

Обнаружение пауз между словными фрагментами записей речевых сигналов*

Е. Г. Жилияков¹, А. С. Белов¹, С. П. Белов¹, А. А. Медведева¹

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

"Белгородский государственный национальный исследовательский университет", г. Белгород, Россия

¹ Автономная некоммерческая организация высшего образования "Белгородский университет кооперации, экономики и права", г. Белгород, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача сегментации записей речевых сигналов на отрезки, порождаемые в присутствии речи (словные отрезки), и паузы между ними. Такая сегментация является важным этапом идентификации речевых компонент на основе некоторых признаков. Предполагается, что отрезки речевого сигнала в паузах речи являются выборками из стационарной последовательности отсчетов, (шумы в паузах). В качестве основной характеристики шумов в паузах предлагается использовать оценки по обучающей выборке математических ожиданий частей энергий их отрезков некоторой конечной длительности в заранее определенных частотных полосах (субполосный анализ). Показано, что использование максимального из отношений частей энергий текущего анализируемого отрезка к соответствующим математическим ожиданиям частей энергий отрезков шумов позволяет в максимальной степени учесть возможное присутствие речевой компоненты. Этот эффект равносителен максимизации отношения сигнал/шум, то есть предлагаемая решающая функция в этом смысле является оптимальной.

Ключевые слова: сегментация записей речевых сигналов, субполосный анализ, оптимальная решающая функция.

DOI 10.14357/20718632220105

Введение

В настоящее время достаточно интенсивно развиваются информационные технологии искусственного интеллекта, связанные с компьютерной обработкой устной речи. В этом контексте прежде всего следует отметить автоматическое распознавание речевых команд при управлении различными устройствами (роботами) [1]. Кроме того, важной проблемой является уменьшение объемов битовых представлений (сжатие) речевых данных при их хранении

и передаче по каналам связи [2-4]. С позиций автоматического распознавания устной речи или сжатия речевых данных отрезки речевых сигналов (РС) в паузах целесообразно исключать из рассмотрения. В связи с этим в работе рассматривается новый метод обнаружения пауз между словными фрагментами записей речевых сигналов, применение которого, как показали проведенные исследования, позволяет обеспечить большую чувствительность к возникновению переходов в РС от словных отрезков к паузе и наоборот, по сравнению

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-07-00215.

с существующими в настоящее время аналогичными подходами.

1. Современные средства и технологии

В настоящее время при обработке устной речи широко используются различного вида компьютерные системы. Такой подход предполагает анализ РС, которые представляют собой результаты регистрации колебаний электрического тока на выходах микрофонов под воздействием акустических колебаний, возбуждаемых речевой системой человека и факторами окружающей среды.

Характерной особенностью РС является их нестационарность, обусловленная сменой звуков речи и словных фрагментов, которые образуются при произнесении их слитных комбинаций (слов). Отрезки РС между словными фрагментами образуются под воздействием факторов окружающей среды и представляют определенный интерес с позиций исследования их происхождения. Можно также отметить, что с позиций психофизического анализа, в том числе медицинской диагностики, определенный интерес представляют длительности пауз речи и их зависимость от исследуемых факторов, например от эмоционального состояния говорящего.

Таким образом, автоматическое разделение отрезков РС на соответствующие паузам речи и словным фрагментам со многих точек зрения является важной процедурой компьютерной обработки устной речи.

Этот вывод подтверждается наличием так называемых детекторов речевой активности (VAD) [2, 5] кодеков, которые используются для кодирования пауз речи при сжатии, передаваемых по каналам связи речевых данных. Чаще всего предполагается, что отрезки РС в паузах речи и словных фрагментов значительно различаются. Поэтому можно с использованием длительных отрезков РС в паузах обучиться, так чтобы гарантировать вероятности ошибок первого рода при обработке данных на этапе проверки справедливости гипотезы о наличии паузы.

Дальнейшее сводится к вычислениям энергий отрезков РС и сравнению результатов вычислений с порогом, полученным на этапе обучения.

Можно отметить, что решающая функция (РФ) в виде энергий отрезков РС не отвечает требованию максимальной чувствительности, когда малое изменение признака (границы перехода от паузы к речи и наоборот) приводит к заметному изменению её значений. Поэтому решение о наличии паузы принимается только тогда, когда начальная гипотеза не противоречит обработке достаточно длинных отрезков РС. Ясно, что это не позволяет достичь высокой точности в определении начал и концов пауз.

В рамках данной работы рассматривается задача разработки такой РФ, которая обладает высокой чувствительностью к возникновению переходов в РС от словных отрезков к паузе и наоборот. На этой основе предлагается метод анализа отрезков РС при селекции пауз между словными фрагментами.

2. Метод определения отрезков пауз в устной речи на основе анализа РС

Уточним постановку задачи анализа РС при обнаружении пауз между словными фрагментами. Предполагается, что обработке подвергаются отрезки отсчетов РС в виде векторов с конечным числом компонент:

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)^T, \quad (1)$$

где верхний индекс T означает транспонирование.

Относительно отсчетов можно сформулировать следующие гипотезы:

H_0 : анализируемый отрезок (вектор) РС полностью получен в пределах паузы речи:

$$\vec{x} = \vec{u} = (u_1, \dots, u_N)^T, \quad (2)$$

где символ u_i , $i = 1, \dots, N$ означает отсчет шума.

Альтернативная гипотеза имеет вид H_1 , в случае, когда хотя бы часть компонент анализируемого вектора содержит аддитивные отсчеты сигнала, возбуждаемого наличием речи (речевую компоненту $\vec{s} = (s_1, \dots, s_N)^T$), так что:

$$\vec{x} = \vec{u} + \vec{s} = (u_1 + s_1, \dots, u_N + s_N)^T. \quad (3)$$

Таким образом, задача заключается в проверке справедливости указанных гипотез [6, 7].

Предполагается, что характеристики шумов в паузах речи остаются неизменными (стационарность) в течение всего времени анализа РС, включая этап оценки этих характеристик (обучение).

Легко понять, что точность определения начал и окончаний пауз в среднем будет близка к половине длительности анализируемого отрезка. Поэтому целесообразно выбирать её как можно меньше. Ограничивающим фактором служит то, что при малой длительности анализируемого отрезка возрастают вероятности ошибок либо первого, либо второго (что хуже) родов. Эти обстоятельства определяют необходимость поиска компромисса при выборе длительностей анализируемых отрезков.

Отметим, что точность определения начал и концов пауз речи, в том числе с позиций вероятностей ошибочных решений, прежде всего, зависит от вида РФ, включая используемое для сегментации признаковое пространство. Поэтому необходимо адекватно учитывать отличия свойств отрезков РС в паузах и при наличии речи. Для этого целесообразно использовать частотные представления для компонент анализируемого вектора:

$$x_k = \int_{-\pi}^{\pi} X(z) \exp(jz(i-1)) dz / 2\pi, \quad j = (-1)^{1/2}, \quad (4)$$

$$k = 1, \dots, N,$$

где символ X - трансформанта Фурье:

$$X(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-j(z(k-1))). \quad (5)$$

Адекватность этой характеристики задаче селекции пауз определяется справедливостью равенства Парсевала [8]:

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2 = \int_{-\pi}^{\pi} |X(z)|^2 dz / 2\pi, \quad (6)$$

содержательный смысл которого в рамках рассматриваемой задачи заключается в том, что трансформанта Фурье отражает распределение энергии анализируемого вектора в частотной области.

Именно различие в распределениях энергий отрезков РС в паузах речи и при её наличии целесообразно использовать при селекции пауз. Для этого предлагается применить субполос-

ный анализ, в основе которого лежит разбиение частотной области на субполосы вида:

$$\Omega_r = [-\Omega_{r,2}, -\Omega_{r,1}) \cup [\Omega_{r,1}, \Omega_{r,2}), \quad r = 1, \dots, R; \quad (7)$$

$$0 \leq \Omega_{r,1} < \Omega_{r,2} \leq \pi$$

Тогда соотношение (6) преобразуется к следующему виду:

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{r=1}^R P_r(\bar{x}), \quad (8)$$

где $P_r(\bar{x})$ - часть энергии вектора, попадающая в r -тую субполосу:

$$P_r(\bar{x}) = \int_{z \in \Omega_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi, \quad r = 1, \dots, R. \quad (9)$$

Если в это определение подставить представление (5), то после очевидных преобразований нетрудно получить квадратичную форму:

$$P_r(\bar{x}) = \bar{x}^T A_r \bar{x}, \quad (10)$$

где $A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, N$ - симметричная субполосная матрица [8] с элементами:

$$a_{ik}^r = \int_{z \in \Omega_r} \exp(-j(i-k)z) dz / 2\pi =$$

$$= (\sin(\Omega_{r,2}(i-k)) - \sin(\Omega_{r,1}(i-k))) / (\pi(i-k)),$$

$$a_{ii}^r = (\Omega_{r,2} - \Omega_{r,1}) / \pi. \quad (12)$$

Так как соотношение (5) определяет аналитическую функцию, то интегралы (9) и квадратичные формы вида (10) будут положительными, а следовательно, субполосные матрицы являются положительно определенными, то есть для любого вещественного вектора $\vec{y} = (y_1, \dots, y_N)^T$ выполняются неравенства:

$$P_r(\vec{y}) = \vec{y}^T A_r \vec{y} > 0. \quad (13)$$

Кроме того, из соотношения (8) следует справедливость соотношения:

$$\sum_{r=1}^R A_r = \text{diag}(1, \dots, 1). \quad (14)$$

Приведем некоторые полезные для дальнейшего изложения свойства субполосных матриц, которые доказаны в работе [9].

Из их симметрии и положительной определенности следует справедливость представления [10]:

$$A_r = Q_r L_r Q_r^T, \quad (15)$$

где $Q_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_N^r)$ - матрица ортонормальных собственных векторов, соответствующих матрице собственных чисел $L_r = \text{diag}(\lambda_1^r, \dots, \lambda_N^r)$, так что имеют место равенства:

$$A_r Q_r = Q_r L_r, \quad (16)$$

$$Q_r^T Q_r = Q_r Q_r^T = \text{diag}(1, \dots, 1), \quad (17)$$

причем, предполагается упорядоченность собственных чисел по убыванию:

$$\lambda_k^r \geq \lambda_{k+1}^r > 0, k = 1, \dots, N-1. \quad (18)$$

Подстановка представления (15) в (10) дает полезное для дальнейшего рассуждения соотношение:

$$P_r(\vec{x}) = \sum_{k=1}^N \lambda_k^r (\alpha_{kx}^r)^2, \quad (19)$$

где

$$\vec{\alpha}_x^r = (\alpha_{1x}^r, \dots, \alpha_{Nx}^r)^T = Q_r^T \vec{x}. \quad (20)$$

Таким образом, эти векторы состоят из скалярных произведений анализируемого вектора и собственных векторов субполосных матриц.

Важность соотношений вида (10) определяется тем, что оно позволяет осуществить вычисления, не переходя в частотную область. В дальнейшем будет также показано, что субполосные матрицы обладают полезными с точки зрения субполосного анализа свойствами, которые позволяют использовать их в качестве основного математического аппарата.

Значимость характеристик вида (9) для задачи селекции пауз определяется тем, что они могут служить признаками различения отрезков РС в паузах речи от отрезков словных фрагментов, при её наличии, адекватных требованию достижения высокой точности как с позиций ошибок принятия решений, так и с позиций погрешностей определения начал и окончаний пауз.

Легко понять, что из предположения о том, что в паузах речи шум является стационарным следует малая изменчивость характеристик вида (9) от паузы к паузе, в том числе для выборок РС внутри одной и той же паузы. Таким образом, справедливость гипотезы стационарности шумов в паузе означает выполнение равенства:

$$E[P_r(\vec{z})/H_0] = E[P_r(\vec{y})/H_0], r = 1, \dots, R, \quad (21)$$

где символ E означает математическое ожидание (МО); векторы \vec{z}, \vec{y} представляют собой две выборки из РС в паузах речи.

Поэтому достаточно точные оценки МО субполосных характеристик вида (9) можно получить на основе усреднения по большой выборке отрезков РС в паузах речи:

$$\vec{z}_m, m = 1, \dots, M, M \gg 1$$

$$B_r = E[P_r(\vec{x})/H_0] \approx \bar{P}_r = \sum_{m=1}^M P_r(\vec{z}_m)/M, \quad (22)$$

$$r = 1, \dots, R.$$

В свою очередь, в условиях справедливости гипотезы (3) и нестационарности РС для разных звуков речи соотношение вида (15) для разных выборок выполняться не будет.

Положим:

$$t_r(\vec{x}) = P_r(\vec{x})/B_r, r = 1, \dots, R. \quad (23)$$

В соответствии с (21) нетрудно получить соотношение:

$$E[t_r(\vec{x})/H_0] = 1. \quad (24)$$

При справедливости альтернативы с учетом (10) можно записать:

$$t_r(\vec{x}) = P_r(\vec{u})/B_r + P_r(\vec{s})/B_r + 2\vec{s}^T A_r \vec{u}/B_r \quad (25)$$

Достаточно обоснованно можно считать, что шумы в паузах не зависят от звуков речи и имеют нулевое математическое ожидание. Поэтому справедливо следующее соотношение для математических ожиданий статистик вида (17):

$$E[t_r(\vec{x})/H_1] = 1 + E[P_r(\vec{s})]/B_r, r = 1, \dots, R. \quad (26)$$

Второе слагаемое здесь естественно именовать отношением сигнал/шум. Именно оно в среднем определяет реакцию (чувствительность [7]) статистик вида (23) на присутствие словных фрагментов. В частности, их чувствительность существенно зависит от величин знаменателей.

Имея в виду соотношение (9), знаменатель в (26) можно представить в виде:

$$B_r = \int_{z \in \Omega_r} E[|X(z)|^2/H_0] dz / 2\pi, r = 1, \dots, R. \quad (27)$$

В предположении стационарности белых шумов в паузах речи соотношение (27) вместе с равенством Парсеваля (6) дают:

$$B_r = \Delta_r E[\|\vec{u}\|^2] / \pi, r = 1, \dots, R; \Delta_r = \Omega_{r2} - \Omega_{r1}. \quad (28)$$

Таким образом, в отличие от традиционных VAD в случае малых размеров субполос знаме-

натели в (23) будут существенно меньше, чем математическое ожидание всей энергия отрезка шума. Иными словами, преимуществом обнаружения пауз в речи на основе субполосного анализа является возможность увеличения отношения сигнал/ шум.

Определим вид речевой составляющей, на которой достигается максимум отношения сигнал/шум, что является основным фактором, уменьшающим вероятность ошибок второго рода (гипотеза H_1 ошибочно отвергается). Непосредственно из (23) с учетом (10) и (3) получаем вектор производных (градиенты многомерных функций):

$$\vec{y}_r = \partial t_r(\vec{x}) / \partial \vec{s} = 2(A_r \vec{s}_r + A_r \vec{u}) / B_r. \quad (29)$$

Для квадрата евклидовой нормы градиентов очевидным образом получаем представление:

$$\|\vec{y}_r\|^2 = 4(\vec{s} A_r^2 \vec{s} + \vec{u} A_r^2 \vec{u} + 2\vec{s} A_r^2 \vec{u}) / B_r^2, \quad (30)$$

которое с учетом свойств собственных векторов и чисел субполосных матриц (15) и (17) нетрудно преобразовать к виду:

$$\|\vec{y}_r\|^2 = 4 \sum_{k=1}^N (\lambda_k^r)^2 [(\alpha_{ks}^r)^2 + (\alpha_{ku}^r)^2 + 2\alpha_{ks}^r \alpha_{ku}^r] / B_r^2. \quad (31)$$

С учетом положительности и упорядоченности собственных чисел (18) отсюда в условиях независимости шумов в паузе от звуков речи следует неравенство для математических ожиданий квадратов норм градиентов:

$$E[\|\vec{y}_r\|^2] \leq 4(\lambda_1^r)^2 E[\|\vec{s}\|^2] / B_r^2 + 4 \sum_{k=1}^N (\lambda_k^r)^2 [E[(\alpha_{ku}^r)^2]] / B_r^2. \quad (32)$$

В условиях стационарности шумов второе слагаемое здесь не зависит от речевой составляющей, остается неизменным, так что в соответствии с (28) имеют место равенства:

$$\Phi_r(\vec{u}) = 4 \sum_{k=1}^N (\lambda_k^r)^2 [E[(\alpha_{ku}^r)^2]] / B_r^2 = 1, \quad (33)$$

$r = 1, \dots, R = 1.$

Следовательно, равенство в (32) достигается только тогда, когда речевая компонента пропорциональна собственному вектору субполосной матрицы, соответствующему максимальному собственному числу, то есть, когда имеет место:

$$\vec{s} = \alpha \vec{a}_1^r. \quad (34)$$

Таким образом, выполнение одного из условий (34) соответствует достижению максимальной чувствительности соответствующей статистики из набора (23) к наличию речевой составляющей при неизменной его норме (энергии).

Заключение

В общем случае всегда найдется субполоса, в которой будет сосредоточена наибольшая часть энергии речевой компоненты анализируемого отрезка РС (если она присутствует). Поэтому представляется вполне обоснованным в качестве решающей функции (РФ) в задаче селекции пауз между словными фрагментами РС использовать максимальную из статистик (23), то есть:

$$F(\vec{x}) = t_n = \max t_r(\vec{x}), 1 \leq r \leq R. \quad (35)$$

Так как соотношение (35) определяет неотрицательную переменную, то решающее правило имеет вид: если выполняется неравенство:

$$F(\vec{x}) \geq h_n, \quad (36)$$

то гипотеза об отсутствии речевой составляющей H_0 неверна, а верна H_1 .

Здесь h_n — положительное число (порог), индекс которого для n -того частотного интервала определяется на основе принципа (35). Для каждой из субполос пороги определяются в процессе обучения, тогда же, когда производится и усреднение, описываемое соотношением (22). При этом используются равенства:

$$h_r = \max P_r(\vec{z}_m) / \bar{P}_r, 1 \leq m \leq M, \quad (37)$$

Причем, количество используемых отрезков РС при отсутствии речевой составляющей должно удовлетворять неравенству:

$$M \geq 1/\alpha, \quad (38)$$

где α - заданная вероятность ошибок первого рода (ложной тревоги).

Литература

1. Компоненты Google и Yandex Алиса: голосовой помощник от компании Яндекс [Электронный ресурс] Корпоративный блок компании Яндекс, Режим доступа: <https://yandex.ru/blog/company/alisa> (10 октября 2017 г)

2. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. М.: Радио и связь, 2000. 456.
3. Аграновский А.В., Леднов Д.А. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М.: Радио и связь, 2004. 164 с.
4. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы : (теория и практика): практическое пособие. М.: Техносфера, 2012. 1008 с.
5. Рихтер С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах. М.: Горячая Линия – Телеком, 2011. 304 с.
6. Питмен Э. Основы теории статистических выводов. М.: Мир, 1986. 104 с.
7. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 2004. 260 с.
8. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Фinitные функции в физике и технике. М.: Наука, 1971. 408 с.
9. Жилияков Е. Г. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности //Автомат. и телемех. 2015, № 4, 51–66; Autom. Remote Control, 76:4 (2015), 589–602
10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1966. 576

Жилияков Евгений Георгиевич. Институт инженерных и цифровых технологий Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» г. Белгород. Заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: 304 (в т.ч. 11 монографий). Область научных интересов: вычислительная математика, обработка речевых сигналов и изображений, информационно-коммуникационные технологии. E-mail: belovssergei@gmail.com

Белов Сергей Павлович. Автономная некоммерческая организация высшего образования «Белгородский университет кооперации, экономики и права» г. Белгород. Профессор кафедры, доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: 145 (в т.ч. 5 монографий). Область научных интересов: обработка речевых сигналов, информационно-коммуникационные технологии.

Белов Александр Сергеевич. Автономная некоммерческая организация высшего образования «Белгородский университет кооперации, экономики и права» г. Белгород. Доцент кафедры, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 50 (в т.ч. 1 монография). Область научных интересов: обработка речевых сигналов.

Медведева Александра Александровна. Институт инженерных и цифровых технологий Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» г. Белгород. Доцент кафедры, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 40 (в т.ч. 2 монография). Область научных интересов: обработка речевых сигналов

Detection of Pauses Between Word Fragments of Speech Recordings

E.G. Zhilyakov¹, A.S. Belov¹¹, S.P. Belov¹¹, A.A. Medvedeva¹

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Belgorod, Russia

¹¹Autonomous Non-Commercial Organization of Higher Education "Belgorod University of Cooperation, Economics and Law", Belgorod, Russia

Abstract. The paper considers the problem of segmentation of recordings of speech signals into segments generated in the presence of speech (word segments), and the pauses between them. This segmentation is an important stage in the identification of speech components based on some features. It is assumed that the segments of the speech signal in pauses of speech are samples from a stationary sequence of samples (noise in pauses). As the main characteristic of noises in pauses, it is proposed to use estimates from the training sample of the mathematical expectations of the energy parts of their segments of a certain finite duration in predetermined frequency bands (subband analysis). It is shown that the use of the maximum ratio of the energy parts of the current analyzed segment to the corresponding mathematical expectations segments of noise allows you to take into account the possible presence of a speech component to the maximum extent. This effect is equivalent to maximizing the signal-to-noise ratio, that is, the proposed decision function is optimal in this sense.

Keywords: segmentation of speech recordings, subband analysis, optimal decision function.

DOI 10.14357/20718632220105

References

1. Components Google and Yandex Alice: a voice assistant from Yandex Corporate block of Yandex, Access mode: <https://yandex.ru/blog/company/alisa> (October 10, 2017)
2. Shelukhin O.I. and N.F. Lukyantsev 2000. Digital processing and transmission of speech. Moscow: Radio and communication. 456 p.
3. Agranovskiy A.V. and D.A. Lednov 2004. Theoretical aspects of algorithms for processing and classification of speech signals. Moscow: Radio and communication. 164 p.
4. Dvorkovich V.P. and Dvorkovich A.V. 2012. Digital video information systems: (theory and practice): a practical guide. Moscow: Technosphere. 1008 p.
5. Richter S.G. 2011. Coding and transmission of speech in digital systems. Moscow: Hot Line – Telecom. 304 p.
6. Pitman E. 1986. Foundations of the theory of statistical inferences. Moscow: Mir. 104 p.
7. Gorelik A.L. and V.A. 2004. Skripkin Recognition methods. Moscow: Higher school. 260 p.
8. Khurgin Ya.I. and V.P. Yakovlev 1971. Finite functions in physics and technology. Moscow: Nauka. 408 p.
9. Zhilyakov, E.G. 2015. Optimal Subband Methods for Analysis and Synthesis of Signals of Finite Duration [Avtomat. and telemekh.] 4 : 51–66. Autom. Remote Control, 76: 4 (2015), 589-602
10. Gantmakher F.R. 1966. Matrix theory. Moscow: Nauka. 576 p.

Zhilyakov E. G. Professor, Federal State Autonomous Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Belgorod, 308015, Russia. e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru.

Belov S. P. Professor, Autonomous non-profit organization of higher education "Belgorod University of Cooperation, Economics and Law", Belgorod, 308023, Russia. e-mail: belovssergei@gmail.com.

Belov A. S. PhD, Autonomous non-profit organization of higher education "Belgorod University of Cooperation, Economics and Law", Belgorod, 308023, Russia. e-mail: belov_as@bsu.edu.ru.

Medvedeva A. A. PhD, Federal State Autonomous Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Belgorod, 308015, Russia. e-mail: medvedeva_aa@bsu.edu.ru