

Скорость распространения поперечной бегущей волны в струне определяется по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot S}}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила натяжения струны;  $\rho$  – плотность материала;  $S$  – площадь поперечного сечения струны. Собственную частоту колебаний вычисляли в соответствии с выражением:

$$\nu_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v \cdot n}{2 \cdot l}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина струны;  $n$  – число колебательных узлов модели струны ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). Из уравнения (2) следует, что частота колебаний зависит от геометрических размеров струны и свойств материала, из которого она изготовлена. Поэтому ее часто называют собственной частотой, а соответствующие стоячие волны, возникающие при колебании струны, – собственными (или нормальными) колебаниями. В качестве материала для изготовления чувствительных элементов МЭМС-датчиков применяют кремний. Для проведения моделирования колебательных процессов была рассмотрена тонкая кремниевая струна с размерами  $3 \times 0,02 \times 0,02$  мм<sup>3</sup>, что соответствует значениям для микроторсионов чувствительного элемента исследуемого датчика угла наклона. Сила натяжения струны была принята (0,1–0,5) Н [1]. Результаты зависимости собственной частоты от силы ее натяжения представлены на рис. 2.

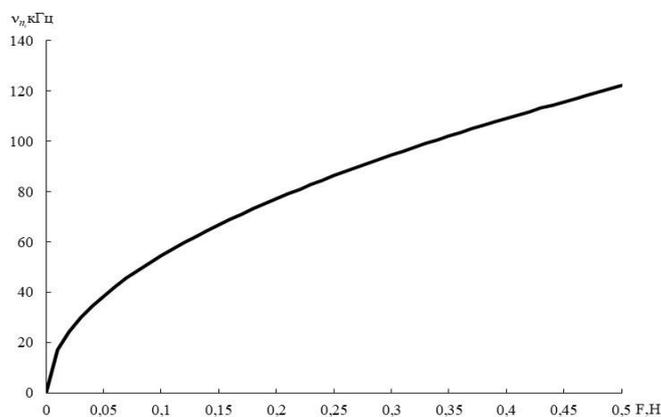


Рис. 2. Зависимость частоты собственных колебаний струны от силы натяжения

#### Литература

1. Макаров, В. Н. Изучение колебаний струны: методические указания / В. Н. Макаров, Ю. Д. Лантух. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 17 с.

УДК 62-1/-9

### РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА НА ТОНКОМ НИТРИДНОМ ПОДВЕСЕ

Студент гр. 11310121 Мицкевич А. С.

Кандидат техн. наук, доцент Таратын И. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В данной работе рассматривается конструкция датчика угла наклона с подвесом из нитрида кремния с длиной  $l = 10^5$  мкм, толщиной  $c = 1$  мкм, шириной  $b = 1000$  мкм и инерционной массой 15,4 мг для оценки малых наклонов различных сооружений, а также платформ.

Результат расчета чувствительности [1], представлен ниже.

$$S_{\theta, \gamma} = \frac{-m(ak_{11} - k_{21})}{\Delta} = 0,95, \quad (1)$$

где  $\Delta = k_{11}k_{22} - k_{12}^2 + mg(ak_{11} - k_{12}) = 1,12 \cdot 10^{-12}$  Н<sup>2</sup>,  $k_{11} = \frac{12EI}{l^3} = 2,98 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ,  $k_{12} = \frac{6EI}{l^2} = 1,49$  Н/м;  $k_{22} = \frac{4EI}{l} = 0,99$  Н/м,  $I = \frac{bc^3}{12}$  – момент инерции,  $E = 298$  ГПа [2].

Известно, что чувствительность представляет собой отношение величины реакции чувствительности элемента к внешнему воздействию, т. е. наклону основания, на котором закреплен датчик угла наклона (ДУН).

Результаты расчета изменения емкости чувствительного элемента в зависимости от угла наклона основания представлены на рис. 1.

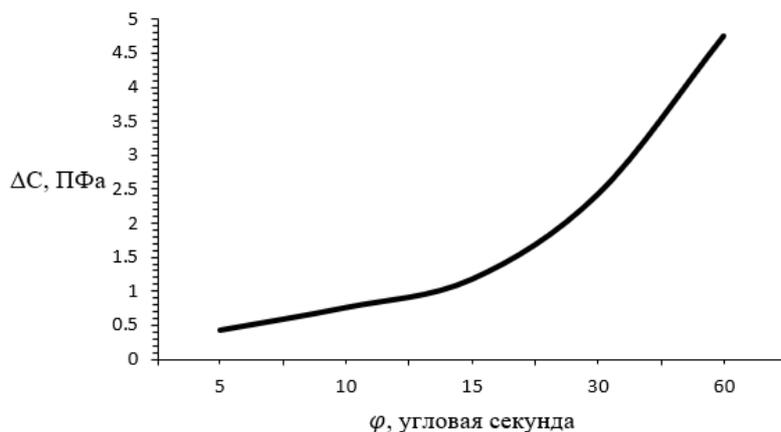


Рис. 1. Изменение емкости чувствительного элемента

Обкладки конденсатора расположены расстоянии 60 мкм от вертикальной оси ДУН.

При отклонении основания на 5 угловых секунд расчетное значение изменения емкости составляет 0,14 ПФ.

Современная комплектация позволяет проводить измерения величины емкости на уровне десятков фемтофард. Таким образом на базе предложенной конструкции ДУ датчиков угла наклона с применением соответствующей современной электронной комплектации возможно создание датчиков для измерения углов наклона на уровне единиц угловых секунд.

#### Литература

1. Распопов, В. Я. Микромеханические приборы: учебное пособие / В. Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
2. Дюжев, Н. А. Исследование механических свойств тонкопленочных мембран из оксида и нитрида кремния / Н. А. Дюжев, Е. Э. Гусев, М. А. Махиборода // Известия академии наук СССР. – № 5. – С. 103–113.

УДК 541

### КВАРК-ГЛЮОННАЯ ПЛАЗМА

Студент гр. 11310122 Назарчук К. А.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Данная исследовательская работа посвящена изучению кварк-глюонной плазмы. В работе проведен анализ литературных источников в области квантовой хромодинамики. Подробно изучено явление образования кварк-глюонной плазмы. Кварк-глюонная плазма – особое агрегатное состояние вещества. Оно возникает при экстремально высоких температурах из адронного газа. Адронный газ представляет собой газ, состоящий из мезонов и барионов, отличительной особенностью которых является малая плотность. Температура адронного газа близка к 150 МэВ. На рис. 1 представлена диаграмма адронной материи.

Превращение «адронный газ – кварк-глюонная плазма» относят к фазовому превращению первого рода [1]. Это подтверждается физическими аргументами. Хотя квантовая хромодинамика не дает определенного ответа по этому поводу. Так в ходе эксперимента, на основе которого построен график зависимости  $p-V$  изображенный на рис. 2, мы можем убедиться в том, что данное фазовое превращение аналогично превращению газ–жидкость.