

ватт-часа, в то время как существующие установки столь высокой эффективности требуют затраты 10—15 киловатт-часов на озвучивание 1000 м^3 аэрозоля. Высота установки $\sim 10 \text{ м}$, потребные площади для камеры озвучивания $\sim 4 \text{ м}^2$ и для батареи циклонов $\sim 1,5 \text{ м}^2$.

Столь высокие показатели установки позволяют говорить о промышленном внедрении метода осаждения окиси цинка в акустическом поле взамен существующей громоздкой фильтровальной системы (например, 350—400 рукавных фильтров высотой 12 м), для которой лишь эксплуатационные расходы по цеху средней мощности составляют около 10 тысяч рублей в год, не говоря уже о занимаемых промышленных площадях.

Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в редакцию
8 февраля 1962 г.

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ, ВВОДИМЫХ В НАГРУЗКУ

И. И. Теумин

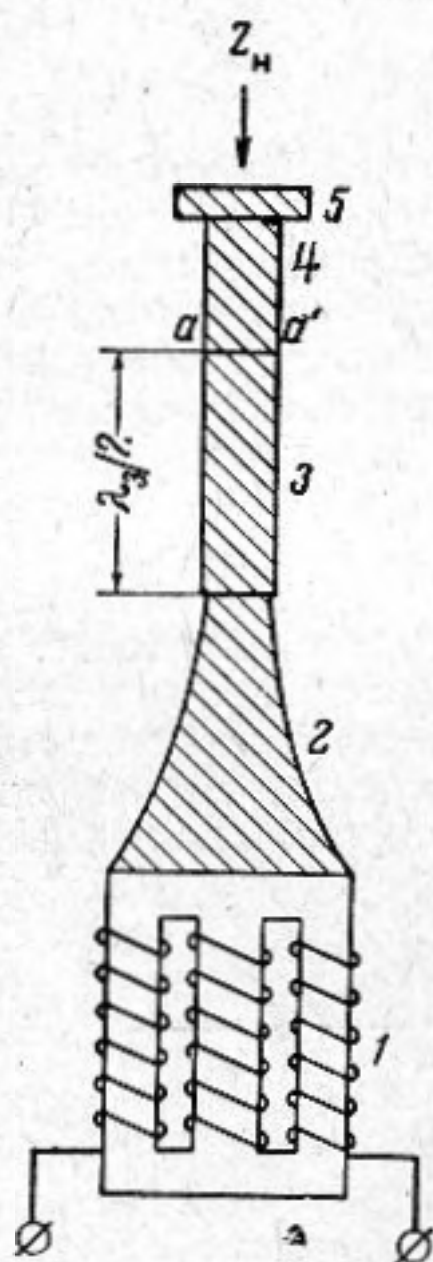
Измерение мощности упругих колебаний, вводимых в нагрузку, как известно, представляет большие трудности, которые в ряде случаев исключают возможность достаточно точной оценки измеряемой величины. Калориметрические методы измерений, помимо известных недостатков и ограничений, свойственных этим методам, обладают, применительно к данной задаче, специфическими неудобствами. Так, при калориметрировании в объеме нагрузки, куда вводятся колебания, очень трудно учесть тепловой поток через излучатель. При калориметрировании потерь в преобразователе также трудно учесть этот поток, и, кроме того, расчет полезной энергии упругих колебаний оказывается не точным вследствие малого к. п. д. преобразователя.

В случае нагрузки, представленной твердым объектом или жидкостью с высокой температурой (например, расплавленным металлом) калориметрирование в объеме нагрузки вообще исключено. Определения мощности, основанные на измерении колебательных давлений в рабочей среде (жидкости) фактически не дают верных результатов, так как, во-первых, при конечных амплитудах и кавитационных процессах данные о волновом сопротивлении и сопротивлении потерь в рабочей среде являются неизвестными. Во-вторых, сложный характер распределения поля упругих колебаний в жидкой среде не позволяет с нужной точностью учесть это распределение.

В рассматриваемом методе измеряется мощность, проходящая по волноводной системе в нагрузку. В волноводную систему (см. фиг. 1), состоящую, в общем случае, из преобразователя 1, концентратора 2 и рабочего звена 4 с излучателем 5, вводится измерительное звено 3, представляющее собою однородный волновод из материала с малыми потерями. Волноводная колебательная система нагружена на сопротивление Z_H нагрузки. Длина измерительного звена 3 выбирается равной $\lambda_3/2$, где λ_3 — длина волны в материале измерительного звена (с учетом стержневой скорости распространения упругих колебаний). В качестве материала для изготовления измерительного звена могут служить, например, алюминий, титан или железокремниевый сплав с 6% кремния.

Найдем предварительно величину входного сопротивления Z'_H в начале рабочего звена, при реальной нагрузке Z_H в рабочем режиме преобразователя. Очевидно Z'_H является перечисленным в начало звена 4 сопротивлением нагрузки. Вещественная часть R'_H сопротивления Z'_H представляет собою активную нагрузку, в которой поглощается измеряемая мощность.

Для определения сопротивления измеряются следующие амплитуды колебательного смещения измерительного стержня (фиг. 2): ξ_{\max} в пучности колебаний; ξ_{\min} в узле колебаний; ξ_4 на конце измерительного стержня, т. е. в начале рабочего звена. Кроме того, измеряется расстояние d от конца звена (фиг. 1, 3) до узла смещения. Тогда активная составляющая перечисленного сопротивления нагрузки может быть найдена из выражения, полученного на основании анализа режима работы



Фиг. 1

колебательных систем с нагрузкой [1]:

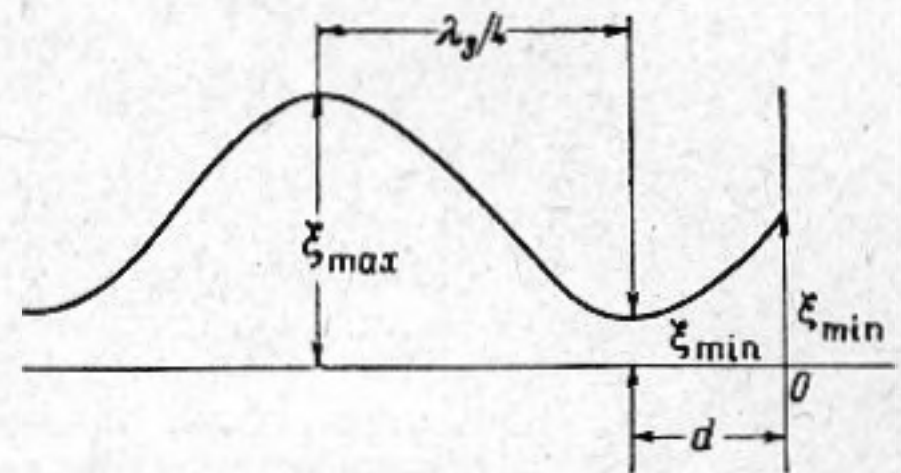
$$R'_H = w_0 \frac{k_G}{k_G^2 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}, \quad (1)$$

где w_0 — волновое сопротивление измерительного стержня, $k_G = \xi_{\min} / \xi_{\max}$ — коэффициент бегущей волны, $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_3} d$. Полное (комплексное) сопротивление будет

$$Z'_H = \frac{\cos \varphi - ik_G \sin \varphi}{k_G \cos \varphi - i \sin \varphi}. \quad (2)$$

Тогда активная мощность, вводимая в нагрузку, может быть легко определена:

$$P_H = \frac{1}{2} \omega^2 \xi_4^2 R_H^1. \quad (3)$$



Фиг. 2

Если среда, в которую вводится колебательная энергия, обладает большим поглощением или если размеры излучателя таковы, что преобладает активная составляющая сопротивления излучения, то может существовать одно из следующих равенств: $R'_H = w_0 k_G$, или $R'_H = w_0 / k_G$, (в зависимости от того, больше или меньше w_0 по сравнению с R'_H), т. к. при этом $Z'_H \approx R'_H$. Поэтому в данном случае $\xi_4 = \xi_{\max}$ или $\xi_4 = \xi_{\min}$.

Тогда величина мощности будет

$$P_H = \frac{1}{2} \xi_{\max} \cdot \xi_{\min} w_0 \omega^2. \quad (4)$$

Величина мощности, определенная данным методом, представляет собою мощность, вводимую в рабочий инструмент, связанный с нагрузкой. Поэтому в эту мощность входят также потери в этом инструменте.

В большинстве практических случаев такое измерение является достаточным для оценки мощности переходящей в нагрузку, без учета потерь в рабочем звене.

Измерение амплитуд смещения в различных точках измерительного звена осуществляется путем отсчета отклонений измерительных рисок, нанесенных на поверхности этого звена от положения покоя. Отсчет производится при помощи микроскопа с окулярной измерительной сеткой, через который наблюдается и измеряется размытие рисок. Риски целесообразно делать в виде тонких насечек, окрашенных в цвета, отличные от цвета поверхности измерительного волновода.

Кроме непосредственного отсчета смещений по размытию рисок можно использовать и другой способ, предложенный Б. В. Савченко. К измерительному волноводу прижимается пластина, покрытая бархатом, в средней части которой закреплена полоска тонкой наждачной бумаги вдоль волновода. Во время измерения пластинка быстро смещается в направлении, перпендикулярном к оси волновода.

В результате сложения поступательного движения пластинки и колебательного движения волновода на поверхности последнего зернами наждака процарапываются многочисленные синусоидальные кривые, амплитуда которых равна амплитуде колебательного смещения в соответственном месте волновода. Измерение амплитуд (с учетом толщины линии) производится под микроскопом после выключения установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Теумин. Ультразвуковые колебательные системы. М., Машгиз, 1959 г.

Институт металловедения
и физики металлов
Москва

Поступило в редакцию
9 июня 1961 г.