

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ЦВИКЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ГРОМКОСТИ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ТУГОУХОГО ЧЕЛОВЕКА

*Санько Н.С.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Вашкевич М.И. – к.т.н., доцент*

Люди с особенностями слуха зачастую используют слуховой аппарат для более удобного взаимодействия с окружающим миром. Однако в слуховых аппаратах использование динамической компрессии сигнала иногда приводит к тому, что при обработке широкополосного сигнала, оцененная энергия каждой субполосы и восстановление сигнала до уровня, комфортного для восприятия, приводит к переусилению сигнала и громкость после обработки является достаточно высокой, что приводит к дискомфортному восприятию звука. Решением данной проблемы является более сложная модель оценки громкости сигнала для тугоухого человека.

Цель данной работы – модифицировать модель оценки громкости Цвикера и адаптировать её под слуховые характеристики человека с тугоухостью.

Основной идеей предлагаемого метода является оценка и сравнение уровней громкости при нормальном и при нарушенном слуховом восприятии, и на основе полученных оценок рассчитать коэффициенты усиления сигнала для восстановления до уровня, который бы был комфортен для восприятия человеку с тугоухостью.

Предлагаемый метод оценки громкости для людей с особенностями слуха разделен на этапы. В первом этапе на вход банка фильтров подаётся звуковой сигнал, после прохождения сигнала через банк, он поступает на две модели оценки громкости Цвикера (второй этап). Первая модель - для людей с особенностями слуха, вторая – для людей с нормальным слуховым восприятием. В третьем этапе производится расчёт коэффициентов усиления на основании сравненных громкостей. И в завершающем этапе рассчитывается выходной звуковой сигнал с учётом порогов восприятия человека с особенностями слуха.

На рисунке 1 представлена структурная схема модели оценки громкости для тугоухого человека.

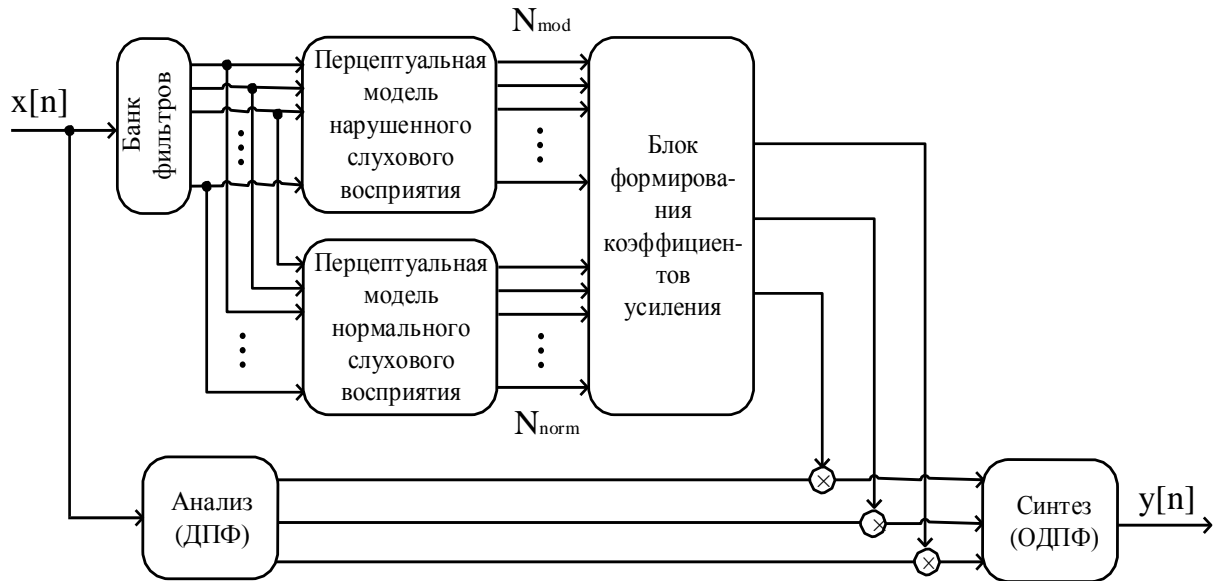


Рис. 1 - Структура модели Цвикера для оценки громкости звукового сигнала для тугоухого человека

В модели оценки громкости Цвикера для стационарного звука в качестве основы используется уровень возбуждения в зависимости от выбранной критической полосы. Общая громкость сигнала выражается путём интегрирования удельной громкости по всему диапазону. Высота звука в данной модели выражается в Барках, а измерение громкости в Сонах, либо Фонах.

Удельная громкость – громкость звука, измеренная на избранной критической полосе (Барк). Для определения зависимости данной составляющей используется закон Стивенса [1], из которого следует, что ощущение интенсивности увеличивается с ростом физической интенсивности согласно степенному закону. Это означает, что относительное изменение громкости пропорционально относительному изменению интенсивности. В модели Цвикера вместо громкости используется удельная громкость на каждой критической полосе (т.к. полная громкость рассчитывается путём интегрирования по всему диапазону), а вместо интенсивности используется уровень возбуждения, так как данная составляющая более точно описывает избирательность слуха, чем интенсивность звука. Закон Стивенса представлен в формуле 1:

$$\frac{N'}{\Delta N'} = k \frac{\Delta LE}{LE} \quad (1),$$

где  $N'$  – удельная громкость,  $\Delta N'$  – изменение удельной громкости,  $\Delta LE$  – изменение уровня возбуждения,  $LE$  – уровень возбуждения,  $k$  – постоянная показателя степени. Данная формула отображает зависимость удельной громкости, как величины ощущения, от уровня возбуждения, при возрастании которого, ощущение громкости увеличивается в степенной форме. Это говорит о том, что при росте уровня возбуждения на какой-либо из критических полос слуха, общий уровень ощущения громкости может заметно измениться, согласно степенному закону.

Корректировка уровней возбуждения с учётом передаточных характеристик уха происходит перед расчётом уровней удельной громкости [2], так как порог возбуждения в тишине не учитывает передаточные характеристики уха. Корректировка уровней производится по формуле 2:

$$LE_{\text{corr}} = LE - A0 \quad (2),$$

где  $A0$  – коэффициенты коррекции.

Математическое представление удельной громкости приведено в формуле 3:

$$N' = 0.0635 \times 10^{0.025 \times LTQ} \times [(1-s + s^{0.1 \times (LE_{\text{corr}} - LTQ)})^{0.25} - 1] \quad (3),$$

где  $\diamond\diamond\diamond$  – порог возбуждения в тишине без учёта характеристик передачи уха,  $\diamond$  – пороговый коэффициент.

На рисунке 2 представлен порог восприятия без корректировки ( $\diamond\diamond\diamond$ ).

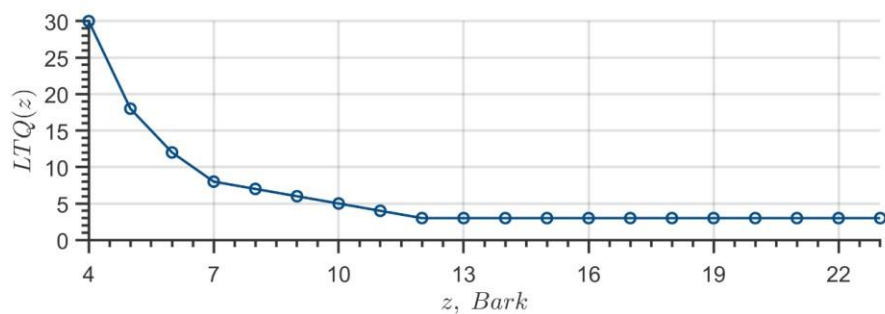


Рис. 2 – Порог восприятия слуха в тишине

На рисунке 3 представлен порог восприятия с учётом использования коэффициентов коррекции. (с коррективкой).

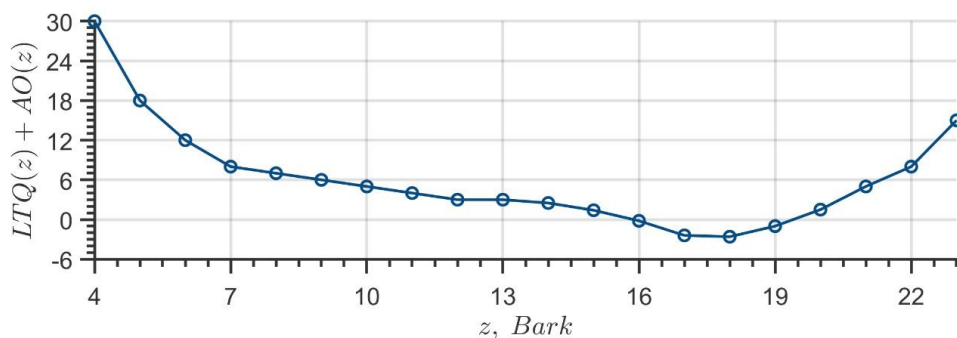


Рис. 3 – Порог восприятия слуха с учётом передаточных характеристик уха

Вывод: имея возможность смещения порогов слухового восприятия, существует возможность усовершенствования исходной модели оценки громкости Цвикера, при которой будет возможно оценивать громкость звукового сигнала и корректировать его для людей с особенностями слуха.

Список использованных источников:

1. Numerical Calculation and Experimental Research on Sound Loudness in Sound Field of Structural-Acoustic Coupling Cavity / J. Yuan [et al.] // *Technical Gazette*, 2014. – P. 1361-1369.
2. Implementing loudness models in Matlab / J. Timoney [et al.] // *Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Conference on Digital Audio Effects*, 2004.