

© И.Г. СИМАКОВ, Ч.Ж. ГУЛГЕНОВ

gchj@rambler.ru

УДК 53

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА

АННОТАЦИЯ. Рассмотрено изменение скорости поверхностных акустических волн в слоистой системе «ниобат лития — адсорбированная вода» при вариации температуры адсорбирующей поверхности и влажности газовой среды. Исследована зависимость температурного коэффициента времени задержки акустоэлектронного устройства от степени влажности газовой среды.

SUMMARY. *Change of velocity of surface acoustic waves in layered system «niobate lithium — the adsorbed water» is viewed at a variation of temperature of adsorbing surface and humidity of gas medium. The dependence of a temperature coefficient delay of acoustoelectronic devices from a humidity degree of gas medium is explored.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Поверхностные акустические волны, температурный коэффициент времени задержки, адсорбционный слой.

KEY WORDS. *Surface acoustic wave, temperature coefficient delay, adsorption layer.*

Акустоэлектронные устройства получили широкое практическое применение в современных системах обработки радиосигналов. Основным элементом большинства акустоэлектронных устройств является линия задержки, представляющая собой подложку, по которой распространяются поверхностные акустические волны (ПАВ). Звукопровод акустоэлектронного устройства обычно изготавливается из пьезоэлектрического кристалла. На полированной поверхности пьезоэлектрической подложки — звукопровода формируют два (или более) ПАВ-преобразователя [1]. Электронные системы обработки сигналов, элементами которых являются акустоэлектронные устройства, часто работают в условиях дестабилизирующего воздействия окружающей газовой среды. На параметры акустоэлектронных устройств оказывают влияние влажность и температура внешней среды.

Под влиянием влажной газовой среды на рабочей поверхности звукопровода акустоэлектронного устройства в результате полимолекулярной адсорбции образуется тонкий слой воды. Наличие жидкого слоя на поверхности звукопровода приводит к изменению условий распространения ПАВ и, как следствие, к изменению параметров сигнала на выходе акустоэлектронного устройства.

Толщина адсорбционного слоя зависит от температуры и степени влажности парогазовой среды. Совместное влияние температуры и влажности газовой среды вносит изменения в условия распространения поверхностных акустических волн. Это проявляется в изменении затухания и скорости поверхностной волны. Кроме того, изменяются линейные размеры звукопровода. Настоящая работа посвящена исследованию комплексного влияния температуры и влажности окружающей газовой среды на температурный коэффициент времени задержки акустоэлектронного устройства.

Изменение скорости ПАВ и линейных размеров звукопровода в целом выражается в изменении такой важной характеристики акустоэлектронного устройства, как температурный коэффициент времени задержки (ТКЗ), $\zeta = \tau^{-1} \partial \tau / \partial T$ который при отсутствии адсорбционного слоя воды имеет следующий вид:

$$\zeta = \frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T} - \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} = \alpha - \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T},$$

где τ — время задержки ПАВ, L — длина звукопровода, V — скорость ПАВ. Температурный коэффициент времени задержки включает в себя температурный коэффициент изменения скорости поверхностной волны $\partial V / (V \partial T)$ и температурный коэффициент линейного расширения α [2].

Исходя из определения температурного коэффициента времени задержки акустоэлектронного устройства, для исследования его зависимости от степени влажности парогазовой среды достаточно определить изменение времени задержки акустического сигнала при вариациях температуры подложки — звукопровода.

В результате адсорбции на поверхности подложки образуется тонкий слой воды, который оказывает влияние на распространение поверхностных акустических волн. Это влияние проявляется в уменьшении скорости ПАВ, следовательно, в изменении времени задержки. Толщина адсорбционного слоя увеличивается с уменьшением температуры и при равенстве температур дистиллированной воды и подложки на поверхности последней начинается конденсация. Одновременно с уменьшением температуры увеличивается скорость ПАВ в материале подложки и уменьшаются линейные размеры звукопровода. Комплекс этих взаимосвязанных, зависящих от температуры параметров, приводит к тому, что характер изменения скорости ПАВ и времени задержки существенно усложняется.

Для измерения затухания и скорости ПАВ был использован метод, основанный на интерференции уравновешенных противофазных сигналов — прямого сигнала, подаваемого с генератора ВЧ, и сигнала, прошедшего ПАВ-линию задержки [2]. При изменении условий распространения ПАВ, например, при адсорбции воды на поверхность звукопровода, изменяется время задержки сигнала. Изменение времени задержки пропорционально изменению частоты интерференционного минимума $-\Delta f / f = \Delta \tau / \tau$.

Экспериментальное исследование проводилось в специально разработанной измерительной ячейке. В конструкции измерительной ячейки была предусмотрена возможность регулирования температуры подложки и парообразующей жидкости для поддержания заданного давления пара [2].

Относительное давление пара p/p_s в зоне адсорбции над поверхностью звукопровода зависит от температуры парообразующей жидкости T_1 и температуры адсорбирующей поверхности T_2 . Для определения относительного давления пара можно воспользоваться уравнением Клапейрона-Клаузиуса:

$$\ln \frac{p}{p_s} = -\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right),$$

где p_s — давление насыщенного пара при температуре T_2 , Q — теплота конденсации и R — газовая постоянная водяного пара. Задавая разницу температур $T_2 - T_1$, можно регулировать относительное давление пара в зоне адсорбции.

Регистрация изменения частоты интерференционного минимума производилась при следующих условиях: подложка помещалась над поверхностью дважды дистиллированной воды, температура которой поддерживалась термостатом ($T_1 = 293$ К). Температура подложки T_2 в начале эксперимента была задана выше температуры парообразующей жидкости (воды) на $T_2 - T_1 = 30$ К. В ходе эксперимента температуру подложки уменьшали до температуры парообразующей жидкости. Увеличение относительного давления пара в зоне адсорбции приводит к росту толщины адсорбционного слоя и, соответственно, к изменению частоты интерференционного минимума. При заданной разнице температур система выдерживалась в течение пяти минут. В установившемся режиме регистрировалась частота интерференционного минимума. Результаты эксперимента приведены на рис. 1.

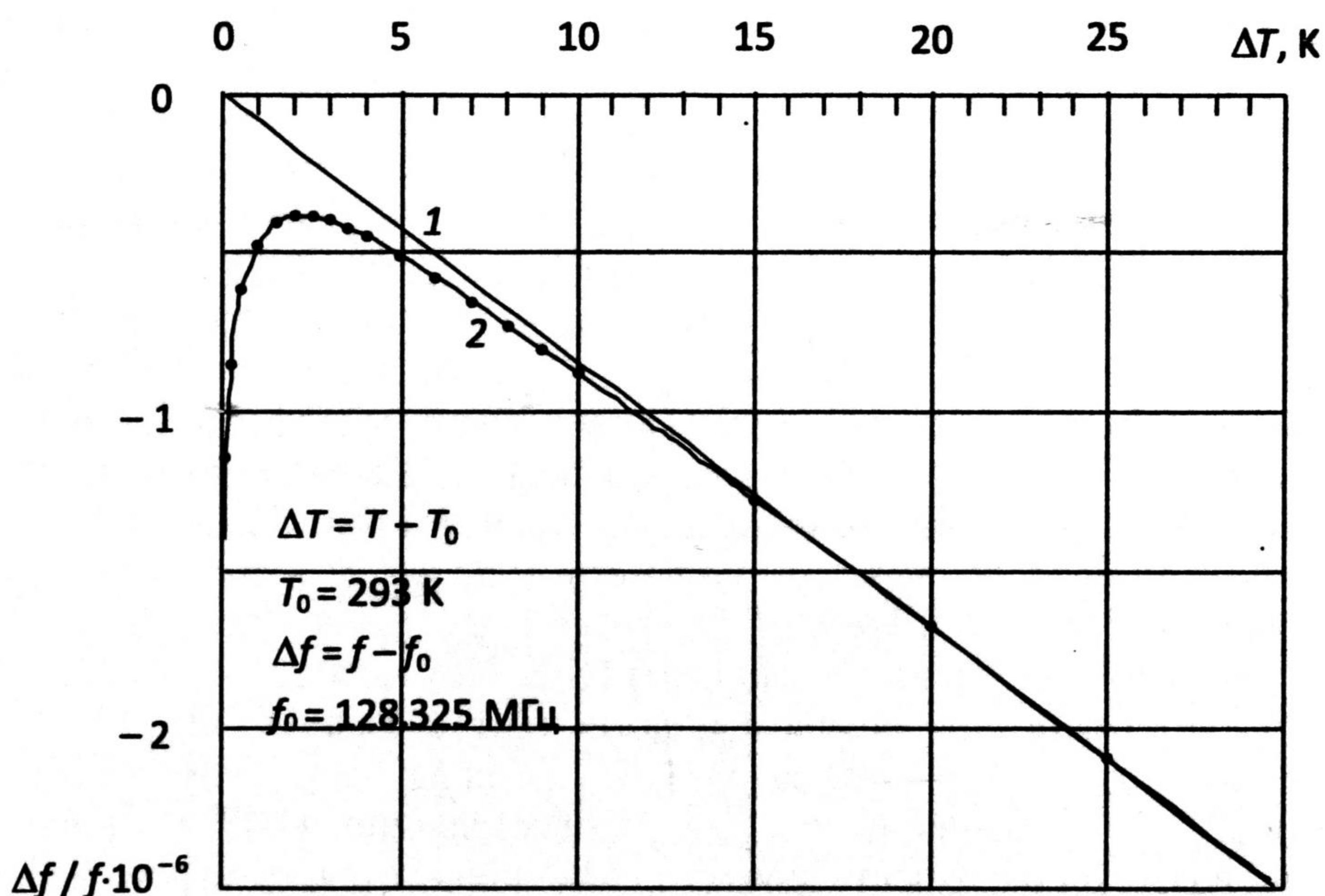


Рис. 1. Температурная зависимость изменения частоты интерференционного минимума
1 — подложки YZ-среза LiNbO₃ (адсорбционный слой отсутствует),
2 — слоистой системы ниобат лития — адсорбированная вода.

Температурная зависимость изменения частоты интерференционного минимума в случае свободной поверхности звукопровода имеет линейный характер (кривая 1). Наличие адсорбционного слоя усложняет характер данной зависимости (кривая 2), поскольку при охлаждении звукопровода на изменение времени задержки оказывают влияние два конкурирующих процесса. Во-первых, время задержки уменьшается в результате теплового увеличения скорости ПАВ и сокращения длины звукопровода. Во-вторых, время задержки увеличивается вследствие уменьшения скорости ПАВ, обусловленного увеличением толщины адсорбционного слоя с понижением температуры подложки — звукопровода.

На первом этапе понижения температуры подложки преобладает влияние процесса уменьшения времени задержки (в результате увеличения скорости) (кривая 2). При охлаждении подложки толщина адсорбционного слоя увеличивается, соответственно, уменьшается скорость ПАВ и при некоторой темпера-

туре изменение частоты интерференционного минимума достигает максимального значения. Очевидно, что в этом случае конкурирующие процессы уравновешены. Далее, на втором этапе охлаждения подложки, действие адсорбционного слоя увеличивается настолько, что преобладающее влияние оказывает процесс увеличения времени задержки (в результате уменьшения скорости).

На основе экспериментальных данных температурной зависимости изменения частоты интерференционного минимума из условия равенства $-\Delta f/f = \Delta\tau/\tau$ можно провести оценку изменения температурного коэффициента времени задержки динамически равновесной слоистой системы адсорбированная вода — ниобат лития. Для этого достаточно взять производную по температуре от функции, описывающей кривую 2 (рис. 1). Из характера экспериментальной кривой 2 (рис. 1) видно, что с ростом температуры ТКЗ слоистой системы увеличивается от отрицательного до положительного значения и стремится к значению ТКЗ материала подложки. Температура нулевого значения ТКЗ совпадает с температурой максимума кривой изменения частоты интерференционного минимума.

Используя известную зависимость относительного давления пара от температуры (например, уравнение Клапейрона-Клаузиуса) можно рассмотреть, как влияет влажность газовой среды на ТКЗ акустоэлектронного устройства. Результаты анализа представлены на рис. 2.

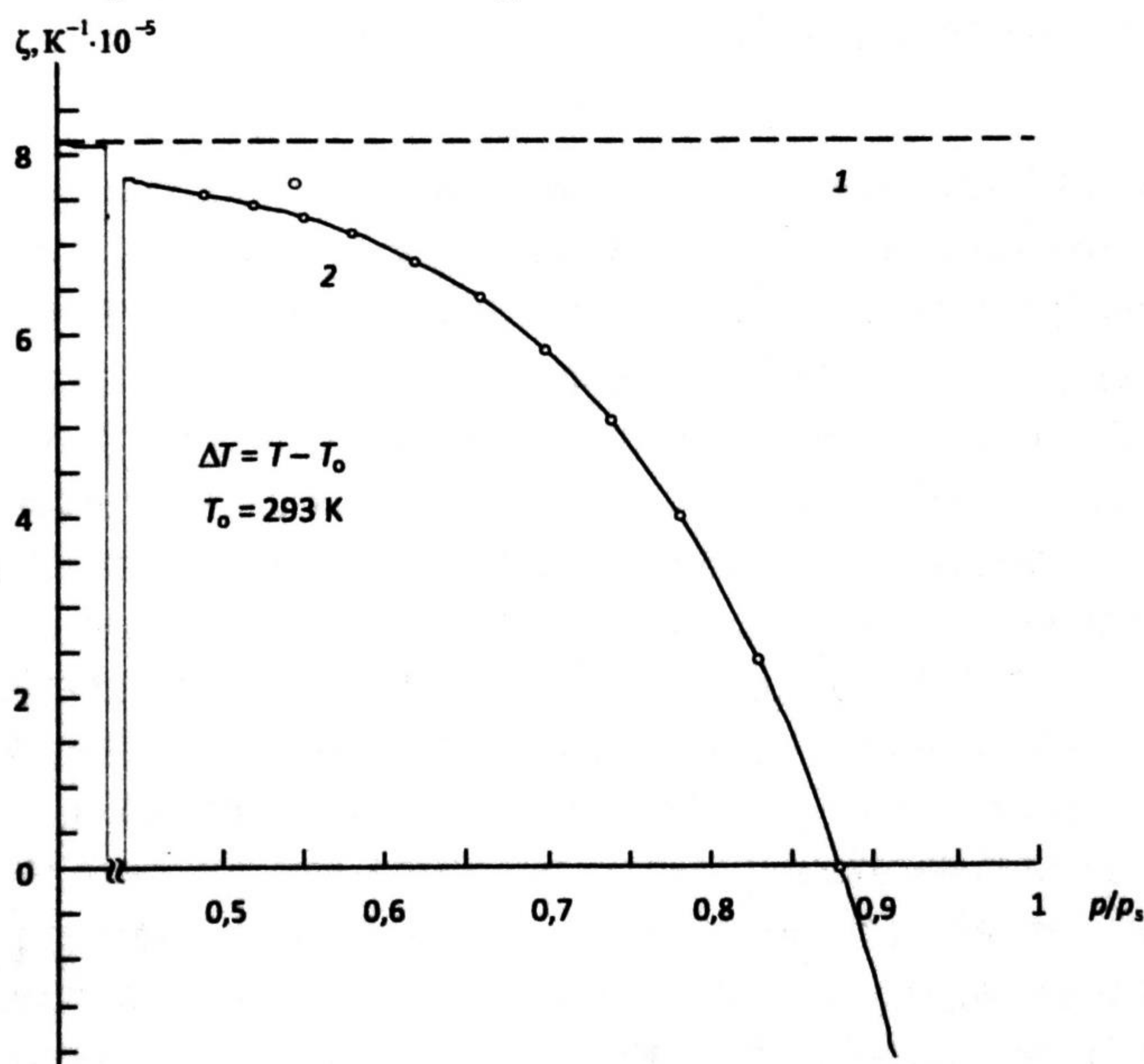


Рис. 2. Температурная зависимость ТКЗ акустоэлектронного устройства
1 — в сухой газовой среде; 2 — во влажной газовой среде

С ростом относительной влажности ТКЗ акустоэлектронного устройства уменьшается от положительного до отрицательного значения. При относительной влажности ~88% принимает нулевое значение (кривая 2, рис 2).

Таким образом, показано, что в условиях воздействия влажной газовой среды ТКЗ акустоэлектронного устройства зависит как от степени влажности, так и от температуры звукопровода этого устройства. При увеличении влаж-

ности ТКЗ акустоэлектронного устройства изменяется от положительного до отрицательного значения. Наибольшее изменение наблюдается при значениях относительной влажности, близкой к 100%. Дестабилизирующее влияние температуры и влажности окружающей газовой среды необходимо учитывать при проектировании ПАВ-устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фильтры на поверхностных акустических волнах (расчет, технология и применение): Пер. с англ. / Под ред. Г. Мэттьюза. М.: Радио и связь, 1981. 472 с.
2. Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж. Влияние адсорбированной воды на параметры поверхностных акустических волн при вариациях температуры подложки // Вестник ТюмГУ. 2009. № 6. С. 52-59.