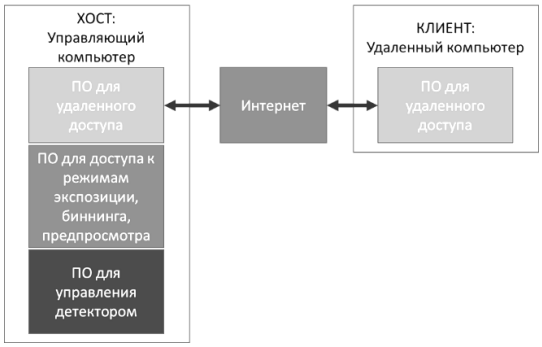

Рисунок 2 – Структурная схема удаленного доступа к средствам управления 2-D рентгеновской камерой

Для дистанционного управления детектором для доступа к режимам экспозиции, биннинга, предпросмотра разработана программа-кликер «XRay_Click-Snap». Программа-кликер разработана для предоставления удаленному пользователю ограниченного доступа к функционалу рентгеновского детектора. Программа кликер настраивает активную область программы детектора и последовательность нажатий (кликов). Программа-кликер «XRay_Click-Snap» разработана в среде программирования RadStudio 10.3, программа совместима со всеми версиями Windows, может быть запущена как система кликеров – при выборе разных областей нажатия и времени срабатывания. Программа содержит в себе следующие элементы: кнопки запуска и остановки процесса, поля ввода количество кликов и время задержки в секундах, кнопку выбора области клика. Таким образом, программа позволяет автоматизировать нажатия с заданной частотой (временем срабатывания) и количеством нажатий (кликов) в рабочей программе цифрового рентгеновского детектора.

Работа частично поддержана Министерством образования Республики Беларусь в рамках задания 3.12 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма «Техническая диагностика».

Литература

1. Balukho, I. N. Broadband X-ray source / I. N. Balukho; scientific supervisor N. N. Kolchevsky // I Международный молодежный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых: сб. материалов, Гомель, 5–7 марта 2024 г. / под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 36.

2. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Современная рентгеновская оптика–2024: тр. школы молодых ученых, Нижний Новгород, сент. 2024 г. – Нижний Новгород, 2024. – С. 67.

3. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 4. Фізіка. Матэматыка. – 2025. – № 1. – С. 48–55.

УДК 535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СПЕКТР КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены как начальные условия возбуждения, некоторые свойства материала струны, а также длина струны и сила натяжения струны влияют на спектр колебаний струны.

Ключевые слова: колебания струны, собственная частота колебаний, начальные и краевые условия, сила натяжения, координата точки приложения воздействия.

STUDY OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL PARAMETERS ON THE STRING VIBRATION SPECTRUM

Babuchenka D. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The initial excitation conditions, some properties of the string material, as well as the string length and the string tension force, are considered as influencing the spectrum of string vibrations.

Keywords: string vibrations, natural frequency of vibrations, initial and boundary conditions, tension force, coordinate of the point of application of the force.

Адрес для переписки: Бобученко Д. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: dbobuchenko@gmail.com

Колебания струны являются одним из фундаментальных явлений в физике и акустике, лежащих в основе звучания многих музыкальных инструментов. Понимание того, как физические параметры струны и начальные условия возбуждения влияют на ее колебания, имеет решающее значение для глубокого анализа тембра и воспринимаемой громкости генерируемого звука. Данная работа посвящена детальному исследованию этих зависимостей, охватывая такие факторы, как длина струны, сила натяжения, упругие свойства материала и характер возбуждения, чтобы раскрыть их комплексное влияние на спектральный состав и амплитуду

гармоник, определяющих акустические характеристики струны.

Колебания струны описываются одномерным волновым уравнением. Для однородной струны, натянутой между двумя фиксированными точками, это уравнение выглядит следующим образом [1, 2]:

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\frac{\partial^2 y}{\partial x^2},$$

где $y(x,t)$ – смещение струны в точке x в момент времени *t*, *v* – скорость распространения волны по струне. С начальными $y(x,t=0)=f(x)$, $\frac{dy}{dt}(x,t=0)=g(x)$, и краевыми условиями $y(x=0,t)=y(x=L,t)=0$. Скорость волны *v* определяется как $v=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$, где *T* – сила натяжения струны, μ – линейная плотность струны (масса на единицу длины, кг/м). Поскольку струна закреплена на концах, она может колебаться только на определенных дискретных частотах, называемых собственными частотами или гармониками. Эти частоты определяются длиной струны *L* и скоростью волны *v*: $\nu_n=n\frac{v}{2L}=n\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$, где ν_n – частота *n*-й гармоники, *n*=1, 2, 3… – номер гармоники [1, 2]. Каждая гармоника колеблется со своей амплитудой. Общее смещение струны представляет собой суперпозицию всех гармоник [1, 2]:

$$y(x,t)=\sum_{n=1}^{\infty}A_n\sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right)\sin\left(2\pi\nu_n t+\varphi_n\right),$$

$$где\ A_n=\sqrt{a_n^2+b_n^2};\ tg\varphi_n=\frac{a_n}{b_n};$$

$$a_n=\frac{2}{L}\int_0^L f(x)\,sin\left(\frac{\pi n}{L}x\right)dx;$$

$$b_n=\frac{2}{\pi n v}\int_0^L g(x)\,sin\left(\frac{\pi n}{L}x\right)dx.$$

Функция *y*(*x*,*t*) описывает движение струны, которое является первопричиной для генерации звукового давления Δ*P* в окружающей среде, но этот процесс часто имеет промежуточные звенья (резонаторы) для эффективного преобразования механической энергии колебаний в акустическую энергию звука. В упрощенном виде, если пренебречь резонатором и рассматривать только прямую передачу от струны к воздуху (для понимания принципа), амплитуда добавочного звукового давления прямо пропорциональна амплитуде скорости колебаний струны v_{max} и акустическому импедансу среды ρc: $\Delta P_{max,n}=v_{max}\rho c$, где ρ – плотность среды, *c* – скорость звука в среде. Поскольку, максимальная скорость точки струны пропорциональна амплитуде смещения и частоте то: $\Delta P_{max,n}=A_n 2\pi\nu_n\rho c$. Когда струна колеблется на нескольких гармониках, каждая из этих гармоник является потенциальным источником звуковой волны. Эти волны суммируются в воздухе, формируя сложное звуковое давление. Добавочное звуковое давление в некоторой точке пространства вблизи струны будет представлять собой сумму звуковых давлений, создаваемых каждой гармоникой струны (без учета резонатора):

$$\Delta P(x,t)=\rho c\sum_{n=1}^{\infty}A_n\,\nu_n\cos(2\pi\nu_n t+\varphi_n).$$

Добавочное звуковое давление на частоте ν_n зависит от свойств материала струны, длины струны *L* и силы натяжения *T*, как следует из представленных ниже выражений и параметров определяющих затухание колебаний. Самыми важными факторами являются начальные условия возбуждения, они более подробно рассмотрены в данной работе, и взаимодействие с резонатором.

Для описания начальных условий использовалась треугольная функция принадлежности, которая в общем виде задается аналитическим выражением:

$$\mu_\Delta(x,a,b,c)=\mu_m\begin{cases}0, x\le a\\ \frac{x-a}{b-a}, a\le x\le b\\ \frac{c-x}{c-b}, b\le x\le c\\ 0, x\ge c\end{cases}$$

и также интеграл:

$$\int_0^L\mu_\Delta(x,a,b,c)\sin kx\,dx=\frac{\mu_m}{k^2}\left\{\frac{\sin kb-\sin ka}{b-a}-\frac{\sin kc-\sin kb}{c-b}\right\},\ k=\frac{\pi n}{L}$$

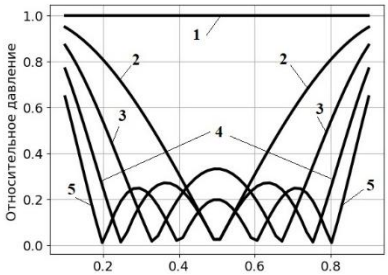

Рисунок 1 – Зависимость относительного давления от точки приложения воздействия («щипком») для различных гармоник n = 1 (*1*), 2 (*2*), 3 (*3*), 4 (*4*), 5 (*5*)

Рассмотрим случай, когда отклонение струны в начальный момент времени в некотором месте струны произведено «щипком», то есть $g(x)=0$, $f(x)=\mu_\Delta(x,0,b,L)$, $b=mL$ – координата точки приложения воздействия, *m* лежит в интервале [0,1; 0,9]. При этом максимальное добавочное звуковое давление, создаваемое каждой гармоникой струны равно:

$$\Delta P_{max,n}=\rho c\mu_m\frac{2L}{\pi n}\frac{\sin\frac{\pi n}{L}b}{b(L-b)}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

и относительное максимальное давление равно:

$$\frac{\Delta P_{max,n}}{\Delta P_{max,1}}=\frac{1}{n}\frac{\sin\frac{\pi n}{L}b}{\sin\frac{\pi}{L}b}=\frac{1}{n}\frac{\sin(\pi m n)}{\sin(\pi m)}.$$

График этой величины для различных гармоник в зависимости от места приложения воздействия представлен на рисунке 1.

Рассмотрим случай, когда отклонение струны в начальный момент времени в некотором месте струны произведено «ударом», то есть $g(x) = \mu_{\Delta}(x, a, b, c)$, f(x) = 0. «Удар» будем считать достаточно резким, так что $a = b - sL;\ c = b + sL, s < 0{,}5$ и также $b = mL$. При этом максимальное звуковое давление, создаваемое каждой гармоникой струны равно:

$$\Delta P_{max,n} = 2\rho c \mu_m \frac{1}{(\pi n)^2 s}\left(2\sin\frac{\pi n b}{L} - \sin\frac{\pi n a}{L} - \sin\frac{\pi n c}{L}\right),$$

и относительное максимальное давление равно:

$$\frac{\Delta P_{max,n}}{\Delta P_{max,1}} = \frac{1}{n^2}\frac{2\sin(\pi n m) - \sin(\pi n(m-s)) - \sin(\pi n(m+s))}{2\sin(\pi m) - \sin(\pi(m-s)) - \sin(\pi n(m+s))}.$$

График этой величины для различных гармоник в зависимости от места приложения воздействия представлен на рисунке 2, в частности видно, что не все гармоники присутствуют в колебаниях в зависимости от места приложения воздействия. Полученные формулы и приведенные рисунки позволяют определить определенные закономерности в колебаниях струны.

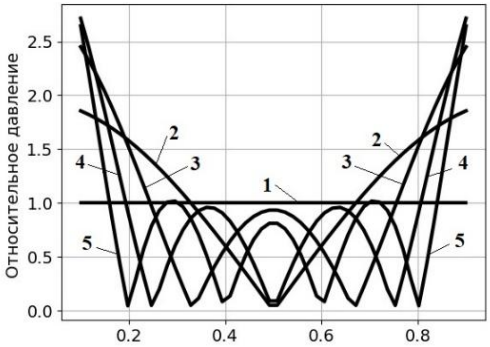

Рисунок 2 – Зависимость относительного давления от точки приложения воздействия («удар») при s = 0,1 для различных гармоник n = 1 (*1*), 2 (*2*), 3 (*3*), 4 (*4*), 5 (*5*)

Литература

1. Fletcher, N. H. The Physics of Musical Instruments / N. H. Fletcher, T. D. Rossing. – New York: Springer-Verlag, 1991. – 620 p.

2. Малых, М. Д. Уравнения математической физики / М. Д. Малых. – М., 2012. – 177 с.

УДК 004.056:061.68

ВЫБОР СИГНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С КАНАЛОМ ОПОВЕЩЕНИЯ ПО СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Бокуть Л. В.[1], Деев Н. А.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет
[2]Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрены различные варианты формирования двоичных сигналов, которые позволяют обеспечить помехоустойчивость к узкополосным и импульсным помехам в системах пожарной сигнализации. Рассмотрены шумоподобные сигналы (ШПС), сигналы с параллельно-составной структурой, а также использование различных частот для входящих в группу сигналов.

Ключевые слова: помехоустойчивость, информационная последовательность абонентов, узкополосные помехи.

THE CHOICE OF SIGNALS OF INFORMATION TRANSFER IN THE FIRE ALARM SYSTEMS WITH THE CHANNEL OF THE NOTIFICATION ON THE ALTERNATING CURRENT MAIN

Bokut L. V.[1], Deev N. V.[2]

[1]Belarusian National Technical University
[2]The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Belarus

Summary. In work various options of formation of binary signals which allow to provide noise stability to narrow-band and pulse hindrances in fire alarm systems are considered. Noise-type signals (SPS), signals with parallel and compound structure and also use of various frequencies for the signals entering into group are considered.

Keywords: noise stability, information sequence of subscribers, narrow-band hindrances.

Адрес для переписки: Бокуть Л. В., ул. Якуба Коласа, 22, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lvbokut@bntu.by

В системах пожарной сигнализации линии связи должны быть защищены от воздействия пожара и сохранять работоспособность до завершения эвакуации людей. Проблема защиты от пожара линий связи решается различными способами. В работе [1] представлен анализ известных решений этой проблемы.

Как мы осуждали ранее, «активное использование низковольтных электросетей для передачи данных в системах удаленного управления и оповещения предоставляет очевидную альтернативу различным проводным и беспроводным линиям связи» [2].