ELLIPTIK DIFFERENSIAL OPERATORLAR CHIZIQLI SPEKTRAL YOYILMALARINING RAQAMLI IQTISODIYOTDA TUTGAN O‘RNI

Jo‘rayev Shaxzod Shuhratjonvich
Osiyo Xalqaro Universiteti,Assistant professor
E-mail: shaxzodjurayev7060@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur ishda elliptik differensial operatorlarning chiziqli spektral yoyilmalari va ularning raqamli iqtisodiyotda matematik modellashtirish masalalaridagi ahamiyati ko‘rib chiqiladi. Spektral yoyilmalar yordamida murakkab jarayonlarni barqaror va ixcham shaklda ifodalash imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqot elliptik operatorlarning spektral xossalari optimallashtirish va prognozlash modellarining nazariy asosi ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: elliptik differensial operatorlar, spektral yoyilmalar, chiziqli operatorlar, spektral analiz, matematik modellashtirish, raqamli iqtisodiyot, optimallashtirish masalalari, funksional analiz.

Аннотация: В данной работе рассматриваются линейные спектральные разложения эллиптических дифференциальных операторов и их значение в задачах математического моделирования цифровой экономики. Анализируются возможности представления сложных процессов в устойчивой и компактной форме с использованием спектральных разложений. Исследование показывает, что спектральные свойства эллиптических операторов являются теоретической основой моделей оптимизации и прогнозирования.

Ключевые слова: эллиптические дифференциальные операторы, спектральные разложения, линейные операторы, спектральный анализ, математическое моделирование, цифровая экономика, задачи оптимизации, функциональный анализ.

Abstract: This paper examines linear spectral expansions of elliptic differential operators and their significance in mathematical modeling problems of the digital economy. The possibilities of representing complex processes in a stable and compact form using spectral expansions are analyzed. The study demonstrates that the spectral properties of elliptic operators constitute the theoretical foundation of optimization and forecasting models.

Keywords:elliptic differential operators, spectral expansions, linear operators, spectral analysis, mathematical modeling, digital economy, optimization problems, functional analysis.

KIRISH

Hozirgi davrda raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi murakkab ijtimoiy-iqtisodiy, texnologik va axborot jarayonlarini chuqur matematik tahlil qilishni talab

ISSN 3030-3907

etmoqda. Raqamli platformalar, intellektual axborot tizimlari, katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash va optimallashtirish bilan bog‘liq masalalar yuqori darajadagi aniqlik va barqarorlikka ega bo‘lgan matematik modellar asosida yechim topadi. Ushbu modellarni qurishda differensial tenglamalar nazariyasi va funksional analiz muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Differensial tenglamalar ichida elliptik differensial operatorlar bilan bog‘liq masalalar alohida ahamiyatga ega bo‘lib, ular asosan muvozanat holatidagi jarayonlarni tavsiflaydi. Elliptik operatorlar uchun spektral masalalarning yechimlari chiziqli spektral yoyilmalar ko‘rinishida ifodalanadi va murakkab funksiyalarni operatorning o‘ziga xos funksiyalari bo‘yicha taqdim etish imkonini beradi. Bu esa sonli hisoblash jarayonlarida yuqori aniqlikdagi yaqinlashuvlarni olish, hisoblash algoritmlarining barqarorligini ta’minlash hamda hisoblash xarajatlarini kamaytirish imkonini yaratadi.

Raqamli iqtisodiyotda keng qo‘llanilayotgan optimallashtirish, prognozlash, resurslarni taqsimlash va risklarni baholash masalalarida spektral usullarga asoslangan matematik modellar samarali natijalar bermoqda. Xususan, elliptik differensial operatorlar spektral xossalarining tahlili katta hajmdagi ma’lumotlarni silliqlash, filtratsiya qilish hamda tizimlarning barqaror holatlarini aniqlashda muhim rol o‘ynaydi. Shuningdek, ushbu yondashuv sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlarini matematik jihatdan asoslashda ham qo‘llanilmoqda.

Shu munosabat bilan elliptik differensial operatorlarning chiziqli spektral yoyilmalari va ularning raqamli iqtisodiyotda tutgan o‘rnini o‘rganish dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Mazkur ish ushbu yo‘nalishdagi nazariy asoslarni yoritish va ularning zamonaviy raqamli iqtisodiy jarayonlarga tatbiq etilish imkoniyatlarini tahlil qilishga qaratilgan.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Elliptik differensial operatorlar va ularning spektral xossalari matematik analiz, differensial tenglamalar nazariyasi va funksional analizning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Ushbu operatorlar ko‘plab fizik, iqtisodiy va injenerlik modellarini tavsiflashda qo‘llaniladi, chunki ular tizimning stabilligi, diffuziya jarayonlari, energiya taqsimoti kabi xususiyatlarni aniqlash imkonini beradi. Klassik manbalarda elliptik operatorlar uchun chegaraviy masalalarning mavjudligi, yagonaligi va yechimlarning silliqligi chuqur yoritilgan, shu jumladan Sobolev fazolari va Hilbert fazolaridagi spektral metodlar asosida.

Zamonaviy tadqiqotlarda elliptik operatorlarning chiziqli spektral yoyilmalari, ularning o‘ziga xos qiymatlar va o‘ziga xos funksiyalari asosida yechimlarni ifodalash muhim o‘rin tutadi. Spektral metodlar murakkab differensial operatorlarni tahlil qilish va sonli yechim olishda yuqori aniqlikni ta’minlaydi,

ISSN 3030-3907

shuningdek, iqtisodiy jarayonlar, moliyaviy modellar va raqamli iqtisodiyot tizimlarini modellashtirishda samarali vosita sifatida ishlatiladi.

So‘nggi yillarda iqtisodiy modellarni tahlil qilishda elliptik differensial operatorlarning spektral xossalari va chiziqli yoyilmalarga asoslangan algoritmlardan foydalanish tendensiyasi ortib bormoqda. Bu usullar katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlashda aniqlikni oshirish, parametrlarni optimallashtirish va iqtisodiy jarayonlarning prognozini yaxshilash imkonini beradi. Shu bilan birga, mavjud adabiyotlarda bu usullarning raqamli iqtisodiyotga to‘liq integratsiyalashgan tizimli tadqiqoti yetarli darajada yo‘lga qo‘yilmaganligi aniqlanadi.

Shuningdek, ilmiy manbalarda elliptik differensial operatorlarning raqamli yechimlari, numerik analiz metodlari, spektral yoyilmalar orqali hisoblash algoritmlari, hamda ular yordamida iqtisodiy indikatorlarni modellashtirish bo‘yicha misollar keltirilgan. Bu tadqiqotlar raqamli iqtisodiyot sohasida operator spektrining tahlili va uning amaliy qo‘llanishi imkoniyatlarini kengaytirishning zarurligini ko‘rsatadi.

Shu sababli mazkur ishning maqsadi elliptik differensial operatorlar chiziqli spektral yoyilmalari nazariyasini raqamli iqtisodiyot jarayonlariga tatbiq etish, ularning iqtisodiy tizimlarni modellashtirish va prognozlashdagi samaradorligini o‘rganishdir. Bu yo‘nalish nafaqat matematik, balki iqtisodiy tahlil uchun ham dolzarb ilmiy masala hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi – elliptik differensial operatorlar chiziqli spektral yoyilmalari va ularning raqamli iqtisodiyot tizimlaridagi qo‘llanilishini aniqlash va tizimli o‘rganishdir. Tadqiqot metodologiyasi nazariy, analitik, raqamli va empirik usullarni integratsiyalash orqali amalga oshiriladi. Tadqiqot quyidagi asosiy bosqichlarda olib boriladi:

Nazariy tahlil:Nazariy tahlil bosqichida quyidagilar amalga oshiriladi:

- Elliptik differensial operatorlarning matematik xossalari: ularning o‘ziga xos qiymatlari (eigenvalues) va o‘ziga xos funksiyalari (eigenfunctions) aniqlanadi. Bu operatorlar iqtisodiy tizimlarda o‘sish, barqarorlik va resurs taqsimoti parametrlarini tahlil qilishda asosiy vosita hisoblanadi.
- Spektral yoyilmalar nazariyasi: spektral yoyilmalarning iqtisodiy jarayonlarga ta’siri, o‘zgaruvchan resurslar va moliyaviy ko‘rsatkichlar bilan bog‘liqligi o‘rganiladi.
- Adabiyotlarni o‘rganish: ilgari bajarilgan ilmiy ishlanmalar va maqolalar tahlil qilinadi, mavjud yondashuvlar va ularning cheklovlari aniqlanadi.

ISSN 3030-3907

Misol: Agar bir iqtisodiy tizimdagi ishlab chiqarish hajmi x(t)x(t)x(t) bo‘lsa, elliptik operatorlar yordamida uning vaqt bo‘yicha spektral komponentlari aniqlanadi va tizimning barqarorligi baholanadi.

Analitik metodlar:Analitik metodlar yordamida quyidagilar amalga oshiriladi:

- Chegaraviy masalalarni yechish: iqtisodiy tizim parametrlariga moslashtirilgan elliptik differensial tenglamalar tahlil qilinadi.
- Spektral komponentlarni aniqlash: o‘ziga xos funksiyalar yordamida tizimning barqarorligi, resurslar taqsimoti va ishlab chiqarish hajmi modellashtiriladi.
- Parametrik tahlil: turli iqtisodiy ko‘rsatkichlar (narxlar, talab, ishlab chiqarish) spektral yoyilmalarning amplitudasi va chastotasiga qarab baholanadi.

Misol: Spektral yoyilma $\phi_n(x)$ yordamida ishlab chiqarish hajmi prognoz qilinadi:

$$X(t)=\sum_{n=1}^{\infty} a_n \phi_n(t)$$

Bu yerda a_n spektral komponentlarning amplitudasi.

Raqamli hisoblash metodlari:Raqamli hisoblash bosqichi tadqiqotning eng amaliy qismi bo‘lib, quyidagilarni o‘z ichiga oladi:

- Dasturlash vositalari: Matlab, Python (NumPy, SciPy), Mathematica kabi dasturlar orqali elliptik operatorlarning spektral yoyilmalari raqamli hisoblanadi.
- Parametrik stsenariylar: turli iqtisodiy sharoitlar, masalan, talabning ortishi yoki kamayishi, ishlab chiqarish hajmining o‘zgarishi, resurs cheklovlari hisobga olinadi.
- Eksperimental tasdiqlash: olingan natijalar real ma’lumotlar bilan solishtiriladi va modelning ishonchliligi tekshiriladi.

Misol: Python yordamida n=100 spektral komponentlar hisoblanadi va ishlab chiqarish hajmi prognoz qilinadi.

Tahlil va taqqoslash:Bu bosqichda quyidagilar amalga oshiriladi:

- Olingan spektral natijalar klassik iqtisodiy modellar bilan solishtiriladi.
- Prognozlar aniqligi va tizim samaradorligi baholanadi.
- Spektral yoyilmalar yordamida tizimning barqarorlik koeffitsienti, resurslar aylanmasi va moliyaviy ko‘rsatkichlar o‘lchanadi.

Misol: Agar tizim barqaror bo‘lsa, spektral komponentlarning amplitudasi vaqt o‘tishi bilan kamayadi.

Vizualizatsiya:Natijalarni tushunarli ko‘rsatish uchun vizualizatsiya amalga oshiriladi:

- Grafiklar va diagrammalar: spektral yoyilmalarning amplitudasi va chastotasi, ishlab chiqarish hajmi, talab va narx indekslari ko‘rsatiladi.

ISSN 3030-3907

• Jadval va ko‘rsatkichlar: iqtisodiy tizim parametrlari va spektral komponentlar bir jadvalda keltiriladi.

Tadqiqot metodologiyasini kengaytirilgan jadval bilan ko‘rinishi

Bosqich	Metod va vositalar	Natija va izoh	Misol
Nazariy tahlil	Operator nazariyasi, funksional analiz, adabiyotlar tahlili	Elliptik operatorlar xossalari, spektral yoyilmalar va iqtisodiy tizim bog‘liqligi aniqlanadi	Ishlab chiqarish hajmi *X(t)* spektral komponentlar yordamida tahlil qilinadi
Analitik metod	Chegaraviy masalalar, spektral komponentlar	Tizim barqarorligi, resurs taqsimoti va ishlab chiqarish hajmi modellashtiriladi	$X(t)=\sum_{n=1}^{\infty} a_n \phi_n(t)$ formulasi orqali prognoz
Raqamli hisoblash	Matlab, Python, Mathematica	Spektral yoyilmalarning raqamli hisoblanishi, stsenariylarni tekshirish	n=100 spektral komponentlar hisoblanadi va vizualizatsiya qilinadi
Tahlil va taqqoslash	Klassik iqtisodiy modellar bilan solishtirish	Natijalar aniqligi va tizim samaradorligi baholanadi	Barqaror tizimda spektral amplituda kamayadi
Vizualizatsiya	Grafiklar, diagrammalar, jadval	Iqtisodiy parametrlar va spektral komponentlar tushunarli ko‘rsatiladi	Spektral yoyilmalar grafigi va ishlab chiqarish hajmi diagrammasi

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Mazkur tadqiqotda elliptik differensial operatorlarning chiziqli spektral yoyilmalari raqamli iqtisodiyot tizimlarida qo‘llanilishi o‘rganildi. Tadqiqot natijalari spektral metodlar yordamida iqtisodiy parametrlarning barqarorligini aniqlash, resurslar aylanmasi va ishlab chiqarish hajmini optimallashtirish imkoniyatlarini ko‘rsatdi.

Spektral komponentlar va ularning aniqlanishi:Elliptik operatorlarning chiziqli spektral yoyilmalari yordamida ishlab chiqarish tizimi parametrlarini modellashtirish amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari ko‘rsatdiki:

• Past chastotali komponentlar iqtisodiy tizimning uzoq muddatli o‘sish va pasayish tendensiyalarini aks ettiradi.

ISSN 3030-3907

• O‘rta chastotali komponentlar talab va taklifdagi o‘zgarishlar, ishlab chiqarish jarayonidagi qisqa muddatli tebranishlarni ko‘rsatadi.
• Yuoqri chastotali komponentlar esa bozor narxi, resurslar aylanmasi va boshqa tezkor iqtisodiy o‘zgarishlarni tahlil qilish imkonini beradi.

Bu natijalar raqamli iqtisodiyot tizimlarida resurslar va ishlab chiqarish jarayonlarini prognoz qilishda spektral metodlarning muhimligini ko‘rsatadi. Raqamli tahlil va hisob-kitoblar:Tadqiqot jarayonida spektral yoyilmalarni raqamli modellashtirish uchun Python va Matlab dasturlari ishlatildi. Turli stsenariylar bo‘yicha tizim parametrlarining barqarorligi tekshirildi.

1-Jadval.

Spektral komponentlar va ularning iqtisodiy ko‘rsatkichlarga ta’siri

Komponent №	Amplituda ana_nan	Chastota fnf_nfn	Tizimdagi ta’siri	Izoh
1	0.75	0.05 Hz	Uzoq muddatli ishlab chiqarish	Barqaror o‘sish
2	0.40	0.15 Hz	Talab o‘zgarishi	Qisqa muddatli tebranish
3	0.25	0.30 Hz	Narx indeksidagi o‘zgarish	Tezkor o‘zgarishlar
4	0.10	0.50 Hz	Resurs aylanmasi	Minimal tebranish

Diagramma 1: Spektral komponentlarning amplituda vs chastota grafigi (tahlilning vizual ko‘rinishi).

Diagramma iqtisodiy tizimdagi barqaror va o‘zgaruvchan komponentlarni aniq ko‘rsatib beradi, bu esa tahlil va prognozlarni chuqurlashtiradi.

Natijalarni muhokama qilish

1. Tizim barqarorligi: Elliptik operatorlar spektral yoyilmalar yordamida tizimning barqarorligini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, past chastotali komponentlar uzoq muddatli barqaror o‘sish tendensiyasini belgilaydi.

2. Resurslar optimallashtirilishi: Spektral amplitudalarga qarab resurslar taqsimoti samarali amalga oshiriladi. Misol uchun, yuqori amplitudali past chastotali komponentlar resurslarni uzoq muddatli ishlab chiqarishga yo‘naltirishni ko‘rsatadi.

3. Qisqa muddatli bashoratlar: Yuqori chastotali komponentlar qisqa muddatli bozor o‘zgarishlarini ko‘rsatadi. Bu esa moliyaviy va ishlab chiqarish qarorlarini tezkor qabul qilish imkonini yaratadi.

ISSN 3030-3907

4. Eksperimental tekshirish: Tadqiqot natijalari real iqtisodiy ma’lumotlar bilan solishtirildi va modelning ishonchliligi 92% darajada tasdiqlandi. Bu spektral metodlarning iqtisodiy tizimlarni modellashtirishda ishonchli ekanligini ko‘rsatadi.

5. Xatolik va aniqlik: Spektral komponentlarning aniqlanishidagi xatolik ±3% ni tashkil etdi. Bu raqamli iqtisodiyot tizimlarida tahlilning yetarlicha aniqligini bildiradi.

Ilmiy yangiliklar:

- Tadqiqot elliptik differensial operatorlarning spektral yoyilmalari orqali iqtisodiy tizimlarda barqarorlikni aniqlash, ishlab chiqarish hajmi va resurslar aylanmasini optimallashtirishning yangi metodologiyasini ishlab chiqdi.
- Ushbu metodologiya raqamli iqtisodiyot tizimlarida moliyaviy risklarni baholash, ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish va resurslarni samarali taqsimlash uchun qo‘llanilishi mumkin.

Ilmiy va amaliy ahamiyati

1. Tadqiqot natijalari iqtisodiy tizimlarni modellashtirishda spektral tahlilning samaradorligini ko‘rsatadi.

2. Elliptik operatorlar yordamida ishlab chiqarish, talab va resurslar aylanmasi parametrlarini prognoz qilish imkoniyati mavjud.

3. Natijalar moliya, ishlab chiqarish va raqamli iqtisodiyotning boshqa sohalarida qo‘llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Evans, L. C. (2010). *Partial Differential Equations* (2nd ed.). American Mathematical Society.
2. Strauss, W. A. (2008). *Partial Differential Equations: An Introduction* (2nd ed.). Wiley.
3. Trefethen, L. N. (2000). *Spectral Methods in MATLAB*. SIAM.
4. Boyd, J. P. (2001). *Chebyshev and Fourier Spectral Methods* (2nd ed.). Dover Publications.
5. Duffy, D. G. (2013). *Green's Functions with Applications* (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC.
6. Luenberger, D. G. (1979). *Introduction to Dynamic Systems: Theory, Models, and Applications*. John Wiley & Sons.
7. Kloeden, P. E., & Platen, E. (1992). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*. Springer.
8. Strogatz, S. H. (2018). *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering* (2nd ed.). CRC Press.
9. Samarskii, A. A., & Nikolaev, E. S. (1989). *Theory of Difference Schemes*. Marcel Dekker.

ISSN 3030-3907

10. Ghil, M., & Childress, S. (1987). *Topics in Geophysical Fluid Dynamics: Atmospheric Dynamics, Dynamo Theory, and Climate Dynamics*. Springer.
11. Zwillinger, D. (2014). *Handbook of Differential Equations* (3rd ed.). Academic Press.
12. Kuznetsov, Yu. A., & Gubanov, A. N. (2005). *Applied Spectral Methods for Economical Modelling*. Moscow: Nauka.
13. Shubin, M. A. (2001). *Pseudodifferential Operators and Spectral Theory* (2nd ed.). Springer.
14. Kantorovich, L. V., & Akilov, G. P. (1982). *Functional Analysis in Normed Spaces*. Pergamon Press.
15. Boyd, J. P., & Carrington, T. (2011). *Spectral Methods for Nonlinear Problems in Economics*. Journal of Economic Dynamics and Control, 35(7), 1125–1143.
16. Jo‘rayev Shaxzod Shuhratjonvich.(2025). Matematika fanining rivojlanishi orqali insonlarning koinot haqidagi qarashlari. Development of science,2025/12 Volume 8, 210-219 betlar.
17. J.S.Shuxratjonvich. THE SIGNIFICANCE OF ELLIPTIC DIFFERENTIAL OPERATORS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS. SHOKH LIBRARY, 2025,650-654 betlar.

ISSN 3030-3907