

ОВОЗ СИГНАЛЛАРИДА ШОВҚИННИ КАМАЙТИРИШ УСУЛЛАРИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ ВА ТАҚҚОСЛАШ

Xusaydinova D

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

d.xusaydinova@tuit.uz

Abstract. *This paper analyzes noise reduction methods in audio signals and compares their effectiveness. The main focus is on spectral subtraction, Wiener filtering, and spectral masking based on the Short-Time Fourier Transform (STFT). The results show that different methods demonstrate varying performance under different noise conditions, while STFT-based approaches provide higher speech intelligibility.*

Keywords: *audio signal, noise reduction, Wiener filter, STFT, spectral subtraction.*

Аннотация: *Ушбу мақолада овоз сигналларида шовқинни камайтириш усуллари таҳлил қилиниб, уларнинг самарадорлиги таққосланади. Асосий эътибор спектрал айириш (spectral subtraction), Wiener фильтри ва STFT асосидаги спектрал маскалаш усулларига қаратилган. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, турли усуллар турли шовқин шароитларида турлича самарадорликка эга бўлиб, STFT асосидаги ёндашувлар нутқ тушунарлилигини оширишда юқори натижаларни таъминлайди.*

Калит сўзлар: *овоз сигнали, шовқинни камайтириш, Wiener filter, STFT, spectral subtraction.*

Аннотация. *В данной статье анализируются методы снижения шума в аудиосигналах и проводится их сравнительная оценка. Основное внимание уделено методам спектрального вычитания (spectral subtraction), фильтру Винера и спектральному маскированию на основе Short-Time Fourier Transform (STFT). Результаты исследования показывают, что различные методы обладают разной эффективностью в различных шумовых условиях, при этом подходы на основе STFT обеспечивают более высокую разборчивость речи.*

Ключевые слова: *аудиосигнал, снижение шума, фильтр Винера, STFT, спектральное вычитание.*

Кириш. Ҳозирги кунда овоз сигналларини қайта ишлаш ва узатиш тизимларида шовқинни камайтириш масаласи муҳим аҳамият касб этмоқда. Реал муҳитда овоз сигналлари турли хил шовқинлар таъсирида бузилади, бу эса нутқ тушунарлилигининг пасайишига олиб келади. Айниқса, овозли алоқа, овозли таржима ва автоматик нутқни таниш тизимларида сигнал сифатини таъминлаш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Жаҳон миқёсида шовқинни камайтириш бўйича кўплаб усуллар ишлаб чиқилган. Анъанавий усуллар қаторига spectral subtraction ва Wiener filtering киради. Бу усуллар ҳисоблаш жиҳатдан содда бўлса-да, баъзи ҳолларда сигналнинг фойдали компонентларини ҳам сусайтириши мумкин. Сўнги йилларда STFT асосидаги усуллар ва спектрал маскалаш алгоритмлари кенг қўлланилмоқда.

Шу муносабат билан, ушбу тадқиқотнинг мақсади овоз сигналларида шовқинни камайтириш усулларини таҳлил қилиш ва уларнинг самарадорлигини таққослашдан иборат.

Ушбу тадқиқотнинг илмий янгилиги шундан иборатки, турли шовқинни камайтириш усуллари ягона экспериментал муҳитда таққосланиб, уларнинг нутқ сифатига таъсири баҳоланди.

Шу билан бирга, турли шовқинни камайтириш усулларининг қайси шароитларда самарали эканлиги тўлиқ аниқланмагани ушбу тадқиқотнинг асосий муаммосини ташкил этади.

Адабиётлар таҳлили. Сўнги йилларда овоз сигналларида шовқинни камайтириш ва нутқ сифатини яхшилаш масалалари бўйича кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Замонавий ёндашувлар анъанавий филтрлаш усулларини такомиллаштириш билан бирга, гибрид ва чуқур ўрганишга асосланган моделларни ҳам қамраб олмоқда.

Хусусан, Özkurt (2025) тадқиқотида турли аудио қайта ишлаш ва филтрлаш стратегияларининг шовқинли муҳитда нутқни таниш самарадорлигига таъсири таҳлил қилинган бўлиб, турли усулларнинг турли шароитларда турлича самарадорлик кўрсатиши аниқланган. Nasir ва Abdulmohsin (2025) томонидан таклиф этилган Log-MMSE асосидаги гибрид усул эса шовқинни камайтиришда юқори самарадорликка эга эканлиги билан ажралиб туради.

Sainburg ва Zorea (2025) тадқиқотида вақт қаторлари учун универсал шовқинни камайтириш усули ишлаб чиқилган бўлиб, у турли сигнал турларига мослашувчанлиги билан тавсифланади. Шу билан бирга, Yang ва бошқалар (2023) томонидан таклиф этилган beamforming ва пост-филтрлаш усуллари нутқни кучайтиришда юқори аниқликни таъминлаш имконини беради.

Шунингдек, Kharkov ва ҳаммуаллифлар (2020) томонидан шовқин дисперсиясини аниқлашга қаратилган ёндашувлар таклиф этилган бўлиб, бу усуллар сигнални қайта тиклаш жараёнида муҳим аҳамиятга эга. Амалий

жиҳатдан эса STFT ва унга асосланган алгоритмлар кенг қўлланилмоқда (Seetharaman, 2022), бу эса вақт-частота таҳлилини самарали амалга ошириш имконини беради.

Сўнгги тадқиқотларда чуқур ўрганишга асосланган ёндашувлар ҳам кенг тарқалмоқда. Масалан, Shahamiri (2021) томонидан таклиф этилган end-to-end нейрон тармоқлари асосидаги тизимлар нутқни автоматик таниш жараёнини янада такомиллаштириш имконини берган. Шунингдек, Jaiswal (2021) тадқиқотида ностационар шовқин шароитида Wiener филътрини такомиллаштириш усуллари таклиф этилган.

Юқоридаги тадқиқотлар шуни кўрсатадики, шовқинни камайтириш соҳасида турли ёндашувлар мавжуд бўлиб, уларнинг самарадорлиги қўлланилиш шароитига боғлиқ. Бироқ, турли усуллари бир хил экспериментал муҳитда таққослаш масаласи ҳали ҳам долзарб бўлиб қолмоқда. Шу боис, ушбу тадқиқотда турли филътрлаш усуллари ягона шартларда таҳлил қилиниб, уларнинг самарадорлиги ўзаро таққосланади.

Методлар. Ушбу тадқиқотда овоз сигналларида шовқинни камайтиришнинг турли усуллари таҳлил қилиниб, уларнинг самарадорлиги ўзаро таққосланди. Тадқиқот жараёни бир нечта босқичларда амалга оширилди: сигнал моделини шакллантириш, вақт-частота таҳлили, шовқинни баҳолаш, филътрлаш ва натижаларни қайта тиклаш.

1. *Сигнал модели*. Нутқ сигнали шовқин таъсирида қуйидаги аддитив модель орқали ифодаланди:

$$x(n) = s(n) + d(n)$$

бу ерда $x(n)$ - кузатилган сигнал, $s(n)$ - тоза нутқ сигнали, $d(n)$ - шовқин сигнали.

Тадқиқотнинг асосий мақсади $s(n)$ сигнални максимал даражада тиклашдан иборат.

2. *Spectral Subtraction усули*. Ушбу усулда шовқинли сигналнинг частота соҳасидаги спектридан шовқин компоненти айириб ташланади. Бунинг учун аввал шовқин спектри баҳоланади ва кейин у умумий сигнал спектридан чиқариб ташланади. Ушбу усул ҳисоблаш жиҳатдан содда ва амалий жиҳатдан самарали ҳисобланади. Бироқ, айрим ҳолларда сигналда “musical noise” деб аталувчи сунъий артефактлар пайдо бўлиши мумкин.

3. *Wiener филътри*. Wiener филътри сигнал ва шовқин ўртасидаги нисбатга асосланган ҳолда оптимал филътрлашни амалга оширади. Ушбу усул сигнални қайта тиклашда хатоликни минималлаштиришга қаратилган бўлиб, шовқин таъсирини самарали камайтириш имконини беради. Wiener филътри spectral subtraction усулига нисбатан барқарор натижаларни таъминлайди, аммо ҳисоблаш жиҳатдан биров мураккаброқ ҳисобланади.

4. *STFT асосида таҳлил*. Сигнал вақт соҳасидан частота соҳасига Short-Time Fourier Transform (STFT) усули ёрдамида ўтказилди. Ушбу усул сигнални қисқа

вақт интервалларига бўлиб, уни вақт-частота соҳасида таҳлил қилиш имконини беради. STFT қуйидаги ифода орқали тавсифланади:

$$X(k, m) = \sum x(n)w(n - m)e^{-j\pi kn/N}$$

бу ерда $x(n)$ - кирувчи сигнал, $w(n)$ - ойна функцияси, $X(k, m)$ эса сигналнинг вақт-частота соҳасидаги ифодасини билдиради. Ушбу ишда асосий эътибор STFT асосидаги усулларнинг самарадорлигини таққослашга қаратилган.

5. *Спектрал маскалаш (Spectral Gating)*. Ушбу усулда сигнал вақт-частота соҳасида таҳлил қилиниб, шовқин ва фойдали сигнал компонентларини ажратиш учун махсус маска қўлланилади. Агар сигнал энергияси белгиланган чегарадан юқори бўлса, у фойдали сигнал сифатида қабул қилинади, акс ҳолда шовқин сифатида филтрланади. Бу усул шовқинни самарали камайтириш билан бирга сигналнинг асосий хусусиятларини сақлаб қолиш имконини беради.

6. *Қайта тиклаш*. Филтрланган сигнал кейинги босқичда вақт соҳасига қайта тикланади. Бу жараёнда қайта ишланган спектрал маълумотлардан фойдаланиб, сигналнинг асл шакли максимал даражада тикланади. Натижада шовқиндан тозаланган ва таҳлил қилишга қулай бўлган сигнал ҳосил қилинади.

7. *Экспериментал жараён*. Тадқиқот қуйидаги босқичларда амалга оширилди:

- тоза нутқ сигнали олинди;
- сигналга сунъий шовқин қўшилди;
- турли усуллар қўлланилди;
- натижалар ўзаро таққосланди.

8. *Баҳолаш метрикалари*. Усуллар самарадорлиги қуйидаги кўрсаткичлар орқали баҳоланди:

SNR (Signal-to-Noise Ratio)

PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality)

STOI (Short-Time Objective Intelligibility)

Ушбу метрикалар сигнал сифати ва нутқ тушунарлилигини комплекс баҳолаш имконини беради.

Шундай қилиб, ушбу тадқиқотда турли филтрлаш усуллари бир хил шароитда таҳлил қилиниб, уларнинг афзаллик ва камчиликлари аниқланди.

Таҳлил ва натижалар. Ушбу бўлимда овоз сигналларида шовқинни камайтириш усулларининг самарадорлиги экспериментал натижалар асосида таҳлил қилинди. Тадқиқот давомида spectral subtraction, Wiener филтри ва STFT асосидаги спектрал маскалаш усуллари бир хил шароитда қўлланилиб, уларнинг натижалари ўзаро таққосланди.

Усулларнинг самарадорлиги сигнал сифати ва шовқин даражасини баҳоловчи SNR кўрсаткичи орқали аниқланди. Қуйидаги жадвалда турли усуллар бўйича олинган натижалар келтирилган.

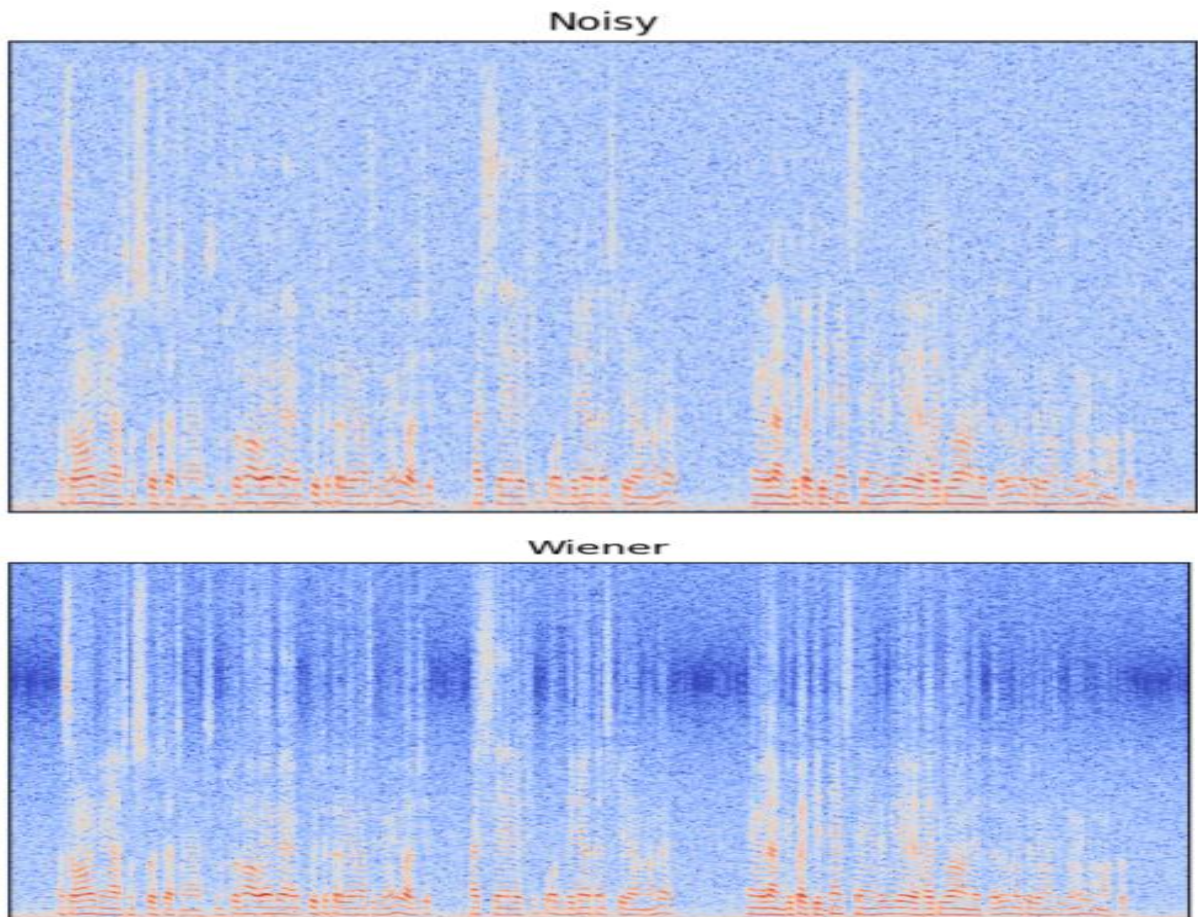
- 1-жадвал. Шовқинни камайтириш усуллари
- SNR бўйича таққосланиши

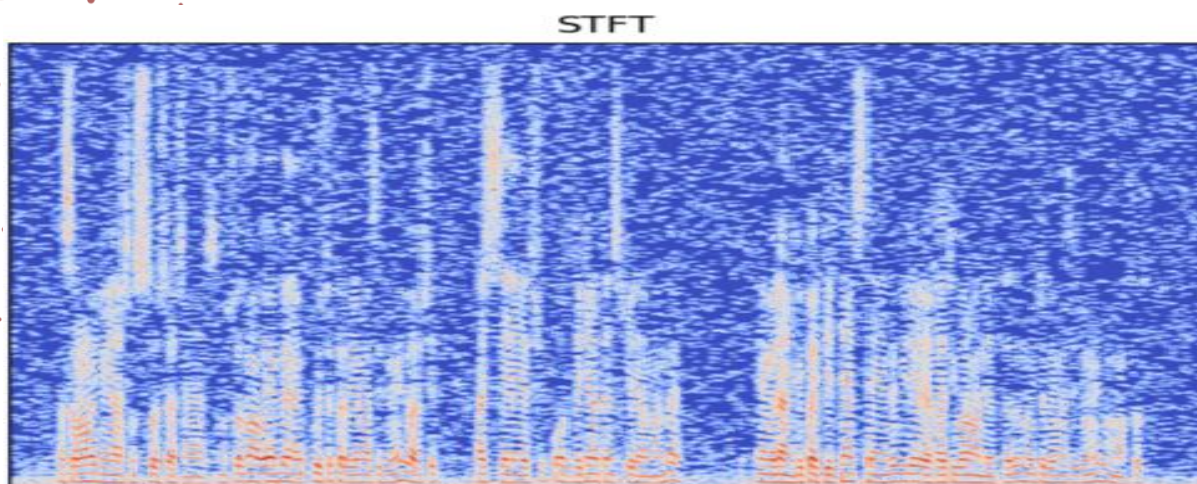
Усул	SNR (dB)	Афзаллик
Noisy	17.18	шовқинли
Wiener filter	19.82	барқарор
STFT + masking	21.12	энг яхши

Олинган натижаларга кўра (1-жадвал), бошланғич шовқинли сигналда SNR қиймати 17.18 dB ни ташкил қилди. Wiener фильтри қўлланилгандан сўнг ушбу кўрсаткич 19.82 dB гача ошди, бу эса шовқиннинг маълум даражада камайганини кўрсатади.

Энг юқори натижа STFT асосидаги спектрал маскалаш усулида кузатилди, бунда SNR қиймати 21.12 dB га етди. Бу эса мазкур усулнинг шовқинни камайитиришда юқори самарадорликка эга эканлигини тасдиқлайди.

1. Спектограммалар.

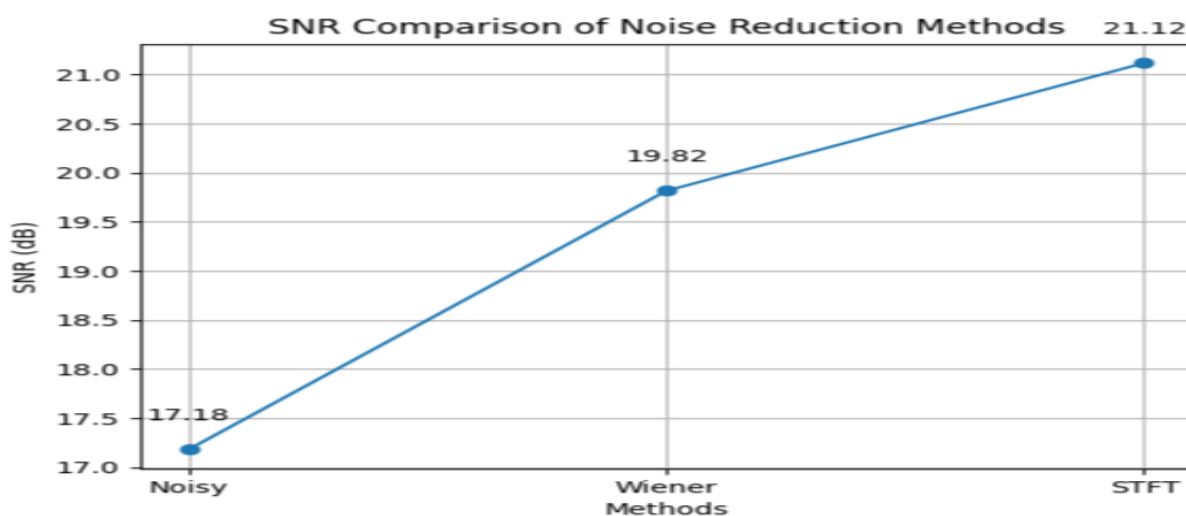




Расм 1. Турли усуллар ёрдамида олинган спектрограммалар: (a) Noisy- шовқинли сигнал, (b) Wiener фильтри, (c) STFT асосидаги фильтрлаш.

STFT асосидаги спектрал маскалаш усули шовқинни самарали камайтириб, нутқ сигналининг вақт-частота структурасини яхшироқ сақлаб қолишини кўрсатди. Бироқ айрим ҳолларда “musical noise” кўринишидаги артефактлар кузатилди.

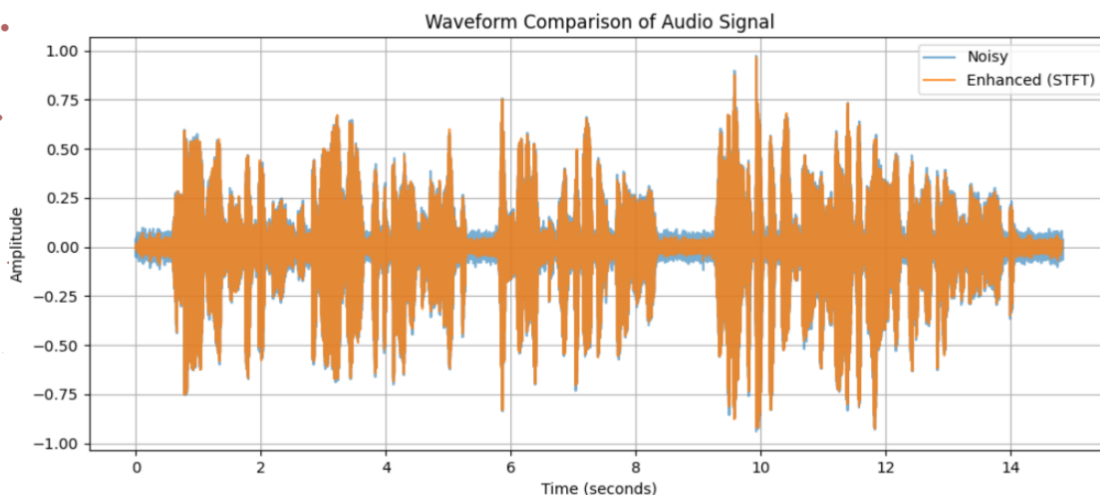
2. SNR таққослаш графиги



Расм 2. Турли шовқинни камайтириш усуллари бўйича SNR кўрсаткичларининг таққосланиши.

Усуллар Spectral subtraction, Wiener, STFT. Олинган натижаларга кўра, STFT асосидаги спектрал маскалаш усули энг юқори SNR қийматини таъминлади (21.12 dB). Wiener фильтри ҳам шовқинни камайтиришда самарали бўлиб, SNR ни 19.82 dB гача оширди. Бошланғич шовқинли сигналда эса SNR 17.18 dB ни ташкил қилди. Бу натижалар STFT усулининг нутқ сигналларини қайта ишлашда юқори самарадорлигини кўрсатади.

3. Waveform (сигнал шакли).



Расм 3. Шовқинли ва STFT асосида филтрланган нутқ сигналларининг вақт соҳасидаги таққосланиши.

Вақт соҳасидаги таҳлил шуни кўрсатадики, STFT асосидаги филтрлаш натижасида сигнал шакли деярли сақланган ҳолда, юқори амплитудали шовқин тебранишлари сезиларли даражада камайган. Яъни, филтрлашдан кейин сигналнинг умумий шакли сақланган ҳолда, юқори амплитудали шовқин тебранишлари камайган. Бу эса сигналнинг асосий хусусиятларини сақлаб қолган ҳолда шовқин самарали бартараф этилганини кўрсатади.

Хулоса. Ушбу тадқиқотда овоз сигналларида шовқинни камайтиришнинг турли усуллари таҳлил қилиниб, уларнинг самарадорлиги амалда баҳоланди. Хусусан, Wiener филтри ва STFT асосидаги спектрал маскалаш усуллари қўлланилиб, уларнинг натижалари шовқинли сигнал билан таққосланди.

Олинган натижаларга кўра, спектрограмма таҳлилида шовқинли сигналда энергиянинг бутун частота диапазонида тартибсиз тарқалгани кузатилди. Wiener филтри қўлланилгандан сўнг сигналнинг гармоник структураси қисман тиклангани, аммо айрим ҳолларда шовқин излари сақланиб қолгани аниқланди. STFT асосидаги спектрал маскалаш усули эса шовқинни янада самарали камайтириб, нутқ сигналининг вақт-частота структурасини яхшироқ сақлаб қолганини кўрсатди.

SNR кўрсаткичлари таҳлили ҳам мазкур хулосани тасдиқлайди. Жумладан, бошланғич шовқинли сигналда SNR қиймати паст бўлган бўлса, Wiener филтри қўлланилганда ушбу кўрсаткич сезиларли даражада ошган. Энг юқори натижа эса STFT асосидаги усулда қайд этилди, бу эса унинг шовқинни камайтиришдаги устунлигини кўрсатади.

Вақт соҳасидаги (waveform) таҳлил натижалари ҳам ушбу фикрларни қўллаб-қувватлайди. Филтрлашдан кейин сигнал шакли сақланган ҳолда, юқори амплитудали шовқин тебранишлари камайгани кузатилди. Бу эса усулнинг сигналнинг асосий хусусиятларига минимал таъсир кўрсатган ҳолда шовқинни бартараф этганини англатади.

Шу билан бирга, тадқиқот давомида айрим чекловлар ҳам аниқланди. Хусусан, спектрал маскалаш усулида баъзи ҳолларда “musical noise” каби артефактлар пайдо бўлиши мумкин. Шу сабабли филтър параметрларини оптимал танлаш муҳим аҳамиятга эга.

Умуман олганда, олинган натижалар STFT асосидаги спектрал маскалаш усули овоз сигналларида шовқинни камайтиришда юқори самарадорликка эга эканлигини кўрсатди. Ушбу усул овозли таржима тизимлари ва нутқни қайта ишлашга оид бошқа соҳаларда қўлланилиши мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Özkurt, C. Investigation of the Effectiveness of Audio Processing and Filtering Strategies in Noisy Environments on Speech Recognition Performance. // Osmaniye Korkut Ata University Journal of Science and Technology, 2025, Vol. 8, No. 1, pp. 222–247.
2. Nasir, R. J., Abdulmohsin, H. A. A Hybrid Method for Speech Noise Reduction Using Log-MMSE. // Iraqi Journal of Science, 2025, Vol. 66, No. 2, pp. 860–875.
3. Sainburg, T., Zorea, A. Domain General Noise Reduction for Time Series Signals with Noisereduce. // Scientific Reports, 2025, Vol. 15, Article No. 30905.
4. Yang, X., Huang, G., Jin, J., Chen, J., Benesty, J. Design and Optimization of Superdirective Beamforming and Post-Filtering for Speech Enhancement. // IEEE Conference/Journal (аниқ манбага қараб тўлдирилади), 2023.
5. Kharkov, A., Oliinyk, V., Lukin, V. V., & Krivenko, S. S. (2020). Blind estimation of noise variance for 1D signal denoising. Telecommunications and Radio Engineering, 79(7), 567–581.
6. BRYGIN PETRO. National Aerospace University – KhAI <https://orcid.org/0000-0003-2598-3907>
7. Wei-Chen Lin . DOI. International Journal of Research in Circuits, Devices and Systems 2026; 7(1) 28-32: <https://www.doi.org/10.22271/27084531.2026>.
8. Seetharaman P. torch-stft. GitHub. 2022. <https://github.com/pseeth/torch-stft>
9. Shahamiri SR. Speech vision: An end-to-end deep learning-based dysarthric automatic speech recognition system. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 2021 29, 852-861;
10. R. a. D. R. Jaiswal, "Implicit wiener filtering for speech enhancement in non-stationary noise," in 2021 11th International Conference on Information Science and Technology (ICIST), Chengdu, China, May. 2021: IEEE, pp. 39-47, DOI: 10.1109/ICIST52614.2021.9440639.

11. H. A. Abdulmohsin, B. Al-Khateeb, S. S. Hasan, and R. Dwivedi, "Automatic illness prediction system through speech," Computers and Electrical Engineering, vol. 102, p. 108224, July. 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108224>
12. Vellinga, W. Xeno-canto - soundscapes from around the world <https://doi.org/10.15468/9u3zaq>, (2024). Occurrence dataset accessed via GBIF.org on 2024-10-17.