

2. Волков В.И., Кондратенко Л.М., Мироненко В.М // Активные фильтры для музыкального оборудования. Москва: Радио и связь; 2014.

Пересыпкин Данил Евгеньевич, студент гр. 6462, ст. лаборант НИЛ 54, danil.peresyarkin.1990@mail.ru

Ворох Дмитрий Александрович, научный руководитель, доцент каф. РЭС, vorokh.da@ssau.ru

УДК 621.37.037

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКА: ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Д.Е. Пересыпкин, Д.А. Ворох

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** дискретные сигналы, представление музыкального сигнала в математическом виде, получение необходимых функций, моделирование музыкальных эффектов.

Звук играет важную роль в жизни людей и его моделирование имеет широкий спектр применений. Математическое моделирование звука позволяет описать и проанализировать физические свойства и поведение звуковых волн. Но мало кто использует данный метод для научных целей.

Цель работы: разработать математические модели для объединения нескольких звуковых эффектов (реверберация, хорус, задержка и др.) в цифровых музыкальных устройствах. Эти модели позволят создавать новые комбинированные эффекты, которые могут быть использованы в радиотехнике и в проектировании музыкальных процессоров.

Начнем с того, что гитарный звук со звукозаписывающих устройств имеет сложную форму, которая состоит из множества спектральных составляющих синусоидального сигнала. Упрощенный график гитарного сигнала показан на рисунке 1. График данного сигнала описывается следующей функцией:

$$U(t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A$  – амплитуда сигнала [мВ];  $\omega$  – угловая частота [рад/с];  $\varphi$  – начальная фаза [рад].

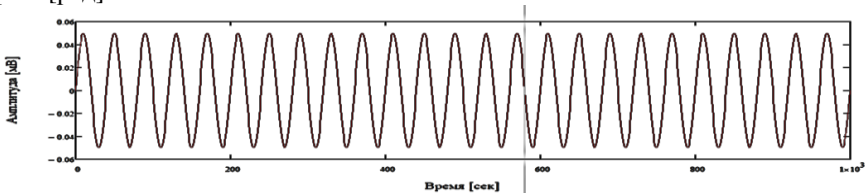


Рисунок 1 - График синусоидального сигнала снятого с звукозаписывающего устройства гитары

В логарифмическом масштабе представим дискретизированный по времени и амплитуде сигнал функции  $U(t)$ . В цифровом устройстве аналоговый сигнал преобразуется в дискретный по времени и амплитуде, что позволяет точно его моделировать и анализировать. Это дает возможность настраивать параметры сигнала для эффективного моделирования. Получим следующий график:

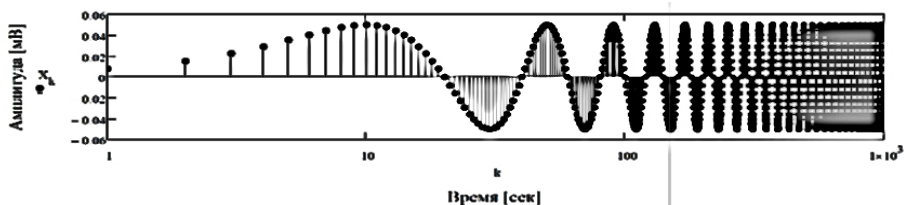


Рисунок 2 - Дискретизированный сигнал графика функции  $U(t)$  по времени

Функция дискретизированного сигнала в общем виде выглядит следующим образом:

$$X_k := A \cdot \sin\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{\Delta t}{T} + \varphi\right)$$

Попробуем путем эмпирического опыта получить график определенной формы - меандр. Разделив данную функцию на такую же функцию, но с добавленным коэффициентом перегруза в знаменателе получаем функцию дискретного сигнала с коэффициентом перегруза:

$$Y_k := A \cdot \frac{\sin\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{\Delta t}{T} + \varphi\right)}{1 + n \cdot \left(A \cdot \sin\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{\Delta t}{T} + \varphi\right)\right)}$$

Получим следующий график функции  $Y_k$ :

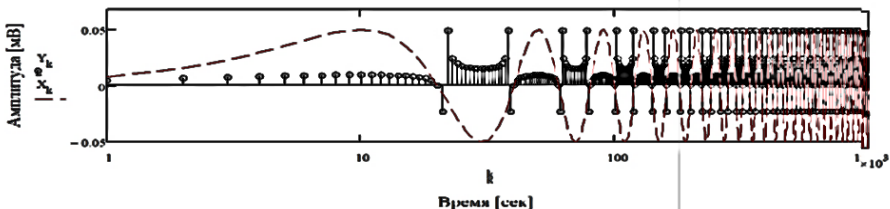


Рисунок 3 - График функции  $Y_k$ .

График  $Y_k$  отличается от  $X_k$  и похож на меандр с выраженными полуволнами в положительной области. Это указывает на наличие эффектов Fuzz (преобразование синусоиды в меандр) и Distortion (срезание

положительной и отрицательной волн синусоиды). С помощью прямого дискретного преобразования Фурье получим частотную характеристику функции  $Y_k$ :

Формула дискретного преобразования Фурье в общем виде:

$$S_n := \sum_{k=0}^K (Y_k \cdot \exp(-i \cdot n \cdot \Delta\omega \cdot k))$$

Получим следующие графики (рисунок 4, рисунок 5)

На графике видно, что на одной частоте находятся несколько гармоник. Амплитуды гармоник равномерно убывают.

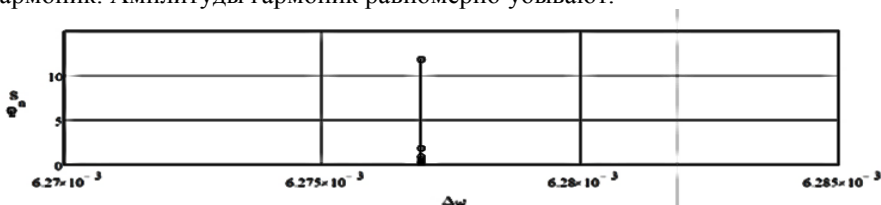


Рисунок 4 - График спектрального анализа функции  $Y_k$ .

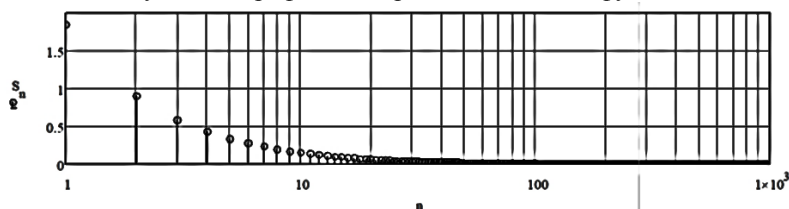


Рисунок 5 - График амплитуд гармоник функции  $Y_k$ .

Вывод: в статье представлены методы математического моделирования звука, объединяющие гитарные эффекты Fuzz и Distortion. Используя алгоритмы, были созданы модели этих эффектов, позволяющие воспроизводить их звучание без реального оборудования. Это достигается за счет математических моделей, эмулирующих поведение эффектов на основе физических законов звукообразования.

#### Список использованных источников

1. Третьяков А.Н. Цифровая обработка сигналов - фундаментальные понятия, примеры, задачи. [Текст] Учебное пособие. - М.: Наука, 2019. – 352 стр., ил.
2. Иванов П.Н. Основы цифровой обработки сигналов. // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 19, № 1. С. 65–95.

Пересыпкин Данил Евгеньевич, студент гр. 6462, ст лаборант НИЛ 54. danil.peresykin.1990@mail.ru

Ворох Дмитрий Александрович, научный руководитель, доцент каф. РЭС, vorokh.da@ssau.ru