

Е.А. ТОПЧИЙ, Р.С. ТОМАШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент

### **Моделирование слуховой системы человека для исследования отоакустической эмиссии**

Рост больных сенсоневральной тугоухостью обуславливает необходимость усовершенствования процессов диагностики и медицинских диагностических приборов для исследования слуха, а также внедрения аудиологического скрининга новорожденных. Современный алгоритм скрининга новорожденных является двухэтапным и состоит из проведения объективных аудиологических исследований – регистрации отоакустической эмиссии (ОАЭ) и регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов.

Для решения инженерных задач при проектировании прибора для диагностики слуха методом отоакустической эмиссии необходимо исследовать существующие модели-аналоги слуховой системы человека.

Передающая функция среднего уха может быть рассчитана математически, однако такое представление описывает поведение каждого элемента системы слуха не достаточно точно. В то время как электроакустические модели детально передают основные физиологические явления в среднем и внутреннем ухе, такие как потери на внутреннее трение, теплопроводность, масса и эластичность органов, которые могут быть смоделированы с помощью набора простейших электрических компонентов.

Для описания механизма слуха Дж. Звислоцки предложил выделить 6 основных компонентов слуховой системы (рис.1) и, определив основные параметры каждого из компонентов, разработал замещающую электрическую схему, которая модифицируется учеными для различных исследовательских задач. Модель, разработанная К. Гигьером и П.К. Вудлендом в части среднего уха построена по этому же принципу. Итак, модель состоит из 5 резонансных компонентов и 1 дополнительного элемента, который отражает объем ушного канала (ОУК) при измерении акустического сопротивления барабанной перепонки зондом, герметично размещенном в ушном канале.

В принципе работы этих приборов заложен механизм оценивания акустических характеристик слуховой системы и замещение этих акустических характеристик электрическими. Так, электрическим током и напряжением замещают скорость прохождения звука через секции акустического канала с различными диаметрами и звуковое давление, а индуктивностью, емкостью и сопротивлением – массу, эластичность и акустическое сопротивление соответственно.

Поскольку основной задачей исследовательской работы является изучение процессов генерации и регистрации ОАЭ наиболее точной для этой цели считается активная модель-аналог системы слуха, предложенная К. Гигьером и П.К. Вудлендом. Эта модель отображает процессы слухового тракта от наружного уха до наружных волосковых клеток внутреннего уха. Рассмотрение

отделов наружного и среднего уха важно с точки зрения передачи сигналов ОАЭ, в то время как исследование внутреннего уха, в частности наружных волосковых клеток, неотъемлемо, в виду того, что последние являются непосредственными ее генераторами. Так, слуховой проход моделируется как 4 Т-образные секции в каскаде, который является дискретизированной формой единой линии передачи. Среднее ухо моделируется как электрическая цепь на основе его функциональной анатомии (см. рис.1). Идеальный трансформатор, который соединяет среднее ухо и улитку представляет собой эффективную акустическую проводимость от барабанной перепонки к овальному окну. Улитка моделируется как неоднородная и нелинейная линия передачи, разделенная на сегменты (от ее основания к вершине) и каждый сегмент представлен резонансным R-L-C – контуром. В модели активные нелинейные источники напряжения используются для симуляции функции наружных волосковых клеток, от которых зависит чувствительность и частотная селективность улитки.

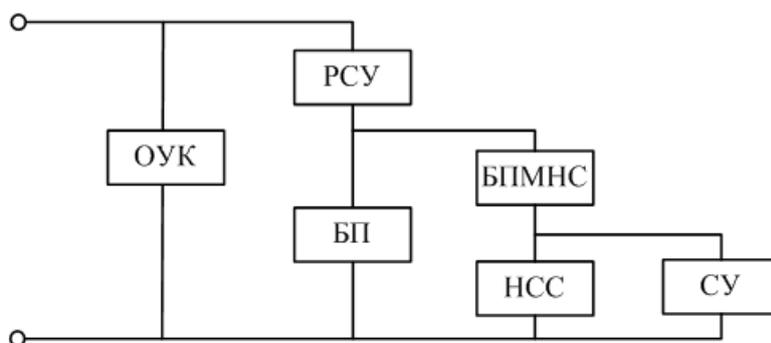


Рис. 1 – Функциональная схема электроакустических составляющих среднего и внутреннего уха. РСУ – резонаторы среднего уха; БП – движение барабанной перепонки (не синхронизированное с движением цепи слуховых косточек); БПМНС – синхронизированное движение барабанной перепонки, молоточка, наковальни и стремечка; НСС – потери энергии в наковальне-стремennom суставе; СУ – стремечко и улитка.

Исследование моделей слуховой системы человека позволяет усовершенствовать диагностику слуха методом регистрации отоакустической эмиссии. А именно: в виду того, что с ростом частоты сигнала стимула растет временная задержка генерации сигналов задержанной вызванной ОАЭ, что в свою очередь подтверждает тот факт, что источниками ОАЭ, в зависимости от частоты стимуляции, являются соответствующие характерные участки улитки. Таким образом, представляется возможной реализация картирования улитки с выявлением этих участков. Картирование же позволит существенно повысить информативность метода и уточнить основные параметры диагностики.

#### Список литературы:

1. C. Giguere and P.C. Woodland, «A computational model of the auditory periphery for speech and hearing research. I. Ascending path», J. Acoustic. Soc. Am, vol. 95, pp. 331-342, 1994.