

УДК 621.055.5

В.Н. Журавлёв

## СИНЕРГИЗМ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ БИОБЪЕКТАМИ

*Аннотация. Для пояснения противоречий адекватности теорий речеслухового процесса предложена математическая модель генерации и приема энергии речевого сигнала.*

*Анотація. Запропонована математична модель генерації та прийому мовного сигналу, яка пояснює протиріччя адекватності сучасних теорій мовнослухового процесу..*

*Annotation. To explain contradictions of imperfect adequacy of speech and hearing process theories the math model of speech signal energy generation and receiving is posed.*

*Ключевые слова: Речевой сигнал, синергетический поход, турбулентная нить.*

### **Постановка задачи. Формулировка предмета и цели исследований**

Современное состояние теории и практики защиты речевого обмена технологической информацией в условиях производственных шумов и помех металлургических предприятий характеризуется отсутствием комплексного подхода к решению проблемы анализа информационных и идентификационных составляющих речевого сигнала.

В современной науке о речеслуховом процессе, фундаментальным понятием, введенным Гельмгольцем в 1863 г. [1], является «тоновая (частотная) чувствительность» слуха (Tonempfindungen, нем.). Под термином «тон» Гельмгольц понимал частотную составляющую сложного звука (волнового пакета). Ключевое гносеологическое понятие «частотная (спектральная) чувствительность» определяет головные параметры, адекватность и направление развития современных моделей речеслухового процесса.

Фундаментальные общепризнанные исследования речевой и слуховой систем человека основываются на гармоническом (в основном спектральном) представлении речевого сигнала (РС) в полосе тональных частот (ТЧ), его акустических и электрических моделях [2]. Эти модели адекватны природным процессам в качестве

---

© Журавлёв В.Н. 2010

первого приближения, в котором анализируются объемные акустические параметры РС, в частности – давление и плотность вещества канала связи. Аналитическим критерием адекватности моделей является информационное расстояние между функциями спектральной плотности мощности природного и модельного реализациями аллофонов фонем РС. Также общепризнано [3], что они не удовлетворяют критерию оценки «природности» звучания (заметное информационное расстояние) и противоречат фактам экспериментальных исследований свойств слуха [4]. Последнее, в сумме с дискретным импульсным психофизиологическим методом обработки звуковых сигналов биообъектами [5], позволяет говорить о неполной адекватности современных аналоговых гармонических моделей природному речеслуховому процессу.

Применяя синергетический подход [6], основываясь на очевидном факте переноса речевыми сигналами  $s(t)$  со скоростью звука  $v_s$  массы  $m$  вещества канала связи и фундаментальном свойстве движущейся массы обладать энергией  $E_s(t)$ , дополним понятие Гельмгольца свойством чувствительности слуха к энергии частотных составляющих сложного звука. Это дополнение не изменяет сущности существующих (работающих!) моделей и методов обработки и исследования РС, однако направляет познание и изучение речеслухового процесса как метода передачи энергии  $E(t)$  сигнала  $s(t)$  от передатчика диктора к приемнику аудитора. Данный подход обязывает применение фундаментальных понятий физики – энергии  $E$ , массы  $m$  и скорости  $v$  её перемещения в канале связи, а также основного закона – сохранения энергии, соответствие последнему будет определять адекватность моделей анализа исследуемого процесса.

Целесообразно [7], в качестве критерия второго приближения, принять отношение осреднённой скорости фактического переноса энергии информационных составляющих  $s(t)$  РС в канале связи  $\langle v_s \rangle$  к средней квадратичной скорости элементарных носителей энергии вещества канала связи  $\langle v \rangle$  – молекул воздуха, обладающих массой  $m_m$ , (где символ  $\langle \dots \rangle$  – среднее по ансамблю).

Таким образом, *объектом исследований* является физически однородная термодинамическая система канала связи (вещество

канала – воздух) передачи речевых сигналов. *Предмет исследований* – функциональные зависимости физических параметров объекта исследований, влияющие на критерий приближения  $\frac{\langle v_s \rangle}{\langle v \rangle}$ . *Целью исследований* является приближение параметра адекватности модели речеслухового процесса к природному процессу передачи информации  $I(t)$  по акустическому каналу связи. Анализ критерия приближения будем проводить, основываясь на законах синергетики [8], молекулярной физики и феноменологической термодинамики [10], т.е. будем искать общие закономерности передачи и преобразования энергии в речеслуховой системе.

#### **Основная часть. Синергетическая модель передачи энергии речевого сигнала**

Изменение параметра энергии  $E_s(t)$  в веществе канала связи во времени определяет информацию  $I(t) = f[E_s(t)]$  речевого сигнала  $s(t)$ . Основываясь на свойстве низкочастотности функции информации РС (минимальное время звучания фонемы  $T_p > 60 \text{ мс}$ ), представим речевой процесс в виде математической модели модуляции несущего сигнала  $s_g(t)$  модулирующей функцией  $I(t)$

$$\begin{aligned} s(t) &= Md[I(t), s_g(t)] \\ s_g(t) &= f(t, a_i), i \in 1 \dots n, \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $Md[...]$  – оператор модуляции,  $a_i$  – параметр, определяющий форму несущего сигнала. Современные модели речеслуховой системы рассматривают процесс речеобразования на базе понятий классической аэродинамики, т.е. анализируют, осреднённые в некотором объеме  $V$  вещества канала связи, параметры градиента скорости  $\bar{v}(x, y, z, t)$ , давления  $\bar{p}(x, y, z, t)$  и плотности  $\bar{\rho}(x, y, z, t)$ . Учитывая, что эти параметры связаны между собой и акустоэлектрические преобразователи чувствительны к изменениям градиента давления, выражение (1) можно представить в виде  $s(t) = Md[I(t), \bar{p}(x, y, z, t)]$ .

В теоретической части исследований проведён анализ метода определения объемной скорости звука, в результате которого сделан вывод, что введение энергии в акустический канал связи изменит количество степеней свободы некоторой совокупности молекул,

переносящих энергию  $E_s(t, \Delta t)$  речевого сигнала. Механизм образования дробного количества степеней свободы молекул вещества канала связи поясняют базовые положения синергетики [15], основываясь на которых предложена и доказана следующая гипотеза.

Процесс передачи энергии  $E_s(t, \Delta t) = const, t \in [\Delta t]$  по каналу связи инициирует синергетический фазовый переход первого рода, изменяющий параметры механизма движения совокупности молекул некоторой массы  $m$  (определяющей энергию  $E_s(t, \Delta t)$ ) вещества канала связи по осям  $x, y$  и  $z$ . Этот процесс объединяет («совместное действие» в терминах синергизма) две степени свободы ( $y, z$ ) векторов скоростей  $\langle \vec{v}_{x,y,z} \rangle$  теплового движения таким образом, что молекулы начинают передавать момент количества движения  $\langle \vec{M}_m(x, y, z) \rangle = m_m \langle \vec{v} \rangle \langle \vec{r} \rangle$  по спиральной траектории радиуса  $\langle r \rangle$  в направлении градиента давления  $\vec{p}(x, \Delta t)$ . Векторы количества движения  $\vec{K}(y, z)$  в плоскости  $y, z$  объединяются в один вектор момента количества движения  $\vec{M}_{y,z}(\omega_x, r, t)$ , который вращается с круговой частотой  $\langle \vec{\omega}_x \rangle$  (линейной скоростью  $\langle \vec{v}_{y,z} \rangle$ ), определяя энергию вращательного движения  $E_{s(\omega)}(t, \Delta t)$  цилиндра, радиуса  $\langle r \rangle$  с массой  $m$  и моментом инерции  $J_x$ .

Скорость звука  $\langle \vec{v}_s \rangle = \langle \vec{v}_x \rangle$  определяет энергию  $E_{s(v)}(t, \Delta t)$  поступательного движения количества движения  $\vec{K}(x, \Delta t)$ , является групповой скоростью волнового пакета  $s(t, \Delta t)$ , внутри которого существуют энергетические процессы вращательного движения, определяемые в плоскости осей  $y, z$ .

Объединяющим энергетическим параметром волнового пакета является скорость переноса количества движения  $\vec{K}_{x,y,z}(m, \langle \vec{v} \rangle, t)$ , которая постоянна (при  $T^0 = const$ ) и, в соответствии с принципом Ферма, должна соответствовать средней квадратичной скорости молекул  $\langle \vec{v} \rangle$  вещества канала связи.

Плотность потока энергии на интервале времени  $\Delta t$  постоянна, определяется потенциальной энергией градиента давления  $\vec{p}(x, t, \Delta t)$  и максимальной скоростью  $v$  её переноса в канале связи.

Обобщающие выражения для:  
закона сохранения энергии:

$$\begin{aligned} \langle E_s(t, \Delta t) \rangle &= const, t \in [\Delta t], \\ \langle E_s \rangle &= \langle E_{s(v_x)}(t, \Delta t) \rangle + \langle E_{s(\omega_{y,z})}(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle E_{s(v_x)}(t, \Delta t) \rangle &= \frac{m \langle v_x^2(t, \Delta t) \rangle}{2}, \quad , \\ \langle E_{s(\omega_{y,z})}(t, \Delta t) \rangle &= \frac{J_x(t, \Delta t) \langle \omega_x^2(t, \Delta t) \rangle}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

закона распределения энергии по степеням свободы:

$$\begin{aligned} \langle E_{s(v)}(t, \Delta t) \rangle &= \langle E_{s(\omega)}(t, \Delta t) \rangle = 0,5 \langle E_s(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle \bar{v}_x(t, \Delta t) \rangle &= const, \\ \langle \bar{\omega}_x(t, \Delta t) \rangle &= const, \quad , \\ \langle \bar{v}(t, \Delta t) \rangle &= \langle \bar{v}_x(t, \Delta t) \rangle + \langle \bar{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle \bar{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle &= \langle \bar{\omega}_x(t, \Delta t) \rangle \langle r_r(t, \Delta t) \rangle, \end{aligned} \quad (3)$$

условия формирования векторов скоростей:

$$\begin{aligned} \langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle &= \arccos \left[ \frac{1}{\langle \gamma(t, \Delta t) \rangle} \right] \\ \langle v_x(t, \Delta t) \rangle &= \langle v(t, \Delta t) \rangle \cos \langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle, \quad , \\ \langle v_{y,z}(t, \Delta t) \rangle &= \langle v(t, \Delta t) \rangle \sin \langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle$  – среднее квадратичное значение угла между векторами  $\langle \bar{v}_x(t, \Delta t) \rangle$  и  $\langle \bar{v}(t, \Delta t) \rangle$  скоростей движения молекул вещества канала связи,  $\langle \bar{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle$  – среднее квадратичное значение линейной скорости молекул.

Для анализа механизма переноса энергии  $E_s(t)$  звукового сигнала  $s(t)$  веществом канала связи рассмотрены синергетические процессы его синтеза, происходящие в передатчике речевой системы и анализа – приема в слуховой системе человека. Значения физических параметров речеслуховой системы взяты из источников, в которых наиболее полно отражены факты экспериментальных исследований, т.е. из монографий: Фланагана [3] – для процесса речеобразования и Бекеша [10] – для процесса слухового восприятия.

Полный текст работы, включающий результаты теоретических, расчетных и экспериментальных исследований расположен по адресу <http://kudin.net/r/index.php/20100204-scientific-library.html>.

### Выводы. Направления дальнейших исследований

Для пояснения противоречий и факта неполной адекватности современных теорий речеслухового процесса было рассмотрена математическая модель процесса генерации, распространения и приема энергии РС. Модель базируется на синергетическом анализе отношения осреднённой скорости фактического переноса энергии информационных составляющих  $s(t)$  РС в канале связи  $\langle v_s \rangle$  к средней квадратичной скорости элементарных носителей энергии вещества канала связи  $\langle v \rangle$  – молекул воздуха. Нами были проведены теоретические, расчетные и экспериментальные исследования, косвенно (в связи с отсутствием технических средств прямых измерений энергетических параметров сигналов турбулентного вихревого потока) доказывающие синергетические свойства речевого сигнала, которые заключаются в следующем.

1. В объеме генератора (голосовых связок) речевой системы происходит синергетический фазовый термодинамический процесс преобразования потенциальной энергии градиента давления лёгких  $\Delta \bar{p}(t, \Delta t)$  в кинетическую энергию РС – вихревого потока вещества канала связи (2 – 4).

2. Энергия  $E_s(t, \Delta t)$  выходного сигнала  $s_g(t, \Delta t)$  генератора зависит от потенциальной энергии градиента давления в лёгких  $\Delta \bar{p}(t, \Delta t)$ , максимальной скорости  $\bar{v}$  переноса момента количества движения  $\vec{M}_{x,y,z}(\bar{v}, m, \vec{r}, t)$  в веществе канала связи, детерминирована на интервале времени существования  $\Delta t$  и дискретна во времени  $t$ .

3. Информационная компонента РС дискретна и определяется энтропией  $H[s_g(t, \Delta t), T_p]$  импульсов энергии вращательного движения  $\langle E_\omega(t, \Delta t) \rangle$  вещества канала связи в объеме передатчика звука на интервале времени активности фонемы  $T_p, t \in [\Delta t] \in [T_p]$ , идентификационная – непрерывным процессом модуляции этой энергии кинемами в волноводе речевой системы.

4. Информационная компонента РС  $\langle E_\omega(t, \Delta t) \rangle = f[\omega_x(t, \Delta t)]$  переносится со скоростью звука  $\langle v_s \rangle$  в веществе канала связи

компонентой поступательного движения  $\langle E_x(t, \Delta t) \rangle = f[v_s(t, \Delta t)]$ .  
Современные акустоэлектрические преобразователи чувствительны к функции огибающей мощности компоненты поступательного движения.

5. В процессе внутриимпульсной модуляции в волноводе речевой системы некоторые составляющие РС могут перемещаться со скоростью, превышающую скорость звука, т.е. наблюдается факт модуляции угла  $\varphi_v(t, \Delta t)$ ,

$$s(t, \Delta t) = Ma \left[ I(t), s_g(m, \omega_x, \varphi_v, t, \Delta t) \right], \quad (5)$$

$$t \in (\Delta t]$$

6. Конструкция физиологических элементов системы слуха человека позволяет отдельно принимать сигналы несущие энергию как поступательного движения вещества канала связи, так и вращательного (5). Современные теории речеслухового процесса базируются на методе гармонического анализа (в полосе ТЧ) мощности огибающей акустических сигналов компоненты поступательного движения вещества канала связи.

Результатом улучшением критерия адекватности в предложенной модели второго приближения может служить факт пояснения большинства противоречий современной теории речеслухового процесса.

Результаты исследований позволяют определить новый подход к вопросам теории и практики защиты речевого канала обмена технологической информацией в условиях производственных шумов и помех металлургических предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Helmholtz Н. von, Die Lehe von Tonempfindungen. Brannschweig, Vieweg, 1863.
2. Фланаган Дж. Анализ, синтез и восприятие речи [Текст] / Дж. Фланаган. Пер. с англ./ Под ред. А.А.Пирогова. – М.: Связь, 1968. – 396 с.
3. Галунов В.И. Помехоустойчивость как системообразующий фактор речи. Проблемы и методы экспериментально-фонетических исследований [Текст] / В.И. Галунов. – СПб.: 2002, 327с.
4. Журавлев В.Н. Анализ противоречий теорий речеобразования и слуха с позиции идентификации информационных параметров и



характеристик речевых сигналов [Текст] / В.Н. Журавлев, А.Е. Архипов. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія № 2(9), – Винница. 2007, С. 180 – 185.

5. Психоакустические аспекты восприятия речи. Механизмы деятельности мозга [Текст] / Под. ред. Н.П. Бехтеревой. – М.: Наука, 1988. – 504 с.

6. Журавлев В.Н. Анализ процессов энергоинформационного обмена в системах маскирования речи [Текст] / В.Н. Журавлев. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (56). – Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. ISSN 1562-9945. С. 145 – 149.

7. Кастерин Н.П. Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики. (Доклад на особом совещании при Академии Наук 9 декабря 1936 г. Издательство Академии наук СССР Москва – 1937 г.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vixri.ru/?p=146>. – свободный. Название с экрана.

8. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах [Текст] / Г.Николис, И.Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

9. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Кинетика. Теплота. Звук [Текст] / Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Вып 4. Том 4. – М.: Мир, 1965. – 260 с.

10. Бекеша Г. Механические свойства уха. [Текст] / Г.Бекеша, В.А.Розенблит. В кн. Экспериментальная психология (том 2). – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 1035 с.