

УДК 551.573

ГЕОФИЗИКА

Н. В. ВЕРШИНСКИЙ, А. Н. ВЕРШИНСКИЙ, И. В. ЧИРЧЕНКО

# О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ АДСОРБЦИОННОГО КВАРЦЕВОГО ДАТЧИКА

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 22 I 1971)

Известные адсорбционные кварцевые датчики предназначены исключительно для измерения относительной влажности воздуха. В датчиках этого типа в соответствии с изменениями относительной влажности воздуха изменяется частота колебаний кварцевого резонатора, покрытого слоем того или иного адсорбента (<sup>1-3</sup>). Однако для решения некоторых геофизических задач важно измерение абсолютной влажности воздуха (<sup>4, 5</sup>). Поэтому интересно рассмотреть возможность применения датчиков этого типа для измерения абсолютной влажности воздуха.

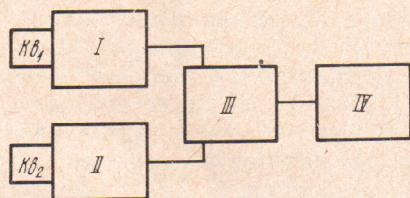


Рис. 1

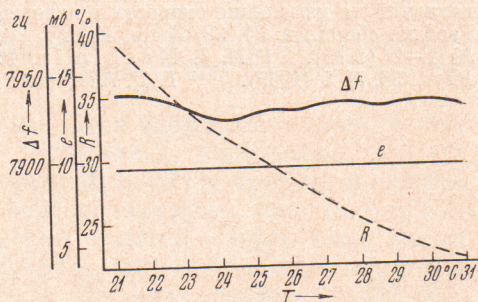


Рис. 2

Чтобы датчик относительной влажности мог измерять абсолютную влажность, необходимо ввести в его показания поправку на изменения температуры. Для достижения этой цели удобно воспользоваться вторым кварцевым генератором, частота колебаний которого должна определенным образом зависеть от температуры окружающего воздуха. Для адсорбционного кварцевого датчика, состоящего из двух отдельных генераторов (см. рис. 1), необходимая компенсация будет достигнута при выполнении условия

$$K_{\Sigma 1} = K_{\Sigma 2}, \quad (1)$$

где  $K_{\Sigma 1}$  — суммарный температурный коэффициент частоты кварцевого резонатора первого генератора, входящего в схему датчика;  $K_{\Sigma 2}$  — суммарный температурный коэффициент частоты кварцевого резонатора второго генератора, входящего в схему датчика.

Принимая температурный коэффициент других элементов схемы датчика близким к нулю, можно написать, что суммарный температурный коэффициент частоты для любого из кварцевых резонаторов в схеме датчика

$$K_{\Sigma} = (\Delta f / f \Delta T)_{\kappa} + (\Delta f / f \Delta T)_{\alpha}, \quad (2)$$

где  $(\Delta f / f \Delta T)_{\kappa}$  — обычный температурный коэффициент частоты кварцевого резонатора, определяемый его собственными кристаллическими параметрами;  $(\Delta f / f \Delta T)_{\alpha}$  — температурный коэффициент частоты кварцевого



резонатора за счет явления адсорбции;  $f$  — начальная частота генератора, в схеме которого работает данный кварцевый резонатор;  $\Delta f$  — изменение частоты генератора при изменении температуры на  $\Delta t$ .

Температурный коэффициент частоты кварцевого резонатора за счет адсорбции определяет изменение частоты кварцевого резонатора, покрытого тем или иным адсорбентом, при изменении температуры окружающего его воздуха и неизменной абсолютной влажности. За счет адсорбции температурный коэффициент частоты по величине может значительно отличаться от общеизвестного температурного коэффициента частоты пьезокварцевых кристаллов, который определяется параметрами кристаллической структуры кварцевого кристалла. Значение температурного коэффициента частоты за счет адсорбции определяется ходом изотерм адсорбции адсорбента, нанесенного на кварцевый резонатор.

Можно показать, что температурный коэффициент частоты для кварцевого резонатора, покрытого адсорбентом, определяется уравнением

$$(\Delta f / f \Delta T)_a = Qk / 2,3RT^2 \operatorname{ctg} \sigma_1 \cdot M, \quad (3)$$

где  $Q$  — теплота адсорбции водного пара,  $k$  — константа Мюллера и Уайта (см. (7)),  $\sigma_1$  — угол между осью абсцисс и касательной к изотерме адсорбции в рабочей точке;  $M$  — масса кварцевого резонатора, покрытого адсорбентом.

Поскольку кварцевый резонатор, используемый в качестве компенсатора температуры, имеет, как известно, характеристику, определяемую полиномом вида

$$f_t = f_0(1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3), \quad (4)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — коэффициенты, примерно равные для среза АТ  $\alpha = 10^{-7}$ ;  $\beta = -24 \cdot 10^{-11}$ ;  $\gamma = 8 \cdot 10^{-11}$ , то очевидно, что компенсация возможна лишь в очень узком интервале температур близ точки

$$T = \sqrt{Qk / 2,3R \operatorname{ctg} \sigma_1 \cdot M \alpha}. \quad (5)$$

Здесь мы пренебрегаем третьим и четвертым членами полинома (4) ввиду их малости. Практически этого делать нельзя, так как известно, что турбулентные колебания температуры в атмосфере при записи могут достигать примерно  $\pm 2^\circ \text{C}$ .

Поэтому для обеспечения компенсации в достаточно широком интервале изменений температуры, необходимо, чтобы компенсирующий элемент также имел бы температурную зависимость, описываемую уравнением типа (3). Одним из наиболее простых способов выполнения этого условия является покрытие компенсирующего резонатора также слоем адсорбента. Очевидно, что адсорбирующие покрытия на кварцевых резонаторах должны удовлетворять равенству температурных коэффициентов частоты для адсорбции. Это необходимо для обеспечения температурной компенсации в широком интервале изменений температуры. Чувствительность адсорбентов к парам воды (т. е.  $df / dP$ ) должна быть различной. Практически эти условия нетрудно выполнить даже без нанесения специального покрытия на компенсирующий резонатор, так как серебрянные обкладки невакуумированных кварцевых резонаторов после некоторого срока хранения обычно покрываются пленкой соединения, способного достаточно сильно адсорбировать водяные пары.

Для проверки высказанных соображений был построен датчик по схеме, показанной на рис. 1.

Датчик состоит из двух генераторов *I* и *II* по обычной схеме емкостной трехточки на транзисторах. Генераторы стабилизированы кварцевыми резонаторами  $K\varphi_1$  и  $K\varphi_2$  и работают в области радиочастот. В схеме имеется смеситель колебаний *III*, на выходе которого выделяется разностная частота, составляющая для построенного датчика около 8 кГц; *IV* — усилитель разностной частоты.



Кварцевый резонатор  $K\epsilon_1$  покрыт адсорбентом. При колебаниях относительной влажности воздуха изменяется его масса за счет большего или меньшего поглощения воды нанесенным на нем адсорбирующим слоем. Благодаря этому происходит изменение частоты колебаний генератора  $I$ , пропорциональное изменениям относительной влажности. Второй генератор  $II$  стабилизирован кварцевым резонатором  $K\epsilon_2$ . Этот кварцевый резонатор специально не покрыт адсорбентом, но имеет пленку окислов в результате старения. Суммарный температурный коэффициент частоты кварцевого резонатора  $K\epsilon_2$  выбран таким, чтобы компенсировать влияние изменений температуры на частоту первого генератора. На выходе смесителя выделяется разностная частота, не зависящая от температуры воздуха и, следовательно, пропорциональная его абсолютной влажности.

На рис. 2 приведена экспериментально полученная кривая, показывающая разностную частоту на выходе датчика в режиме, близком к выполнению уравнения (1). В достаточно широком диапазоне изменения температуры и постоянном значении абсолютной влажности (кривая  $e$ ), контролировавшейся в этом опыте термо-конденсационным прибором (<sup>6</sup>), — показания кварцевого адсорбционного датчика остаются практически постоянными.

В режиме перекомпенсации, когда  $K_{\Sigma_2} \gg K_{\Sigma_1}$ , датчик работает как термометр. Только когда  $K_{\Sigma_2} \ll K_{\Sigma_1}$ , выходной сигнал датчика будет пропорционален относительной влажности.

Подобный датчик может работать в широком диапазоне изменений влажности и температуры воздуха. Чувствительность одного из построенных датчиков составляет около 100 гц/мб. Температурная погрешность в диапазоне 25—30° С составляет около 2,5 гц на 1° С.

В заключение авторы выражают благодарность В. В. Серпинскому за ценные консультации и С. Крыловой за помощь в нанесении адсорбирующих слоев.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
20 I 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Э. А. Левчук, Гигрометр, авт. свид. № 160344; Бюлл. изобр., № 3 (1964).  
<sup>2</sup> D. T. Gjessing, C. Holm, T. Lanes, Electronics Letters, 3, № 4 (1967). <sup>3</sup> W. H. King jr., Research and Development, 20, №№ 4, 5 (1969). <sup>4</sup> В. В. Шулейкин, Физика моря, 1, 1933. <sup>5</sup> А. С. Монин, А. М. Яглом, Статистическая гидромеханика, «Наука», 1967. <sup>6</sup> С. И. Речмер, Авт. свид. на изобретение № 226550; Бюлл. изобр., № 29 (1968). <sup>7</sup> R. M. Mueller, W. White, Rev. Sci. Instruments, 39, № 3 (1968).