УДК 621.376.2+612.858.7

ВОСПРИЯТИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, МОДУЛИРОВАННЫХ РЕЧЕВОЙ АМПЛИТУДНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ

П. Д. Морозов, В. С. Михеев

*Санкт-Петербургский государственный университет,
университет Аляска-Фэрбенкс*

Поступила в редакцию 10.04.2014 г.

Аннотация. Исследовалась различимость речи после акустической амплитудной модуляции. В качестве несущего использовался гармонический сигнал. Оказалось возможным распознавание амплитудномодулированной речи, когда частоты несущего сигнала выбирались из диапазона 10÷19 кГц. Все эксперименты проводились с цифровым звуком. База стимульного материала была получена посредством оцифровки звуковой речи, зачитываемой разными дикторами. Акустическая модуляция осуществлялась программно. Пересечения сонограмм базы стимульного материала и собственно стимульного материала оказалось практически пустым. Более того, при близости частоты несущего сигнала к 20 кГц верхние частоты сонограммы модулированного сигнала оказывались вне диапазона слышимости, а их низкочастотные части представляли собой инвертированные и поднятые сонограммы входного сигнала.
Ключевые слова: различимость речи, цифровая речь, оцифровка, амплитудная модуляция, интерполяция, передискретизация.
Annotation. The distinguishability of speech coded by acoustic amplitude modulation was researched. As the carrier the harmonic signal was used. It was possible to recognize an amplitude-modulated speech when the frequencies of the carrier signal were chosen from the diapason 10÷19 kHz. All experi-ments were carried out with digital sound. The base of stimulus material was obtained by digitizing the acoustic speech read by different speakers. The acoustic modulation had been realized in software. The intersections of base stimulus material sonograms and the corresponding actual stimulus material ones were practically empty. Moreover, at the proximity of the carrier signal frequency to 20 kHz upper frequency sonograms of modulated signal were outside the diapason of hearing, and their low-frequency parts present inverted and raised sonograms of input signal.
Keywords: speech distinguishability,digital speech, digitizing, amplitude modulation, interpolation, oversampling.

1. ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая работа посвящена психоакустическим исследованиям слухового восприятия акустических гармонических сигналов с частотами от 10 до 19 кГц после амплитудной модуляции акустической речью.

При передаче сигнала весьма часто применяется тот или иной вид модуляции. Так, в радиотехнике под амплитудной модуляцией понимается такое кодирование звукового сигнала в радиоволны, при котором амплитуда гармонического электромагнитного колебания несущего сигнала есть линейная функция звукового давления входного сигна-

© Морозов П. Д., Михеев В. С., 2015

ла (амплитуда “переходит” в амплитуду; при частотной модуляции, соответственно, амплитуда переходит в частоту).

За редким исключением, ни АМ-, ни ЧМ-радиосигналы человеком непосредственно не слышны. Эти исключения в основном связаны с наличием каких-либо механических протезов во рту или голове человека. Более того, при соседстве с мощной радиостанцией можно получить вполне различимую речь в трансляции от нее при подаче радиосигнала на обычный динамик, лишенный детектора. Явление плохо объяснимо. Ведь самые низкие частоты радиовещательных станций не ниже 148.5 кГц, что в 7 раз превышает частотный порог слышимости человека. Не менее удивительно восприятие шепотной речи. Ее различимость не уступает различимости обычной голосовой речи, хотя при визуализации всех гласных и звонких согласных фонем трудно увидеть что-либо общее в этих двух типах речи и какие параметры фонем являются ключевыми в их распознавании. Знание таких параметров представляется весьма значимым при кохлеарной имплантации.

Несущий шум шепотной речи представляет собой смесь высокочастотных акустических колебаний, что представляет существенные трудности в выделении этих ключевых параметров. В связи с этим возникает интерес к исследованию психофизического явления восприятия речи, преобразованной более простыми методами. В частности, с помощью акустической модуляции акустического несущего сигнала. И установить верхний и нижний пороги разборчивости речи в зависимости от частоты несущего сигнала.

Проводимые эксперименты имели целью установить возможность распознавания речевого сигнала после применения как амплитудной, так и частотной модуляции не на электромагнитных, а на акустических гармонических колебаниях высокой частоты.

2. ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Некоторое сужение области исследования было вызвано ограниченностью имеющихся средств.

Аппаратное обеспечение. В наличии имелась следующая аппаратура:

Конденсаторный микрофон DialogM-110: чувствительность: -58 ± 3 дБ; частотный диапазон: 50–16000 Гц; динамики Soundmax: полоса воспроизводимых частот: 50 Гц–20 кГц.

Программное обеспечение. Для исследования фразы записывались с помощью микрофона и звукового редактора Sound Forge 7.0 в WAV-файл. Для работы с цифровым звуком был выбран C++. Сонограммы – пакет “Praat”.

2.1. Акустическая модуляция

Несущие колебанияобычно представляют собой синусоидальные колебания. Сигнал, воздействующий на тот или иной параметр несущих колебаний, называется модулирующим сигналом.

В настоящий момент устройств, которые могли бы промодулировать акустический синусоидальный сигнал акустическим модулирующим сигналом, не существует. С помощью компьютерных технологий мы разработаем аппаратно-программный комплекс, который функционально соответствует такому устройству. Для этого цифровым звуком из аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) будем обрабатывать оцифрованную синусоиду так, чтобы получаемый цифровой поток после прохождения через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) превращался бы в сигнал, соответствующий сигналу, модулированному речевой амплитудной огибающей. Процесс, реализуемый таким аппаратно-программным комплексом, будем именовать “акустической модуляцией”.

Независимо от физической сущности несущего сигнала, его амплитудная модуляция описывается одними и теми же формулами. Обозначим входной сигнал, применяемый для модулирования, через $f(t)$. Пусть несущее колебание имеет вид $P_1 \cos \omega t$, где P_1 – постоянная величина, не зависящая от вре-

мени, ω – несущая частота. Имеется аппаратная возможность изменения амплитуды несущего колебания по формуле $p(t) = P_1 + P_2 f(t)$, P_2 – некая константа. Тогда амплитудномодулированный выходной сигнал $g(t)$, в классическом понимании, есть $g(t) = p(t)\cos\omega t$. При разложении выходного сигнала в сумму гармоник важным является диапазон частот этих гармоник. Оценим его.

Используем для этого разложение входного сигнала в сумму гармоник. Пусть в таком разложении имеется гармоника вида $A\cos\omega_h t$, тогда соответствующее ей слагаемое выходного сигнала таково:

$$p(t) = (P_1 + A\cos\omega_h t)\cos\omega t =$$
$$= P_1\cos\omega t + \frac{1}{2}A\cos(\omega+\omega_h)t + \qquad (1)$$
$$+\frac{1}{2}A\cos(\omega-\omega_h)t.$$

Таким образом, гармоника с частотой ω_h добавляет к спектру колебаний выходного сигнала две частоты $\omega+\omega_h$ и $\omega-\omega_h$, которые могут обрабатываться различными способами (см., например, [1]).

В данном исследовании несущая частота соответствует высокочастотному акустическому колебанию, а к амплитудной модуляции предлагается звуковая речь. Как известно, в телефонии диапазон человеческого голоса принимается равным 300–3400 Гц. В высококачественных широкополосных аудиоустройствах звук передается в диапазоне от 50 до 7000 герц. Что будет происходить, если несущую частоту взять равной 16 кГц?

Человеческое ухо воспринимает звуки в диапазоне от 16 до 20000 Гц. Верхний предел имеет тенденцию снижаться с возрастом. Большинство взрослых людей не могут слышать звук частотой выше 16 кГц. Таким образом, большая часть составляющих с частотами вида $\omega+\omega_h$, когда $\omega_h > 4$ кГц покинут диапазон слышимости всех людей. Основная масса шипящих и свистящих фонем, а также соответствующие им звонкие фонемы, и взрывные фонемы имеют составляющие с частотами от 4 до 6 кГц. При амплитудной модуляции, согласно (1), составляющие с частотами $\omega+\omega_h$ будут неслышимыми. Составляющие с частотами вида $\omega-\omega_h$ будут инвертированы, то есть чем ниже входная частота, тем выше будет частота соответствующей ей составляющей после модуляции. Возможно ли при таком инвертированном сигнале распознавание речи?

Теперь рассмотрим сигнал с частотной модуляцией. При нем происходит изменение мгновенной частоты:

$$\omega(t) = \omega_0 + S(t) = \omega_0 + \Delta\omega s(t),$$

где $S(t)$ – величина входного (модулирующего) сигнала, $s(t)$ – нормированный сигнал: $s = S/\|S\|_\infty$, иными словами, $s(t) = S(t)/\max S(t)$. Тогда $\Delta\omega$ называется девиацией частоты.

Пусть модулирующий сигнал имеет только одну гармонику с частотой ω_h. Тогда изменение "частоты" выходного таково: $\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega\cos\omega_h t$. Принято выбирать девиацию существенно меньше частоты несущей: $\Delta\omega/\omega_0 \le \mu_0 \ll 1$. В наших численных экспериментах μ_0 принимало значения 0.008 и 0.0008. Полагая начальную фазу колебания равной нулю, после интегрирования получаем текущую фазу $\alpha = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega_h}\sin\omega_h t$. Пусть девиация мала также и относительно ω_h: $\frac{\Delta\omega}{\omega_h} \le \mu \ll 1$. В наших численных экспериментах μ принимало значения 0.65 и 0.065. Тогда для звукового давления имеем [2]:

$$p(t) = P_1\cos(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\omega_h}\sin\omega_h t) =$$
$$= P_1\cos\omega_0 t - P_1\frac{\Delta\omega}{\omega_h}\sin\omega_0 t\sin\omega_h t + O(\mu^2) =$$
$$= P_1\cos\omega_0 t + \frac{P_1}{2}\frac{\Delta\omega}{\omega_h}\big[\cos(\omega_0+\omega_h)t -$$
$$-\cos(\omega_0-\omega_h)t\big] + O(\mu^2),$$
$$O(\mu^2) = P_1\left(\frac{-\mu^2}{2}\sin^2\omega_h t\cos\omega_0 t + o(\mu^2)\right),$$
$$o(\mu^2) \le \frac{\mu^3}{6}\left|\sin^3\omega_h t\sin\omega_0 t\right| +$$
$$+\frac{\mu^4}{24}\left|\cos^4\omega_h t\cos\omega_0 t\right|.$$

Следует отметить, что при малом значении индекса модуляции частотные смещения в выходном сигнале весьма близки к частотным смещениям при амплитудной модуляции, разница заключается лишь в нахождении в противофазе одной из составляющей выходных сигналов (с $\cos(\omega_0 - \omega_h)t$). То есть невозможно только по спектру определить, каким является звук: амплитудномодулированным или частотномодулированным. Вследствие чего можно надеяться на схожую различимость человеческим ухом как частотно-, так и амплитудномодулированного сигнала.

2.2. Эксперименты

Цель: выявление разборчивости человеком результатов акустической модуляции в зависимости от частоты несущего акустического сигнала.

Описание экспериментов: основа стимульного материала была составлена из десяти предложений, длительность зачитывания которых была около двух секунд при темпе, близком к темпу зачитывания новостей по телевизору. Пять предложений зачитывались низким голосом (мужским), пять других – высоким голосом (женским) и записывались на частоте дискретизации 22050 Гц, mono, в WAV-файлы, которые потом использовались как входные для компьютерной обработки.

Поскольку в качестве несущего намечался гармонический сигнал с частотами от 10 до 19 кГц, для минимизации паразитных шумов была выбрана высокая частота дискретизации 192 кГц оцифрованного звука. При таких частотах на один период несущего сигнала получалось от 10 до 20 сэмплов. Фильтр низких частот, вставленный в ЦАП CreativeSoundBlasterE-MU 1616, производит эффективное сглаживание так, что и на десяти сэмплах на период выходной аналоговый сигнал, пропущенный через динамики, не отличим от сигнала, воспроизводимого камертоном.

В первой серии экспериментов происходила амплитудная модуляция, то есть амплитуда P, сигнала с несущей частотой ω_h, делилась на две неравные части: $P_1 + A = P$, $P_1 > A$ (см. (1)). Меньшая умножалась на текущее значение $f(t)$ сигнала из входного WAV-файла и складывалась с большей частью: $P_2(t) = P_1 + Af(t)$. В выходной WAV-файл записывалась величина $P_2(t)\cos\omega_h t$. Во второй серии экспериментов амплитуда сигнала из входного WAV-файла меняла по линейному закону частоту несущего сигнала, образуя, тем самым, фазопериодические функции. Стимульный материал появлялся после воспроизведения выходных WAV-файлов с помощью описанного во введении аппаратного и программного обеспечения.

Процедура проведения: испытуемые (3 человека) идентифицировали вначале амплитудномодулированный, затем частотномодулированный стимульный материал. Каждый испытуемый прослушивал модулированные предложения в строгой последовательности понижения несущей частоты. Предварительного знакомства с фразами испытуемые не имели. Каждая амплитудномодулированная фраза вначале воспроизводилась трижды, после чего испытуемые записывали услышанное на бумагу, затем повторялась еще один раз для возможности поправки записи. Каждая частотномодулированная фраза подавалась по одному разу. Затем ответы анализировались. Таким образом, на фиксированной несущей частоте каждый испытуемый имел пятьдесят прослушиваний: каждая из пяти фраз, записанных при помощи двух дикторов, четырежды воспроизводилась при АМ и один раз – при ЧМ.

Критерий распознавания речи: каждая несущая частота оценивалась по десятибалльному критерию качества, который являлся простой суммой баллов за каждую фразу на этой несущей частоте. Фраза засчитывалась как распознанная, когда была записана целиком и все слова совпадали с тестовым вариантом. Если испытуемый верно распознал все слова в предложении, то он получал 1 балл, если хотя бы одно слово не совпадало с исходным текстом – 0; суммарный максимальный балл за несущую частоту равен, соответственно, 10.

2.3. Интерполяции

Частота дискретизации для входного сигнала, т. е. количество измерений звукового давления в секунду, была выбрана 22050 Гц. Поскольку частота дискретизации выходного файла 192 кГц, при сохранении частотных характеристик звука, соответствующего входному сигналу, на каждый сэмпл входного сигнала требуется 9 сэмплов выходного сигнала. Недостающие 8 сэмплов добавлялись интерполяцией. Были рассмотрены линейная интерполяция и интерполяция кубическими квазиэрмитовыми сплайнами.

Линейная интерполяция позволяла обрабатывать неограниченную последовательность входных данных (сэмплов). Но при этом образовывались скачки значений разностных производных на каждом четвертом узле, в то время как на промежуточных трех узлах разностная производная была константой. Можно ожидать, что при аппаратном сглаживании (с помощью ЦАП) было бы благоприятней, с точки зрения подавления паразитных шумов, более плавное изменение разностных производных. Для этого естественно использовать *интерполяцию гладкими сплайнами* [2].

Для нее потребовался своего рода синтез эрмитовых сплайнов $S_{3,1}$ (степени 3 дефекта 1) и кубических $S_{3,2}$. Первые обходятся без производных в узлах, но разработаны только для конечного набора входных данных, вторые применимы к бесконечному набору, но основываются на таких производных [3, 4].

Была применена следующая методика: на участке между нулевым входным и первым узлами интерполяция не производилась (это не принципиально, можно, например, просто добавить фиктивный узел с индексом -1). Для узлов i и $i+1$ вычислялись разностные производные с постоянныммшагом $h_i = h = const$: $m_i = (f_{i+1} - f_{i-1})/2h$, $m_{i+1} = (f_{i+2} - f_i)/2h$. После чего строилось эрмитовое звено между узлами i и $i+1$. После интерполяции следовала модуляция. Частотная модуляция рассматривалась только для линейного интерполирования.

Помимо экспериментов над обычной модуляцией, были поставлены эксперименты с отрицательной амплитудной модуляцией, в которой повышение звукового давления входного сигнала $f(t)$ преобразовывалось в уменьшение амплитуды выходного: $g(t) = (P_1 - P_2 f(t))\cos\omega t$, где $P_1, P_2 > 0$. При подобном инвертировании входного сигнала слуховое восприятие результата практически не имело отличий от входа, что вполне естественным образом объяснялось теорией восприятия звука по спектральному составу, но не по форме звуковой волны. При амплитудной модуляции такое объяснение не представляется логичным. Отсюда возник интерес к отрицательной модуляции.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Периоды несущего сигнала выбирались 10, 12, 16, 19 сэмплов, что для выходного сигнала при частоте дискретизации 192 кГц соответствовало частотам 19, 16, 12, 10 (кГц). Результаты экспериментов приведены в таблице 1:

в строках с указанием несущей частоты указывается номер фразы и тип голоса диктора (“м” – мужской, “ж” – женский);

в строках с указанием номера n испытуемого (“исп. № n”) указаны баллы согласно критерию распознавания речи (см. выше);

в строках с указанием характеристик ненормальности (ХНН) использованы следующие сокращения: “м.” – восприятие стимульного материала, созданного с помощью женского голоса, как созданного с помощью мужского голоса; МСЗ – механическое свистящее звучание.

Во всех экспериментах, где была зарегистрирована разборчивая речь (балл = 1), испытуемые отмечали специфический шум, соответствующий звуку несущей частоты. Из таблицы видно, что при возрастании несущей частоты характеристики ненормальности скудеют. Для периодов гармонического несущего сигнала, выходящих за диапазон $9 \div 38$ сэмплов ($5 \div 21$ кГц), наступала полная неразличимость (0 баллов). Причем для высоких частот – в виде тишины, для низких – из-за наложения “воя”, создаваемого несущей частотой.

Таблица 1

Различимость стимульного материала тремя испытуемыми

10 кГц	1ж	1м	2ж	2м	3ж	3м	4ж	4м	5ж	5м	итог
исп. №1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8/10
исп. №2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9/10
исп. №3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9/10
ХНН	м.		МСЗ	МСЗ	МСЗ		м.	МСЗ	м.	МСЗ	
12 кГц	1ж	1м	2ж	2м	3ж	3м	4ж	4м	5ж	5м	итог
исп. №1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5/10
исп. №2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8/10
исп. №3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9/10
ХНН	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	МСЗ	
16 кГц	1ж	1м	2ж	2м	3ж	3м	4ж	4м	5ж	5м	итог
исп. №1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2/10
исп. №2	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	7/10
исп. №3	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	6/10
ХНН					МСЗ	МСЗ		МСЗ		МСЗ	
19 кГц	1ж	1м	2ж	2м	3ж	3м	4ж	4м	5ж	5м	итог
исп. №1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3/10
исп. №2	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	7/10
исп. №3	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	5/10
ХНН										МСЗ	

Много информации дает сравнение сонограмм исходного стимульного материала с соответствующими сонограммами модулированных сигналов.

Сонограммы (рис. 1–4), во-первых, являются прекрасными иллюстрациями формулы (1), то есть на рис. 2, 4 видна симметрия интенсивности частот относительно несущей частоты. Интенсивности частот, находящихся выше несущей, близки по форме к исходной сонограмме. Интенсивности же частот, которые ниже несущей, как бы “опрокинуты” по вертикали. На рис. 2 и 4 видно, что регистрируемыепакетом “Praat” частотывыше несущей частоты 19 кГц попадают в область ультразвука, и слышны только “опрокинутые” частоты, причем нижняя их граница существенно выше частот исходного материала.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность распознавания фраз, которые после амплитудной модуляции имеют сонограммы, совершенно не совпадающие с исходными, еще раз подтверждает идеи и о значительно меньшей роли частотных характеристик в распознавании речи и намного большей роли амплитудных эволюций [5, 6].

Вставка дополнительных сэмплов между исходными, производимая интерполяцией квазиэрмитовыми кубическими сплайнами, по сравнению с линейной давала более высокое качество выходного звука, т.е. в нем было снижено дребезжание и прочие шумы. Что и ожидалось, поскольку квазиэрмитовые кубические сплайны гораздо эффективнее сглаживают выходной сигнал.

Из непредвиденных явлений стоит отметить необычный переход женского голоса в мужской после амплитудной модуляции при относительно низкой несущей частоте 10 кГц (см. таблицу). Любопытным оказалось

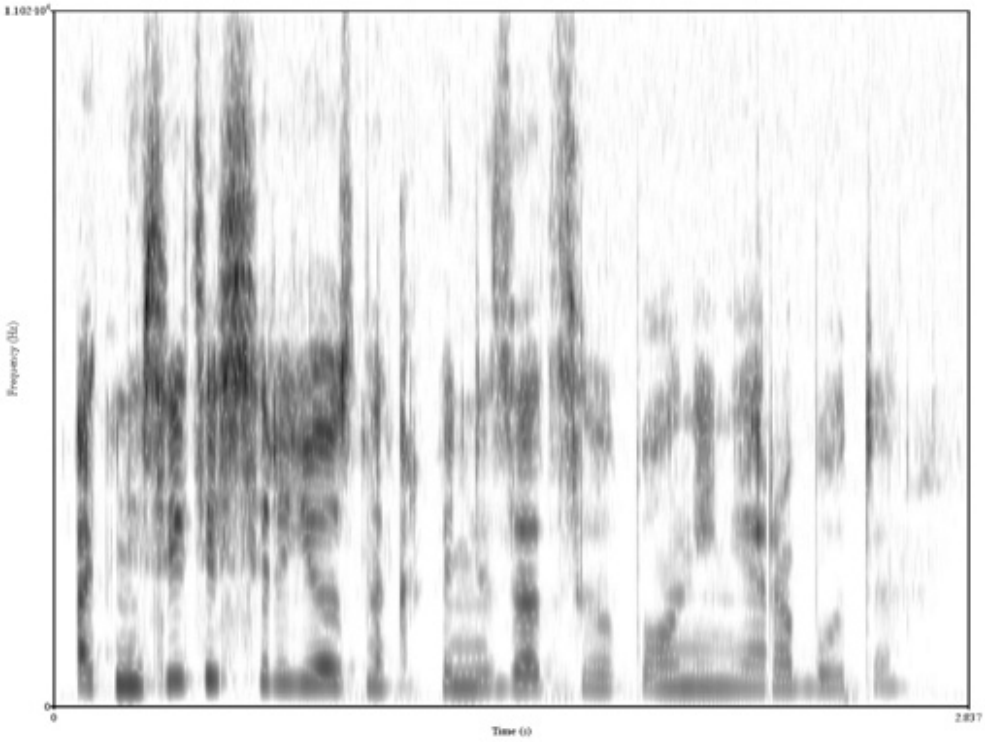

Рис. 1. Сонограмма 3-й фразы. Женский голос

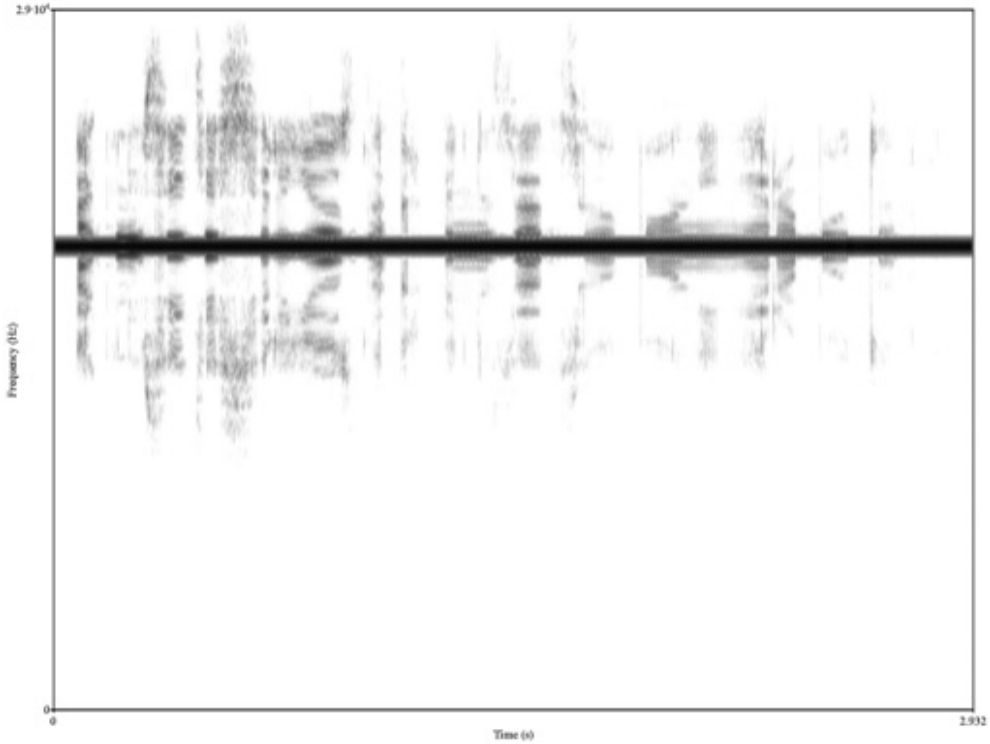

Рис. 2. Сонограмма стимульного материала, полученного на основе 3-й фразы, женский голос, с несущей в 19 кГц

совпадение разборчивости речи при отрицательной амплитудной модуляции с разборчивостью при положительной, факт априори неочевидный.

Начало спиралевидного канала улитки резонирует на высокой частоте и поглощает ее энергию, поэтому составляющая звуковой волны с этой частотой не должна проходить

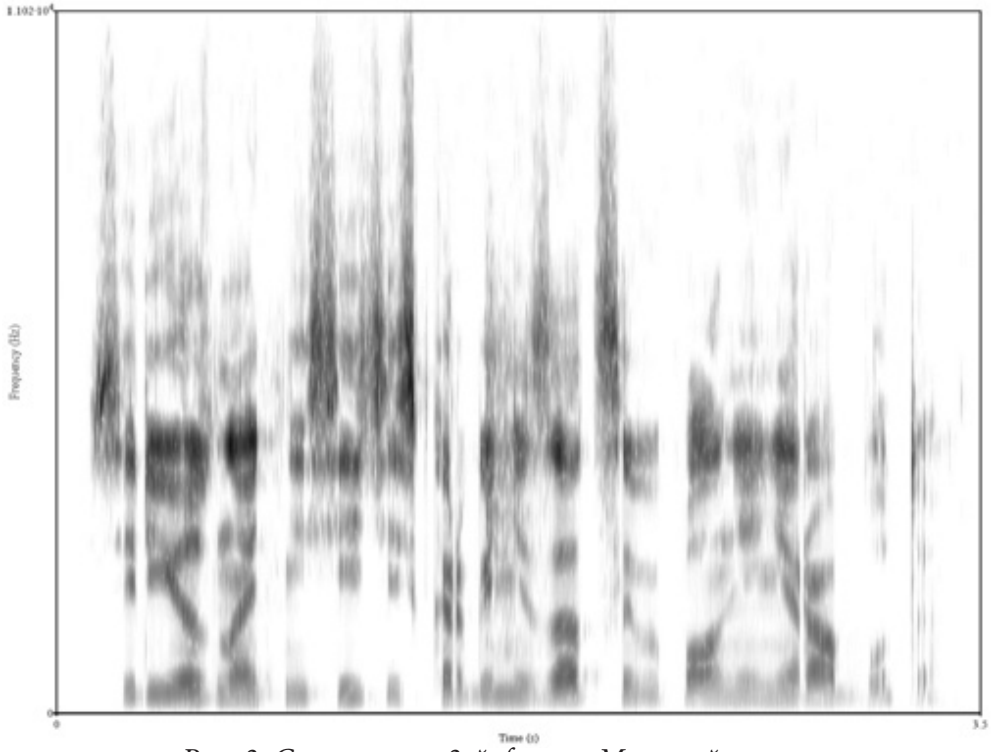

Рис. 3. Сонограмма 3-й фразы. Мужской голос

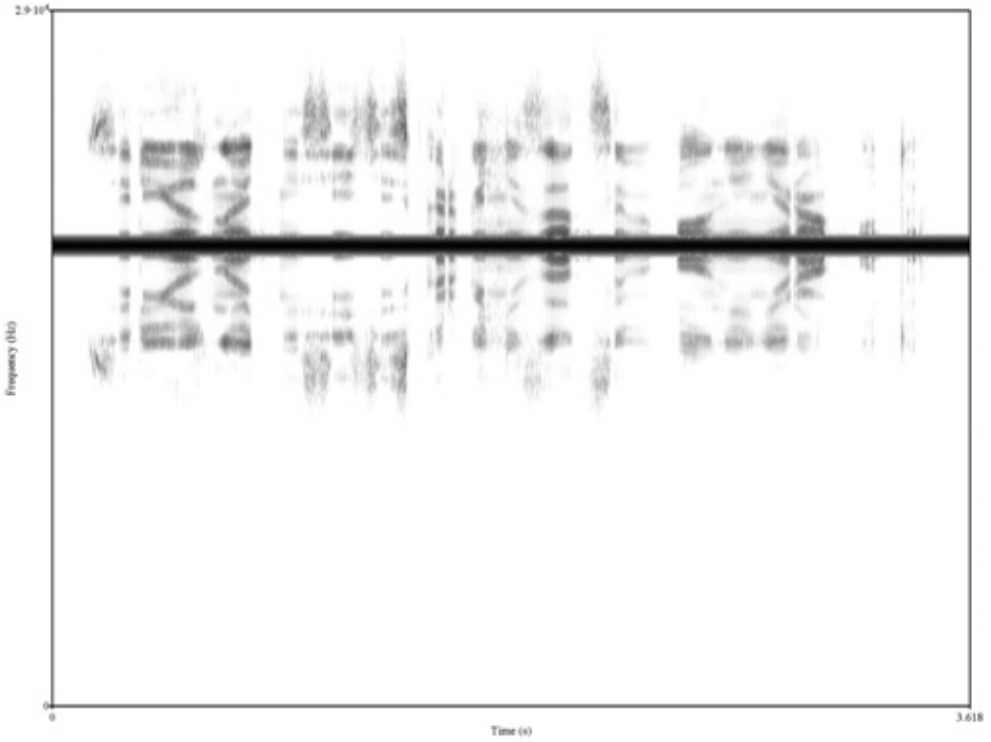

Рис. 4. Сонограмма стимульного материала, полученного на основе 3-й фразы, мужской голос, с несущей в 19 кГц

дальше вглубь канала. При амплитудной модуляции основной составляющей звукового сигнала является несущая высокая частота с медленно меняющейся амплитудой. Выходной сигнал тогда можно интерпретировать как результат сложения постоянного гармонического сигнала с несущей частотой с близкими к ней гармониками, что вызывает “биение”. Поэтому априори, согласно идеям о рассеянии энергии составляющих частот

на участках их резонирования, можно было предполагать отсутствие слышимости существенно более низких модулируемых частот, близких к диапазону частот человеческого голоса. В нашем эксперименте несущая частота (10÷19 кГц) не менее, чем в 100 раз превосходила основную мужского голоса (около 100 Гц), в 29.5 – женского (около 340 Гц). Тем не менее, после модулирования сохранялась различимость сигнала. Это наводит на мысль о целесообразности отыскания некоторого развития для теории "бегущей волны" Бекеши функционирования внутреннего уха, которое объяснило бы наблюдаемые явления.

Интересными представляются эксперименты с амплитудной акустической модуляцией на аппаратуре, позволяющей записывать/воспроизводить звуковые частоты в диапазоне $16 \div 20$ кГц, а также в ультразвуке. В этом случае несущая частота при воспроизведении не будет слышима, но будет ли восприниматься ухом модуляция?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Камачкин А. М., Шамберов В. Н.* Метод декомпозиции в многомерных нелинейных динамических системах // Вестник Воронежского гос. университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2012. – № 1. – С. 47–55.

2. *Михеев С. Е.* О сглаживании функций // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 4. – С. 100–105.

3. *Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л.* Методы сплайн-функций. – М. : Наука, 1980. – 352 с.

4. *Михеев С. Е., Морозов П. Д.* Применение квазиэрмитовых кубических сплайнов для передискретизации звуковых файлов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 4. – С. 106–115.

5. *Люблинская В. В., Столярова Э. И., Малинникова Т. Г., Чернова Е. И.* Роль амплитудной модуляции в речевых сигналах при их идентификации // Идеи и методы экспериментального изучения речи. – СПб. : СПбГУ, 2008. – С. 27–41.

6. *Faulkner A., Rosen S., Smith C.* Effects of the Salience of Pitch and Periodicity Information on the Intelligibility of Four-Channel Vocoded Speech: Implications for Cochlear Implants // J. of the Acoustical Society of America, 108(4), 2000. – P. 1877–1887.

Морозов Петр Дмитриевич – аспирант кафедры информационных систем, Санкт-Петербургский государственный университет.
Тел.: 8-904-632-83-58,
E-mail: pm-morozovpd@yandex.ru

Михеев Викентий Сергеевич – аспирант университета Аляска-Фэрбенкс.
E-mail: vsmikheev@alaska.edu

Morozov Petr Dmitrievich – postgraduate of Information System Chair, St. Petersburg State University.
Tel. 8-904-632-83-58,
E-mail: pm-morozovpd@yandex.ru

Mikheev Vikentiy Sergeevich – postgraduate of Alaska Farbenks.
E-mail: vsmikheev@alaska.edu