ные периоды этих «переходов» отмечены точками на фиг. 2. Точки хорошо ложатся на соответствующие ($\nu = 0{,}34$) теоретические кривые зависимости $L(d/\lambda_R)$.

Авторы выражают благодарность Г. Д. Малюжинцу за ценные указания и советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Lamb. On waves in an elastic plate, Proceeding. Royal Soc., A, 1916, 93, 114—128.
2. E. G. Cook, H. E. Valkenburg. Surface waves at ultrasonic frequencies. Amer. Soc. Test. Mat., 1954, 198, 81—84.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
30 июня 1958 г.

АКУСТИЧЕСКИЙ МИКРОАНЕМОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

А. С. Гурвич

Акустические анемометры, описанные в литературе [1, 2, 3], мало пригодны для пульсационных измерений, так как они дают значение скорости, осредненное по большой базе порядка 100 *см*. Уменьшение базы ограничивается главным образом размерами микрофонов и излучателей. В разработанной нами конструкции микроанемометра в качестве микрофонов и излучателей используются цилиндрические конденсаторные преобразователи диаметром 2 *мм* с рабочей частью длиной 5 *мм*. Подвижным электродом служит терилеиовая пленка толщиной 3,5 μ, металлизированная с наружной стороны. Чувствительность микрофона 0,07—0,1 *мв/бар* на частотах 75—100 *кгц*. Применение высокочастотных миниатюрных преобразователей позволило сократить базу микроанемометра до 2,5 *см*.

Действие акустического микроанемометра основано на зависимости времени распространения звука от скорости движения среды. Если в потоке помещен неподвижный точечный источник звука и два точечных приемника, расположенных на расстоянии l по разные стороны от излучателя, то разность времени Δt прихода звуковых волн к приемникам [4] $\Delta t = 2lv_l/(c^2_0 - v^2)$, ($\mathbf{v}$ — скорость потока, v_l — проекция $\mathbf{v}$ на направление l, c_0 — скорость звука в неподвижной среде). Для определения значения v_l удобнее измерять не Δt, а соответствующую разность фаз $\Delta\varphi = \omega\Delta t$ (ω — круговая частота излучаемого звука), так как при применении фазового метода можно достигнуть высокой точности измерения при малых Δt. Таким образом,

$$v_l = \frac{c_0^2\,\Delta\varphi}{2\omega l}\left(1 - \frac{v^2}{c_0^2}\right). \tag{1}$$

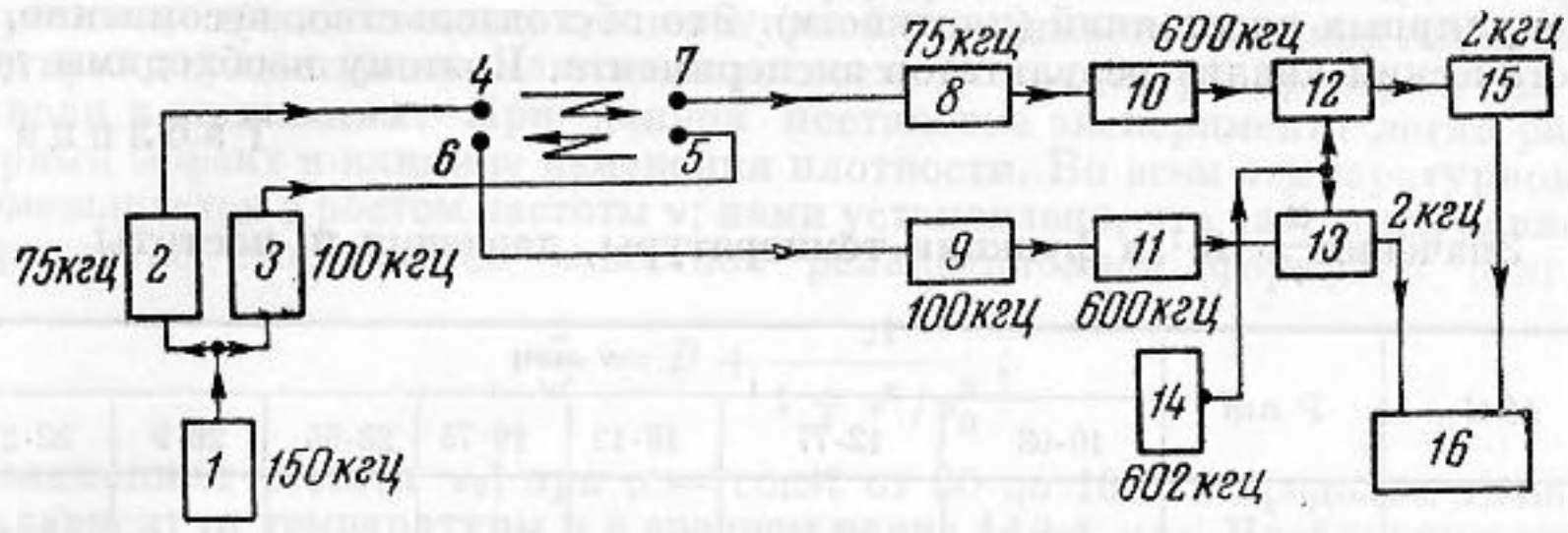
Членом v^2/c_0^2 в большинстве случаев при измерениях в приземном слое атмосферы можно пренебречь, так как $v^2/c_0^2 < 1\%$ при $v < 30$ *м/сек*. Вполне очевидно, что измерение проводится за время $\tau = l/c_0$, т. е. практически мгновенно, и значение v_l осредняется по базе $2l$. Из (1) видно, что акустический микроанемометр не требует сравнительной калибровки, так как все параметры, входящие в (1), могут быть измерены непосредственно. При точном расчете чувствительности необходимо учитывать, что база l из-за дифракции отличается от геометрического расстояния l' между излучателем и микрофоном. В применявшейся нами конструкции относительное изменение $\frac{l - l'}{l'}$, которое рассчитывалось по графикам [5], было менее 5%.

При выводе (1) предполагается постоянство c_0. В действительности, из-за пульсаций средней по базе температуры c_0 меняется, что приводит к флюктуациям чувствительности микроанемометра. Однако эти изменения дают относительную погрешность $T'/2T$*, которая для приземного слоя имеет порядок 10^{-3}, и ею можно пренебречь. Различие в температурах на двух путях распространения приводит к появлению дополнительной разности фаз сигналов, которая вносит заметную погрешность при измерении скорости. Эта погрешность может быть полностью исключена, если звуковые волны распространяются в противоположные стороны не по разным путям, а по одному и тому же. Такая схема измерений была осуществлена. Для этого два излучателя и два микрофона были расположены попарно на концах базы l вплотную друг к другу. Подавая на излучатели разные, но когерентные частоты и настраивая соответственно микрофонные усилители, легко разделить принимаемые микрофонами сиг-

* T' — пульсация температуры, T — средняя температура среды.

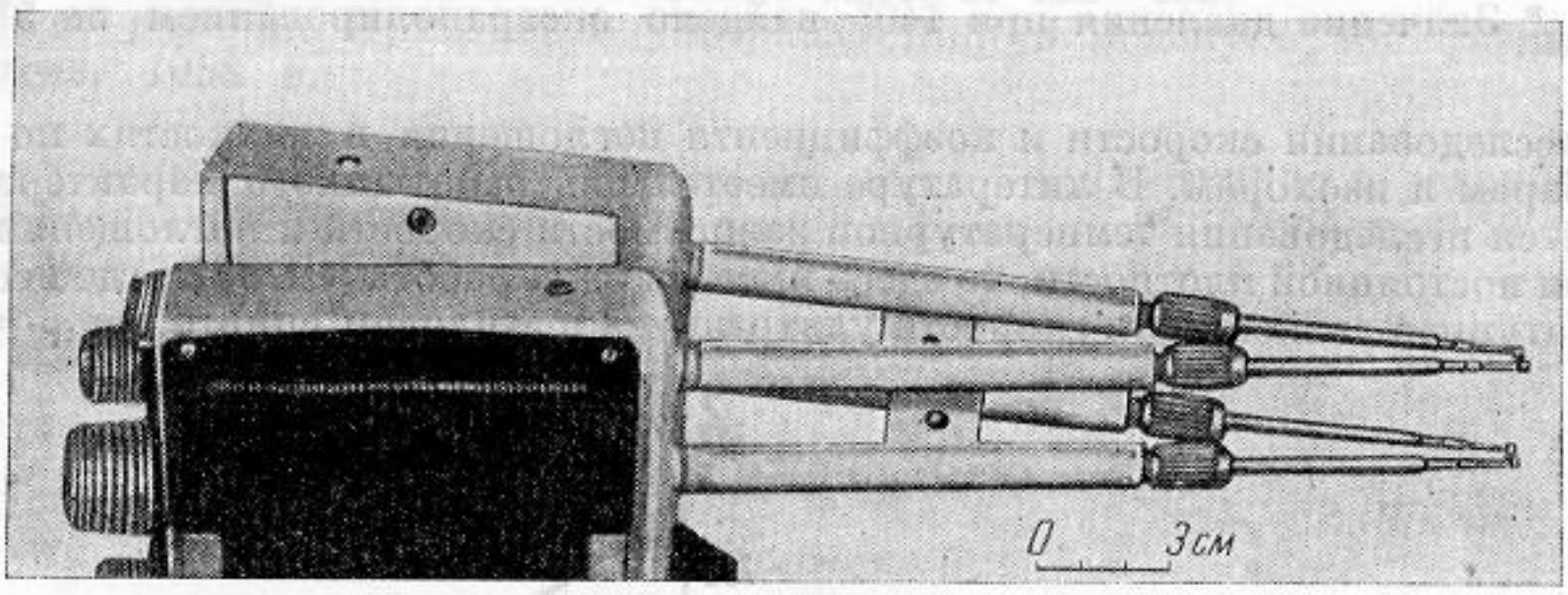
налы. Разобранная система исключения температурной погрешности дает еще и сокращение базы измерения вдвое.

Блок-схема микроанемометра представлена на фиг. 1. От кварцованного генератора *1* с частотой 150 *кгц*, работают два дробных трансформатора частоты *2*, *3*, дающих два когерентных сигнала с частотами 75 *кгц* ($^1/_2 \cdot 150$ *кгц*) и 100 *кгц* ($^2/_3 \cdot 150$ *кгц*). Излучатели *4*, *5* и микрофоны *6*, *7* крепятся в цангах на специальной головке (см. фиг. 2), соединенной с измерительной частью кабелем длиной 20 *м*. Микрофонные усилители



Фиг. 1. Блок-схема микроанемометра

8, *9* имеют полосу ± 3 *кгц* от рабочей частоты. Для приведения к одной частоте и увеличения чувствительности применяется умножение частоты на 6 и на 8. После умножителей частоты *10*, *11* сигналы с одинаковой частотой 600 *кгц* подаются на смесители *12*, *13*, на которые подается также напряжение с частотой 602 *кгц* от отдельного гетеродина *14*. Напряжения со смесителей при частоте 2 *кгц* подаются через калиброванный



Фиг. 2. Головка микроанемометра

фазовращатель *15* на стартостопный фазометр *16*. Выходное напряжение фазометра пропорционально разности фаз сигналов, т. е. значению соответственной компоненты скорости потока. На выходе фазометра включен фильтр, пропускающий частоты в полосе 0—700 *гц*.

Общая чувствительность прибора составляет 9 *см/сек·в*; полная шкала ± 2 *м/сек*. Уход нуля менее 1 *см/сек* за 20 *мин*; шумы (в пересчете на скорость) менее 1 *см/сек*. Микроанемометр успешно работал в полевых условиях, где он использовался для измерения вертикальной компоненты скорости в приземном слое атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. M. Schotlañd. The measurment of wind velocity by sonic means. J. of Meteorology, 1955, 12, 4, 386—390.
2. R. E. Corby. Acoustic anemometer — anemoscope. Electronics, 1950, 23, 1, 88—90.
3. V. E. Suomi. Sonic anemometer. Exploring the atmosphere's first mile. Pergamon Press, 1957, 1, 256—266.
4. Д. И. Блохинцев. Акустика неоднородной движущейся среды. М., Гостехиздат, 1946.
5. Л. Беранек. Акустические измерения, М., ИЛ, 1952.

Институт физики атмосферы
АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
3 января 1959 г.