

О необходимости уточнения методик оценки качества звуковых трактов за счет применения психоакустических критериев

Н. О. Абросимова, А. А. Коротченко, М. С. Шушнов

Сибирский гос. унив. телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Аннотация: В статье рассмотрена связь электрических показателей качества звуковых трактов, используемых в современных методиках измерений, и психоакустических показателей качества субъективной оценки. Дается рекомендация о необходимости применения критериев психоакустической оценки, так как не все параметры, используемые при субъективной оценке качества звуковых трактов, могут быть измерены с помощью объективных методик.

Ключевые слова: звук, тракт, запись, усиление, методика, искажения, психоакустика.

Для цитирования: Абросимова Н. О., Коротченко А. А., Шушнов М. С. О необходимости уточнения методик оценки качества звуковых трактов за счет применения психоакустических критериев // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17, № 2. С. 3–11.
<https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-2-3-11>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Абросимова Н. О., Коротченко А. А.,
Шушнов М. С., 2023

Статья поступила в редакцию 25.12.2022;
принята к публикации 10.01.2023.

1. Введение

В современном мире музыка, речь и иные звуки окружают нас со всех сторон. Звуковые тракты встречаются в телевизионных и радиовещательных студийно-аппаратных комплексах, студиях звукозаписи и мастеринга, при прослушивании фонограмм через бытовые устройства и т.п. Иными словами, любой звук, что мы слышим сегодня, опосредованно прошел через некий звуковой тракт – совокупность устройств снятия, усиления, обработки, передачи и воспроизведения звуковой информации. Сложно найти человека, который не оценит и не любит чистое и качественное звуковоспроизведение. Но в настоящее время нет однозначного понимания, от чего зависит качество звуковоспроизведения.

За приятный звуковой сигнал отвечает множество факторов, но ключевым и немаловажным является объективная оценка качества звуковых трактов с применением стандартных методик измерений. Однако все чаще возникают вопросы об адекватности и всесторонности объективных методов оценки качества, так как в среде профессиональных музыкантов, звукорежиссеров, меломанов и обычных слушателей все большее внимание отдается субъективной оценке, а данные о технических характеристиках большинство практически не интересуют.

Субъективная оценка включает в себя слепое или не слепое прослушивание звукового тракта с оценкой ряда психоакустических критериев качества звуковоспроизведения и дает

больше информации о качественных свойствах звукового тракта, чем проведение измерений только электрических характеристик. Принципы и критерии психоакустической субъективной оценки самостоятельно сформировались за последние 40–50 лет в среде любителей качественного звука, музыкантов, звукорежиссеров, аудиофилов и др.

2. Систематизация объективных и субъективных критериев оценки качества звука с установлением взаимосвязей

2.1. Система стандартов оценки качества

Любая существующая объективная методика оценки качественных характеристик аналоговых звуковых устройств [1–3] и цифровых трактов [4–7] – профессиональных и бытовых – реализуется с помощью одного или нескольких измерительных приборов, предназначенных для измерения электрических величин. Обобщая методики, можно выделить общие подходы к объективной оценке. Измерения электрических величин всегда затрагивают такие характеристики, как диапазон рабочих частот, неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), коэффициент нелинейных искажений (или коэффициент гармоник), коэффициент интермодуляционных искажений, характер переходного процесса при импульсном воздействии, отношение сигнал/шум на выходе и максимальный уровень сигнала или динамический диапазон, разделение каналов (в многоканальной системе). Однако ни одна из указанных электрических характеристик не имеет отношения к оценке восприятия слушателем результата.

Сегодня имеет место абсурдная ситуация: разработчики, производители и маркетологи в области аудиоустройств продолжают удивлять цифрами, говорящими о экстремально высоком качестве их устройств, а покупатели все чаще склоняются в сторону устройств с невысокими качественными показателями, устройствам «винтажным», ламповым конструкциям и устройствам без указания их качественных характеристик. Также ряд слушателей отказывается от цифровых носителей информации, стриминговых интернет-ресурсов и слушает записи с магнитной ленты, на виниловых дисках, хотя есть часть приверженцев, казалось, давно устаревшего формата CD-диска. В [8] указано, что иногда звукорежиссеры преднамеренно снижают качество звукового сигнала при обработке для придания приятного характера звучания создаваемой фонограмме, радиопрограмме и т.п.

Необходимо отметить, что хотя Приложение А ГОСТ ИЕС 61606-3-2014 [6] содержит указание на возможность применения альтернативной методики оценки электрических характеристик с целью получения большей информации, однако оно не предусматривает возможности проведения субъективной оценки качества звука.

2.2. Объективная и субъективная методики оценки

В среде звукорежиссеров, меломанов, музыкантов и аудиофилов часто используются критерии оценки качества звучания, такие как различимость, полнота, громкость, теплота или нейтральность, тембр, тональный баланс, высокий регистр, темный фон, сцена, микродетальность, макродетальность, утомляемость или увлекательность. Существуют и иные субъективные критерии, но они либо встречаются редко, либо включают в себя указанные выше.

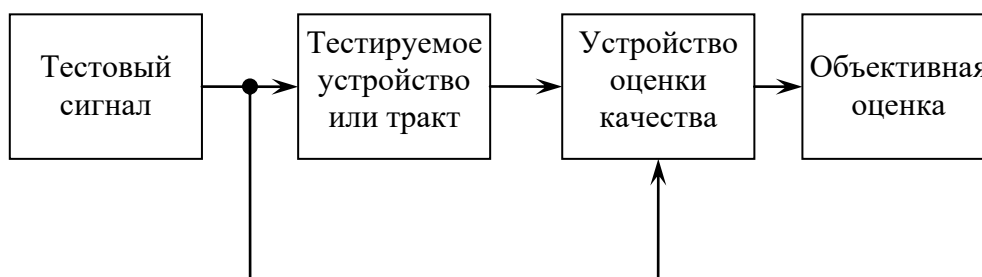


Рис. 1. Схема объективной оценки качества звукового тракта

На рис. 1 показана схема установления взаимосвязи электрических характеристик устройства психоакустическим критериям оценки. Сложность применения схемы заключается в нечетком понимании, какие именно электрические характеристики тестируемого устройства необходимо измерить электрически для совмещения результата с критериями психоакустической оценки, а также в формировании экспертной группы. По этой причине возможно введение новых качественных параметров оценки электрических характеристик аналоговых звуковых устройств и цифровых трактов, выходящих за рамки указанных в [1–7]. В качестве экспертов необходимо задействовать как профессионалов, имеющих опыт слуховой экспертизы или имеющих навык профессиональной оценки в ходе практической работы, так и группы непрофессионалов разных возрастных групп, так как свойства человеческого слуха меняются с возрастом. Хотя требование деления на возрастные группы не является обязательным. Схема тестирования при субъективной оценке показана на рис. 2.

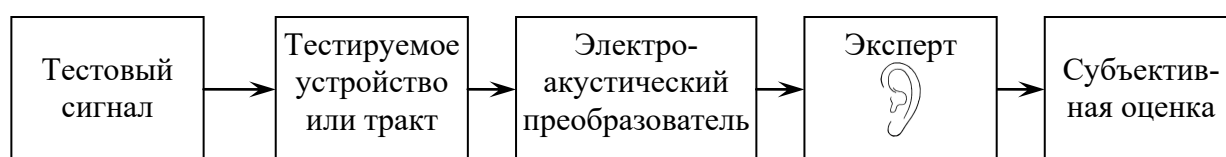


Рис. 2. Схема субъективной оценки качества звукового тракта

Как видно из рис. 2, при субъективной оценке имеет место человеческое восприятие, которое основывается на психоакустике. Эта схема не учитывает реакцию электрического измерителя – устройства оценки, как на рис. 1, но учитывает реакцию человека на результат прохождения звукового сигнала через оцениваемый тракт или устройство.

3. Психоакустические критерии оценки и их связь с электрическим трактом

В соответствии с делением объективных показателей качества и психоакустических критериев составлена диаграмма соответствия (рис. 3). Диаграмма составлена на основе систематизации и анализа имеющейся в сети Интернет информации с профильных ресурсов, а также на основе опроса покупателей аудиотехники и профессионалов-звукотехников и не учитывает возрастные группы. Сплошными линиями показаны установленные связи, а пунктирными – что взаимосвязь возможна, но не очевидна.



Рис. 3. Соответствие объективных показателей оценки качества звукового тракта субъективным характеристикам психоакустической оценки

Наличие неопределенностей в диаграмме на рис. 3 говорит о неполной оценке психоакустических свойств звуковых трактов существующими методиками измерения электрических характеристик.

Как видно из рис. 3, *полнота* (полновесность) звуковой картины, *сцена*, *микродетальность*, *макродетальность*, *утомляемость* или *увлекательность* не учитываются в объективной оценке, но при субъективной оценке считаются важными.

Так, показатель *полнота* может быть связан с эффектом компрессии динамического диапазона при усилении звукового сигнала и эффектом вариации характера переходного процесса при изменении уровня входного сигнала. В объективных электрических показателях эта оценка не учитывается, методика измерений не разработана.

Субъективный показатель *громкость* хоть и связан с уровнем сигнала (выходной мощностью или напряжением), но при прослушивании различных звуковых систем при одинаковых электрических параметрах дает различное восприятие.

Часто громкость связывается с утомляемостью или увлекательностью. Так, тракт, звучащий увлекательно, вызывает желание прослушать его на большей громкости, а звучащий утомительно – на низкой. Применение показателей *утомляемость* и *увлекательность* еще больше затрудняет установление четких связей с объективными характеристиками, так как для них не установлена взаимосвязь. Таким образом, эти критерии являются самыми сложными, так как сочетают в себе итоговую оценку качества звучания всего звукового тракта и должны формироваться на основе анализа ряда психоакустических характеристик.

Субъективный показатель *теплота/нейтральность* обычно связывается с наличием определенного спектра нелинейных искажений и их взаимным распределением. Так, преобладание второй гармоники и гармоник четных порядков обычно оценивается как некоторая

теплота. Преобладание третьей гармоники и гармоник нечетных порядков оценивается как агрессивность или резкость. Нейтральный характер обычно связывается с быстро убывающим спектром продуктов нелинейных искажений. Ряд электрических параметров измеряются в стандартных методиках [1–7], хотя отдельно уровни четных и нечетных гармоник не указываются.

Оценка *сцены* достаточно сложна. Часто можно встретить формулировку о близкой сцене или далекой сцене. Вероятно, это связано с укрупнением подачи звукового образа при наличии компрессии динамического диапазона, из-за чего тихие звуки становятся громче, а громкие – тише.

Микродетальность и макродетальность относят к характеристикам воспроизведения тихих звуков на фоне громких и маскирования громкими звуками тихих. При схожести формулировок ведется оценка мелких и крупных звуков отдельно, так как задействуются эффекты психоакустического маскирования человеческого слуха. В основе электрических явлений в звуковых трактах при изменении этих показателей лежат эффекты нелинейности, проявляющиеся при воздействии сигналов со сложным спектром. Стандартные методики [1–7] предусматривают оценку на основе воздействия пары стационарных сигналов с отличающимися частотами и определенным соотношением уровней, что не имеет отношения к реальному звуковому сигналу.

Таким образом, наличие множества перекрестных связей между параметрами или их отсутствие не дает точного ответа на вопрос, какой именно электрический параметр необходимо улучшать для повышения качества звучания при субъективной оценке.

4. Использование системы искусственного интеллекта для корректировки психоакустических критериев оценки

Так как в последнее время системы искусственного интеллекта (ИИ) начинают внедряться в научные и учебные области [9, 10], интересной представляется возможность получения большего объема сведений об изучаемых методиках оценки на основе анализа результатов опроса респондентов и синтеза имитационных моделей для создания (обработки) референсных фонограмм путем модификации структуры подпрограмм обработчиков звуковых данных (чейнов). Возможная структура системы ИИ опроса респондентов показана на рис. 4.

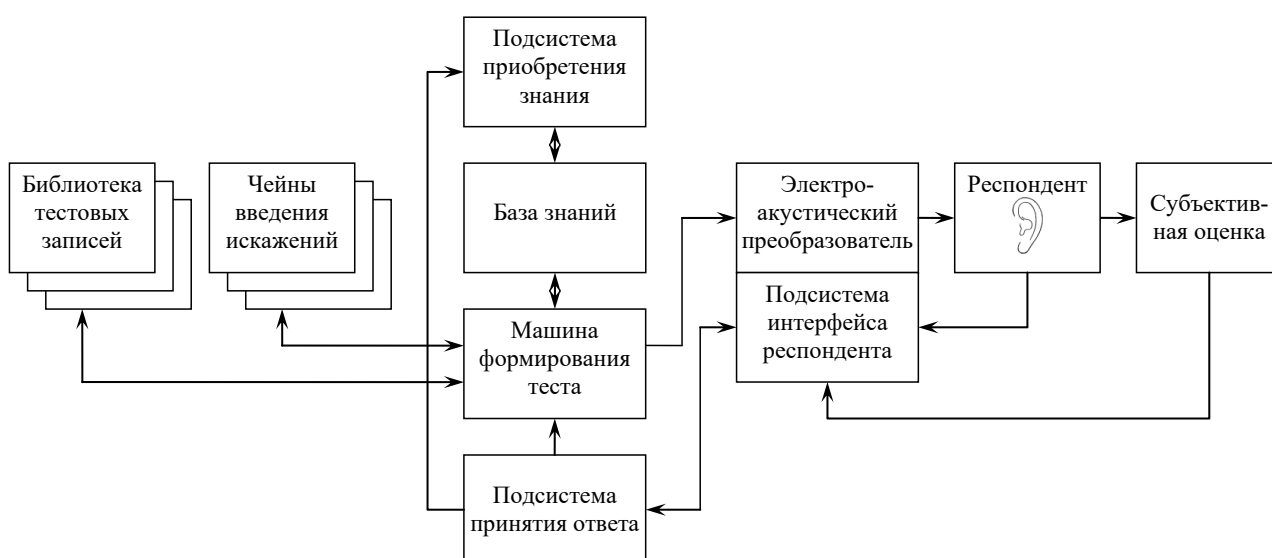


Рис. 4. Схема применения ИИ для опроса респондентов с целью уточнения психоакустических критериев оценки качества звуковых трактов

Система ИИ содержит библиотеку тестовых записей, которые могут обрабатываться чейнами введения искажений при формировании тестового задания для респондента машиной формирования теста. Машина формирования теста является рабочей областью, и на основании полученной от респондента через подсистему интерфейса респондента начальной информации генерирует тестовое задание и передает его через электроакустический преобразователь респонденту. Электроакустический преобразователь должен представлять собой референсный тракт из цифро-аналогового преобразователя, усилительного тракта и головных стереотелефонов или акустически подготовленного помещения и акустических систем.

Респондент во время исследований сообщает системе ИИ результаты субъективной оценки качества звучания через интерфейс респондента. Подсистема принятия ответа может принять ответ респондента, добавить или изменить тестовое задание для уточнения результата опроса.

База знаний хранит начальные сведения об исследовании, но в процессе приобретения знаний база знаний может изменяться и дополняться. Таким образом, можно выделить часто встречающиеся критерии психоакустической оценки и сопоставить им чейны введения искажений.

Чейны введения искажений могут меняться в процессе теста для уточнения степени влияния на психоакустическое восприятие электрических характеристик.

База тестовых записей подбирается под пожелания респондента на основе взаимодействия респондента с системой ИИ. На основе обратной связи с респондентом база данных тестовых записей может дополняться, так как записи различных стилей могут по-разному менять свои психоакустические свойства при обработке чейнами искажений.

Итогом работы системы ИИ является база знаний с критериями психоакустической оценки и сопоставляемыми им электрическими характеристиками.

5. Заключение

В настоящее время существует очевидная проблема несоответствия методик объективных измерений [1–7] требованиям слушателей и профессионального сообщества, что требует уточнения существующих методик оценки с применением психоакустических критериев.

Уточнение методик объективной оценки звуковых трактов путем учета показателей, связанных с психоакустическими свойствами, позволит улучшить их качественные характеристики, повысить заинтересованность слушателей информационными, музыкальными, образовательными программами за счет достижения комфортного характера подачи.

В звукотехнической индустрии построение устройств обработки звука, основанных на психоакустической оценке их качества звучания, позволит повысить конкурентоспособность устройств на рынке по сравнению с моделями, имеющими аналогичный функционал, но построенными без учета психоакустических свойств.

Не исключено, что психоакустические критерии могут быть использованы для преднамеренной коррекции характера звуковых материалов в рекламных компаниях и при публичных выступлениях, но такая возможность требует дополнительных исследований.

Литература

1. Наушники стереофонические. Методы измерений. Межгосударственный стандарт ГОСТ 28278-89. М.: Стандартинформ, 2006. 23 с.
2. Усилители сигналов звуковой частоты бытовые. Общие технические. Государственный стандарт СССР ГОСТ 24388-88. М.: Издательство стандартов, 1989. 11 с.

3. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы измерения электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты. Государственный стандарт СССР ГОСТ 23849-87. М.: Издательство стандартов, 1990. 66 с.
4. Аудио- и аудиовизуальное оборудование. Компоненты цифровой аудиоаппаратуры. Основные методы измерений звуковых характеристик. Часть 1. Общие положения. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИЕС 61606-1-2014. М.: Стандартинформ, 2016. 36 с.
5. Аудио- и аудиовизуальное оборудование. Компоненты цифровой аудиоаппаратуры. Основные методы измерений звуковых характеристик. Часть 2. Бытовое применение. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИЕС 61606-2-2014. М.: Стандартинформ, 2016. 36 с.
6. Аудио- и аудиовизуальное оборудование. Компоненты цифровой аудиоаппаратуры. Основные методы измерений звуковых характеристик. Часть 3. Профессиональное применение. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИЕС 61606-3-2014. М.: Стандартинформ, 2020. 42 с.
7. Аудио- и аудиовизуальное оборудование. Компоненты цифровой аудиоаппаратуры. Основные методы измерений звуковых характеристик. Часть 4. Персональный компьютер. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИЕС 61606-4-2014. М.: Стандартинформ, 2018. 28 с.
8. *Абросимова Н. О., Шушнов М. С.* Система стандартов измерения качества современной звуковой техники // Материалы МНТК «Современные проблемы телекоммуникаций», СибГУТИ, Новосибирск, 2021. С. 80–84.
9. *Люгер Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд.; пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс, 2003. 863 с.
10. *Котлярова И. О.* Технологии искусственного интеллекта в образовании // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки». 2022. Т. 14, № 3. С. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307.

Абросимова Надежда Олеговна

аспирант 2-го года обучения, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: skachok94@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-3057-8215.

Коротченко Анна Анатольевна

студент 2-го курса института телекоммуникаций, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: anitakorotchenko@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-5583-8369.

Шушнов Максим Сергеевич

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой цифрового телерадиовещания и систем радиосвязи, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: efemerian@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1713-5177.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

On the Need to Clarify the Methods of Evaluating the Tracts Sound Quality Through the Psychoacoustic Criteria Application

Nadezhda O. Abrosimova, Anna A. Korotchenko, Maxim S. Shushnov

Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS)

Abstract: In this article, the electrical indicators connection of the sound tracts quality used in modern measurement methods and psychoacoustic indicators of the subjective assessment potential are considered. A recommendation on the need to apply psychoacoustic assessment criteria is given as not all of them used in subjective assessment of the sound tracts quality can be measured using objective techniques.

Keywords: sound, tract, record, amplification, methodology, distortion, psychoacoustics.

For citation: Abrosimova N. O., Korotchenko A. A., Shushnov M. S. On the need to clarify the methods of evaluating the tracts sound quality through the psychoacoustic criteria application (in Russian). *The SibSUTIS Bulletin*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 3-11. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-2-3-11>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Abrosimova N. O., Korotchenko A. A.,
Shushnov M. S., 2023

The article was submitted: 25.12.2022;
accepted for publication 10.01.2023.

References

1. *Naushniki stereofonicheskiye. Metody izmereniy. Mezhdgosudarstvennyy standart GOST 28278-89* [Stereo-phonetic headphones. Measurement methods. Interstate Standard GOST 28278-89]. M.: Standartinform, 2006. 23 p.
2. *Usiliteli signalov zvukovoy chastoty bytovyye. Obshchiye tekhnicheskiye. Gosudarstvennyy standart SSSR GOST 24388-88* [Increased sound frequency signals. General technical. State Standard of the USSR GOST 24388-88]. M.: Izdatel'stvo standartov, 1989. 11 p.
3. *Apparatura radioelektronnaya bytovaya. Metody izmereniya elektricheskikh parametrov usiliteley signalov zvukovoy chastoty. Gosudarstvennyy standart SSSR GOST 23849-87* [The equipment is electronic household. Methods for measuring the electrical parameters of sound frequency signals. State Standard of the USSR GOST 23849-87]. M.: Izdatel'stvo standarto, 1990. 66 p.
4. *Audio- i audiovizual'noye oborudovaniye. Komponenty tsifrovoy audioapparatury. Osnovnyye metody izmereniy zvukovykh kharakteristik. Chast' 1. Obshchiye polozheniya. Mezhdgo-sudarstvennyy standart GOST IEC 61606-1-2014* [Audio and audiovisual equipment. Components of digital audio equipment. Opeptic methods for measuring sound characteristics. Part 1. General provisions. The inter-state standard GOST IEC 61606-1-2014]. M.: Standartinform, 2016. 36 p.
5. *Audio- i audiovizual'noye oborudovaniye. Komponenty tsifrovoy audioapparatury. Osnovnyye metody izmereniy zvukovykh kharakteristik. Chast' 2. Bytovoye primeneniye. Mezhdgosudarstvennyy standart GOST IEC 61606-2-2014* [Audio and audiovisual equipment. Components of digital audio equipment. Opeptic methods for measuring sound characteristics. Part 2. Household application. The inter-state standard GOST IEC 61606-2-2014]. M.: Standartinform, 2016. 36 p.
6. *Audio- i audiovizual'noye oborudovaniye. Komponenty tsifrovoy audioapparatury. Osnovnyye metody izmereniy zvukovykh kharakteristik. Chast' 3. Professional'noye prime-neniye. Mezhdgosudarstvennyy standart GOST IEC 61606-3-2014* [Audio and audiovisual equipment. Components of digital audio equipment. Opeptic methods for measuring sound characteristics. Part 3. Professional example. Interstate Standard GOST IEC 61606-3-2014]. M.: Standartinform, 2020. 42 p.
7. *Audio- i audiovizual'noye oborudovaniye. Komponenty tsifrovoy audioapparatury. Osnovnyye metody izmereniy zvukovykh kharakteristik. Chast' 4. Personal'nyy komp'yuter. Mezhdgosudarstvennyy standart GOST IEC 61606-4-2014* [Audio and audiovisual equipment. Components of digital audio equipment.

- Opetic methods for measuring sound characteristics. Part 4. Personal computer. Interstate Standard GOST IEC 61606-4-2014]. M.: Standartinform, 2018. 28 p.
8. Abrosimova N.O., Shushnov M.S. Sistema standartov izmereniya kachestva sovremennoy zvukovoy tekhniki [System of standards for measuring the quality of modern sound technology]. *Sovremennyye problemy telekommunikatsiy: Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf: materialy konf.* Sib. state. University of telecommunications and informatics. Novosibirsk: SibGUTI, 2021. pp.80-84.
 9. Luher F. *Iskusstvennyy intellekt: strategii i metody resheniya slozhnykh problem* [Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems]. 4th ed. from English. M, Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2003. 863 p.
 10. Kotlyarova I.O. Tekhnologii iskusstvennogo intellekta v obrazovanii [Technologies of artificial intelligence in education]. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Obrazovaniye. Pedagogicheskiye nauki»*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 69-82. DOI: 10.14529/Ped220307.

Nadezhda O. Abrosimova

Postgraduate student, Siberian State University of Telecommunications and Information Science, e-mail: skachok94@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-3057-8215.

Anna A. Korotchenko

Student, Siberian State University of Telecommunications and Information Science, e-mail: anitakorotchenko@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-5583-8369.

Maxim S. Shushnov

Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Digital Television, Radio Broadcasting and Radio Communication Systems, Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Russia, 630102, Novosibirsk, Kirov St. 86), e-mail: efemerian@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1713-5177.