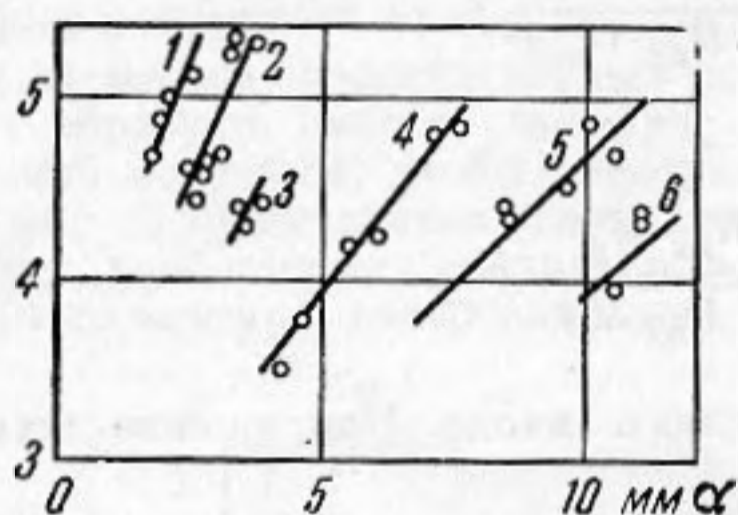


## ИЗМЕРЕНИЕ ТРУБКОЙ КУНДТА ДЛИНЫ ВОЛНЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СТРУЕЙ

П. Н. Кубанский

Тот факт, что струя является источником ультразвуковых колебаний, известен. Клинг и Крабол [1,2] установили, что струя, имеющая достаточно большую скорость, излучает интенсивные ультразвуковые колебания, частота которых лежит в пределах от 50 до 400 *кГц*. Это явление они наблюдали в струях, вытекающих из сопел, как со сверхзвуковыми, так и дозвуковыми скоростями. Частота колебаний зависит от диаметра сопла и давления воздуха перед соплом, уменьшаясь при возрастании последних. Излучение ультразвука наблюдалось как в свободных струях, так и в струях, в область которых помещено какое-либо препятствие. При размещении пластинки нормально или параллельно оси струи возникают стоячие волны. При помощи теневых метода Клинг и Гийу [2] получили фотографию стоячих волн при вытекании струи



Длина волны  $\lambda$  мм (ось ординат);  
расстояние от сопла до пластины  
(ось абсцисс)

воздуха из двухмиллиметрового сопла под давлением 2,9 атм. Перемещая препятствие в области струи, можно наблюдать скачки частоты, подобные тем, которые имеют место в системе «струя — клин».

На приведенной диаграмме даны длины волн  $\lambda$ , излучаемые струей, отражающейся от плоскости, расположенной перпендикулярно струе на различных расстояниях  $d$  от сопла по результатам работы Клинга. Диаметр сопла имел величину 3,5 мм, давление воздуха перед соплом было 1,65 *кг/см<sup>2</sup>*. На диаграмме видны скачки частоты с изменением расстояния плоскости от сопла.

Длины волн ультразвуковых колебаний, генерируемых струей, возможно измерить трубкой Кундта.

При внесении в струю воздуха Кундта в ней возникают характерные пылевые фигуры. Это обнаруживается в том случае, когда трубка располагается перпендикулярно направлению распространения струи, а также при размещении трубки напротив струи. Для получения воздушных струй применялись сопла следующих диаметров: 0,5; 2,0; 5,0 и 9 мм. Давление воздуха перед соплом менялось от 0,1 до 2,5 *кг/см<sup>2</sup>*. Внутренний диаметр трубок Кундта был 6 и 12,5 мм. Во всех случаях длины волн, измеренные при помощи трубки Кундта, оказались в области ультразвука. Пылевые фигуры образуются как при сверхзвуковых скоростях струи, так и при дозвуковых. Длины волн ультразвуковых колебаний в струе, вытекающей через сопло, имевшее диаметр 2 мм, приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Давление воздуха перед соплом, <i>кг/см<sup>2</sup></i>	0,1	0,2	0,3	0,6	1,5	2,0	2,3	2,5
Длина волны, мм	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,5
Частота колебаний, <i>кГц</i>	68	75,5	68	68	68	75,5	68	61,8

Если сравнить длины волн, измеренные трубкой Кундта в струях, с результатами, полученными Клингом [2] при отражении от плоскости, то можно обнаружить близкое совпадение.

При помощи трубки Кундта были также обнаружены ультразвуковые колебания на границах потока, выходящего из аэродинамической трубы. Выходное сечение от вентилятора аэродинамической трубы имело прямоугольное сечение размерами 200 × 300 мм. Скорость потока на выходе из трубы была около 20 *м/сек*. Пылевые фигуры в трубке Кундта хорошо формировались при расположении ее на границах потока по углам его прямоугольного сечения. Длина волны определялась в размере от 0,5 до 0,67 см, что отвечает частотам колебаний от 68 до 50 *кГц*. Подобные же явления наблюдались за цилиндром, помещенным в поперечный поток воздуха. При скорости потока воздуха около 20 *м/сек* за цилиндром диаметром 2,4 см были обнаружены ультразвуковые колебания с длиной волны от 0,4 до 0,5 см. Во всех случаях по энергичному движению порошка в трубке Кундта можно было судить о большой интенсивности ультразвуковых колебаний, излучаемых струями воздуха.

Клинг и Крабол объясняют возникновение ультразвука в струе, имеющей дозвуковую скорость, вихреобразованиями в воздушном потоке при выходе его из сопла. Причину ультразвуковых колебаний в струях, вытекающих из сопла со сверхзвуковой скоростью, они усматривают в периодической структуре струй.

Интересно отметить, что ультразвуковые колебания, генерируемые струями, вызывают коагуляцию аэрозолей, что известно в технике. Для интенсификации процесса пламенного горения в топках применяется так называемое «острое» дутье. Оно заключается в том, что в топочное пространство при помощи сопел подводится воздух

со скоростью 50—70 м/сек. Врывающиеся в топочный объем струи перемешивают газы и интенсифицируют процесс горения. Обнаружено, что при этом происходит частичная сепарация летучей золы из газов. За счет действия струй в топке выпадает часть летучей золы, уносимой газами [3]. Описанный эффект можно отнести за счет коагулирующего действия ультразвуковых колебаний, создаваемых струями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. R. Kling, J. Grabol. Sur la production d'ultrasons au moyen des jets gazeux, Comptes Rendus, 1949, 229, 23, 1209—1211.
2. R. Kling, Guillou. Sur certaines caractéristiques de l'émission ultrasonore de jets gazeux rapides. Comptes Rendus, 1950, 230, 20, 1736—1738.
3. Р. Г. Грановский. Острое дутье в топочных устройствах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1947.

Ленинградский технологический институт

Поступило в редакцию  
20 июня 1958 г.

### О ВЫВОДЕ СКОРОСТИ ЗВУКА НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

В. В. Ревенко

Исходя из молекулярно-кинетической теории, считают в грубом приближении, что скорость звука в газовой среде равна средней, в направлении его распространения, скорости хаотического движения молекул, находящихся в единице объема газа. Для максвелловского распределения эта величина выражается формулой

$$c = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{RT}{m}} = \sqrt{0,635 \frac{RT}{m}}, \quad (1)$$

которая для воздуха дает результаты  $\sim$ на 32,7% меньше скорости звука, вычисленной по известной термодинамической зависимости

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{m}}, \quad (2)$$

где  $m$  — масса граммолекулы газа;  $T$  — его абсолютная температура,  $R$  — газовая постоянная, отнесенная к граммолекуле,  $\gamma$  — коэффициент адиабаты.

При современном состоянии молекулярно-кинетической теории строгое решение задачи о распространении возмущений в газе пока невозможно, однако порядок величин, найденных путем молекулярно-кинетических расчетов, можно значительно приблизить к истинному. Например, более точное совпадение с (2) мы получаем, рассматривая скорость звука как среднюю в направлении его распространения хаотическую скорость молекул, пересекающих мысленно выделенное в газе стационарное сечение, величина которой для однородного газа при максвелловском распределении равна

$$c = \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{RT}{m}} = \sqrt{1,57 \frac{RT}{m}} \quad (3)$$

Для неоднородного газа, при максвелловском распределении молекул каждой из его составляющих, зависимость (3) имеет вид:

$$c = \sqrt{\frac{\pi}{2} RT \cdot \frac{\frac{A_1}{m_1} + \frac{A_2}{m_2} + \frac{A_3}{m_3} \dots}{\frac{A_1}{\sqrt{m_1}} + \frac{A_2}{\sqrt{m_2}} + \frac{A_3}{\sqrt{m_3}} \dots}}, \quad (4)$$

где  $A_1, A_2, A_3 \dots$  — выраженное в объемных процентах содержание составляющих газа;  $m_1, m_2, m_3 \dots$  — массы их граммолекул.

В таблице приведены отклонения в процентах от формулы (2) скорости звука, вычисленной по формулам (1), (3) и (4).

Повышенная точность формул (3) и (4) сравнительно с формулой (1) не случайна, ибо нетрудно убедиться, что скорость (1), то есть средняя скорость молекул, находящихся в рассматриваемом объеме, больше отличается от скорости звука, чем средняя скорость (3) и (4) молекул, пересекающих сечение, через которое они проносят звуковые возмущения.

Сибирский металлургический институт  
им. Орджоникидзе  
г. Сталинск

Поступило в редакцию  
20 ноября 1957 г.

Т а б л и ц а

Газ	Расчетная формула		
	(1)	(3)	(4)
Воздух	-32,7	—	+6,0
Азот	»	+5,9	—
Кислород	»	»	—
Окись углерода	»	»	—
Водород	-32,9	+5,6	—
Аргон	-38,3	-3,0	—
Гелий	-38,2	-2,8	—