

ENERGIYA, MODDA VA INFORMATSIYANING BOSHQARILADIGAN O'ZARO TA'SIRI: SINERGETIK YONDASHUVNING NAZARIY ASOSLARI

Mansurova Dildorva Otabek qizi
Yaxshimurodov Asilbek Abdurauf o'g'li

Annotatsiya: Ushbu maqolada murakkab nolinear tizimlarda energiya, modda va informatsiyaning boshqariladigan o'zaro ta'siri konsepsiyasi tadqiq etiladi. Tizimlarning bifurkatsion va ko'pbarqaror rejimlarda xatti-harakatlari, fazoviy portretlarining sezgirligi va ichki tartib parametrlari orqali o'z-o'zini tashkil etish jarayonlari ilmiy tahlil qilinadi. Shuningdek, informatsion boshqaruvning minimal energiya sarfi bilan tizim trayektoriyalarini yo'naltirishdagi roli yoritiladi. Mazkur yondashuv robototexnika, nolinear boshqaruv tizimlari, fizik jarayonlar, biotizimlar va intellektual texnologiyalar uchun metodologik asos sifatida xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: murakkab tizimlar, nolinear dinamik tizimlar, synergetika, informatsion boshqaruv, bifurkatsiya, attraktorlar

Аннотация: В статье рассматривается концепция управляемого взаимодействия энергии, вещества и информации в сложных нелинейных системах. Анализируются поведение систем в бифуркационных и многобарьерных режимах, чувствительность фазового портрета и процессы самоорганизации через внутренние параметры порядка. Особое внимание уделено роли информационного управления в направлении траекторий системы при минимальных энергетических затратах. Предложенный подход служит методологической основой для робототехники, нелинейного управления, физики процессов, биосистем и интеллектуальных технологий.

Ключевые слова: сложные системы, нелинейные динамические системы, синергетика, информационное управление, бифуркация, аттракторы

Abstract: This article investigates the concept of controlled interaction of energy, matter, and information in complex nonlinear systems. The study analyzes system behavior in bifurcation and multistable regimes, sensitivity of phase portraits, and self-organization processes through internal order parameters. The role of informational control in directing system trajectories with minimal energy expenditure is highlighted. The proposed approach provides a methodological foundation for robotics, nonlinear control systems, physical process modeling, biological systems, and intelligent technologies.

Keywords: complex systems, nonlinear dynamic systems, synergetics, informational control, bifurcation, attractors

KIRISH

Zamonaviy ilm-fanning strategik yoʻnalishlaridan biri murakkab nolinear dinamik tizimlarning deterministik xatti-harakatini ularning tashqi muhit bilan energiya, modda va informatsiya almashinuvi jarayonlari bilan uzviy bogʻliq holda chuqur tadqiq etishga qaratilgan. Bunday tizimlar, odatda, ochiq strukturaga ega boʻlib, tashqi energiya va modda oqimlarining doimiy kirib-chiqishi natijasida ularning dinamikasi vaqt boʻyicha barqaror emas va murakkab koʻpkomponentli jarayonlar bilan belgilanadi. Shu sababli fazoviy portretlarning tuzilishi bifurkatsion nuqtalarning paydo boʻlishi, koʻpbarqarorlik holatlari, oʻzgaruvchan topologik sirtlar, struktura hosil boʻlish jarayonlari va xaotik rejimlarning vujudga kelishi bilan tavsiflanadi. Nolinear tizimlarning bunday murakkab xatti-harakati deterministik qonuniyatlar bilan belgilanayotgan boʻlsa-da, ular tashqi taʼsirlarga yuqori sezgir boʻlib, hatto kichik miqdordagi energiya yoki informatsion fluktuatsiyalar ham tizimning makroskopik holatini tubdan oʻzgartirishi mumkin. Ushbu xususiyat, oʻz navbatida, sinergetika, oʻz-oʻzini tashkil etish nazariyasi va zamonaviy boshqaruv paradigmaları uchun metodologik asos yaratadi hamda murakkab ochiq tizimlarda struktura hosil boʻlishi, tartibning paydo boʻlishi va dinamik rejimlarning almashinish mexanizmlarini chuqurroq anglash imkonini beradi.

Murakkab tizimlarda energiya va informatsiya jarayonlarining dual tabiati shundan iboratki, texnik boshqaruv tizimlarida qoʻllaniladigan boshqaruv signali odatda tizimning asosiy energetik jarayonlariga nisbatan bir necha tartib kichik boʻlishiga qaramay, u tizimning fazoviy holatini aniqlovchi va dinamik evolyutsiyani kerakli yoʻnalishda boshqaruvchi fundamental informatsion tashuvchi sifatida namoyon boʻladi. Sinergetik yondashuvga koʻra, informatsiyaning bunday tartib beruvchi roli faqat sunʼiy boshqaruv tizimlariga xos emas, balki tabiiy fizik tizimlar, biologik strukturalar va kimyoviy reaksiyalar kabi oʻz-oʻzidan tashkil boʻluvchi jarayonlar uchun ham universal xususiyat sanaladi. Tizim bifurkatsiya yaqinida boʻlganda esa juda kichik informatsion fluktuatsiyalarning oʻzi ham makroskopik darajada sezilarli tuzilmaviy oʻzgarishlarni keltirib chiqarishi, tartibning paydo boʻlishi, sezgirlikning ortishi, koʻp rejimli dinamik xatti-harakatlar yoki xaotik rejimlarning shakllanishiga sabab boʻlishi mumkin. Bunday murakkab nolinear tizimlar tabiatan ochiq boʻlib, ularning strukturaviy tashkil etilishi ikki oʻzaro bogʻlangan quyi tizimdan iborat tarzda modellashtiriladi: birinchi quyi tizim — dinamik yoki energetik qism boʻlib, u tizimning kuch taʼsirlari, harakat tenglamalari, energiya almashinuvi jarayonlari va fazodagi trayektoriyalarini belgilaydi; ikkinchi quyi tizim esa informatsion-boshqaruvchi qism boʻlib, tartib parametrlari yordamida tizimning fazoviy portretini shakllantiradi, dinamikani yoʻnaltiradi va evolyutsiyani tartibga soladi. Fazoviy portretning murakkabligi, bir nechta attraktorlarning mavjudligi, trayektoriyalarning boshlangʻich sharoitlarga va tasodifiy fluktuatsiyalarga yuqori sezgirligi ushbu strukturaviy ajralishni nazariy va amaliy jihatdan asoslaydi. Shu bilan birga, bunday



tizimlarda bir attraktordan boshqasiga o'tish ko'pincha katta energetik impulsni talab qilmaydi, chunki tizimning deterministik strukturasida informatsiya tashuvchi signallar dinamik jarayonlarning yo'nalishini aniqlovchi boshqaruv mexanizmi sifatida ustuvor ahamiyat kasb etadi. Natijada murakkab tizimlarni samarali boshqarish ko'pincha "energiya kam, informatsiya ko'p" tamoyiliga tayanadi; bu tamoyil nolinear boshqaruv, synergetika, intellektual tizimlar nazariyasi va o'z-o'zidan tashkil etiluvchi tizimlar dinamikasining metodologik asosini shakllantiradi.

Quyidagi matn ilmiy-uslubda boyitilgan, mantiqiy izchilligi kuchaytirilgan va akademik tilda qayta ishlab chiqilgan — xatboshisiz yaxlit holda taqdim etiladi:

Fazoviy hajm, entropiya va informatsion boshqaruvning o'zaro bog'liq rollari murakkab nolinear tizimlarning deterministik dinamikasini chuqur anglashda fundamental ahamiyatga ega. Tizimning boshlang'ich holatini berilgan aniqlik darajasida belgilash uning informatsion holatini

$$s = \ln \frac{V}{\Delta V}$$

munosabati orqali ifodalash imkonini beradi, bu yerda V — tizimning umumiy fazoviy fazosi hajmi, ΔV esa boshlang'ich holatga mos tor fazoviy sohani bildiradi. Ushbu ifoda fazoviy hajm qanchalik toraytirilsa — tizimning boshlang'ich holati shunchalik aniq belgilanishini, demak tizimning informatsion holati shunchalik yuqori bo'lishini ko'rsatadi. Demak, tizimning keyingi evolyutsiyasi nafaqat energetik jarayonlar, balki informatsion aniqlikning darajasiga ham bevosita bog'liqdir. Fazoviy hajmning informatsion boshqaruv mexanizmlari yordamida qisqarishi tizimdagi tartibning oshishiga olib keladi. Termodinamik nuqtai nazardan bu jarayon entropiya tushunchasi bilan bog'lanadi: tizimning entropiya miqdori $S = k \ln N$ ko'rinishida ifodalanadi, bu yerda N tizimning mumkin bo'lgan mikroholatlari soni, k esa Boltsman konstantasidir. Mikroholatlar sonining kamayishi ($N \downarrow$) tizimning tartibga kelishiga, makroskopik strukturalarning barqarorlashuviga va dinamik xatti-harakatning deterministiklashuviga olib keladi; aksincha, mikroholatlar sonining ortishi ($N \uparrow$) esa entropiya va noaniqlikning ko'payishi bilan bog'liq bo'lib, tizimni beqarorroq holatga yaqinlashtiradi. Shunday qilib, mazkur munosabatlar murakkab tizimlarni boshqarishda informatsiyaning energetik jarayonlarga teng darajada fundamental rol o'ynashini namoyon etadi: fazoviy hajmni toraytiruvchi yoki entropiyani kamaytiruvchi informatsion ta'sirlar tizim dinamikasini minimal energiya sarfi orqali yuqori darajada samarali tartibga solish imkonini beradi.

Dissipativ tizimlar odatda bir nechta attraktor va ularning tortish sohalaridan tashkil topadi. Tizimni bir attraktordan boshqasiga o'tkazish jarayoni ko'pincha katta energetik impulsni talab qilmaydi; buning o'rniga to'g'ri tanlangan informatsion boshqaruv signali yetarli bo'lishi mumkin. Shu sababli energiya sarfi mavjud bo'lsa-da, u minimal darajada bo'ladi, chunki tizimning makroskopik trayektoriyasini



o'zgartirishda asosiy rolni informatsion mexanizmlar bajaradi. Shu nuqtai nazardan murakkab tizimlarni boshqarishda asosiy prinsip quyidagicha ifodalanadi:

“Energiya kam, informatsiya ko‘p bo‘lgan boshqaruv — eng samarali boshqaruvdir.”

Murakkab tizimlar shuningdek ichki tartib parametrlariga, ya'ni yashirin erkinlik darajalariga ega bo'ladi. Bifurkatsiya chegarasiga yaqinlashganda ushbu parametrlarning eng kichik o'zgarishi ham tizim trayektoriyasini tubdan o'zgartirishga qodir. Agar tizim ichida dinamik va informatsion quyi tizimlar o'rtasida maxsus teskari aloqa mexanizmi tashkil etilsa, quyidagi xususiyatlar paydo bo'ladi:

- barqarorlikning oshishi;
- yangi funktsional rejimlarning yuzaga kelishi;
- o'z-o'zini tashkil etish jarayonlarining kuchayishi;
- yangi attraktorlar va ko'pbarqarorlikning shakllanishi;
- fazoviy o'lchamning kengayishi va informatsion almashuvning murakkablashishi.

Natijada tizimning boshqaruv imkoniyatlari sezilarli darajada oshadi va minimal energiya sarfi bilan maksimal dinamik nazoratga erishish imkoniyati yuzaga keladi. Ushbu yondashuv synergetik nazariya va nolinear boshqaruv tizimlari uchun metodologik asos sifatida muhim ahamiyat kasb etadi.

Murakkab nolinear tizimlarda energiya, modda va informatsiyaning boshqariladigan o'zaro ta'siri konsepsiyasi zamonaviy tizim nazariyasining markaziy konseptual bo'g'ini sifatida e'tirof etiladi. Ushbu yondashuv murakkab tizimlarning dinamik xatti-harakatlarini chuqur tushunish va ularni samarali boshqarish imkonini beradi. Energetik va informatsion jarayonlarning uzviy bog'liqligi shuni ko'rsatadiki, tizimning barqarorligi va evolyutsiyasi nafaqat energiya almashinuvi, balki informatsion oqimlar bilan ham bevosita bog'liq bo'lib, ularning birlikdagi xatti-harakatlari tizim trayektoriyalarining sezgirligini va ko'pbarqarorlik xususiyatlarini belgilaydi. Bifurkatsion rejimlarda tizimning fazoviy portreti sezgir bo'lib, kichik informatsion ta'sirlar ham makroskopik darajadagi o'zgarishlarga, yangi struktura va tartibning yuzaga kelishiga olib kelishi mumkin. Shu bilan birga, attraktorlararo boshqaruv mexanizmlari energiya sarfini minimal darajada saqlagan holda tizim trayektoriyasini maqsadli yo'nalishga yo'naltiradi, bu esa informatsion boshqaruvning samaradorligini va iqtisodiy jihatdan maqbul ekanligini ko'rsatadi. Ichki tartib parametrlari, ya'ni yashirin erkinlik darajalari tizimning ichki dinamik tuzilmasini belgilab, yangi boshqaruv imkoniyatlarini yaratadi; ular orqali tizimning o'z-o'zini tashkil etish qobiliyati oshadi, ko'pbarqarorlik va adaptiv xatti-harakatlar rivojlanadi, fazoviy o'lcham va informatsion almashuv imkoniyatlari kengayadi. Mazkur konsepsiya nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy nuqtai nazardan ham yuqori qiymatga ega bo'lib, robototexnika, nolinear boshqaruv tizimlari, fizik jarayonlar nazariyasi, biologik tizimlar dinamikasi va intellektual texnologiyalarni



rivojlantirishda metodologik asos sifatida xizmat qiladi. Shu tarzda energiya, modda va informatsiyaning boshqariladigan o‘zaro ta’siri konsepsiyasi murakkab tizimlarni tizimli tushunish va ularni minimal energiya sarfi bilan maksimal nazorat qilish imkonini beruvchi ilmiy va amaliy poydevor hisoblanadi.

Xulosa

Murakkab nolinear tizimlarda energiya, modda va informatsiyaning boshqariladigan o‘zaro ta’siri konsepsiyasi zamonaviy tizim nazariyasining markaziy kontsepsiyalaridan biri bo‘lib, tizimning dinamik, struktural va informatsion xususiyatlarini bir butun sifatida o‘rganishga imkon beradi. Bu yondashuv ochiq tizimlarda yuzaga keladigan o‘z-o‘zini tashkil etish, bifurkatsion xatti-harakatlar, attraktorlararo o‘tishlar, hamda ko‘pbarqarorlik kabi murakkab hodisalarni tahlil qilish imkonini beradi. Sinergetika prinsiplariga ko‘ra, ochiq tizimlar energiya va informatsiyani atrof-muhit bilan uzluksiz almashadi va bu jarayonlar mos ravishda tizim strukturasini evolyutsiyalantiradi hamda yangi tarkibiy holatlar — tartiblar, iyerarxiyalar va rejimlarni yuzaga keltiradi. Bifurkatsion nuqtalarda kichik informatsion ta’sirlar tizimning makroskopik xatti-harakatini tubdan o‘zgartirishi mumkinligi, energiya sarfi minimal bo‘lishiga qaramay, boshqaruv samaradorligi sezilarli darajada oshishini ko‘rsatadi. Bu jarayonlarda informatsion boshqaruv mexanizmlari dinamik jarayonlarga nisbatan ustun ahamiyat kasb etadi va attraktorlararo o‘tishlarni muvozanatlashtiradi. Ichki tartib parametrlari va yashirin erkinlik darajalari orqali tizim o‘z-o‘zini tashkil etish, adaptiv xulq-atvor va murakkab funktsional holatlarni rivojlantira oladi. Shuning uchun energiya, modda va informatsiyaning o‘zaro ta’siri konsepsiyasi nafaqat tizim nazariyasi, balki robototexnika, nolinear boshqaruv tizimlari, fizik jarayonlar nazariyasi, biologik tizimlar dinamikasi va intellektual texnologiyalar sohalari uchun ham fundamental metodologik poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro‘yxati:

1. Rizaev I. I. *Synergetics: The Path from General Systems Theory to Self-Organization*. Global Scientific Review, 2023.
2. Rizaev I. I. *Synergetics: A Historical Analysis of the Ideas of Self-Organization*. Jurnal ISO, 2022.
3. Kondratyuk-Antonova T., Polishchuk N., Silvestrova O. *Synergetics and the Problem of Objectivity in Scientific Knowledge*. Humanities Studios, 2024.
4. “Синергетическая теория управления: концепции, методы, тенденции развития”. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*, 2001.



5. 7Universum (Якубова N.S. va boshq.) *Нечеткое синергетическое управление многомерных нелинейных объектов с дискретным временем.* Universum, 2021.

6. “Синергетика”, Wikipedia — Sinergetikaning asosiy prinsiplarini, ochiq tizimlar, o‘z-o‘zini tashkil etish va fazoviy evolyutsiya kontseptsiyalarini ilmiy-popular izohlab beradi

7. Gang Yan, et al. *Spectrum of Controlling and Observing Complex Networks.* arXiv