

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗВУКОВОСПРИЯТИЯ В УЛИТКЕ ВНУТРЕННЕГО УХА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Нечипоренко А.С.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, кафедра БМЭ, т. (057) 702-13-64  
E-mail: alinanechiporenko@gmail.com

This work is devoted to design processes of audition in the cochlea. We consider the electric model and mathematical model of cochlea. The processes of transmission and acoustic signal shaping are investigational along a basilar membrane. Influence of different voice signals was investigated on the oscillating system of internal ear. The study will be used to develop processing algorithms audio signals in hearing instruments.

**Введение.** В настоящее время всё большее число людей страдают нарушениями слуха. Среди патологий слуховой системы лидирует нейросенсорная тугоухость, – ослабление слуха с сохранившимся восприятием речи. Данное заболевание не излечимо медикаментозным путем, поэтому больному назначают слухопротезирование. Слуховой аппарат должен скорректировать индивидуальные особенности слуха, характерные для данного вида патологии. Для решения данной проблемы необходимо создание специальных алгоритмов обработки речи, применение которых в цифровых слуховых аппаратах позволит повысить эффективность слухопротезирования. Наиболее перспективными являются адаптивные алгоритмы обработки звуковых сигналов, моделирующие функционирование слуховой системы [1]. Следует также отметить, что изучение процессов передачи и преобразования акустических сигналов в слуховой системе человека является необходимым для разработки кохлеарных имплантов, предназначенных для пациентов с полной утратой слуха. Таким образом, цель данной работы построить и исследовать модели улитки внутреннего уха человека в норме и при патологии, на примере нейросенсорной тугоухости.

**Сущность.** В ходе исследований были предложены электрическая и математическая модели улитки внутреннего уха. Электрическая модель улитки позволяет исследовать процессы передачи и преобразования акустического сигнала вдоль основной мембраны. Исследование проводилось с помощью программного пакета OrCAD. Электрическая модель нормально функционирующей улитки представляет собой схему из 6 колебательных контуров с соответствующими собственными частотами, а также значением добротности. Проводилось измерение времени распространения бегущей волны. Величиной времени распространения бегущей волны является общее суммарное время последовательного достижения максимальной амплитуды каждым колебательным контуром системы [2]. Были получены и проанализированы передаточные и амплитудно-частотные характеристики электрической модели улитки как в норме, так и при различных стадиях нейросенсорной тугоухости. Использование данной электрической модели улитки позволяет улучшить диагностику заболеваний слуховой системы, а также проводить качественную разработку аудиологических тестов кохлеарных имплантов.

Для исследования функционирования улитки внутреннего уха в норме, а также при различных стадиях нейросенсорной тугоухости была предложена математическая модель периферического отдела слухового анализатора с последующей её компьютерной реализацией. С помощью данной модели были исследованы особенности восприятия и отображения частотной структуры сигналов на выходе модели, а также эффекты возникающие в результате нарушения функционирования внутренних и наружных волосковых клеток. Как известно из работ Г. Бекешчи [3] во внутреннем ухе имеется три полости, заполненные жидкостью, на нижней перегородке средней полости, называемой базилярной мембраной, происходит спектральный анализ акустического сигнала. Поэтому целесообразно провести аналогию функционирования мембраны как линейки полосовых фильтров. В органе Корти, который расположен на базилярной мембране,

происходит преобразование механической энергии колебания мембраны в поток электрических импульсов. Данное преобразование происходит с участием как внутренних, так и наружных волосковых клеток, при этом поступающий сигнал подвергается нелинейной компрессии. В предлагаемой модели происходит спектральная обработка сигнала с помощью системы полосовых фильтров. Таким образом, базилярная мембрана была разделена на 42 полосы. Предполагалось, что каждая полоса связана с группой внутренних волосковых клеток, их взаимодействие описывается с помощью системы простых дифференциальных уравнений. Если на вход модели подать сложный звуковой сигнал, то на выходе линейки фильтров получаем кумулятивный спектр сигнала. В таком спектре можно выделить основной тон и его гармоники. Следует отметить, что характеристики фильтров построены с учётом специфики взаимодействия реальных волосковых клеток на базилярной мембране. Была проанализирована периодическая структура спектра сигнала, определён период и рассчитана частота колебаний. Таким образом, рассмотренная модель обладает возможностями распознавания высоты звука. В результате исследования модели, можно сделать вывод о различном характере восприятия частоты у пациентов, что является важной информацией в процессе постановки и уточнения диагноза таким больным.

Известно, что функциональное состояние наружных волосковых клеток существенно влияет на характер колебаний базилярной мембраны, под действием звукового стимула, причем не только на амплитуду, но и на остроту частотных характеристик соответствующих ее участков [4]. При нормальном функционировании наружных волосковых клеток происходит природная компрессия акустического сигнала, благодаря которой слабые звуки усиливаются, а сильные ослабляются. На формирование частотно-селективных свойств отображения сигналов на выходе периферической части слуховой системы в значительной степени оказывает влияние комплекс механизмов механо-электрической обратной связи, действующих во внутреннем ухе. Такие механизмы являются слабозащищенными от повреждающего влияния многих факторов, таких как ототоксические и наркотические вещества, громкие звуки, механические травмы. Также в модели было исследовано влияние различных звуковых сигналов на колебательную систему внутреннего уха. При подаче сигнала на вход модели в норме, на выходе получаем сигнал с ярко выраженной формантной структурой. В результате нарушения функционирования наружных волосковых клеток происходит ухудшение частотно-селективных свойств базилярной мембраны. Таким образом, на выходе модели при патологии, получаем сигнал отображения, при детальном анализе которого можно сделать вывод о нарушении формантной структуры звуков, вследствие чего ухудшается разборчивость речи. Для таких пациентов требуется специальная обработка сигнала в речевом процессоре с выделением наиболее информативных частей спектра, компенсирующая нарушение механизмов обратной связи.

**Выводы.** Перспектива дальнейших исследований в изучении тонотонической архитектоники улитки у больных нейросенсорной тугоухостью, изменении её структуры в зависимости от этиологического и патогенетического факторов происхождения имеющейся формы тугоухости. Это поможет улучшить картину по восприятию частотных параметров речи у пациентов после операции кохлеарной имплантации.

**Литература.** 1. Nelson P.A., Kimberly B.P. J. Speech and Hearing Research, 1992, 35, p.1142-1159; 2. Попов Ю.В. Электрическое моделирование процессов передачи акустического сигнала в улитке// Журн. ушн., нос., горл. Болезней. – 1996. – № 4. – с. 17-23; 3. Bekesy G. Experiments in hearing. New York, Toronto, London 1960; 4. Moore B.J. Echos. The newsletter of the Acoustical Society of America 1998; 8: 1-8.