

Акустичні прилади та системи

УДК 621.391.83

DOI: [10.20535/2523-4455.2018.23.4.133785](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.4.133785)

Оцінювання якості музичних сигналів, обмежених за смугою частот

Юраков М. П., ORCID [0000-0001-7044-7164](https://orcid.org/0000-0001-7044-7164)e-mail yunik1208@gmail.comКотвицький І. В., ORCID [/0000-0003-2800-0080](https://orcid.org/0000-0003-2800-0080)e-mail igorktvzk@gmail.comПродеус А. М., д.т.н. проф., ORCID [0000-0001-7640-0850](https://orcid.org/0000-0001-7640-0850)e-mail aprodeus@gmail.com

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Реферат—Представлено результати оцінювання, із застосуванням об'єктивних та суб'єктивних мір, якості музичних сигналів. Суб'єктивне оцінювання здійснювалося 23 слухачами середнім віком 22 роки, без вад слуху. Для об'єктивного оцінювання використано 4 міри якості, серед яких сегментне відношення сигнал-шум, лог-спектральні спотворення, барк-спектральні спотворення, а також міра “perceptual evaluation of audio quality”, яка спеціально призначена для оцінювання якості музичних сигналів. Підтверджено справедливість результатів попередніх досліджень, де вказано, що смуга частот 12-14 кГц є достатньою для того, щоб музичний сигнал вважався таким, що практично не відрізняється від еталонного сигналу. Продемонстровано важливість врахування особливостей окремих об'єктивних мір якості, а також необхідність достатньо великого об'єму різноманітного музичного матеріалу для одержання достовірних оцінок якості музичних сигналів. Побудовано карти відповідності між суб'єктивною та об'єктивними мірами якості, що дозволяє калібрувати системи об'єктивного оцінювання якості музичних сигналів.

Бібл. 13, рис. 3, табл. 2.

Ключові слова — музичний сигнал; якість сигналу; міра якості; об'єктивне оцінювання; суб'єктивне оцінювання

I. ВСТУП

Актуальність теми, що розглядається в даній роботі, пояснюється тим, що зростаючі потреби користувачів ліній зв'язку призводять до поступового підвищення вимог до смуги частот, що відводиться для передачі сигналів. Так, до сьогодні в аналоговій та мобільній телефонії використовується вузька смуга частот 300-3400 Гц (Narrow Band - NB). Проте із розвитком технологій мобільного та мережевого зв'язку стало можливим розширення смуги частот до WideBand (WB) (50-7000 Гц), Super-WideBand (S-WB) (50-14000 Гц) та навіть Full-Band (FB) (20-20000 Гц) [1]. Таке розширення смуги частот пояснюють бажанням якомога якісніше передавати мовні та музичні сигнали через канали передачі, якими є лінії зв'язку, та різноманітні тверді носії інформації (лазерні та магнітні диски, флеш-пам'ять тощо) [2], [3].

З іншого боку, пересічна людина може й не помітити різницю між якістю озвучення двох музичних творів, спектр одного з яких простягається до 20 кГц, а для іншого обмежується 14 кГц [4].

З метою уточнення характеристик слухової системи людини та виявлення придатних для цього об'єктивних (інструментальних) показників якості музичних сигналів, в [5] досліджено залежності низки таких показників від смуги частот каналу передачі. При цьому, однак, перелік музичних творів, що прослуховувалися, був надто обмеженим за характером звучання. Так, в кожному із двох розглянутих жанрів класичної та популярної музики розглядалися по 4 твори, дуже схожих між собою за характером звучання. Також не було побудовано карти відповідності результатів об'єктивного та суб'єктивного оцінювання якості сигналів, що не дозволяє виконувати калібровку відповідних систем об'єктивного оцінювання якості музичних сигналів. Нарешті, не розглянуто питання порівняльної ефективності (порівняно із більш простими для обчислень мірами якості) такої міри якості, як Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ), що була спеціально розроблена для об'єктивного оцінювання якості музичних сигналів [6].

Мета даної роботи полягала в заповненні вказаних прогалів, що дозволило б не тільки перевірити дос-



товірність висновків роботи [5], але й розвинути проведені дослідження, максимально полегшивши практичне використання об'єктивних мір якості сигналів.

II. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як і в [5], в даній роботі суб'єктивне тестування виконувалося за методом «оцінка ступеня деградації» (Degradation Category Rating – DCR). Згідно із цим методом слухачі порівнювали якість спотвореного та еталонного музичних сигналів та виставляли оцінки за п'ятибальною «шкалою середньої деградації» (Degradation Mean Opinion Score – DMOS) [1]. В суб'єктивному оцінюванні якості музичних сигналів брали участь 23 слухачі, юнаки та дівчата віком 19-24 роки без явних вад слуху, при цьому використовувалися фрагменти музичних творів тривалістю від 15 до 30 секунд. Хоча зазначеної тривалості звучання недостатньо для суб'єктивного оцінювання художнього рівня музичного твору, проте вона є цілком достатньою для суб'єктивного визначення наявності спотворень та оцінювання ступеня спотворень. Різниця в тривалості фрагментів, що піддавалися суб'єктивному аналізу, пояснюється різницею довжини музичних фраз в різних музичних творах.

Об'єктивне оцінювання показників SSNR, LSD, BSD і PEAQ здійснювалося в середовищі Matlab із застосуванням фрагментів сигналів тривалістю 40 секунд, із використанням чотирьох мір якості, таких, як Segmental Signal to Noise Ratio (SSNR), Logarithmic Spectral Distortion (LSD), Bark Spectral Distortion (BSD) та PEAQ.

Різний часовий інтервал аналізу при суб'єктивному та об'єктивному оцінюванні можна пояснити тим, що при суб'єктивному оцінюванні слухачам комфортно прослуховувати закінчену музичну думку, що складається із певної кількості музичних фраз. При об'єктивному оцінюванні закінченість музичної думки не є важливою із тієї причини, що при створенні об'єктивних мір даний фактор не враховувався з огляду на складність такого врахування.

Формули для обчислення мір якості SSNR, LSD та BSD наведено, зокрема, в [5]. Що стосується міри PEAQ [6], [7], [8], [9], її досить рідко використовують, що можна пояснити складністю алгоритму обчислення, тому коротко прокоментуємо особливості алгоритму обчислення та практичного застосування цієї міри.

Існують дві версії алгоритму PEAQ: «базова» та «розширена». Принциповою відмінністю між «базовою» та «розширеною» версіями є те, що «базова» версія містить лише одну периферійну модель вуха на базі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), тоді як «розширена» версія містить дві периферійні моделі вуха: на базі ШПФ та гребінки фільтрів. «Базова» версія є відносно невимогливою до обчислювальної потужності комп'ютерного обладнання, порівняно із «розширеною» версією. Крім того, комп'ютерні програми для середовища Matlab є у вільному доступі. Тому в даній роботі використано саме «базову» версію, хоча вона й поступається «розширеній» версії за

точністю оцінювання [7]. Слід зазначити, що при розробці міри PEAQ бралось до уваги її застосування до музичних стереосигналів із дуже малим ступенем спотворення [8].

В якості еталонних музичних сигналів було обрано 8 музичних творів, по 2 твори для кожного із 4-х жанрів: класична музика, поп-музика, джаз та рок-музика. Якість запису обраних творів відповідала стандарту Audio CD, тобто еталонні сигнали мали частоту дискретизації 44100 Гц та бітову глибину 16 біт.

Прослуховувалися такі зразки класичної музики:

- П.І. Чайковський – Пори року. Серпень;
- Johannes Brahms – Hungarian Dance #5.

Зразки поп-музики:

- LP – Lost on you;
- Karmin – Dance with you.

Зразки рок-музики:

- System of a down – Question!
- Kings of Leon – Sex on fire.

Зразки джазової музики:

- Avishai Cohen – Nu Nu;
- Laco Tayfa – Atamasa.

Спотворення музичних сигналів здійснювалося шляхом їх низькочастотної (НЧ) фільтрації нерекурсивними фільтрами Ремеза із наступними характеристиками:

- смуга пропускання Δf від 1 до 20 кГц з кроком 1 кГц;
- розмір перехідної зони 5% від смуги пропускання;
- нерівномірність АЧХ в смузі пропускання 1 дБ;
- ступінь ослаблення сигналу поза смугою пропускання мінус 70 дБ.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис. 1 представлено усереднені результати суб'єктивного оцінювання якості музичних сигналів. Вертикальними відрізками при цьому показано границі 95%-го довірчого інтервалу.

Як бачимо, із розширенням смуги частот від 1 кГц до 14 кГц спостерігається монотонне й досить швидко зростання якості сигналу. Подальше розширення смуги частот практично не призводить до зростання якості музичних сигналів, що добре узгоджується із результатами [4] та [5].



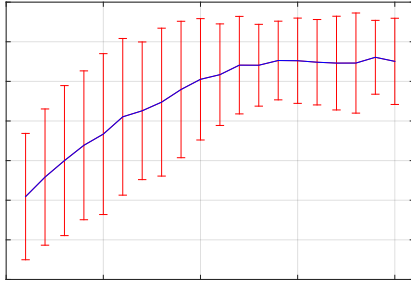


Рис. 1. Результати суб'єктивного оцінювання за шкалою DMOS.

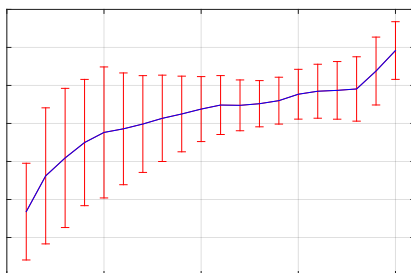
Результати об'єктивного оцінювання якості сигналів представлено на рис. 2. Згідно із наведеними графіками, для смуг частот, більших за 12-14 кГц, підвищення якості, як правило, також відбувається дуже повільно.

Винятком є графік оцінки SSNR (рис. 2а), де має місце досить різке пришвидшення росту якості сигналу при розширенні смуги частот понад 18 кГц. З однієї сторони, це можна пояснити тим, що із розширенням смуги частот форма спотвореного сигналу невпинно наближається до форми еталонного сигналу, тому значення оцінки SSNR має наближатися

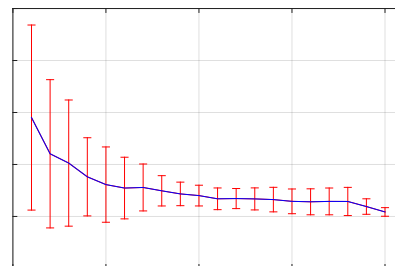
до граничного зверху значення +35 дБ. З іншої сторони, можна говорити про наявність зміщення оцінки SSNR, спричиненого її чутливістю до значення частоти дискретизації. Підвищуючи в 2-4 рази шляхом інтерполяції частоту дискретизації сигналів, що порівнюються, це зміщення можна суттєво зменшити [12].

В [5] та [13] відмічено високу чутливість міри LSD до нерівномірності спектрів сигналів та до форми амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) низькочастотного (НЧ) фільтру, наслідком чого є можливість порушення монотонності залежності $LSD(\Delta f)$. Між тим, графік оцінки LSD (рис. 2б) має практично монотонний спадаючий характер, що можна пояснити різноманітністю музичного матеріалу та усередненням оцінок LSD, внаслідок чого порушення монотонності залежності $LSD(\Delta f)$ практично зникають.

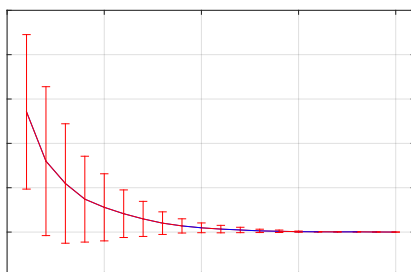
На графіку оцінки BSD (рис. 2в) покращення якості перестає бути помітним вже для $\Delta f > 10$ кГц. Що стосується поведінки оцінки PEAQ (рис. 2г), якість сигналу стабілізується для $\Delta f = 14$ кГц. Ледь помітне порушення монотонності спостерігаємо для смуг частот, менших за 3 кГц, проте цим порушенням можна знехтувати, зважаючи на те, що даний алгоритм розроблявся для сигналів із малим ступенем спотворення [8].



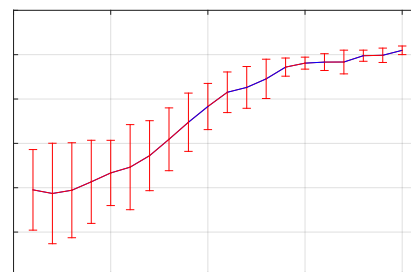
а



б



в



г

Рис. 2. Оцінки мір SSNR (а), LSD (б), BSD (в) та PEAQ (г).

ТАБЛИЦЯ 1 Коефіцієнти кореляції оцінок якості

Об'єктивний показник	SSNR	LSD	BSD	PEAQ
Коефіцієнт кореляції	0.94	-0.93	-0.92	0.94

ТАБЛИЦЯ 2 Максимальні похибки апроксимації

Порядок поліному	Об'єктивний показник			
	SSNR, дБ	LSD, дБ	BSD	PEAQ
1	1.071	4.239	4.284	0.994
2	1.069	4.140	3.500	0.585
3	1.616	3.907	3.425	0.427
4	1.552	3.470	3.652	0.471
5	1.494	4.500	3.461	0.491

Оскільки достовірність об'єктивних мір якості сигналів часто визначають, розраховуючи значення коефіцієнтів кореляції між результатами об'єктивного і суб'єктивного оцінювання [1], [2], доцільно розрахувати такі коефіцієнти кореляції для одержаних графіків рис. 1 та рис. 2 (табл. 1).

Як бачимо, для всіх чотирьох мір одержано високі значення оцінок коефіцієнта кореляції. Проте слід зазначити, що такий підхід є не дуже коректним, оскільки між результатами об'єктивного і суб'єктивного оцінювання може існувати нелінійна залежність, котра не заважає встановленню взаємно однозначного зв'язку між результатами об'єктивного та

суб'єктивного оцінювання. Тому в [11] запропоновано замість обчислення коефіцієнтів кореляції будувати карти відповідності між значеннями об'єктивних та суб'єктивних оцінок якості.

На рис. 3 представлено такі карти відповідності, побудовані із використанням графіків рис. 1 та рис. 2. Окрім експериментальних результатів (кружечки), на цих картах також представлено графіки лінійної та поліноміальної апроксимації.

Очевидно, при поліноміальній апроксимації виникає питання вибору найкращого значення порядку поліному. В [11] запропоновано вважати оптимальним такий мінімальний порядок поліному, при якому, з однієї сторони, досягається прийнятна для практичного застосування похибка апроксимації, а з іншої — не порушується монотонність апроксимуючої функції.

Графіки рис. 3 побудовано із врахуванням такої пропозиції. Значення максимальних похибок апроксимації для перших п'яти порядків апроксимаційного поліному наведено в табл. 2.

Як бачимо, карти відповідності для всіх чотирьох об'єктивних мір якості мають виражений нелінійний характер, незважаючи на високі значення коефіцієнту кореляції.

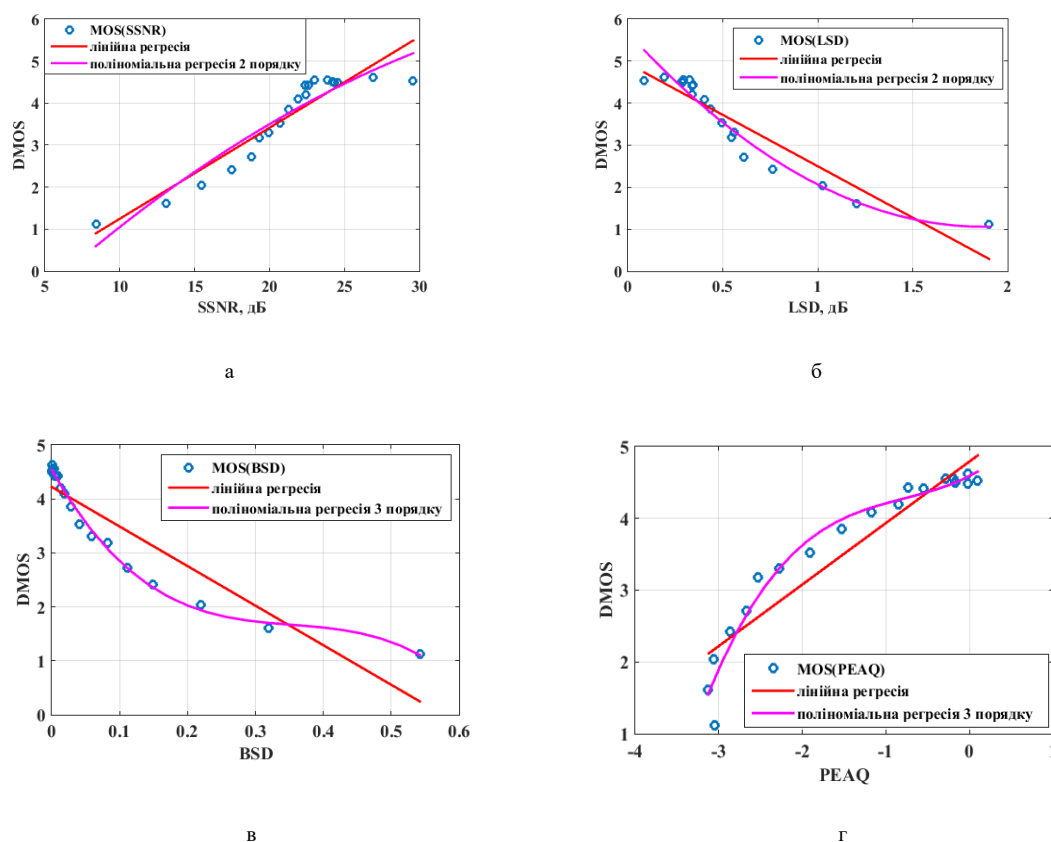


Рис. 3. Карти відповідності DMOS-SSNR (а), DMOS-LSD (б), DMOS-BSD (в) та DMOS-PEAQ (г).

Досить неочікуваним може видатися той факт, що карті відповідності PEAQ-DMOS (рис. 3г), як і іншим розглянутим в даній роботі мірам якості, також притаманний нелінійний характер. Здавалося б, оскільки міра PEAQ враховує особливості слухової системи людини, карта відповідності мала би мати лінійний характер. Проте, якщо зважити на вже згадану вище особливість міри PEAQ, а саме, про її призначення для випадку малих спотворень сигналу, то на інтервалі $[-2,5...0]$ значень PEAQ дійсно спостерігаємо досить чітку лінійну залежність між PEAQ та DMOS. До речі, нелінійний характер інших карт відповідності якоюсь мірою також можна пояснити надмірними спотвореннями сигналу при малих значеннях смуги частот.

На завершення відзначимо, що для таких експериментальних досліджень, які проводилися в рамках даної роботи, принципово важливими умовами одержання достовірних результатів є такі фактори, як різноманітність музичних творів, що аналізуються, а також достатньо великий об'єм статистичного матеріалу.

ВИСНОВКИ

Отримані суб'єктивні оцінки залежності якості музичних сигналів від смуги частот каналу передачі дозволили підтвердити справедливості результатів попередніх досліджень, де вказано, що смуга частот 12-14 кГц є достатньою для того, щоб музичний сигнал на слух практично не відрізнявся б від еталонного сигналу. Проте слід враховувати, що зазначений результат є вірним «в середньому», тому не виключені випадки, коли окремі слухачі будуть вважати таку смугу частот недостатньо широкою для якісного відтворення музичних сигналів. З огляду на це, отримані в даній статті результати доцільно доповнити в майбутньому оцінкою закону розподілу граничних значень смуги частот при суб'єктивному оцінюванні якості музичних сигналів.

На прикладі об'єктивних оцінок мір якості SSNR та LSD продемонстровано необхідність врахування особливостей, притаманних окремим об'єктивним мірам якості, а також необхідність забезпечення достатньо великого статистичного об'єму різноманітного музичного матеріалу для одержання достовірних, в середньому, оцінок якості музичних сигналів.

Побудовано карти відповідності між суб'єктивною мірою якості DMOS та об'єктивними мірами SSNR, LSD, BSD та PEAQ, що робить можливим калібрування відповідних програмно-апаратних систем об'єктивного оцінювання якості музичних сигналів. Таке калібрування, на відміну від використання кое-

фіцієнта кореляції, є більш точним, оскільки припускає існування нелінійної залежності між суб'єктивними та об'єктивними оцінками якості сигналів.

ПОДЯКА

Автори статті висловлюють подяку студентам та викладачам кафедри акустики та акустоелектроніки за допомогу в проведенні досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] N. Cote, *Integral and diagnostic intrusive prediction of speech*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, ISBN: 978-3-642-18462-8.
- [2] P. Luisou, *Speech enhancement. Theory and practice*. Second edition, CRC Press, 2013, ISBN: 978-1-4665-0422-6
- [3] P. Poca, J. Beerends, "Subjective and objective assessment of perceived audio quality of current digital audio broadcasting systems and web-casting applications," *IEEE Transactions on broadcasting*, vol. 61, no. 3, september 2015, pp. 407-415, DOI: [10.1109/TBC.2015.2424373](https://doi.org/10.1109/TBC.2015.2424373)
- [4] K. Brandenburg, "MP3 and AAC explained," AES 17th International Conference on High Quality Audio Coding, Signa, Italy, September, 1999
- [5] I. Kotvytskyi, A. Osa, "Obektivne ta sub'ektivne ocynuvannya yakosti muzichnih signaliv obmejenih smugoyu chastot [Objective and subjective quality assessment of music signals limited by bandwidth]," *Electronic and acoustic engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 34-38, 2017. URL: <http://feltran.kpi.ua/article/view/109415>.
- [6] D. Campbell, E. Jones, M. Glavin, "Audio quality assessment techniques - A review, and recent developments," *Signal Processing*, 89, pp.1489-1500, 2009, ISSN: 0165-1684.
- [7] Telecommunications & Signal Processing Laboratory, *Multimedia Signal Processing. Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ)*. <http://www-mmsp.ece.mcgill.ca/MMSP/Docs/Downloads/PQevalAudio/PQevalAudio-v1r0.tar.gz>
- [8] P. Kabal, "An Examination and Interpretation of ITU-R BS.1387: Perceptual Evaluation of Audio Quality. TSP Lab Technical Report, Dept. ECE, McGill Univ. May, 2002.
- [9] D. Câmpeanu and A. Câmpeanu, "PEAQ – an objective method to assess the perceptual quality of audio compressed files" URL: <https://www.researchgate.net/publication/228944316>.
- [10] M. Salovarda, I. Bolkovac, and H. Domitrovic, "Comparison of audio codecs using PEAQ algorithm," URL: https://www.researchgate.net/publication/267774023_Comparison_of_audio_codecs_using_PEAQ_algorithm
- [11] A.N. Prodeus, V.S. Didkovskiy, and M.V. Didkovskaya, *Akusticheskaya ekspertiza i korekciya kommunikacionnyh kanalov*. [Acoustic examination and correction of communication channels. Monograph], Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2017. ISBN: 978-3-330-04591-0.
- [12] A. Prodeus, "Reducing Sensitivity of Segmental Signal-to-Noise Ratio Estimator to Time-Alignment Error" *Int. J. Electr. Electron. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 31-36, 2015. URL: <http://www.aascit.org/journal/archive2?journalId=915&paperId=2822>.
- [13] A. Prodeus, "On Some Features of Log-Spectral Distortion as Speech Quality Measure," *Autom. Softw. Dev. Eng. J.*, vol. 1, 2016. URL: <https://asdej.xyz/asde-journal-vol-1/>

Надійшла до редакції 15 червня 2018 р.



УДК 621.391.83

Оценивание качества музыкальных сигналов, ограниченных по полосе частот

Юраков Н. П., ORCID [0000-0001-7044-7164](https://orcid.org/0000-0001-7044-7164)e-mail yunik1208@gmail.comКотвицкий И. В., ORCID [/0000-0003-2800-0080](https://orcid.org/0000-0003-2800-0080)e-mail igorktvzk@gmail.comПродеус А. Н., д.т.н. проф., ORCID [0000-0001-7640-0850](https://orcid.org/0000-0001-7640-0850)e-mail aprodeus@gmail.com

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Реферат—Представлены результаты оценивания, с применением объективных и субъективных мер, качества музыкальных сигналов. Субъективное оценивание осуществлялось 23 слушателями средним возрастом 22 года, без недостатков слуха. Для объективного оценивания использованы 4 меры качества, среди которых сегментное отношение сигнал-шум, лог-спектральные искажения, барк-спектральные искажения, а также мера “perceptual evaluation of audio quality”, специально предназначенная для оценивания качества музыкальных сигналов. Подтверждена справедливость результатов предыдущих исследований, где указано, что полоса частот 12-14 кГц достаточна для того, чтобы музыкальный сигнал на слух не отличался от эталонного сигнала. Продемонстрирована важность учета особенностей отдельных объективных мер качества, а также необходимость достаточно большого объема разнообразного музыкального материала для получения достоверных оценок качества музыкальных сигналов. Построены карты соответствия между субъективной и объективными мерами качества, что позволяет калибровать системы объективного оценивания.

Библ. 13, рис. 3, табл. 2.

Ключевые слова — музыкальный сигнал; качество сигнала; мера качества; объективное оценивание; субъективное оценивание.

UDC 621.391.83

Evaluation of the Quality of Music Signals Limited by the Frequency Band

M. P. Yurakov, ORCID [0000-0001-7044-7164](https://orcid.org/0000-0001-7044-7164)e-mail yunik1208@gmail.comI. V. Kotvytskyi, ORCID [/0000-0003-2800-0080](https://orcid.org/0000-0003-2800-0080)e-mail igorktvzk@gmail.comA. M. Prodeus, д.т.н. проф., ORCID [0000-0001-7640-0850](https://orcid.org/0000-0001-7640-0850)e-mail aprodeus@gmail.comNational Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—In this paper, the results of the musical signals quality assessment, with the use of objective and subjective measures, are presented. The topics covered in this paper are relevant because the growing needs of users of communication lines leading to the gradual increasing demands for bandwidth that is given to the signals. Nowadays, frequency band 300-3400 Hz (Narrow Band) in analog and mobile telephony is used. However, with the development of mobile technologies and network communications, it becomes possible to expand the bandwidth to WideBand (50-7000 Hz), Super-WideBand (50-



14000 Hz) and even to Full-Band (20-20000 Hz). Such an extension of the frequency band can be explained by the desire to transmit musical signals on communication channels in a qualitative way. On the other hand, the average person may not notice the difference between two complex musical works, the spectrum of one of which extends to 20 kHz, and for another is limited to 14 kHz or even 7 kHz. Subjective music signals quality assessment was carried out by 23 students with an average age of 22 years, without hearing impairments. For objective evaluation, 4 quality measures were used, including segment signal-to-noise ratio, log-spectral distortions, bark-spectral distortions, as well as "perceptual evaluation of audio quality" measure specifically designed to evaluate the quality of music signals. The last measure is of particular interest, since the algorithm of its calculation takes into account the features of the human auditory system. The validity of the results of previous studies is confirmed, where it was stated that the frequency band of 12-14 kHz is sufficient to ensure that the musical signal is not different from the reference signal by ear. However, it should be borne in mind that the indicated result is true on average, so it is not excluded that individual listeners will assume that such a band is not wide enough for the quality reproduction of musical signals. In view of this, the results obtained in this article should be expanded, in the future, by the law of the distribution of the bandwidth limits. The examples of the "segmental signal-to-noise ratio" and "logarithmic spectral distortion" indicators demonstrated the need to take into account the peculiarities inherent in certain objective quality measures, as well as the need to provide a sufficiently large statistical volume of various musical material to obtain reliable estimates of the quality of musical signals. In particular, when using the measure "segmental signal-to-noise ratio," it is advisable to increase the sampling rate by 2-4 times, using the interpolation of the compared signals. Correspondence maps for subjective and objective measures of quality are constructed, which allows calibrating of objective estimation systems of musical signals quality. In contrast to the correlation coefficient, the use of correspondence maps suggests the existence of a nonlinear relationship between subjective and objective estimates, which contributes to improving the accuracy of the evaluation.

Ref. 13, fig. 3, tabl. 2.

Keywords - musical signal; signal quality; quality measure; objective evaluation; subjective evaluation.

