



**COMPANY GROUP**  
**«INTELLEKT»**

**SCIENCECENTRE**

**Наука и образование в современном мире. Сборник научных трудов, выпуск 1: по материалам международной научно-практической конференции, Москва, 30 июня 2015 г.**

**Е.Л. Овчинников, К.А. Адыширин-Заде, Н.А. Ромашова,  
Т.Ю. Владимирова, Т.И. Минаева**

**ПРИКЛАДНАЯ БИОИНФОРМАТИКА В ИССЛЕДОВАНИИ СЛУХА:  
4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУХОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ ПО ЧАСТОТАМ.**

**G. von BEKESY ИЛИ W. KOENIG: КТО ПРАВ?**

*Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия*

*DOI:10.18411/sc2015-06-12-15*

**Реферат**

**Цель:** Анализ классической экспериментальной базы по слуховой рецепции для установления распределения координат слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам.

**Объекты и методы:** Исходными элементами являются результаты классической экспериментальной базы в изучении слуха по G. von Bekesy и W. Koenig с привлечением аппроксимационной модели Молчанова – Лабутина и психофизической диаграммы соответствия частоты звуков высоте тонов Stevens – Volkman. Использовались статистические методы анализа, общетеоретический подход и математическое моделирование.

**Результаты:** Представлено статистическое обоснование к установлению аналитического решения распределения слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам в соответствии с исследованиями G. von Bekesy и W. Koenig.

**Ключевые слова:** акустическая модель слуха; распределение слуховых рецепторов по частотам; модель слуха по G. von Bekesy; модель слуха по W. Koenig; диаграмма Stevens – Volkman.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Из теории Н. Helmholtz [1] о природе слуховой рецепции следует утверждение о зависимости поведения структур системы слуха от частоты звука. Наличие этой зависимости было экспериментально подтверждено многими исследователями [2, 3]. Наиболее полно установление связи было экспериментально отождествлено как модель G. von Bekesy [2] и стало весьма ценным и значимым: итоги модели "широко цитируются сегодня" [4]. Представленная нами в работах [5, 6], модель по G. Bekesy приобрела достаточно обширное поле практических приложений [7, 8]. Несколько позже были представлены исследования W.Koenig (1949) [3]. Результаты по W.Koenig (рис. 1) резко контрастировали с данными G. von Bekesy (1947), что позволило назвать распределение слуховых рецепторов по частотам по W.Koenig "новой частотной шкалой".

Однако аналитического развития исследования G. von Bekesy и W.Koenig не получили, – и "старые вопросы остаются без ответа" [9].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1. Общие замечания**

Графическое представление моделей по G. Bekesy и по W.Koenig показано на рис. 1: Модель по G. von Bekesy получила серьезное научно-теоретическое обоснование, которое представлено как полумодель в патенте [10] и статьях [11, 12], и как полная модель – в работе [13]. Модель по W.Koenig не имеет серьезного научно-теоретического обоснования и представлена лишь аппроксимационной формулой [14].

### **2. Анализ аппроксимационной модели**

В физиологии внутреннего уха была представлена (В.К. Лабутин, А.П. Молчанов, 1973) зависимость [13] координат слуховых рецепторов  $x$ , воспринимающих частоту  $f$  в виде аппроксимационной

$$f(x) = b \left( e^{\frac{a}{M}(L-x)} - 1 \right) \quad (1)$$

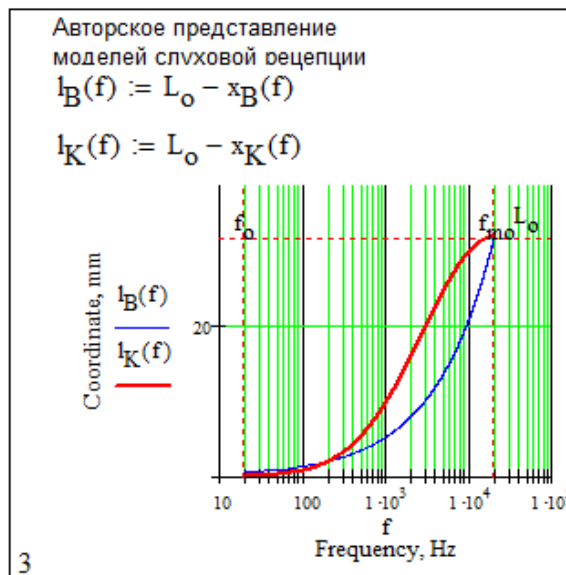
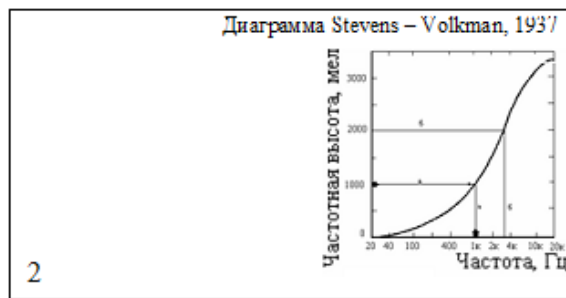
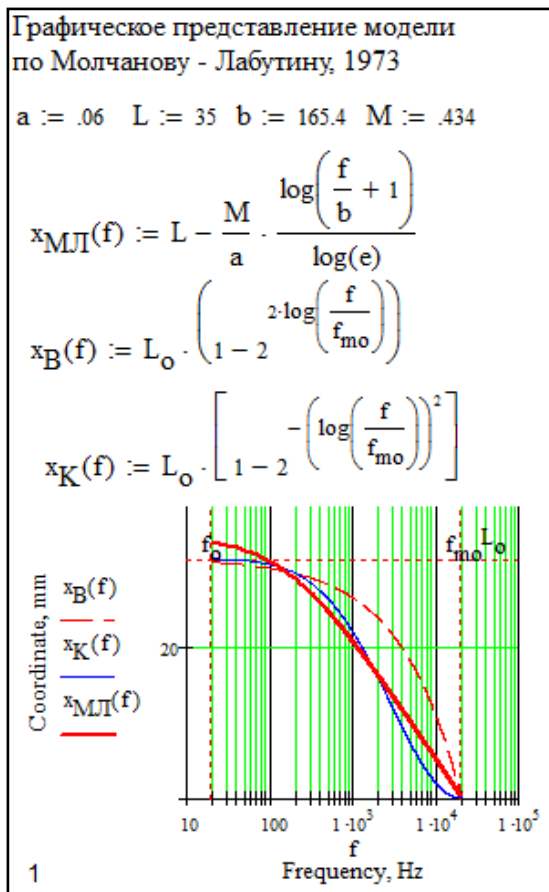


Рис. 1. Документ MathCAD: графическое представление функциональной зависимости по W.Koenig  $x_K(f)$ , сплошная линия, в сравнении с функциональной зависимостью по G.Bekesy  $x_B(f)$ , пунктирная линия.

Рис. 2. Диаграмма Stevens – Volkman [15].

Рис. 3. Документ MathCAD: результаты расчета модели Молчанова – Лабутина  $x_{ML}(f)$ , толстая сплошная линия, на фоне результатов расчета моделей по W.Koenig  $x_K$ , тонкая сплошная линия, и G.Bekesy  $x_B$ , тонкая пунктирная линия.

где ее параметрам были присвоены значения:  $b = 165.4$  Гц,  $a = 0.06$  м<sup>-1</sup>,  $L = 35$  мм,  $M = \lg(e)$ . Трудно объяснить, чем руководствовались авторы модели при их выборе, но ими не был замечен факт, что при переходе к десятичному логарифму  $\frac{M}{a \lg(e)} \approx \frac{L}{2}$ .

Тогда в (1) неподкрепленной биофизически остается величина  $b$ . той проблемой мы здесь заниматься не будем, однако укажем, что (1) своим поведением почти повторяет эксперименты W.Koenig (1949) [3]. На рис. 1 на фоне результатов G.Bekey (тонкая пунктирная линия) приведены результаты расчета по модели Молчанова – Лабутина (толстая сплошная линия) в сравнении с экспериментальными результатами W.Koenig (тонкая сплошная линия).

Различие в оценке значений координат по G.Bekey (в опытах на улитках человека) и W.Koenig (в опытах на улитках семейства кошачьих) оказалось настолько значимым, что дало повод высказать мысль о двух системах частотных шкал [2, 3].

### **ОБСУЖДЕНИЕ**

Используя осевые преобразования (рис. 3), можно видеть, что так называемая "new frequency scale" по W.Koenig есть не что иное, как диаграмма соответствия частоты тестируемых звуков психофизическому восприятию высоты тонов Stevens – Volkman [15] (рис. 2), в то время как шкала G. von Bekey основана с использованием измерения частоты звука. Следует заметить, что для полного соответствия результатам W.Koenig и диаграмме Stevens – Volkman модели Молчанова – Лабутина потребовалось кардинальное уточнение и осмысление всей экспериментальной базы по слуховой рецепции.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Получены функциональные соотношения, регулирующие распределение слуховых рецепторов по частоте звуков (модель G. von Bekey) и высоте тонов (модель W.Koenig). Это разные шкалы, и они однозначно определяют распределение слуховых рецепторов по объективным физическим признакам (частоте звука) или субъективным психофизическим признакам (высоте тона).

### **Литература**

1. Helmholtz H. Die Lehre den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn; 1863.

2. von Békésy G. Experiments in Hearing. NY – Toronto – London: McGraw-Hill Book Co.; 1960.

3. Koenig W. A new frequency scale for acoustic measurements. Bell Laboratory Record, 1949.

4. Bell A. Hearing: Travelling Wave or Resonance? PLoS Biol, 2004; 2(10). 1521 – 1523.

5. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 1. Дифференциальные уравнения в обосновании распределения слуховых рецепторов по частотам. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 112-118.

6. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 2. Дифференциальные уравнения в обосновании возрастных изменений слуха. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 118-124.

7. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: апикальная связка мембран улиткового протока – от гипотезы к обсуждению. // Сб.: [Наука и образование](#) проблемы и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 117-121.

8. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: расчет линейных параметров улиткового протока. // Сб.: [Наука и образование](#) проблемы и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 121-125.

9. Dallos P. Organ of Corti Kinematics. J. of the Association for Research in Otolaryngol, 2003; Springer-Verlag, NY, doi: 10.1007/s10162-002-3049-z.

10. Овчинников Е.Л., Ерёмина Н.В. Способ выявления биофизических процессов, реализующих механизм и биофизическую (волновую) модель слуха человека. // Патент RU № 2146878 С1 РФ от 27.03.2000 по заявке № 97111773 от 08.07.1997.

11. Овчинников Е.Л. Акустоволновая модель слуха: биофизическая концепция. Клинические приложения. // Росс. оториноларингол.– 2002. – № 3(3). – С. 71 – 76.

12. Ovchinnikov EL. Acoustic-wave hearing model, initial stage: the sound transduction in the inner ear. / E.L. Ovchinnikov, V.V. Ivanov, Yu.V. Ovchinnikova // European Science and Technology: 3rd International scientific conference, Munich, Germany, 2012, p. 524-535.

13. Ovchinnikov E.L. Acoustic-Wave Hearing Model, The Initial Stage-C: Hydroacoustics of the Inner Ear (Sound Field Formation in the Cochlea) // J. Appl. Bioinform. Comput. Biol., 2014, 3:2 , p. 1 of 6. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-9533.1000112>.

14. Лабутин В.К., Молчанов А.П. Модели механизмов слуха / В.К. Лабутин, А.П. Молчанов // М.: Энергия, 1973.

15. Stevens S.S., Volkman J., Newman E.B. Scale for the measurement of the psychological magnitude of pitch. / S.S. Stevens, J. Volkman, E.B. Newman // J. Acoust. Soc. Amer., 1937, v. 8, № 1, p. 185 – 190.

**E.L. Ovchinnikov, K.A. Adyshirin-Zade, N.A. Romashova,**

**T.Yu. Vladimirova, T.I. Minaeva**

**APPLIED BIOINFORMATICS IN RESEARCH OF HEARING:**

**4. DISTRIBUTION OF ACOUSTICAL RECEPTORS ON FREQUENCIES.**

**G. von BEKESY or W. KOENIG: WHO IS RIGHT?**

*SamSMU, Samara, Russia*

**Purpose:** The analysis of classical experimental base on acoustical reception for establishment of distribution of coordinates of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them.

**Objects and Methods:** Initial elements are results of classical experimental base in studying of hearing on G .von Bekesy and W. Koenig with attraction of approximating model of Molchanov – Labutin and the psychophysical diagram of compliance of frequency of sounds to height of tones of Stevens – Volkman.

Statistical methods of the analysis, general-theoretical approach and mathematical modeling were used.

**Results:** Statistical justification to establishment of the analytical solution of distribution of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them according to the researches G. von Bekesy and W. Koenig is presented.

**Keywords:** acoustic-wave hearing model; distribution of acoustical receptors on frequencies; hearing model on G. von Bekesy; hearing model on W. Koenig; the diagram Stevens – Volkman.