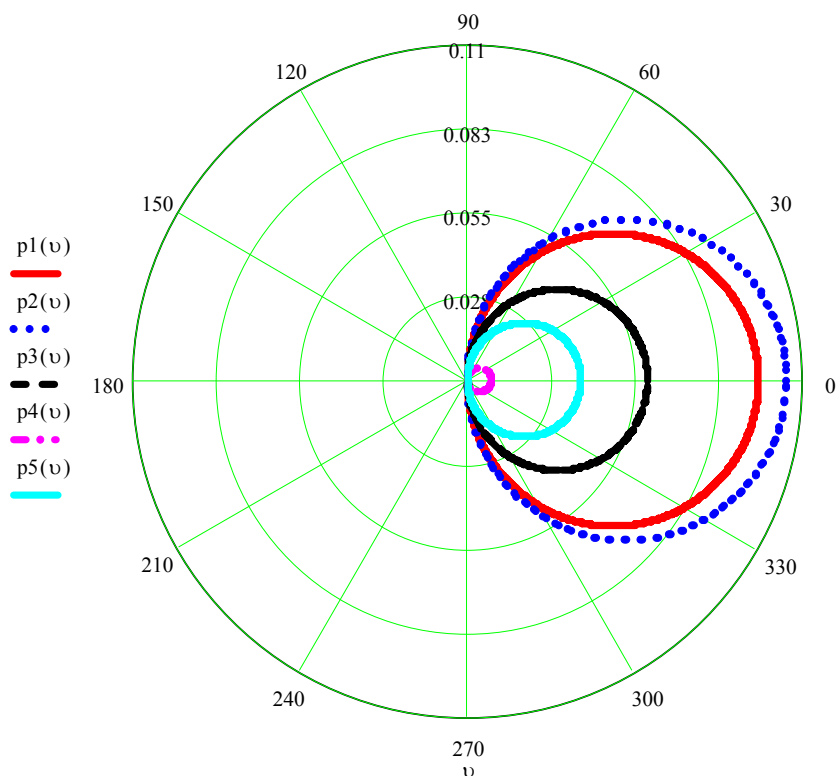


Рис. 5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика спектрального анализа шумов, возникающих в воздушной среде при работе преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в акустические колебания.
2. Представлены результаты разложения Фурье для случая работы преобразователей постоянных сверхзвуковых потоков в периодически следующие ударные волны.
3. Анализ спектров показал, что наиболее энергонесущими гармониками спектра являются низкочастотные составляющие. При чем 70% из них составляют гармоники инфразвукового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сокол Г.И. особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. – Днепропетровск: Промінь, 2000. – 136с.
2. Pimonov L. Les-infrasons - PARIS: CNRS, 1976. – 277р.
3. Справочник по технической акустике/Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980 – 376с.
4. Лепендин Л.Ф. Акустика. - М.: Высш. Шк. 1978. - 356 с.