

## Алгоритм классификации речевых патологий при органических поражениях головного мозга

Н.П. Кузенков\*, В.М. Логинов\*, О.Н. Никольская\*\*, С. В. Прокопенко\*\*\*

*\*Институт Математики, Физики и Информатики Красноярского Государственного Педагогического Университета им. В.П. Астафьева*

*\*\*Енисейская Клиническая Бассейновая Больница ФГУ “Сибирского Окружного Медицинского Центра Росздрава”*

*\*\*\*Красноярская Государственная Медицинская Академия*

Поступила в редколлегию 2.09.2009

**Аннотация**—Формализация параметров речи и ее объективное описание имеют большое значение для задач классификации и диагностики речевых патологий, которые могут возникать, например, при различных органических поражениях головного мозга. В данной работе предлагается оригинальный подход к задаче диагностики и классификации таких речевых нарушений, как моторные и нейродинамические афазии и дизартрии. С этой целью речь исследуется с помощью двух методик: темпо-ритмового анализа и моделирования динамики множества точек на фазовой плоскости специального вида, к которому можно свести анализируемый звуковой сигнал. На основании результатов анализа построена диагностическая модель, позволяющая классифицировать топологию органических поражений головного мозга по характеристикам речи испытуемых.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Нарушениями речи в логопедической среде принято считать отклонения речи говорящего от существующей речевой нормы. Область, в которой рассматривают речевые нарушения, простирается от ухудшения эстетической стороны речи до полной утраты всех речевых функций. При этом несоблюдение правил языка или произношения не свидетельствует в пользу нарушений речи. Для речевых нарушений характерно их стойкое присутствие, возникнув, они не исчезают без коррекционной работы и, как правило, значительно затрудняют процесс коммуникации. Особое положение занимают нарушения речи, возникающие при органических поражениях мозга, – афазии и дизартрии. Данные патологии часто отличают как грубые нарушения речи, обуславливающие длительные периоды времени, необходимые для лечения и реабилитации, так и тяжёлые социальные последствия для больных и их близких. Методы, используемые для реабилитации, а также их эффективность определяются видом патологии. Поэтому важной составляющей логопедической и неврологической работы по восстановлению утраченных речевых функций при нейропатологиях является как их точная диагностика, так и формализованное описание речи человека, позволяющее количественно и объективно оценить изменение качества речи в процессе реабилитации.

В настоящее время существует два взаимосвязанных подхода к исследованию речи человека. В первом случае строятся модели речевого аппарата различной детализации и определяются их свойства [1–8] как на уровне определения конфигурации речевого тракта и физики звука в нем, так и на уровне описания динамики процессов в центральной нервной системе. Во втором случае исследуются свойства речи как нерегулярного одномерного сигнала с применением различных методик анализа сигналов [9–13]. При этом следует отметить, что применение нетрадиционных методов анализа сигналов с привлечением нелинейной динамики

и искусственных нейронных сетей может быть весьма эффективно в задачах классификации речи и диагностики различных речевых патологий [9, 11, 14]. В каждой задаче анализа речи можно обнаружить оба подхода, однако доминирующий определяется конечной целью исследования. В настоящей работе используется второй подход, основанный непосредственно на анализе речевого сигнала спроецированного на фазовую плоскость специального вида. В этом представлении речь человека моделируется процессом блуждания множества точек, заполняющих определенную область фазовой плоскости. На основе разработанных в работе алгоритмов предложена компьютерная система диагностики речевых патологий (вызванных органическими поражениями головного мозга) по речевому сигналу.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Известны две обширные группы речевых патологий, возникающих при органических поражениях головного мозга – это разнообразные формы афазии и дизартрии.

### 2.1. Афазии

При афазии происходит полная или частичная потеря способности понимать или употреблять устную или письменную речь. Причиной возникновения афазии служат нарушения в деятельности одной или нескольких областей коры головного мозга, вызванные инсультами, опухолями, черепно-мозговыми травмами и прочими патологическими воздействиями. В зависимости от симптомов речевых нарушений и локализации повреждённых областей мозга различают несколько видов афазий, которые принято разделять на две группы – *моторные* и *сенсорные* афазии. В рамках данной работы исследовалась группа моторных афазий, связанных с нарушением временной организации речевых высказываний.

Моторные афазии существуют в двух формах: *афферентной* и *эфферентной*.

Симптомы афферентной моторной афазии возникают при поражении вторичных зон постцентральных и нижнетеменных отделов коры головного мозга, расположенных сзади от Роландовой борозды. Данный вид патологии является одним из самых тяжёлых речевых расстройств. Для афферентной моторной афазии наиболее характерны грубые нарушения артикуляционной стороны речи. Этот вид афазии проявляет себя в виде затруднений произношения любых речевых высказываний, от фраз или слов до отдельных звуков. При этом письменная речь может быть относительно сохранной и могут наблюдаться ситуативные высказывания в рамках контекста ситуации.

Эфферентная моторная афазия развивается на фоне поражения нижних отделов премоторной зоны левого полушария (зона Брока, поля 44, 45 коры головного мозга). Для этой формы афазии характерно чрезвычайно инертное, затруднённое переключение сценариев артикуляций. Хотя человек и способен правильно произносить отдельные звуки, слоги и слова, уже при попытке воспроизведения отдельной фразы он сталкивается с непреодолимыми трудностями, вызванными воспроизведением предыдущего слова или звука и невозможностью волевого переключения артикуляций.

Помимо этого, существуют расстройства речи, вызванные поражением глубинных, подкорковых структур, при отсутствии поражений коры головного мозга. Эти речевые расстройства способны проявлять себя симптомами различных афазий, и получили в литературе названия нейродинамических речевых нарушений, подкорковых афазий, флуктуативных подкорковых дисфазий, нейродинамических афазий [15, 16].

Для нейродинамических афазий, помимо стойких речевых нарушений, характерны флуктуации их проявлений, качество выполнения предъявляемых больному заданий зависит как от сложности заданий, так и от его психической активности. Данный вид речевой патологии

способен существовать длительное время, но при проведении коррекционных мероприятий обладает значительным потенциалом к восстановлению речи.

## *2.2. Дизартрии*

Дизартрия представляет собой грубое нарушение моторной динамики, которое проявляется в устной речи в виде неразборчивости и невнятности. Определение понятия дизартрии ещё обсуждается в литературе, однако исследователи сходятся в том, что при дизартрии повреждаются подкорковые структуры мозга, осуществляющие иннервацию речевого аппарата, либо управляющие речевыми движениями. Характерной отличительной чертой при дизартрии является понимание больным написанного или печатного текста и способность к письменной речи.

Дизартрии, так же, как и афазии, разделяются на несколько типов в зависимости от симптомов и локализации поражения мозга и иногда наблюдаются одновременно с нейродинамическими афазиями. Различные исследователи дают различные определения дизартрии и классифицируют её по различным параметрам, существует несколько систем классификации дизартрии (см. [17]). В логопедической практике наиболее часто выделяют семь типов дизартрии [17]:

- бульбарная дизартрия,
- псевдобульбарная дизартрия,
- экстрапирамидная дизартрия,
- мозжечковая дизартрия,
- корковая апраксическая постцентральная дизартрия,
- корковая апраксическая премоторная дизартрия,
- мезэнцефально-диэнцефальная дизартрия.

Отработка предлагаемой методики проводилась следующим образом. Было выделено две группы испытуемых. Одна – экспериментальная для расчетов эффективных параметров используемых в моделях и определения правил классификации речи. Вторая – контрольная для оценки качества классификации и моделирования.

В первой группе были записаны 87 образцов речи людей как с синдромами дизартрий, моторных и нейродинамических афазий, так и в отсутствии патологии. Для целей классификации испытуемые нами были разделены на четыре группы. В первую группу вошли испытуемые с отсутствием речевых нарушений, изменяющих временную организацию речи, т. е. с отсутствием таких заболеваний, как афазия, дизартрия или заикание и не имеющие нарушений в деятельности центральной нервной системы как органического, так и функционального характера. Вторую группу составили больные с речевыми патологиями по типу моторных афазий, возникшие в результате органического поражения коры головного мозга. Третью и четвертую группы составляли больные с нейродинамическими афазиями и дизартриями соответственно.

## 3. КЛИНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования испытуемым предлагалось прочитать рассказ А. П. Чехова “Злой мальчик”, а затем пересказать его в привычном для испытуемого темпе. При этом речь испытуемых фиксировалась с помощью электродинамического микрофона с кардиоидной диаграммой направленности и диапазоном частот от 50 до 15000 Гц и записывалась в файл на частоте дискретизации 8 кГц. Запись производилась в помещении площадью порядка 20 м<sup>2</sup> при расстоянии между микрофоном и испытуемым 10–40 см. В записанных образцах речи удалялась постоянная составляющая сигнала и проводилась нормировка до максимального

амплитудного значения сигнала, равного 1. Из-за различия в силе голоса испытуемых уровень шумов после нормировки во всей группе записей находился в диапазоне от  $-45$  до  $-32$  дБ.

Всего было записано 130 образцов речи, из которых 28 – с ведущими нарушениями речи по типу моторных афазий, 14 – по типу дизартрий, 43 – по типу нейродинамических афазий и 45 образцов речи в норме. Все образцы речи были затем разделены случайным образом на две группы. В первой, экспериментальной группе речь преобразовывалась и по результатам преобразования строилась система классификации речевых патологий. Во второй, контрольной группе, по результатам преобразования речи контролировалась эффективность классификации патологий по схеме, полученной для первой группы. В экспериментальную группу вошли 87 образцов речи, среди которых с моторными афазиями – 15, дизартриями – 11, нейродинамическими афазиями – 22, в норме – 39. Соответственно, контрольную группу составили 43 образца речи, из которых с моторными афазиями – 13, дизартриями – 3, нейродинамическими афазиями – 21, в норме – 6.

В процессе преобразования речи определялись характерные амплитудные и временные особенности каждого речевого сигнала. Выбор таких методов анализа обусловлен тем, что при любом виде речевой патологии из перечисленных выше, происходит нарушение моторной динамики и как следствие, изменение структуры речи [15–19]. более того, такие характеристики могут обладать достаточным постоянством и характеризовать индивидуальные психические и физические особенности говорящего [19, 20, 21].

#### 4. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЧИ

##### *4.1. Темпо-ритмовый анализ*

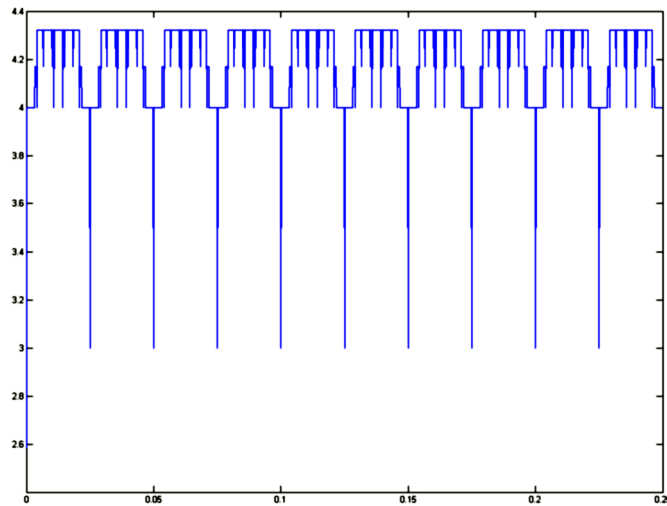
В качестве составляющей исследования к записанным образцам речи применялся темпо – ритмовый анализ [22–24]. Для этого записанный нормированный образец речи с удаленной постоянной составляющей разбивается на участки вокализации и паузы между ними и находится продолжительность каждого сегмента речи, где есть, и где нет звука. С этой целью используется скользящее окно продолжительностью 0,05 с, внутри которого на протяжении всего сигнала вычисляется среднеквадратичное отклонение. При превышении среднеквадратичным отклонением порогового значения считается, что в этот момент в речи есть звук, в противном случае считается, что положение окна совпадает с паузой. Значение продолжительности сегмента, паузы или звука, при этом округляется до ближайшего числа из эквидистантного интервала от 0,1 с до 10,0 с с шагом 0,1 с. Затем строятся два ряда значений: ряд V, состоящий из последовательных значений продолжительности речевых звуков, и ряд U, состоящий из значений продолжительности пауз. Для каждого из рядов находятся распределения речевых сегментов и аппроксимируются распределением Вейбулла

$$f = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}.$$

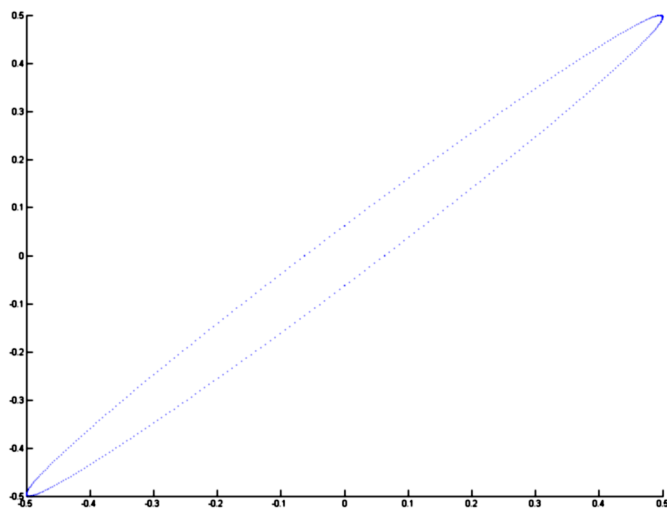
Поскольку при речевых патологиях происходит изменение темпо-ритмовой структуры речи, представляется перспективным в целях диагностики использование параметров, отражающих характерные особенности как темповой, так и ритмовой сторон речи. С этой целью, для каждого из рядов U и V, находятся четыре параметра:  $A = \alpha$  и  $B = \beta$ , среднее значение продолжительности сегмента и среднеквадратичное отклонение для разности между полученным экспериментально и аппроксимирующим распределениями.

*4.2. Энтропия сигнала*

Записанный звуковой сигнал представляет собой множество точек из эквидистантного интервала, равного продолжительности записи речи и на выбранной плоскости представляет собой неравномерно распределённое множество точек.



**Рис. 1.** График энтропии гармонических колебаний.



**Рис. 2.** Фазовый портрет сигнала при его сдвиге на 8 отсчетов.

Суть предлагаемого метода анализа речи испытуемых заключается в том, что задача изучения особенностей и характеристик звукового сигнала сводится к задаче регулярных и сто-

хастических блужданий в квадрате  $(-1, 1)$  на фазовой плоскости  $(x_n, x_{n+k})$ , где  $k$  – количество отсчётов, на которое сдвигается сигнал. При этом диагональ квадрата  $x_k = x_{n+k}$ , отвечает стационарному состоянию.

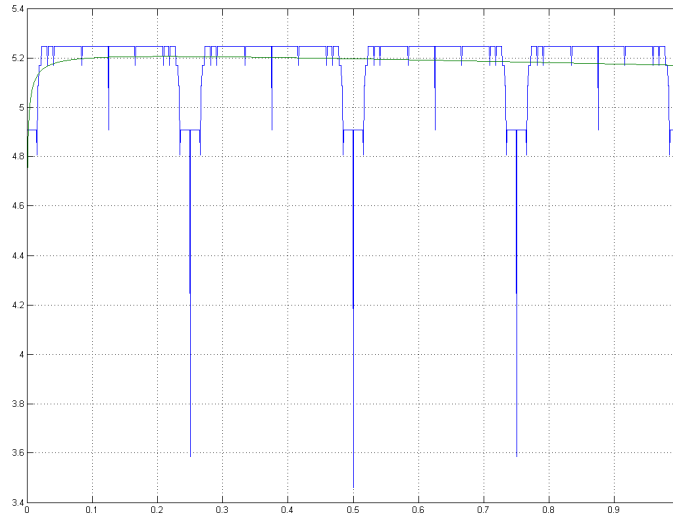


Рис. 3. Частота дискретизации 8000 Гц, отсутствие шума.

Для количественного описания динамики (физически – зависимость состояния  $x_{n+k}$  от “предыстории”  $x_n$ ) нами выбрана энтропия, характеризующая меру заполнения фазового квадрата отсчётами сигнала. Для ее подсчета фазовый квадрат разбивается на  $N * N$  квадратов и определяется вероятность  $p_i^k$  заполнения  $i$ -го квадрата для заданного  $k$ :  $p_i^k = \frac{m_{ik}}{M^k}$ , где  $m_{ik}$  – количество точек в  $i$ -м квадрате в “момент”  $k$ ,  $M^k = M - 2k$  – суммарное количество очек на плоскости в “момент”  $k$ , а  $M$  – исходное количество отсчётов сигнала. Энтропия  $S_k$ , отвечающая моменту  $k$ , определяется как:  $S_k = -\sum_{i=1}^{N^2} p_i^k \log_2 p_i^k$ . В ходе эксперимента была принята фиксированная величина  $N = 10$ , которая не подлежала изменению, поскольку с изменением разбиения фазового квадрата, также изменяется и значение энтропии. Также, с целью увеличения скорости вычислений, величина сдвига  $k$  была выбрана кратной восьми. Таким образом, для точки  $n$  и сдвига во времени  $k$  её абсцисса равна  $n$ -ому отсчёту сигнала в файле –  $(x_n)$ , а ордината –  $(x_{n+k})$ , где  $k = 8, 16, 24, 32, \dots$

Следует отметить, что поведение функции  $S_k$  отражает временные особенности сигнала и позволяет обнаруживать характерные времена периодических и стохастических сигналов по положению экстремумов функции  $S_k$ .

#### 4.2.1. Анализ модельных временных рядов

Приведём в качестве иллюстрации несколько примеров вычисления энтропии для различных модельных сигналов. Рассмотрим, прежде всего, гармонические колебания (Рис. 1, 2). На рисунках представлены график энтропии для сигнала вида  $0,5 \cos(2\pi 20t)$ , записанного с частотой дискретизации 8 кГц и один из фазовых портретов, получаемый при сдвиге сигнала на 8 отсчётов (0,001 с). В данном случае глобальный минимум на графике энтропии повторяются через половину периода сигнала.

Одной из особенностей предлагаемого метода является его высокая чувствительность к частоте дискретизации сигнала. Нами рассматривалось гармоническое колебание на частоте 2 Гц, записанное на частотах дискретизации 8000 Гц и 8003 Гц, как в отсутствие шума, так и при аддитивном гауссовом шуме со средним значением, равным нулю и мощностью -30 Дб. (Рис. 3–6). Как видно из рисунков, незначительный шум в сигнале приводит к идентичным результатам для энтропии при различных частотах дискретизации, в то время как в отсутствие шума графики энтропии различаются. В ходе исследования различных модельных сигналов было установлено, что уже при уровне шумов порядка -70 Дб графики энтропии сигнала, записанного с различными частотами дискретизации, становятся идентичными. По мере увеличения шумов в сигнале наблюдается монотонный рост энтропии, однако характер её зависимости от времени сохраняется, и положение минимумов остаётся неизменным (Рис. 3–6).

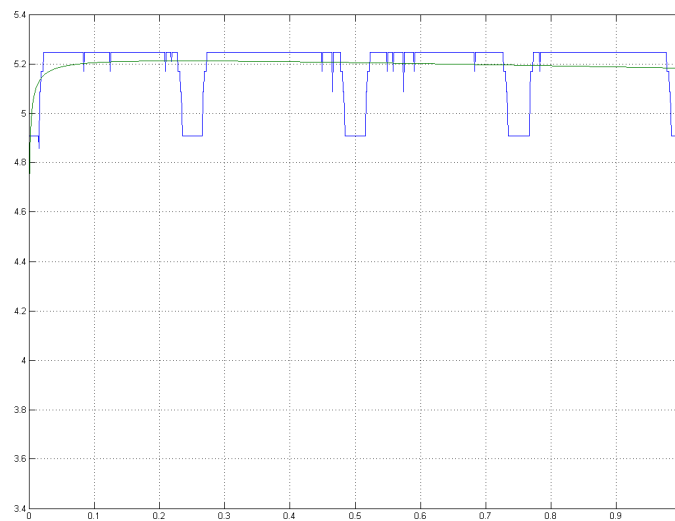
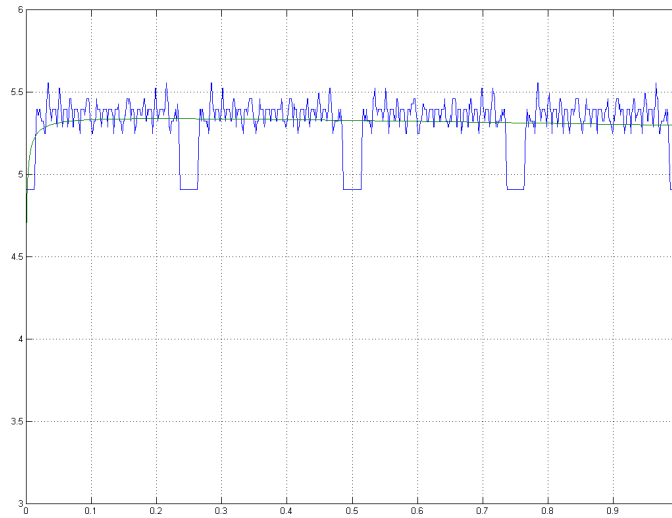


Рис. 4. Частота дискретизации 8003 Гц, отсутствие шума.

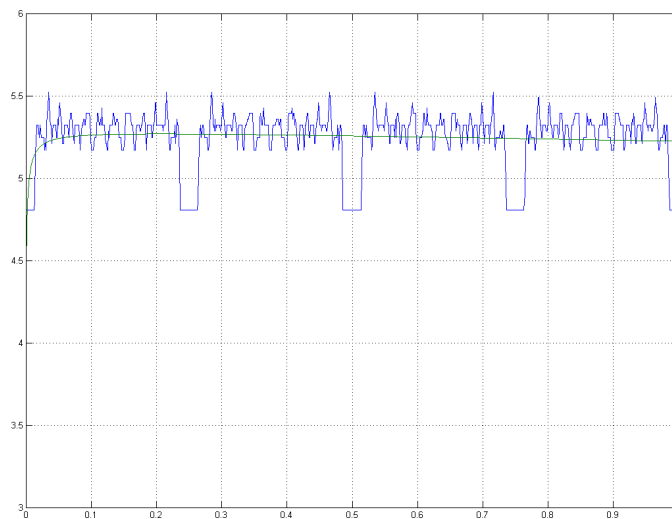
С целью иллюстрации слабовыраженных периодичностей сигнала нами был также построен модельный сигнал, состоящий из чередующихся участков нормально распределённого шума различной интенсивности. Продолжительность участков шума с большой интенсивностью подчинялась нормальному распределению с длительностью  $\tau_1 = 0,4$  с и среднеквадратичным отклонением 0,08 с, продолжительность участков шума с малой интенсивностью подчинялась нормальному распределению с длительностью  $\tau_2 = 0,7$  с и среднеквадратичным отклонением 0,14 с (Рис. 7, 8). Тенденция к упорядочиванию данного сигнала с неким характерным временем проявляет себя в виде минимума на графике энтропии с характерным временем порядка  $\tau_{хар} \approx \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) = 0,517$  с. Следует подчеркнуть, что фазовые портреты, соответствующие минимуму и максимуму энтропии соответственно в моменты времени 0,517 с и 1,14 с, заметно различаются между собой (Рис. 9, 10).

#### 4.2.2. Применение энтропии к анализу речи

На рис. 11 представлен фазовый портрет сигнала при  $k = 10000$  в случае патологии (афазия). При этом длина  $M$  последовательности звуковых сигналов составляла порядка 1400000 отсчётов.



**Рис. 5.** Частота дискретизации 8000 Гц, шум -30Дб.



**Рис. 6.** Частота дискретизации 8003 Гц, шум -30 Дб.



Поведению энтропии для всех сигналов, в том числе и для речи, характерен ряд особенностей: очень быстрый рост при малых значениях  $k$ , наличие как периодических, так и хаотических осцилляций вблизи стационарного уровня, а также в некоторых случаях наличие линейного тренда (Рис. 12).

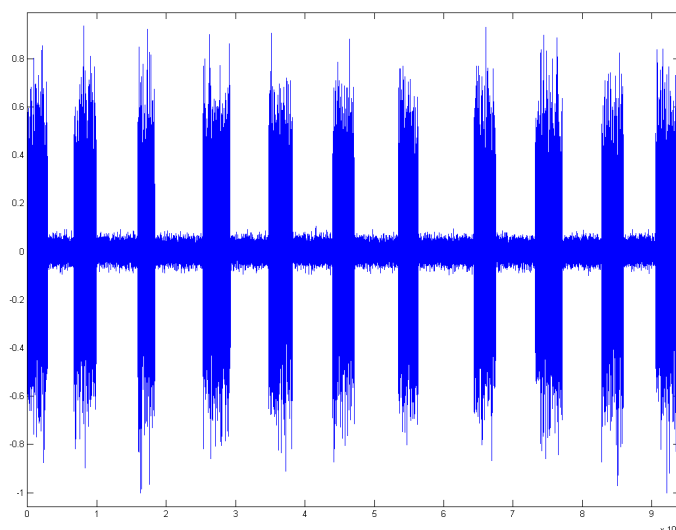


Рис. 7. Модельный сигнал, состоящий из чередования шума различной интенсивности.

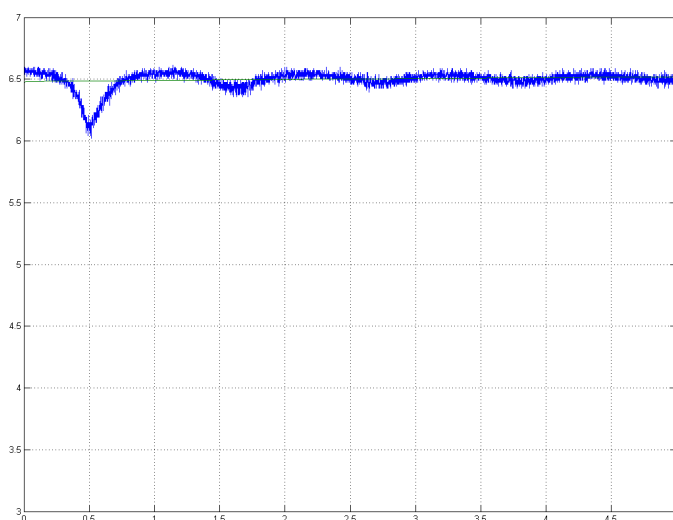
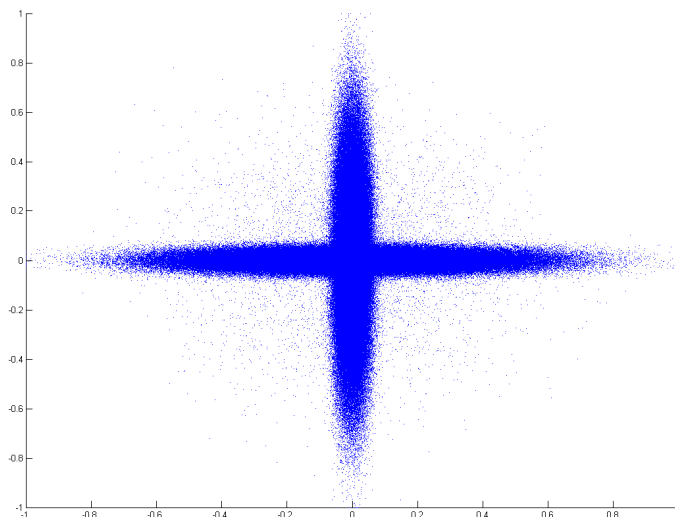


Рис. 8. Энтропия для сигнала чередования шума.

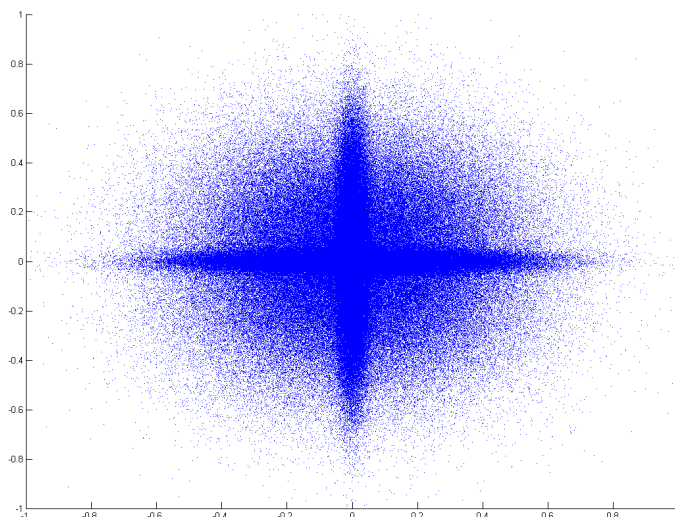
Поэтому, по результатам анализа массивов данных для моделирования энтропии  $S_k$  была использована сумма логистической и линейной зависимостей [25]:

$$S_x = B + \frac{A - B}{1 + \left(\frac{x}{g}\right)^p} + \alpha x,$$

где  $A, B, g, p, \alpha$  – константы, определяемые по экспериментальному графику энтропии  $S_x$  с использованием метода наименьших квадратов.



**Рис. 9.** Фазовый портрет для сдвига во времени на 0,517 с.



**Рис. 10.** Фазовый портрет для сдвига во времени на 1,14 с.

Помимо определения параметров модельной кривой, рассчитывалось среднеквадратичное отклонение энтропии от модельной кривой. В итоге, после нахождения параметров модели, описывающих поведение энтропии, каждый образец речи характеризуется шестью значениями параметров  $A, B, g, p, \alpha, \delta_S$ .

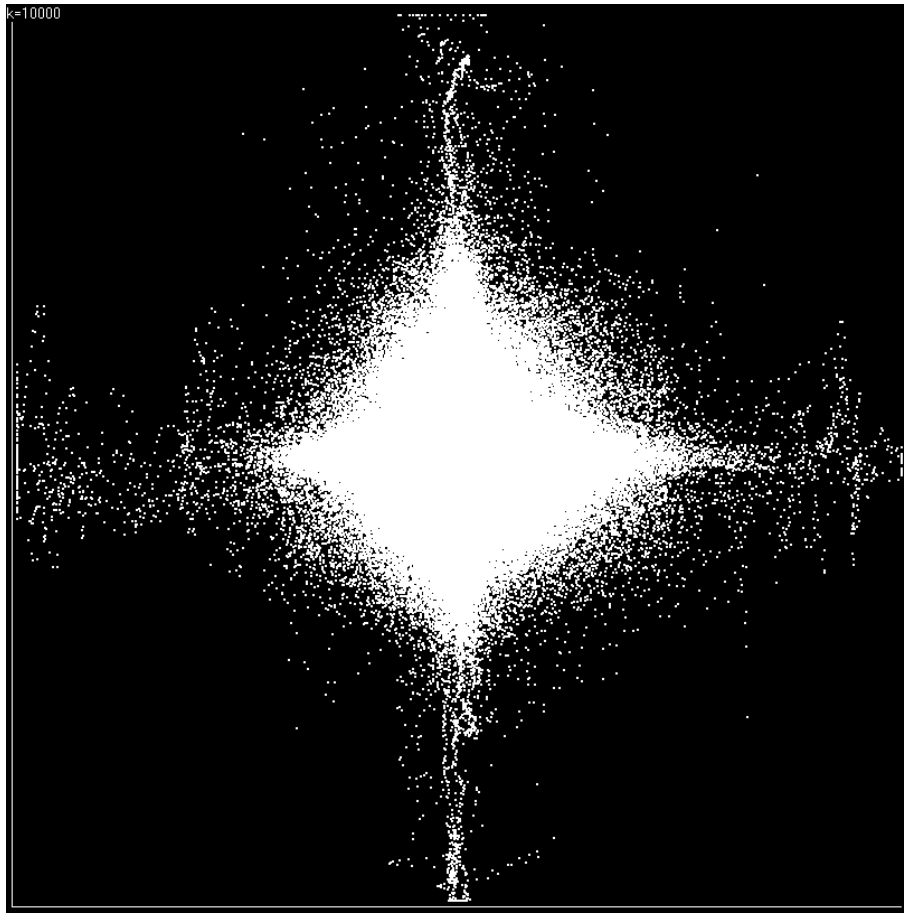


Рис. 11. Фазовый портрет речевого сигнала (афазия).

Таким образом, после темпо-ритмового анализа и построения модели энтропии, каждому образцу речи сопоставляется вектор из четырнадцати параметров, - по четыре параметра, описывающие распределения звуков и пауз и шесть параметров, описывающих поведение энтропии.

#### 4.3. Дерево состояний

На основании анализа сигналов речи испытуемых из экспериментальной группы определялись упомянутые выше параметры, которые использовались в дальнейшем для построения бинарного классификационного дерева, которое позволило определить правила классификации образцов в зависимости от ведущего типа патологии (Рис. 13).

Как видно из структуры данного дерева, в основе классификации лежат шесть параметров:  $stdD$  – среднеквадратичное отклонение для разницы между экспериментальной и аппроксимирующей функциями энтропии,  $meanU$  – среднее значение продолжительности пауз, секунд,  $B, p$  – параметры аппроксимирующей кривой для графика энтропии,  $stdDU$  – среднеквадратичное отклонение для разницы между экспериментальной и аппроксимирующей функциями энтропии.

точное отклонение между экспериментальным и аппроксимирующим распределениями пауз и  $stdDV$  – среднеквадратичное отклонение между экспериментальным и аппроксимирующим распределениями звуков.

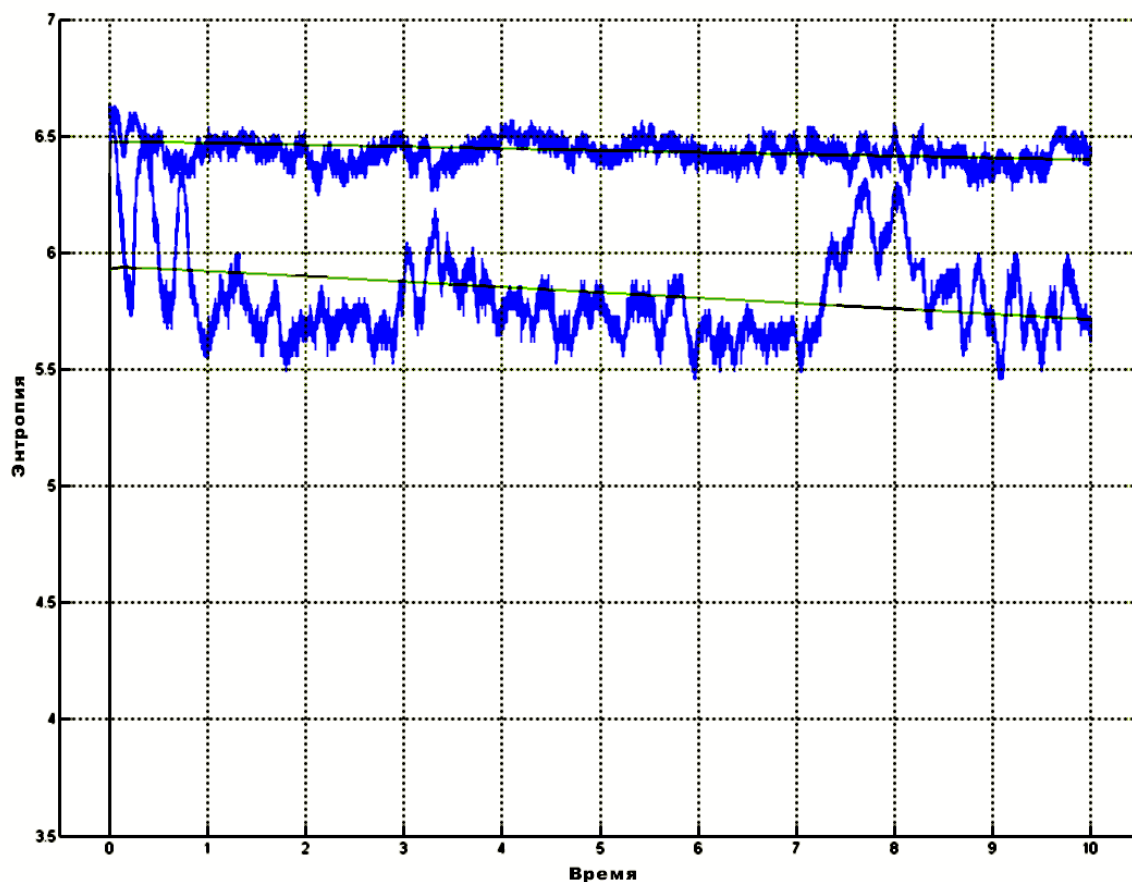
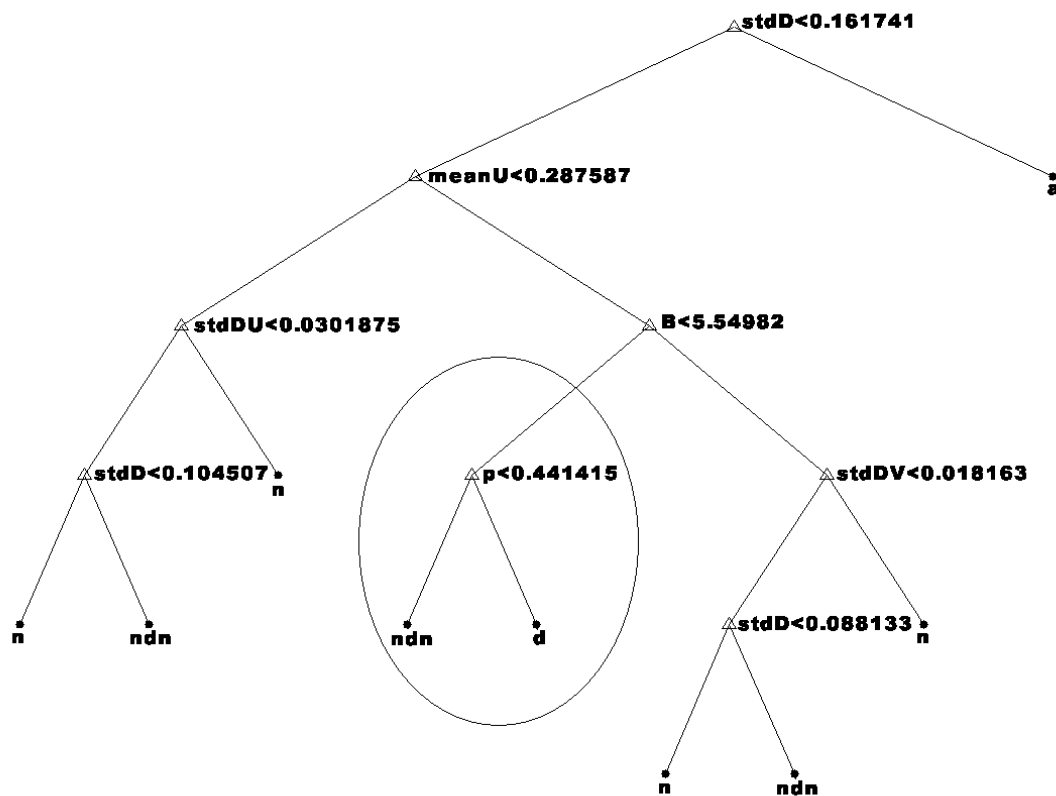


Рис. 12. энтропия речевого сигнала в норме (вверху) и при моторной афазии (внизу); характерное время является номером отсчёта, поделённым на частоту дискретизации.

Эллипсом на рисунке обведена ветвь дерева, объединяющая нейродинамические афазии и дизартрии. Объединение этих двух типов патологий в одну группу обусловлено двумя причинами: во — первых, экстрапирамидная форма дизартрии, возникающая в результате поражения экстрапирамидных ядер и их связей с другими структурами мозга и изменяющая громкость и темп речи, высоту и тембр голоса, внятность, членораздельность и мелодичность речи очень близка по форме нарушений к нейродинамической афазии, во — вторых, различные формы дизартрии и нейродинамических афазий часто наблюдаются одновременно, поскольку оба заболевания являются следствием поражения подкорковых структур мозга. Такие особенности этих заболеваний и трудности выделения дизартрий и нейродинамических афазий в «чистом» виде проявили себя в том, что многие образцы речи, где ведущей патологией являлась дизартрия, по результатам классификации совпадали с группами нейродинамических афазий. В результате полученная система классификации использовалась для определения принадлежности исследуемого образца речи к одной из трёх групп: отсутствие патологии, моторная афазия, нейродинамическая афазия или дизартрия.

Процесс диагностики на данном дереве заключается в сравнении значений параметров для анализируемого образца речи со значениями этих параметров в узлах: если значение параметра для данной речи удовлетворяет условию в узле, осуществляется переход в левую ветвь дерева, в противном случае – в правую. Операция повторяется, пока не будет достигнут один из листов дерева. Таким образом, соответствие исследуемого образца речи какому-либо листу  $n$  дерева свидетельствует о его принадлежности к группе речи в отсутствие патологии, соответствие листу  $a$  – к группе моторных афазий, листам  $ndn$  или  $d$  – к группе нейродинамических афазий или дизартрий. Например, речь, характеризующаяся вектором параметров  $stdD = 0,12$ ,  $meanU = 0,25$ ,  $stdDU = 0,028$  соответствует патологии по типу нейродинамической афазии или дизартрии.



**Рис. 13.** Правила классификации патологий ( $a$  – моторная афазия,  $ndn$  – нейродинамическая афазия,  $d$  – дизартрия,  $n$  – норма).

С целью проверки и оценки эффективности классификации, как уже упоминалось выше, была создана контрольная группа, состоящая из сорока четырёх образцов речи, среди которых были как образцы в отсутствии патологии, так и с симптомами различных заболеваний, возникших в результате нарушений деятельности центральной нервной системы различной степени тяжести. При этом образцы речи в контрольной группе не совпадали с образцами в экспериментальной группе. Речь в контрольной группе анализировалась по предложенной методике. Проводилось вычисление и моделирование энтропии и темпо-ритмовый анализ. По

вычисленным значениям параметров определялась принадлежность анализируемого образца речи к тому или иному листу дерева, построенного для экспериментальной группы.

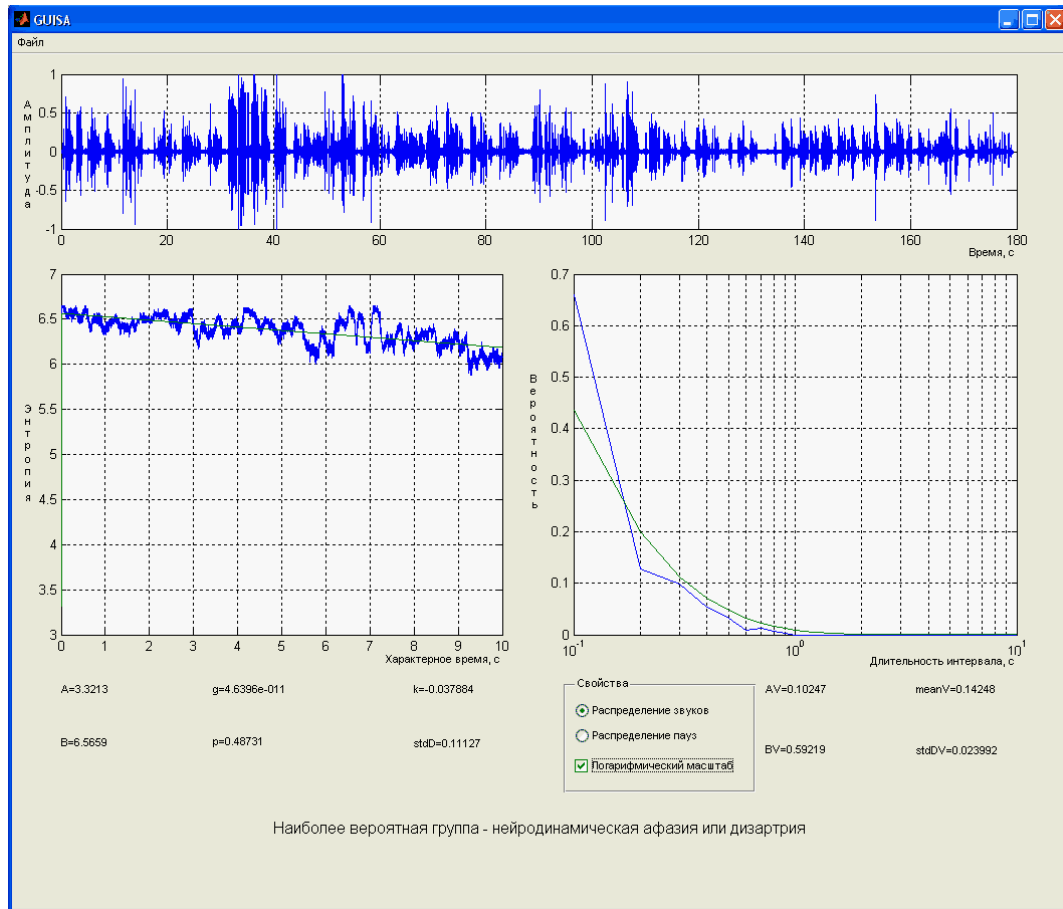


Рис. 14. 14. Результат работы программы.

В контрольной группе были зафиксированы три случая ошибочной классификации: два случая моторной афазии были занесены в группу нейродинамических афазий (дизартрий) и один случай моторной афазии после речевой реабилитации средне-лёгкой степени тяжести был занесён в группу нормы. Таким образом, эффективность диагностики на данном дереве, рассчитанная как отношение количества правильно классифицированных образцов речи к общему количеству записей в контрольной группе составила 0,93. При этом вероятность правильной классификации предъявляемого речевого сигнала лежит в пределах от 0,814 до 0,976 с уровнем значимости 0,05.

#### 4.4. Компьютерная реализация алгоритмов

Предложенные алгоритмы для анализа смысловых высказываний были реализованы в программе «Система дефектоскопии речи» с использованием среды MATLAB (Рис. 14).

Исследуемый речевой сигнал читается из файла, контролируется его минимальная продолжительность (2 минуты), из него вычитается постоянная составляющая и производится нормировка (максимальное амплитудное значения сигнала равно 1). Подготовленный таким

образом сигнал используется для вычисления и моделирования энтропии и темпо-ритмового анализа.

Таким образом, программа “Система дефектоскопии речи” обеспечивает выполнение следующих функций:

- нахождение и моделирование поведения энтропии речевого сигнала;
- темпо-ритмовый анализ и определение параметров распределений;
- графическое представление исходного сигнала, энтропии и распределений звуков и пауз;
- соотнесение исследуемого образца речи с одной из трёх групп: нормальная речь, речь с синдромом моторных афазий, речь с синдромом нейродинамических афазий или дизартрий.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предлагаемая система классификации речевых патологий позволяет определить количественные различия параметров речи при различных речевых патологиях и обнаруживает вариативность речи, как в норме, так и в присутствии патологии. Об этом свидетельствует существование нескольких узлов для какой – либо из групп, кроме моторных афазий. Образцы речи с данной патологией выделяют относительно большие значения параметра  $stdD$ , – среднеквадратичного отклонения для разницы между экспериментальным и аппроксимирующим графиками энтропии.

Следует подчеркнуть, что поскольку использованная модель аппроксимации энтропии сигнала не содержит в себе осцилляций, а экспериментальное поведение энтропии указывает на зависимость меры упорядоченности сигнала от характерных времен (на которые приходится минимум энтропии), то наибольшие отклонения экспериментального графика от аппроксимирующего следует ожидать именно в областях минимума энтропии. Положение и глубина таких минимумов указывают соответственно на характерные времена, для которых наблюдается максимальная упорядоченность сигнала, и на меру этой упорядоченности. Упорядоченность сигнала означает присутствие в сигнале определенных повторяющихся элементов (в качестве таких элементов могут выступать фиксированные звуки, слова, паузы и их комбинации). Так, к примеру, локальный минимум на экспериментальном графике энтропии свидетельствует о наличии в исследуемом сигнале элементов, которые повторяются с периодом, равным данному характерному времени. Причем эти элементы не обязаны быть похожими друг на друга.

Применительно к расположению на классификационном дереве группы моторных афазий это означает наличие в речевом высказывании своеобразных «речевых стереотипов», повторного воспроизведения отдельных фрагментов артикуляционных сценариев, повторения в речи больных каких – либо звуков, слов или пауз через одни и те же промежутки времени. А поскольку характерные времена повторения речевых элементов имеют длительности порядка нескольких секунд и способны модифицироваться на протяжении всего высказывания, определение их наличия при прослушивании такой речи является затруднительным. В этом смысле минимумы энтропии являются индикаторами, указывающими на присутствие таких элементов и целесообразность их выявления.

Подчеркнем еще раз, что формирование нескольких групп как для образцов речи с отсутствием патологий, так и для образцов с синдромом нейродинамических афазий и дизартрий указывает на вариативность речи в норме и патологии. Важными диагностическими параметрами здесь являются отклонения распределений звуков и пауз от модельных ( $stdDU$ ,  $stdDV$ ), энтропии от аппроксимирующего графика ( $stdD$ ), а также стационарный уровень энтропии ( $B$ ).

Следует отметить также, что примененная методика позволила по количественным характеристикам речи испытуемых отделить друг от друга патологии, связанные с органическими нарушениями работы коры головного мозга, поражениями подкорковых структур и норму.

Таким образом, представляется, что предложенный в работе метод анализа и классификации речи в норме и патологии имеет перспективы и может быть полезен для создания компьютерных систем диагностики и реабилитации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин В. Н. Моторная теория восприятия речи и теория внутренней модели. *Информационные процессы*, 2007, Т. 7, № 1, с. 1–12.
2. Сорокин В. Н., Макаров И. С. Обратная задача для голосового источника. *Информационные процессы*, 2006, Т. 6, № 4, с. 375–395.
3. Herzog H., Knudsen C. Bifurcations in a vocal fold model. *Nonlinear Dynamics*, vol. 7, no. 13, pp. 53–64.
4. Gómez P., Martínez R., Díaz F., Lázaro C., Álvarez A., Rodellar V., and Nietro V. Voice Pathology Detection by Vocal Cord Biomechanical Parameter Estimation. In: *Nonlinear Analyses and Algorithms for Speech Processing*, Berlin: Springer, 2005, pp. 242–256.
5. Скляр О. П. Онтогенез речи и сценарий развития её V – ритмов. Электронный журнал “*Техническая акустика*”, 2004, 7.
6. Скляр О. П. V/U – ритм речи при чтении как индикатор состояния функции речевого дыхания у заикающихся. Электронный журнал “*Техническая акустика*”, 2004, 16.
7. Скляр О. П. Фракталы и крупномасштабная временная структура акустического речевого сигнала и музыки. Электронный журнал “*Техническая акустика*”, 2004, 21.
8. Скляр О. П. Сценарий акустических ритмов речи как инструмент исследования работы мозга. Электронный журнал “*Техническая акустика*”, <http://www.ejta.org>, 2005, 34.
9. Costello D. A., Little M. A., McSharry P. E., Moroz I. M., Roberts S. J. Exploiting Nonlinear Recurrence and Fractal Scaling Properties for Voice Disorder Detection, [precedings.nature.com/documents/326/version/1/files/npre2007326-1.pdf](http://precedings.nature.com/documents/326/version/1/files/npre2007326-1.pdf).
10. Landini L., Manfredi C., Positano V., Santarelli M.F., Vanello N. Non-linear prediction for oesophageal voice analysis. *Medical Engineering & Physics*, 2002, vol. 24, pp. 529–533.
11. Gavidia-Ceballos L., Hanse J., H. L., Kaiser J. F. A Nonlinear Operator-Based Speech Feature Analysis Method with Application to Vocal Fold Pathology Assessment. *IEEE Trans. on Biomedical Eng.*, 1998, vol. 45, no. 3, pp. 300–313.
12. Zhang Y., Jiang J. J. Nonlinear dynamic analysis in signal typing of pathological human voices. *Electronics Letters*, 2003, vol. 39, no. 13, pp. 1021–1023.
13. Chou M., Jiang J. J., Rahn III D. A., and Zhang Y. Phonatory Impairment in Parkinson’s Disease: Evidence from Nonlinear Dynamic Analysis and Perturbation Analysis. *J. Voice*, 2007, vol. 21, pp. 64–71.
14. Linder R., Albers A., Hess M., Pöppel S., and Schonweiler R. Network-based Classification to Screen for Dysphonia Using Psychoacoustic Scaling of Acoustic Voice Features. *J. Voice*, 2008, vol. 22, pp. 155–163.
15. Шохор-Троцкая (Бурлакова) М. К. Стратегия и тактика восстановления речи. - М.: ЭКСМО-Пресс, В. Секачев, 2001. - 432 с.
16. Можейко Е. Ю., Прокопенко С. В. Возможности комплексного лечения и нейрореабилитации при нейродинамических нарушениях речи. *Сборник материалов краевой конференции “Возможности методов профилактики и восстановительного лечения в негосударственных, коммерческих медицинских учреждениях и их место в реализации региональных профилактических программ”*, Красноярск, 29–30 ноября 2006.



17. Винарская Е. Н. *Дизартрия*. - М.: АСТ, Астрель, Транзиткнига, 2005. - 141 с.
18. Samuel A. K. Seddoh, Donald A. Robin, Hyun-Sub Sim, Carlin Hageman, Jerald B. Moon, John W. Folkins Speech Timing in Apraxia of Speech Versus Conduction Aphasia. *J. Speech and Hearing Research*, 1996, vol. 39, pp. 590–603.
19. Никольская О. Н., Прокопенко С. В., Руднев В. А. Анализ временных параметров речи в норме и при патологии центральной нервной системы. *Дефектология*, 2002, № 6, с. 3–5.
20. Renu Medrado, Leslie Piccolotto Ferreira, Mara Behlau Voice-over: Perceptual and Acoustic Analysis of Vocal Features. *J. Voice*, 2005, issue 3, vol. 19, pp. 340–349.
21. Elizabeth C. Willis, Dianna T. Kenny Relationship Between Weight, Speaking Fundamental Frequency, and the Appearance of Phonational Gaps in the Adolescent Male Changing Voice. *J. Voice*, 2008, issue 4, vol. 22, pp. 451–471.
22. Кузенков Н.П., Логинов В.М., Можейко Е.Ю., Прокопенко С.В., Руднев В.А. Особенности темпоритмовой организации репродуктивной речи человека. *МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМ. Материалы IX всероссийского семинара*, 13–15 октября 2006 г. Красноярск, 2006, 205 с.
23. Сахаров А. В. Построение статистической модели речевого трафика при монологе. *Информационные технологии*, 2007, №6, с. 45–49.
24. Прокопенко С. В., Руднев В. А. *Новые принципы реабилитации двигательных и речевых функций человека*. Красноярск: Гротеск, 1999, - 160 с.
25. Кузенков Н. П., Логинов В. М. Применение энтропии при исследовании речи человека в норме и патологии. НКСФ — XXXVI (2007). *Материалы научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных физиков*. Красноярск, 13–14 апреля 2007, с. 88–92.