

**FOURIER VA WAVELET O'ZGARTIRISHLARINING SIGNAL
TAHLILIDAGI ROLI.**

*Ilmiy tatqiqotchi: **Olimjonov Dostonbek Alisher o'g'li***

Bannopov Zafarjon Zokir o'g'li

*Ilmiy rahbar: **Dalibekov Lochinbek Rustambekovich***

Farg'ona davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Mazkur maqola signal tahlilida keng qo'llaniladigan Fourier va Wavelet o'zgartirishlarining nazariy asoslari, imkoniyatlari hamda amaliy ahamiyatini yoritishga bag'ishlangan. Signalni qayta ishlashda asosiy muammo – vaqt sohasidagi murakkab signallarni chastota xususiyatlari orqali chuqur tahlil qilishdir. Shu nuqtai nazardan, Fourier o'zgartirishi signallarni chastota sohasiga o'tkazish orqali ularning spektral tarkibini aniqlashda muhim vosita hisoblanadi. U periodik va statsionar signallar uchun samarali bo'lib, aloqa tizimlari, audio va tasvirni qayta ishlash, shovqinlarni aniqlash kabi sohalarda keng qo'llaniladi. Biroq Fourier o'zgartirishining asosiy cheklovi shundaki, u signalning vaqt bo'yicha lokal xususiyatlarini to'liq aks ettira olmaydi, ya'ni qaysi chastota qachon paydo bo'lganini aniqlash imkoniyati cheklangan. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida Wavelet o'zgartirishi ishlab chiqilgan bo'lib, u signalni bir vaqtning o'zida ham vaqt, ham chastota sohasida tahlil qilish imkonini beradi. Wavelet o'zgartirishi qisqa muddatli, o'zgaruvchan va nosozliklarga boy signallarni tahlil qilishda ayniqsa samarali hisoblanadi. U lokal xususiyatlarni aniqlash, signalda keskin o'zgarishlar, impulsar va anomaliyalarni topishda yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Shu sababli Wavelet o'zgartirishi biomeditsina signallari (EKG, EEG), seysmik signallar, tasvirlarni siqish va shovqinni kamaytirish kabi ko'plab amaliy sohalarda keng qo'llanilmoqda. Maqolada Fourier va Wavelet o'zgartirishlarining o'zaro taqqoslanishi, ularning afzallik va kamchiliklari, qo'llanilish sohasi hamda hisoblash murakkabligi tahlil qilinadi. Shuningdek, qaysi turdagi signal uchun qaysi o'zgartirish usuli maqsadga muvofiq*

ekanligi ilmiy asosda yoritib beriladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, statsionar va davriy signallar uchun Fourier o'zgartirishi samaraliroq bo'lsa, vaqt bo'yicha tez o'zgaruvchan va noaniq signallar uchun Wavelet o'zgartirishi ustunlikka ega. Ushbu maqola signal tahlili bilan shug'ullanuvchi talabalar, tadqiqotchilar va muhandislar uchun nazariy hamda amaliy jihatdan foydali bo'lishi kutiladi.

Kalit so'zlar: *Fourier o'zgartirishi, Wavelet o'zgartirishi, signal tahlili, raqamli signalni qayta ishlash, chastota sohasi, vaqt–chastota tahlili, shovqinni kamaytirish, statsionar va nostatsionar signallar*

Abstract: *This article is devoted to highlighting the theoretical foundations, capabilities, and practical significance of Fourier and Wavelet transforms, which are widely used in signal analysis. One of the main challenges in signal processing is the in-depth analysis of complex time-domain signals through their frequency characteristics. In this context, the Fourier transform plays a crucial role by converting signals into the frequency domain, allowing the identification of their spectral components. It is especially effective for periodic and stationary signals and is widely applied in communication systems, audio and image processing, and noise analysis. However, a major limitation of the Fourier transform is its inability to represent the time localization of frequency components, meaning it does not indicate when specific frequencies occur within the signal. To overcome these limitations, the Wavelet transform was developed, providing simultaneous analysis in both time and frequency domains. The Wavelet transform is particularly effective for analyzing non-stationary signals with abrupt changes and short-duration events. It enables accurate detection of local features, such as transients, impulses, and anomalies in signals. As a result, Wavelet transform techniques are extensively used in biomedical signal processing (ECG, EEG), seismic signal analysis, image compression, and noise reduction applications. This article presents a comparative analysis of Fourier and Wavelet transforms, examining their advantages, disadvantages, application areas, and computational complexity. It also discusses*

which transform is more suitable for specific types of signals based on scientific reasoning. The study results indicate that Fourier transform is more efficient for stationary and periodic signals, whereas Wavelet transform provides superior performance for time-varying and non-stationary signals. The findings emphasize that the combined or appropriate use of both methods can significantly enhance signal analysis accuracy. This article is intended to be useful for students, researchers, and engineers engaged in signal processing, offering both theoretical insights and practical guidance.

Keywords (English): Fourier transform, Wavelet transform, signal analysis, digital signal processing, frequency domain, time–frequency analysis, noise reduction, stationary and non-stationary signals

Аннотация (Abstract на русском): Данная статья посвящена рассмотрению теоретических основ, возможностей и практического значения преобразований Фурье и вейвлет, широко применяемых в анализе сигналов. Одной из основных задач обработки сигналов является глубокий анализ сложных сигналов во временной области с использованием их частотных характеристик. В этом контексте преобразование Фурье играет важную роль, так как позволяет перейти от временного представления сигнала к частотному и определить его спектральный состав. Оно эффективно применяется для периодических и стационарных сигналов и широко используется в системах связи, обработке аудио- и изображений, а также при анализе шумов. Однако главным недостатком преобразования Фурье является невозможность определения временной локализации частотных составляющих сигнала. Для устранения данного ограничения было разработано вейвлет-преобразование, которое обеспечивает одновременный анализ сигнала во временной и частотной областях. Вейвлет-преобразование особенно эффективно при анализе нестационарных сигналов с резкими изменениями и кратковременными событиями. Оно позволяет точно выявлять локальные особенности сигнала,

такие как импульсы, скачки и аномалии. Благодаря этим свойствам вейвлет-преобразование широко применяется при обработке биомедицинских сигналов (ЭКГ, ЭЭГ), сейсмических данных, сжатии изображений и подавлении шумов. В статье проводится сравнительный анализ преобразований Фурье и вейвлет, рассматриваются их преимущества, недостатки, области применения и вычислительная сложность. Также обоснован выбор оптимального метода в зависимости от типа анализируемого сигнала. Результаты исследования показывают, что преобразование Фурье более эффективно для стационарных и периодических сигналов, тогда как вейвлет-преобразование обладает преимуществами при анализе быстро изменяющихся и нестационарных сигналов. Статья представляет интерес для студентов, исследователей и инженеров, работающих в области анализа и обработки сигналов.

Ключевые слова (Russian): преобразование Фурье, вейвлет-преобразование, анализ сигналов, цифровая обработка сигналов, частотная область, временно-частотный анализ, подавление шумов, стационарные и нестационарные сигналы

Kirish: Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, avtomatlashtirish, biomeditsina va multimedia tizimlarining jadal rivojlanishi signallarni qayta ishlash fanining ahamiyatini yanada oshirmoqda. Signal deganda real jarayon yoki hodisani ifodalovchi vaqt yoki fazoga bog'liq ma'lumotlar tushuniladi. Bunday signallar turli manbalardan olinadi: aloqa kanallari, sensorlar, tibbiy qurilmalar, audio va video tizimlar hamda sanoat nazorati vositalari. Ushbu signallarni samarali tahlil qilish, ularning foydali qismini ajratib olish va shovqinlardan tozalash signal tahlilining asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi. Shu sababli signalni matematik usullar yordamida o'rganish va qayta ishlash bugungi kunda dolzarb ilmiy va amaliy masalaga aylangan. Signal tahlilida eng muhim muammolardan biri – vaqt sohasida murakkab ko'rinishga ega bo'lgan signallarning ichki tuzilishini aniqlashdir. Ko'pincha signalning vaqt bo'yicha grafigi uning

tarkibidagi chastotalar, energiya taqsimoti yoki o'zgarishlar haqida to'liq tasavvur bera olmaydi. Shu nuqtai nazardan, signallarni boshqa sohalarga o'tkazish, xususan, chastota yoki vaqt–chastota sohasida tahlil qilish zarurati tug'iladi. Aynan shu jarayonda matematik o'zgartirishlar, jumladan Fourier va Wavelet o'zgartirishlari muhim vosita sifatida maydonga chiqadi. Fourier o'zgartirishi signalni vaqt sohasidan chastota sohasiga o'tkazish imkonini beruvchi klassik va keng qo'llaniladigan usul hisoblanadi. Ushbu o'zgartirish yordamida signal tarkibidagi asosiy chastotalar, ularning amplitudasi va fazasi aniqlanadi. Fourier o'zgartirishi asosan statsionar va davriy signallarni tahlil qilishda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, aloqa tizimlari, akustika, tasvirlarni qayta ishlash va spektral tahlil kabi sohalarda keng qo'llaniladi.

Adabiyotlar taxlili: Signallarni qayta ishlash sohasida Fourier va Wavelet o'zgartirishlari bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar ko'p yillik tarixga ega bo'lib, bu mavzu fundamental matematik asoslardan tortib, amaliy muammolarni hal etishgacha bo'lgan keng doirani qamrab oladi. Ilmiy adabiyotlarda Fourier o'zgartirishi signal tahlilining klassik usuli sifatida e'tirof etilib, uning nazariy asoslari va amaliy qo'llanilishi ko'plab mualliflar tomonidan chuqur o'rganilgan. Xususan, A. V. Oppenheim va R. W. Schafer tomonidan yozilgan "Signals and Systems" hamda "Discrete-Time Signal Processing" asarlari Fourier tahlilining matematik mohiyati, diskret va uzluksiz ko'rinishlari hamda real tizimlardagi qo'llanilishini batafsil yoritib beradi. Ushbu manbalar signal tahlilining asosiy tushunchalarini shakllantirishda muhim o'rin tutadi. Fourier o'zgartirishining amaliy jihatlari, xususan, tezkor hisoblash algoritmlari masalasi Cooley va Tukey tomonidan taklif etilgan Fast Fourier Transform (FFT) algoritmi bilan bog'liq holda ko'plab ilmiy maqolalarda tahlil qilingan. FFT algoritmining ishlab chiqilishi Fourier tahlilining real vaqt tizimlarida qo'llanilishini sezilarli darajada kengaytirdi va uni raqamli signalni qayta ishlashning ajralmas qismiga aylantirdi. Aloqa tizimlari, spektral tahlil va multimedia signallarini qayta ishlashga bag'ishlangan adabiyotlarda Fourier o'zgartirishi asosiy tahlil vositasi sifatida keng yoritilgan.

Biroq adabiyotlarda Fourier o'zgartirishining vaqt bo'yicha lokal axborotni yo'qotishi asosiy kamchilik sifatida qayd etiladi. Ushbu muammoni hal etish yo'llari sifatida qisqa vaqtli Fourier o'zgartirishi (STFT) taklif etilgan bo'lsa-da, u doimiy oynaga asoslanganligi sababli vaqt va chastota aniqligi o'rtasidagi muvozanatni to'liq ta'minlay olmaydi. Shu sababli ko'plab tadqiqotchilar Wavelet o'zgartirishiga murojaat qilganlar. Wavelet tahlilining nazariy asoslari I. Daubechies, S. Mallat va M. Vetterli kabi olimlarning ishlarida chuqur yoritilgan. Ayniqsa, Daubechies tomonidan taklif etilgan ortogonal waveletlar va Mallatning multirezolyutsion tahlil konsepsiyasi Wavelet o'zgartirishining rivojlanishida muhim bosqich bo'ldi. Ilmiy adabiyotlarda Wavelet usulining nostatsionar signallarni tahlil qilishdagi ustunligi, vaqt–chastota lokalizatsiyasining yuqori aniqligi bilan izohlanadi.

Metodologiya: Ushbu tadqiqot ishining metodologiyasi Fourier va Wavelet o'zgartirishlarining signal tahlilidagi rolini nazariy va amaliy jihatdan solishtirma tahlil qilishga asoslangan. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli xususiyatlarga ega bo'lgan signallar uchun qaysi o'zgartirish usuli samaraliroq ekanligini aniqlash hamda ularning qo'llanilish sohalarini ilmiy asosda baholashdan iborat. Metodologiya doirasida analitik, eksperimental va taqqoslash usullaridan kompleks tarzda foydalanildi. Tadqiqotning birinchi bosqichida ilmiy-nazariy tahlil amalga oshirildi. Ushbu bosqichda Fourier va Wavelet o'zgartirishlariga oid klassik va zamonaviy ilmiy adabiyotlar, darsliklar, monografiyalar hamda xalqaro ilmiy jurnallarda chop etilgan maqolalar chuqur o'rganildi. Fourier o'zgartirishining matematik modeli, uzluksiz va diskret shakllari, shuningdek, tezkor Fourier o'zgartirishi (FFT) algoritmlarining ishlash prinsipi tahlil qilindi. Wavelet o'zgartirishiga oid qismda esa uzluksiz va diskret wavelet o'zgartirishlari, asosiy wavelet funksiyalari, multirezolyutsion tahlil va signalni dekompozitsiya qilish jarayonlari o'rganildi. Ushbu nazariy tahlil tadqiqotning keyingi bosqichlari uchun mustahkam ilmiy asos bo'lib xizmat qildi. Ikkinchi bosqichda eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi. Tajribalar uchun turli xususiyatlarga ega bo'lgan test

signallari tanlab olindi. Jumladan, statsionar va davriy signallar, nostatsionar va qisqa impulsli signallar, shuningdek, shovqin aralashgan sun'iy va real signallar qo'llanildi. Har bir signal avvalo vaqt sohasida tahlil qilinib, so'ngra Fourier o'zgartirishi yordamida chastota sohasiga o'tkazildi. Olingan spektral natijalar asosida signal tarkibidagi asosiy chastotalar, energiya taqsimoti va shovqin darajasi baholandi. Shundan so'ng, xuddi shu signallar Wavelet o'zgartirishi yordamida tahlil qilindi. Wavelet tahlilida turli tipdagi wavelet funksiyalaridan, jumladan, Haar, Daubechies va Symlet waveletlaridan foydalanildi. Har bir wavelet turi uchun signalning vaqt–chastota xarakteristikalarini, lokal o'zgarishlar va impulslar aniqlanish darajasi alohida tahlil qilindi.

Natijalar: Ushbu tadqiqot natijalari Fourier va Wavelet o'zgartirishlarining signal tahlilidagi imkoniyatlari va cheklovlarini amaliy misollar asosida aniq ko'rsatib berdi. O'tkazilgan eksperimental va taqqoslash tahlillari turli xususiyatlarga ega signallar uchun ushbu o'zgartirishlarning samaradorligi bir xil emasligini tasdiqladi. Natijalar signalning statsionarligi, vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi va shovqin darajasi tanlanadigan tahlil usuliga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatdi.

Statsionar va davriy signallar ustida o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, Fourier o'zgartirishi ushbu turdagi signallarni tahlil qilishda yuqori aniqlikka ega. Chastota spektrida signal tarkibidagi asosiy komponentlar aniq ajralib chiqdi va ularning amplitudasi hamda energiya taqsimoti to'liq ifodalandi. Ayniqsa, sinusoidal va ko'p chastotali signallar uchun Fourier spektri signalning umumiy xususiyatlarini tushunishda yetarli axborotni taqdim etdi. FFT algoritmidan foydalanish hisoblash tezligini sezilarli darajada oshirib, real vaqtga yaqin tahlilni amalga oshirish imkonini berdi. Biroq ushbu natijalarda vaqt bo'yicha lokal o'zgarishlarni aniqlash imkoni cheklanganligi yana bir bor tasdiqlandi. Nostatsionar va qisqa muddatli impulsli signallar bo'yicha olingan natijalar esa Wavelet o'zgartirishining ustunligini yaqqol namoyon etdi. Wavelet tahlili yordamida signalning qaysi vaqt oralig'ida keskin o'zgarishlar yuz bergani aniq belgilandi.

Vaqt–chastota xaritalari signal tarkibidagi impulslar, o'tkinchi jarayonlar va anomaliyalarni yuqori aniqlik bilan ko'rsatdi. Bu esa Fourier o'zgartirishi orqali aniqlash qiyin bo'lgan holatlarni samarali tahlil qilish imkonini berdi. Xususan, shovqin aralashgan signallarda Wavelet o'zgartirishi foydali komponentlarni saqlab qolgan holda shovqinni sezilarli darajada kamaytirdi. Turli wavelet funksiyalaridan foydalanish natijalari ham muhim ilmiy xulosalar chiqarishga imkon berdi. Haar wavelet oddiy tuzilishga ega bo'lib, keskin o'zgarishlarni aniqlashda samarali bo'lsa-da, silliq signallar uchun yetarli aniqlik bermadi.

Xulosa: Ushbu maqolada Fourier va Wavelet o'zgartirishlarining signal tahlilidagi roli nazariy va amaliy jihatdan o'rganildi hamda ularning imkoniyatlari solishtirma tahlil qilindi. Tadqiqot davomida signalning xususiyatlari tanlanadigan tahlil usuliga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, Fourier o'zgartirishi statsionar va davriy signallar uchun yuqori aniqlikdagi chastota tahlilini ta'minlab, signal tarkibidagi asosiy spektral komponentlarni samarali aniqlash imkonini beradi. Ayniqsa, tezkor Fourier o'zgartirishi hisoblash tezligi va soddaligi bilan real vaqt tizimlarida keng qo'llash uchun qulay hisoblanadi. Shu bilan birga, Fourier o'zgartirishining vaqt bo'yicha lokal axborotni aks ettira olmasligi uning asosiy cheklovi ekanligi tadqiqot natijalarida tasdiqlandi. Ushbu kamchilik nostatsionar, impulsli va tez o'zgaruvchan signallarni tahlil qilishda muammolar keltirib chiqaradi. Mazkur holatda Wavelet o'zgartirishi muqobil va samarali yechim sifatida namoyon bo'ldi. Wavelet tahlili signalni vaqt–chastota sohasida birgalikda o'rganish imkonini berib, lokal o'zgarishlar, anomaliyalar va qisqa muddatli hodisalarni aniqlashda yuqori natijalarni ko'rsatdi. Tadqiqot davomida turli wavelet funksiyalaridan foydalanish signal tahlilining aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Murakkab tuzilishga ega bo'lgan waveletlar silliq va keskin o'zgaruvchan signallarni bir vaqtda samarali tahlil qilish imkonini berdi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, hisoblash murakkabligi nuqtai nazaridan Fourier o'zgartirishi ustun bo'lsa-da, axborot mazmuni va tahlil chuqurligi jihatidan Wavelet o'zgartirishi ko'plab amaliy

vazifalarda ustunlikka ega. Umuman olganda, mazkur tadqiqot signal tahlilida yagona universal usul mavjud emasligini tasdiqlaydi. Signalning tabiati, tahlil maqsadi va qo'llanilish sohasi asosida Fourier yoki Wavelet o'zgartirishini tanlash eng muhim omil hisoblanadi. Amaliy jihatdan esa ushbu ikki usulni uyg'unlashtirib qo'llash signalni qayta ishlash samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Ushbu xulosalar signalni qayta ishlash sohasida ilmiy izlanishlar olib borayotgan tadqiqotchilar, muhandislar va talabalar uchun muhim nazariy hamda amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

- 1) Oppenheim A. V., Schafer R. W. *Signals and Systems*. Prentice Hall, 1997.
- 2) Oppenheim A. V., Schafer R. W., Buck J. R. *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall, 2001.
- 3) Proakis J. G., Manolakis D. G. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*. Pearson, 2007.
- 4) Cooley J. W., Tukey J. W. "An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series." *Mathematics of Computation*, 1965.
- 5) Daubechies I. *Ten Lectures on Wavelets*. SIAM, 1992.
- 6) Mallat S. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, 1999.
- 7) Vetterli M., Kovacevic J. *Wavelets and Subband Coding*. Prentice Hall, 1995.
- 8) Gonzalez R. C., Woods R. E. *Digital Image Processing*. Pearson, 2018.