

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КОРПУСОВ  
КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С КОНДЕНСАЦИЕЙ ПАРОВ ВЛАГИ  
Е.В. Тараненко

*Дзержинский политехнический институт НГТУ им. Р. Е. Алексеева  
г. Дзержинск Нижегородской области*

Влага воздуха представляет собой основной компонент внешней среды, проникновение которого в корпус вакууммированных и газонаполненных резонаторов и других изделий приводит к резкому ухудшению их характеристик и отказам. Испытание кварцевых резонаторов газоаналитическими методами, проводимыми при обеспечении перепада общего давления, не адекватны условиям эксплуатации, характеризующимися градиентом парциальных давлений паров влаги. Эти различия на фоне неизвестной геометрии течей обуславливают различия механизмов течения газа и неопределенность в оценке герметичности. Перекрытие течей влагой делает неэффективными газоаналитические методы, однако, это не означает невозможность проникновения водяного пара через эти течи.

Кварцевые резонаторы реагируют на изменение давления, вязкости, концентрации газовой среды. Однако наибольшей чувствительностью они обладают к присоединенной массе (толщине).

Параметрический метод контроля герметичности заключается в регистрации газовой среды, проникшей через течи в корпусе, чувствительным датчиком – кварцевым пьезоэлементом. Параметром, характеризующим степень герметичности, может быть резонансная частота, динамическое сопротивление или добротность кварцевого резонатора.

Выбор параметрического метода контроля герметичности с конденсацией паров влаги предопределяется высокой чувствительностью, а так же совмещением климатических испытаний в термовлагокамере, с опрессовкой корпуса резонатора пробным веществом.

Кроме того, некоторые ответственные изделия в герметизированных корпусах специально оснащаются пьезоэлементами для непрерывной фиксации влаги за счет натекания в процессе эксплуатации и прогнозирования.

Охлаждение резонатора ниже точки росы приводит к конденсации паров влаги преимущественно на внутренней поверхности корпуса из-за различия в теплопроводности корпуса и пьезоэлемента. При последующем нагреве корпуса влага испарится и сконденсируется на поверхности пьезоэлемента, что вызовет "скачок" резонансной частоты.

Величина минимально регистрируемой течи определяется:

- количеством водяного пара, необходимого для регистрации толщины приращения пьезоэлемента,
- насыщения газовой фазы в корпусе
- и влажностью среды при герметизации

Процесс проникновения водяного пара во внутренний объем корпуса рассматривается в сочетании следующих допущений:

Для водяного пара справедливы законы идеального газа, т.к. при испытаниях давление паров воды в термовлагомере ниже точки насыщения. Условия протекания через течь – изотермические.

Не учитываются изменения проходного сечения течи, связанные с развитием дефектов, их засорением влагой, температурными расширениями.

При натекании в корпус влага находится в газовой фазе, но затем часть ее осаждается на внутренней поверхности

Толщина слоя осажденной влаги определяется из условия минимально регистрируемого значения приращения толщины (массы) пластин пьезоэлемента. Пороговая чувствительность кварцевых пьезоэлементов к приращению толщины достигает величины  $1 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-10}$  мм, а массы  $1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-11}$  г.

Расчетное понижение частоты кварцевого пьезоэлемента за счет увеличения толщины сконденсированной влаги  $\Delta h$  вычисляется по формуле

$$\frac{\Delta f}{f_n} = \Delta h \frac{\rho f_n}{\rho_k c} \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – минимально регистрируемое понижение частоты кварцевого резонатора;  $\Delta f_n$  – номинальная частота колебаний кварцевого резонатора;  $\Delta h$  – толщина слоя осажденной влаги;  $\rho_k$  – плотность кварцевых пластин;  $c$  – частотная постоянная

Анализ процесса адсорбции паров влаги в зависимости от влажности среды базируется на уравнении молекулярной адсорбции Френкеля-Халси-Хилла.

Минимально необходимое парциальное давление паров влаги для известного ухода резонансной частоты составляет

$$P = P_i \left[ 1 - \frac{q}{RT_2} \left( \frac{d\rho_a f_n^2}{\rho_e \tilde{n} \Delta f} \right)^a \right] \quad (2)$$

где  $P$  – парциальное давление водяного пара внутри корпуса при температуре  $T_1$ ;  $P_n$  – давление насыщенных паров влаги при температуре  $T_2$  и относительной влажности  $\varphi$ ;  $q$  – энергия адсорбции паров влаги;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $\rho$  – плотность влаги

Расчеты по этой формуле для кварцевых резонаторов с частотой  $f_{ном} = (1...10)$  МГц и с регистрируемым уходом частоты  $\Delta f/f_n =$  порядка  $10^{-6}$  показывают, что в корпусе необходимо создать парциальное давление влаги близкое к давлению насыщения при этой температуре.

При насыщении газовой среды корпуса парами влаги количество адсорбированных слоев молекул резко увеличивается и начинается объемная конденсация. Таким образом, конденсация паров влаги представляет собой более предпочтительный процесс для увеличения массы (приращения толщины) кварцевого пьезоэлемента. Наиболее просто процесс конденсации реализуется путем повышения величины относительной влажности до 100 % за счет понижения температуры кварцевого резонатора ниже точки росы.

При охлаждении корпуса ниже точки росы будет существовать динамическое равновесие между количеством влаги в парообразном состоянии, определяемом давлением насыщенных паров, и всей остальной частью, которая осядет на поверхности в виде капель влаги либо даже кристаллов льда.

После всех преобразований зависимость, определяющая величину минимально регистрируемой течи в корпусе кварцевого резонатора параметрическим методом контроля герметичности

$$B_{min} = \left( \frac{P_n V}{T_2} + \frac{\Delta f}{f_n^2} \cdot \frac{S \rho_k c R}{M} - \frac{P_0 V}{T_0} \right) \frac{P_a T_0}{P_1 t} \sqrt{\frac{M T_0}{M_v T_1}} \quad (3)$$

где;  $V$  – объем корпуса;  $S$  – площадь поверхности;  $M$  – молекулярная масса водяного пара;  $P_0$  – парциальное давление водяного пара при герметизации корпуса;  $T_0$  – температура воздуха при нормальных условиях;  $P_a$  – атмосферное давление;  $P_1$  – парциальное давление водяного пара в термовлагомере при температуре  $T_1$ ;  $M_v$  – молекулярная масса воздуха

Первая составляющая характеризует долю потока водяного пара, необходимую для заполнения внутреннего свободного объема корпуса кварцевого резонатора.

Вторая составляющая – долю потока водяного пара, конденсирующегося на внутренней поверхности.

Третья составляющая, со знаком "минус", характеризует долю водяного пара, находящегося в корпусе первоначально в момент герметизации.

Расчетная область регистрируемых течей достигает величины  $1 \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup>Па/с.

На рис.1 представлены результаты расчета минимальной величины течи необходимой для регистрации в определенных условиях кварцевыми пьезоэлементами.

Рис.2 позволяет оценить величину течи, необходимую для изменения резонансной частоты пьезоэлемента.

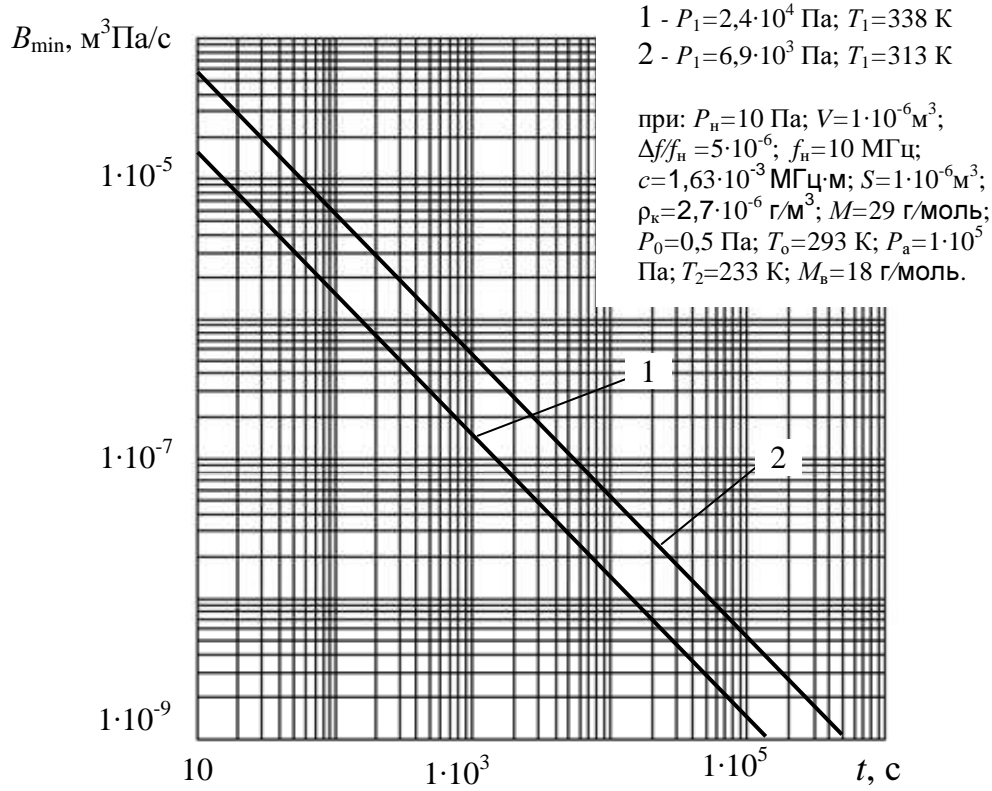


Рис.1

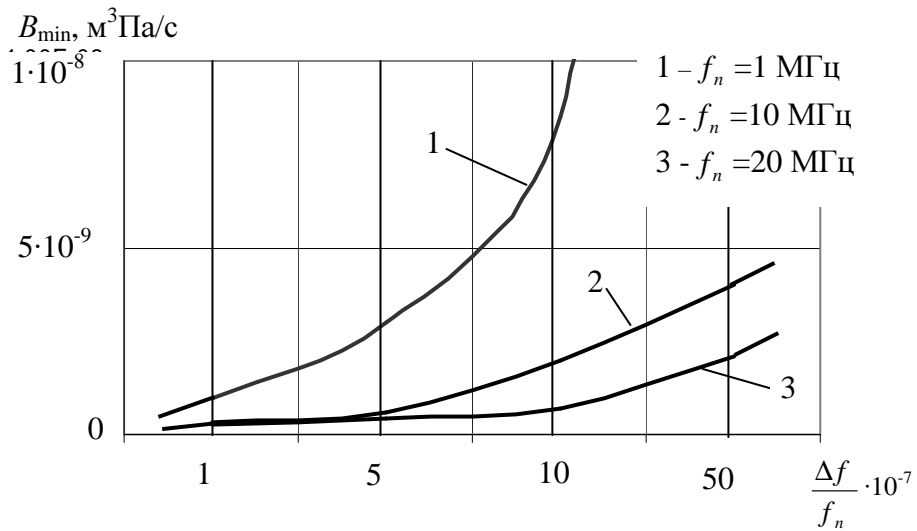


Рис.2