

УДК 004.934

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОСТЕЙШИХ ОТНОШЕНИЙ

Н. Е. Балакирев

*Московский авиационный институт*

Поступила в редакцию 05.03.2016 г.

**Аннотация.** Большинство исследовательских задач, так или иначе, связано с количественной и качественной оценкой исследуемых объектов. С расширением возможностей компьютерной техники все большее место отводится алгоритмам, в которых качественная оценка возлагается не на человека, а на программно-аппаратные средства. Особенно, это характерно для задач распознавания образов, включая распознавание речи. При исследовании вопросов, связанных с распознаванием речи, оказалось возможным на определенных этапах абстрагироваться от количественных характеристик и опереться на качественные характеристики звуковых волн. Использование логико-лингвистического подхода в представлении волн и введение на основе отношений между характерными точками волны – **примитивов**, позволили разложить сложный аддитивный сигнал на отдельные элементы, относящиеся к разным источникам порождения звука и, таким образом, обеспечить возможность их автономного исследования, включая голос, шум и фонемные компоненты. Данная статья предваряет описание использования **примитивов** в распознавании речи, но, не смотря на простоту, является ключом к пониманию использования примитивов.

**Ключевые слова:** распознавание, распознавание речи, логико-лингвистический подход, отношения, задачи количественной и качественной оценки, примитивы.

**Annotation.** Most research problems one way or another, associated with quantitative and qualitative assessment of the studied objects. With improvements in computer technology, an increasing attention is paid to the algorithms, in which a qualitative assessment is the responsibility of software and hardware. Especially, it is typical for tasks of pattern recognition, including speech recognition. In the study of issues related to speech recognition, it has been possible at certain stages to abstract away from quantitative characteristics and to rely on the qualitative characteristics of sound waves. Using logical-linguistic approach in the presentation of wave and the introduction on the basis of the relationship between the characteristic points of a wave – primitives, allowed to decompose a complex additive signal on the individual elements relating to different sources of generating sound and, thus, provide the possibility of their independent research, including the voice, noise and phonemic components. This article precedes the description of the use of primitives in speech recognition, but, despite the simplicity, is the key to understanding the use of primitives.

**Keywords:** recognition, speech recognition, linguistic approach, relationships, tasks, quantitative and qualitative assessment of the primitives.

### ВВЕДЕНИЕ

В научных исследованиях все большее внимание уделяется методам, которые свя-

заны с **качественной** оценкой окружающего мира и эти методы находят практическое воплощение в задачах, имеющих качественный характер [1–2]. Фактически, в задачах подобного рода речь идет об отношениях между различными объектами или субъектами,

или субъектом и объектом, где результатом является установление факта определенных интуитивных отношений, сохраняющих свое содержание вне зависимости от конкретного значения математической величины, но в **допустимых** пределах, не нарушающих некоего «общего» качества (порядка), общей картины таких отношений. Многие отношения, по-видимому, потрогать нельзя, их можно только установить опосредованно. Но, именно, определенная совокупность внутренних отношений порождает являемое нам новое **качество**.

Общие философские рассуждения о понятиях количества, качества, о переходе количества в качество и так далее на практике дают мало информации для прояснения разницы между задачами, имеющими количественную и качественную оценки или соответствующую направленность, и тем более не проливают свет: Когда достаточна количественная оценка, а когда необходима качественная оценка? Где лежит исходный материал для качественной оценки? И где грань между этими двумя направлениями? Нельзя сказать, что этому вопросу не уделяется внимание, но хотелось бы большей конкретики, несмотря на существование интуитивного понимания такой постановки задач. Стоит сделать по этому поводу два небольших замечания:

– нельзя решить **задачу качественной оценки** (ЗКО), не опираясь на количественные подзадачи;

– нельзя строить **задачу числовой оценки** (ЗЧО) в вычислениях, не привлекая качественные оценки, особенно при их обосновании.

Что касается ЗКО, сразу же хочется внести, быть может, очень смелое утверждение о том, что всё, что относится к распознаванию образов, связано, в первую очередь, с качественной оценкой. Чтобы сконцентрировать внимание на правомочности вышесказанного следует упомянуть о передаче информации азбукой Морзе. Вряд ли найдутся возражения против того, что в этой передаче не важна форма (геометрия), физические характеристики самого сигнала, а важны соотношения между длительностями близлежащих сигнала

лов и той последовательности, которую они образуют. Но, если говорить о «почерке» передающих такие сигналы, то здесь в большой мере можно говорить о количественной стороне отдельно взятого символа и улавливание его принимающей стороной. Здесь можно прямо утверждать, что волны являются средством доставки совокупности кодовой информации, основанной при распознавании на учете перепадов энергии – сигнал, не сигнал (пробел) и длительности сигналов (точка, тире). Но сразу хочется заметить, что задачи анализа и распознавания образов, прежде всего, решаются традиционными, имеющимися в основании **числовые оценки**, математическими методами. Например, для распознавания речи сюда входят такие методы как, преобразование Фурье, Вейвлет анализ, вероятностные методы, включая цепи Маркова, нейронные сети и другие [4–6].

## ОСОБЕННОСТИ СОВОКУПНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Говоря о задачах качественной оценки, мы базировались на понятии отношений. Начиная с отношений, которые, не учтены в полной мере с точки зрения оценки качества содержания информации, заключенной в этих отношениях следует, прежде всего, обратить взор на три момента:

1. **Элементарные отношения – источник порождения отношения отношений.**

Совокупность множества индивидуальных отношений могут породить новые отношения таких же совокупностей, но на более высоком уровне. Множество определенных, внутренних видов связей, объединенных в объектах, являют новое **общее отношение или свойство**, которое невозможно увидеть из простой совокупности отношений (бинарных), составляющих элементов. Такие отношения – **отношения отношений**, не проявляемые на простейшем **индивидуальном** уровне, в первую очередь бинарных отношений, в совокупности с другими простейшими индивидуальными отношениями порождают новое **качество**, отличающее такие совокупные отношения от другого набора совокуп-

ных отношений. Такое качество может проявляться в свойствах или явлениях.

## 2. Сопряженность отношения отношений с восприятием человека и с техническими возможностями, используемых аппаратно-программных средств.

Строгие математические допущения общего характера и абстракции, вполне различаемые и воспринимаемые людьми, чаще всего, не реализуемы в технических системах и здесь стоит обратить внимание на два момента.

Понятия теории графов [7–8], исходящие из максимально обобщенных допущений, ориентированные на бинарные отношения и не сопряженные с координатной мерой, не достаточны для продуктивного рассмотрения большого класса практических задач, связанных с распознаванием образов, в особенности при получении исходной информации через технические источники информации и решаемые техническими средствами. Но для решения задач распознавания нельзя исходить из слишком общих допущений и ожидать точного совпадения, опознавая анализируемый объект. Оказывается, что смысл совокупности отношений может быть различным в зависимости от «конфигурации» таких отношений, включая проекцию на координаты, полученные техническими средствами. Всё это можно учесть введением мотивированных ограничений, обеспечивающих упрощение решения задачи по распознаванию образов.

Кроме этого, нам часто трудно фиксировать границу, связанную с возможностями технического устройства, включая программно-аппаратные средства, и возможностями человеческого интеллекта. То, что воспринимает человек, не воспринимает программно-техническое устройство и наоборот. И это, естественно. Отсюда следует, что применяемые абстракции (примитивы) должны быть ориентированы на «интеллектуальные» возможности технических средств.

## 3. Многофакторность отношений, опирающихся на одно и то же значение исследуемого объекта (исследуемой величины).

С объектами одной природы может быть связано несколько отношений или формул,

носящих независимый характер. Например, получаемые при оцифровке значения амплитуд могут отражать громкость во времени с одной стороны и значения частот (длин) волн на временной оси, с другой стороны. Уменьшение громкости (изменение амплитуды в интервале выбранного промежутка времени) влияет на значение амплитуды, но не влияет на содержание частот. Можно реализовать изменение частоты (появление хотя бы одного всплеска) не влияющего на функцию изменения громкости в рассматриваемом интервале. Этот пример, да и многие другие показывают многофакторный характер одних и тех значений, рассматриваемой величины, для отношений, в которых она участвует.

## ОТНОШЕНИЯ ОТНОШЕНИЙ

Нельзя себе представить мыслительную деятельность человека без установления отношений между объектами, включая субъекты. Как правило, ограничиваются бинарными отношениями и на этой основе строят и рассматривают всевозможные графы. Но имеет смысл говорить об отношениях более высокого уровня. Это конкретное сочетание частных отношений фиксированного множества объектов определяет отличимое общее отношение по отношению к другим таким же общим отношениям на том же множестве бинарных отношений объектов, но с другим сочетанием таких отношений. При этом такое общее отношение не обязательно должно иметь математическое представление, так как имеется множество не математических моделей, характеризующих такие отношения. То есть, может существовать **общее отношение**, которое характеризуют отличимое свойство, вытекающие из внутренних отношений одних и тех же элементов, но при изменении хотя бы одного такого отношения это свойство исчезает. И этому имеется множество практических (периодическая таблица Менделеева с периодическим законом) и теоретических подтверждений (системный подход). Как верно подмечено в ресурсе Википедия [9]: «*Особенность периодического закона среди других фундаментальных законов заклю-*

чается в том, что он не имеет выражения в виде математического уравнения. ... Периодический закон явился «открытием взаимной связи всех атомов в мироздании», т. е. отношений. Хочется еще раз отметить, что имеется возможность установления таких отношений через совокупность других известных отношений без привлечения напрямую **математических формул**, хотя некоторые из них при необходимости можно уточнить через численную оценку. И еще одно замечание, сами формулы, по сути, представляют лингвистическое выражение, устанавливающее, как правило, взаимно-однозначное **отношение** между элементами одного множества или множествами.

Иерархия взаимозависимостей таких отношений может продолжаться и дальше, позволяя на каждом уровне иерархии абстрагироваться от внутренних отношений и перейти на более высокий уровень, делая анализ и рассуждения на основе «новых» отношений более простыми и доступными. Не покушаясь на роль первопроходца в выше явленных рассуждениях, хотелось бы в данном случае обратить внимание на этот вопрос с позиций математических и физических исследований. В данном случае, необходимо **выделить особую роль подобного рода общих отношений**, так как это может явиться базисным инструментом для абстрагирования от первичных отношений при решении конкретных прикладных задач, включая распознавание речи [10].

В качестве подтверждения указанного тезиса, продемонстрируем механизм абстрагирования на упрощенных бинарных и тернарных отношениях без потери общности к  $n$ -арным отношениям.

Но начнем с того, что на практике, при рассмотрении реальных объектов, прежде всего, устанавливаются **отношения к мере**, которая представлена, очень часто, двояко: это **отношение порядка и измерение** этого порядка. Хочется подчеркнуть, что измерение это установление отношения измерителя (линейки, прибора и т. д.) с измеряемым объектом на основе выбранной меры. Особое место в этом случае занимает отношение поряд-

ка, когда выстраивается последовательность, относительно которой мы можем указать последовательность следования элементов, а через это и возможность перенумеровать эту последовательность некоторыми натуральными числами.

*Пример.* Возьмем три числа А В С. Это три объекта, относительно которых можем сказать, что это числа (это их связывает), но что кроется содержательно в этом перечислении, сказать невозможно, пока не установлены некоторые отношения и их содержательная связь с реальными значениями. Но, записав их через запятую как А, В, С, мы уже подразумеваем порядок следования или соседство не зависимо от значения числа. Соседство предполагает упоминание о соседе слева и о соседе справа и это тоже отношения. Для порядка следования необходимо перечислить весь ряд до, быть может, неизвестного объекта и фактически выразить её как-то так: «Число А(=5) за тем следует объект В(=9), за тем следует С(=7)», и т. д. Более кратко, для конкретных значений, делая паузу: « 5 9 7 ». То есть, формально, для любой последовательности, вводя знак паузы «,» или «→», мы можем записать,  $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow \dots x_n$ .

Таким образом, мы фактически определили **линейную структуру** независимо от значения элементов. Перечисляя, таким образом, имея конкретные значения, мы можем указывать само значение или вес, т. е. (5 → 9 → 2), который выступает (и может выступать), в данном случае, в качестве метки, определяющей, какое число идет за каким числом. Если же мы построим последовательность с учетом веса, т. е. последовательность  $x_i$ , где  $x_1$  идет 1-м, так как его вес больше следующего  $x_2$ , а  $x_2$  – 2-м, так как ... и т. д., то тогда внесем **качественное изменение или установим новое качественное отношение** в эту последовательность. Таким образом, мы уже можем говорить о новом качестве общих отношений или о структуризации в виде **индексированной линейной структуры, упорядоченной в соответствии с весом**. Переход к рассмотрению самого значения в последовательности на такой структуре отношений приведет либо к установлению расстояния, либо

веса: и т. д. Но это уже будут **количественные** отношения, и мы их в таком контексте будем рассматривать только как средство для получения качественных оценок.

Рассматривая отношение порядка вместе с отношением «весов», входящих в качестве значения в последовательность элементов, мы можем рассматривать или упорядочить последовательность различными способами. Но при упорядочении либо в порядке убывания (9, 7, 5), либо возрастания (5, 7, 9) нас не будет интересовать значение разницы двух объектов (количественная характеристика на сколько), а лишь характер (качество) самих **отношений**  $x_i > x_{i+1}$  или  $x_i < x_{i+1}$ . Характеризуя подобного рода отношения (частные), мы легко приходим к общей характеристике построения упорядоченной последовательности или к её структуре. **Упорядоченная возрастающая последовательность** – это последовательность, в которой, для любого  $i$  в этой последовательности  $x_i > x_{i+1}$ . И это уже отношения отношений, которые имеют **качество** – **упорядоченная возрастающая последовательность**.

Для последовательностей такого вида  $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow \dots \rightarrow x_n$  с учетом операций отношений ( $>$ ,  $<$ ,  $=$ ) можно установить следующие общие отношения:

1. **Упорядоченная возрастающая последовательность** (УВП)

$$A = \{a_1 > a_2 > a_3 > a_i \dots > a_n\} \quad (1.1)$$

$$\forall a_i (a_i > a_{i+1}) \text{ для } i = 2, 3, \dots, n.$$

$$A = \{a_1 > a_2 > a_3 > a_j = a_{j+1} \dots > a_n\},$$

$$\forall a_j ((a_j > a_{j+1}) \vee (a_j = a_{j+1})) \quad (1.2)$$

для  $j = 2, 3, \dots, n.$

2. **Упорядоченная убывающая последовательность** (УУП)

$$B = \{b_1 < b_2 < b_3 < \dots < b_n\}, \quad (2.1)$$

$$\forall b_i (b_i < b_{i+1}) \text{ для } i = 2, 3, \dots, n.$$

$$B = \{b_1 < b_2 < b_3 < b_j = b_{j+1} \dots < b_n\},$$

$$\forall b_j ((b_j < b_{j+1}) \vee (b_j = a_{j+1})) \quad (2.2)$$

для  $j = 2, 3, \dots, n.$

3. **Последовательность одинаковых по значению чисел** (ОЗП)

$$C = \{c_1 = c_2 = c_3 = \dots = c_n\} \quad (3)$$

$$\forall c_i (c_{i-1} = c_i) \text{ для } i = 2, 3, \dots, n.$$

4. **Смешанная последовательность**, в которой представлены все вышеуказанные последовательности в виде подпоследовательностей.

$$D = \{(A \& B \& C) \vee (A \& B)\}. \quad (4)$$

5. **Абсолютно перемешанная последовательность** (АПП), в которой для рядом стоящих значений справа и слева чередуются два отношения: больше или меньше, без повторения. То есть  $>$ ,  $<$ , или только  $<$ ,  $>$ , где для обеих последовательностей отношений равенство отсутствует. Когда же мы привлекаем отношение равенства, которое, вообще говоря, может повторяться, то это следующие последовательности отношений:  $<$ ,  $=$ ,  $>$  или  $>$ ,  $=$ ,  $<$  – и в этом случае мы можем говорить об **относительно перемешанной последовательности** (ОПП)

$$F = \{f_1 < f_2 > f_3 < \dots > f_n\} \quad (5.1)$$

$$\forall f_i (f_{i-1} < f_i > f_{i+1}) \text{ для } i = 2, 3, \dots, n-1.$$

$$F = \{f_1 > f_2 < f_3 > \dots < f_n\} \quad (5.2)$$

$$\forall f_i (f_{i-1} > f_i < f_{i+1}) \text{ для } i = 2, 3, \dots, n-1.$$

$$F = \{f_1 > f_2 = f_3 < f_4 = f_5 \dots < f_n\}$$

$$\forall f_i ((f_{i-1} > f_i) \vee (f_{i-1} = f_i)) \quad (5.3)$$

для  $i = 2, 3, \dots, n-2.$

$$F = \{f_1 > f_2 = f_3 < f_4 = f_5 \dots < f_n\}$$

$$\exists f_i ((f_{i-1} < f_i) \vee (f_{i+1} = f_i)) \quad (5.4)$$

для  $i = 2, 3, \dots, n-2.$

6. **Пустая нулевая последовательность** (ПНП)

$$O = \{o_1 = o_2 = o_3 = \dots = o_n = 0\} \quad (6)$$

$$\forall o_i (o_i = 0).$$

Таким образом, мы имеем множество линейных качественных отношений, имеющее шесть вышеуказанных номинаций, с несколькими вариантами для 1, 2, 5-й последовательностей. Содержательно (на качественном уровне) относительно числовой последова-

тельности, рассматриваемой в алгоритмах, можно сказать:

1. Она пустая (6) или заполнена (1–5);
2. Она упорядочена (1–3) или не упорядочена (4, 5)
3. Если она упорядочена (1–3), то или возрастает (1) с некоторыми нюансами (1.1), (1.2), или убывает (2) с некоторыми нюансами (2.1), (2.2), то ли не изменяется совсем (3).
4. Если она не упорядочена (4,5), то или абсолютно перемешанная (5), или смешанная (4).

Наличие качественной информации об общем характере отношений позволяет принимать качественные решения в целом, не опускаясь на нижний уровень, – например, упорядочивать или не упорядочивать массив. Таким образом, мы можем дополнить последовательности именем их общего отношения, для которого достаточно одного байта. А информация о характере рассматриваемых последовательностей, в свою очередь, могла бы сократить затраты на их обработку. Отсюда видна определенная практическая польза от указания общих качественных отношений. В принципе, можно рассматривать и другой вид отношения отношений, таких как, упорядоченная последовательность в виде двоичного дерева, троичного дерева и, быть может, другие. В данном случае это не принципиально, но лишний раз доказывает возможность многообразных общих отношений. Какое из них выбрать, базируясь на элементарных отношениях, зависит не от пожеланий, предпочтений или имеющихся в распоряжении исследователя методов, а от реальной значимости такого отношения, базирующегося на локальные отношения в проекции на анализируемые данные.

## ДВУХМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ

Теперь усложним отношения при проекции на две координатные оси. Возьмем три числа и относительно их установим отношения, которые в том числе могут иметь и геометрическую интерпретацию. Безусловно, каждая из координат в отдельности может иметь 6 вышеуказанных отношений. Но для оси абсцисс (ось X) вводится ограничение: мы исключим исполь-

зование отношения равенства и других отношений, а интересуемся только отношением порядка следования значений (Индексируем значения слева направо). А для оси Y нас будет интересовать отношения веса или значения этих переменных чисел с сохранением порядка следования по оси X.

И так, перейдем к этим более сложным отношениям – двумерным отношениям. На координатной плоскости упорядоченные по оси X числа A B C могут размещаться бесконечным множеством способов, но их отношения с учетом этого будут определяться уже конечным числом. Если предположить возможность установления тройственного различия (тернарные отношения) без относительно числовых значений (качественная оценка), то оказывается, что возможное число комбинаций не более 27. Действительно, пусть для A, B, C их значения  $\in \{1,2,3\}$ , тогда в связи с ограничениями по перестановке (они именно в этой последовательности упорядочены и есть A, B, C, но не рассматривается B, C, A и другие комбинации), имеем трехзначное число в троичной системе. Отсюда видно, что возможные комбинации значений действительно меньше 27. Но отношения равенства (111, 222, 333) для этих трех переменных имеют одинаковый смысл,  $A = B = C$ . Похожая ситуация будет и для случаев  $A=B (> \vee <)$  C,  $A (> \vee <)$  B = C. С учетом такого рассмотрения, число таких отношений заведомо меньше 27.

Будем предполагать, что моменты выборок значений по оси абсцисс никогда не могут совпадать, а вот их значения могут быть одинаковыми, и находится в пределах фиксируемого коридора, т. е.  $-T \leq [A, B, C] \leq T$ . Тогда, оказывается, что отношения этих трех точек, при учете **отношений каждого с каждым**, описываются 13 способами или типами (см. табл. 1).

Каждое специфическое тернарное отношение обозначено латинскими буквой, и мы будем называть его соответственно **примитивом с именем, соответствующим обозначению**. Перечисление этих примитивов, отражает общие качественные стороны отношений между выбранными тремя точками. Введение таких типов примитивов позволяет

Тернарные отношений с вариантами маркировки примитивов

№	Отношения тернарные	Бинарные условия	Вариант обозначения
	I	II	III
1	$A > B > C$	$(A > B) \& (B > C)$	A
2	$A < B < C$	$(A < B) \& (B < C)$	E
3	$A = B = C$	$(A = B) \& (B = C)$	I
4	$A < B = C$	$(A < B) \& (B = C)$	B
5	$A = B < C$	$(A = B) \& (B < C)$	P
6	$A = B > C$	$(A = B) \& (B > C)$	D
7	$A > B = C$	$(A > B) \& (B = C)$	T
8	$A < B > C \& A < C$	$(A < B) \& (B > C) \& (A < C)$	G
9	$A < B > C \& A = C$	$(A < B) \& (B > C) \& (A = C)$	H
10	$A < B > C \& A > C$	$(A < B) \& (B > C) \& (A > C)$	Q
11	$A > B < C \& A < C$	$(A > B) \& (B < C) \& (A < C)$	g
12	$A > B < C \& A = C$	$(A > B) \& (B < C) \& (A = C)$	h
13	$A > B < C \& A > C$	$(A > B) \& (B < C) \& (A > C)$	q

перейти от внутренних бинарных отношений к анализу отношения отношений, которые, как оказывается, могут быть свернуты в следующий уровень отношений с тем же множеством примитивов. Это обеспечивает установление отношений следующих «удаленных» точек между собой через **рекуррентное** применение процедуры «схлопывания» примитивов. Таким образом, образуются вложенные **рекурсивно** определяемые структуры данных, состоящие из объектов фиксированного числа типов примитивов и описываемые литерально, через абстрагирование содержания структур нижнего уровня. Этот подход открывает простор для многоуровневого анализа сложных структур объектов.

Таким образом, мы получаем **качественную** картину анализируемых данных с отвлечением от их реального значения и в лингвистических терминах. Здесь, в отличие от одномерного случая, классификация последовательностей точек, с опорой на упомянутые примитивы, будет носить более сложный характер, и будет охватывать большее количество случаев, но в любом случае, такая классификация не связана с алгоритмами полного перебора. При использовании таких примитивов в конкретных прикладных задачах оказы-

вается, что последовательность примитивов, выраженная буквенными последовательностями, кроме всего дает возможность контекстного сравнения и соответственно классификации таких последовательностей. Именно такой подход был использован при изучении звуковых волн с целью их распознавания. Структуризация на основе введенных примитивов позволила разложить спектр волн, участвующих в образовании звука, на составляющие длины волн и обеспечить фундамент для качественного распознавания речи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные подходы явились основанием для качественной оценки потока сигналов звуковых волн и формулирования алгоритмов для их реализации. Более того это позволило по-другому взглянуть на процесс распознавания в целом и на распознавание речи в частности. Перевод распознавания речи в плоскость лингвистических отношений и её реализация в виде алгоритмов на основе примитивов, является техническим повторением или, можно сказать, некоторой проекцией перехода человечества от речи к письменности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорошевский В. Ф. Об одном методе семантической интерпретации паттернов данных на основе структурного подхода. Препринт WP7/2012/08 Серия WP7 Математические методы анализа решений в экономике, бизнесе и политике.
2. Балакирев Н. Е. Качественные алгоритмы и операции над структурами. Материалы XIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». – Т. 1. – Воронеж, 2013. – С 164–168.
3. Петровский А., Борович А., Парфенюк М. Обработка речи на основе дискретного преобразования Фурье с неравномерным частотным разрешением // Речевые технологии. – 2008. – № 3. – С. 3–15.
4. Иващенко Ю. С., Леднов Д. А., Любимов Н. А. Система автоматического распознавания языков на основе гауссовских и авторегрессионных моделей // Речевые технологии. – 2008. – № 2. – С. 36–42.
5. Рабинер Л. Р. Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: Обзор // ТИИЭР. – 1989. – Т. 77. – № 2.
6. Тимофеев А. В., Косовская Т. В. Нейросетевые методы логического описания и распознавания сложных образов. Труды СПИИ-РАН. – 2013. – Вып. 4(27). С. 144–153.
7. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. – М. : Наука, 1973. – 368 с.
8. Звонкин А. К., Ландо С. К. Графы на поверхностях и их приложения. – М. : МЦНМО, 2010. – 480с.
9. <https://ru.wikipedia.org/>
10. Балакирев Н. Е. Логико-лингвистический подход по распознаванию содержания физических волн / Материалы XV Международной конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» . (Воронеж, 12–13 февраля 2015 г.) – Воронеж. – Т. 1. – С. 31– 36.

**Балакирев Николай Евгеньевич** – к.т.н., профессор кафедры «Проектирование вычислительных комплексов» НИУ «Московский авиационный институт».  
Тел.: 8(499)141-94-82  
E-mail: balakirev1949@yandex.ru

**Balakirev Nikolay E.** – candidate of technical sciences, professor, department of «Design of computing systems», Moscow Aviation Institute (National Research University).  
Tel.: 8(499)141-94-82  
E-mail: balakirev1949@yandex.ru