GARMONIK LINEARIZATSIYA USULINING MEXANIKA MASALALARIGA TADBIQLARI

Dusmatov Olimjon Musurmonovich
Fizika-matematika fanlari doktori professor, Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
Tojinorov Ma'sud Abdialim o'g'li,
Sharipov Vasliddin Ahror o'g'li,
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Muhandislik fizikasi instituti fakulteti, Nazariy va injenerlik mexanikasi kafedrasi,
E-mail: tojinorovmasud@gmail.com

Received: 05.02.2026
Revised: 06.02.2026
Accepted: 07.02.2026

Kalit so'zlar:
garmonik linearizatsiya, nolinear mexanika, mexanik tebranishlar, dinamik tizimlar, chiziqli model, barqarorlik, mexatron tizimlar, muhandislik tahlili.

Annotatsiya. Mazkur tezisda garmonik linearizatsiya usulining nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilishdagi nazariy asoslari va amaliy qo'llanish imkoniyatlari yoritilgan. Real mexanik tizimlarning aksariyati nolinear xususiyatlarga ega bo'lib, ularni aniq analitik usullar yordamida tahlil qilish murakkablik tug'diradi. Shu sababli, nolinear bog'lanishlarni soddalashtirib, ekvivalent chiziqli modellar orqali o'rganish dolzarb hisoblanadi. Tezisda garmonik linearizatsiya usulining mohiyati, uning tebranuvchi mexanik tizimlarga tadbiqi hamda tizimning asosiy dinamik ko'rsatkichlarini aniqlashdagi samaradorligi tahlil qilingan. Olingan natijalar ushbu usul mexanik va mexatron tizimlarni dastlabki loyihalash va muhandislik hisoblarida qo'llash uchun qulay va samarali ekanligini ko'rsatadi.

Kirish. Zamonaviy mexanika fanida murakkab nolinear tizimlarni tahlil qilish va ularning xatti-harakatlarini aniqlash muhim ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Mexanik tizimlarning katta qismi, xususan, tebranuvchi tizimlar, avtomatlashtirilgan mexanizmlar, mexatron modullar va real texnik qurilmalar o'z tabiatiga ko'ra nolinear bo'lib, ularni aniq analitik usullar yordamida yechish ko'pincha qiyinchilik tug'diradi. Shu sababli nolinear masalalarni soddalashtirib, ularni tahlil qilishga imkon beruvchi samarali matematik usullarni qo'llash zarurati yuzaga keladi. Nolinear mexanik tizimlarni o'rganishda keng qo'llaniladigan yondashuvlardan biri bu garmonik linearizatsiya usulidir. Ushbu usul nolinear bog'lanishlarni ekvivalent chiziqli ifodalar bilan almashtirishga asoslanadi va tizimning asosiy garmonik tebranish komponentlarini hisobga olgan holda tahlil qilish imkonini beradi. Natijada, murakkab nolinear differensial tenglamalar o'rniga

soddaroq chiziqli tenglamalar tizimi hosil bo‘lib, ularni klassik mexanika va tebranishlar nazariyasi usullari bilan yechish mumkin bo‘ladi.

Garmonik linearizatsiya usuli ayniqsa davriy tebranishlarga ega bo‘lgan mexanik tizimlarni o‘rganishda samarali hisoblanadi. Masalan, elastik elementlarga ega mexanizmlar, ishqalanish mavjud bo‘lgan tizimlar, cheklovchi elementlar (to‘xtagichlar) bilan ishlovchi mexanik qurilmalar va avtomatik boshqaruvga ega mexatron tizimlarda bu usul keng tatbiq etiladi. Ushbu yondashuv yordamida tizimning tebranish amplitudasi, chastotasi, barqarorligi va energiya yo‘qotishlari kabi muhim ko‘rsatkichlarni aniqlash mumkin. Mexanika masalalarida garmonik linearizatsiya usulining ahamiyati shundaki, u nazariy tahlil bilan bir qatorda amaliy muhandislik hisoblarini ham soddalashtiradi. Bu esa mexanik tizimlarni loyihalash, optimallashtirish va ularning ishonchliligini oshirish jarayonida muhim rol o‘ynaydi. Ayniqsa, raqamli modellashtirish va kompyuter simulyatsiyalari bilan birgalikda qo‘llanganda, ushbu usul mexanik jarayonlarni chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi.

Mazkur tezisda garmonik linearizatsiya usulining nazariy asoslari, uning mexanika masalalariga tadbiqi hamda nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilishdagi imkoniyatlari yoritiladi. Shuningdek, ushbu usul yordamida olinadigan natijalarning amaliy ahamiyati va qo‘llanish sohalari tahlil qilinadi. Tezisning asosiy maqsadi garmonik linearizatsiya usulining mexanik tizimlarni o‘rganishdagi samaradorligini ko‘rsatishdan iboratdir.

Adabiyotlar tahlili. Nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilish masalasi mexanika va amaliy matematika fanlarida uzoq yillardan buyon dolzarb bo‘lib kelmoqda. Ko‘plab tadqiqotchilar real mexanik tizimlarning xatti-harakati nolinearliklar bilan tavsiflanishini ta’kidlab, ularni tahlil qilish uchun maxsus yondashuvlar ishlab chiqqanlar. Klassik chiziqli modellar ko‘plab holatlarda tizimning haqiqiy dinamik xususiyatlarini to‘liq aks ettira olmasligi sababli, nolinear masalalarni soddalashtiruvchi va shu bilan birga yetarli aniqlikni ta’minlovchi usullarga ehtiyoj kuchaygan. Ilmiy adabiyotlarda nolinear tebranishlarni tahlil qilish uchun turli usullar taklif etilgan. Jumladan, kichik parametrlar usuli, o‘rtacha qiymatlar usuli, fazoviy tekislik usuli va sonli modellashtirish yondashuvlari keng qo‘llanilgan. Biroq ushbu usullarning ko‘pchiligi hisoblash jihatidan murakkab bo‘lib, amaliy muhandislik masalalarida ularni qo‘llash sezilarli vaqt va resurs talab qiladi. Shu nuqtai nazardan, garmonik linearizatsiya usuli nolinear tizimlarni tahlil qilishda samarali muqobil yondashuv sifatida shakllangan.

Garmonik linearizatsiya usulining nazariy asoslari tebranishlar nazariyasi va nolinear dinamika sohasida olib borilgan fundamental tadqiqotlarda yoritilgan. Ilmiy manbalarda ushbu usul nolinear kuch yoki momentlarni asosiy garmonik tarkibiy qism orqali ifodalashga asoslanganligi qayd etiladi. Natijada, tizimning dinamik

tenglamalari ekvivalent chiziqli ko‘rinishga keltirilib, ularning yechimi an’anaviy analitik usullar yordamida aniqlanadi. Ko‘plab tadqiqot ishlarida garmonik linearizatsiya usuli bir erkinlik darajasiga ega bo‘lgan tebranuvchi mexanik tizimlarga nisbatan qo‘llanilgan. Bunday tizimlarda quruq ishqalanish, elastik nolinearlik yoki cheklovchi elementlar mavjud bo‘lib, ularning har biri tizim xatti-harakatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Adabiyotlarda ushbu usul yordamida tebranish amplitudasi va chastotasi o‘rtasidagi bog‘lanishlar aniqlangan hamda tizimning barqarorlik shartlari tahlil qilingan. Shuningdek, ilmiy manbalarda garmonik linearizatsiya usulining ko‘p erkinlik darajasiga ega bo‘lgan mexanik tizimlarga tadbiqi ham ko‘rib chiqilgan. Murakkab mexanik konstruktsiyalar, mexatron modullar va avtomatlashtirilgan qurilmalarda yuzaga keladigan nolinear bog‘lanishlar ushbu usul yordamida soddalashtirilgan modellar orqali o‘rganilgan. Tadqiqotlar natijasida, usulning hisoblash jarayonini sezilarli darajada yengillashtirishi va muhandislik hisoblarida qulaylik yaratishi ko‘rsatib berilgan.

Zamonaviy adabiyotlarda garmonik linearizatsiya usuli raqamli modellashtirish va kompyuter simulyatsiyalari bilan birgalikda qo‘llanilayotganligi ham ta’kidlanadi. Bu yondashuv nazariy natijalarni sonli tajribalar bilan solishtirish, model aniqligini baholash va real tizimlarga moslashtirish imkonini beradi. Ayrim tadqiqotlarda garmonik linearizatsiya natijalari aniq sonli yechimlar bilan taqqoslanib, usulning qoniqarli aniqlik darajasiga ega ekanligi isbotlangan. Biroq ilmiy adabiyotlarda ushbu usulning ayrim cheklovlari ham qayd etilgan. Xususan, garmonik linearizatsiya asosan asosiy garmonik komponentni hisobga olgani sababli, yuqori garmoniklar katta rol o‘ynaydigan tizimlarda natijalarning aniqligi pasayishi mumkin. Shuningdek, kuchli nolinearliklar mavjud bo‘lgan holatlarda usuldan ehtiyotkorlik bilan foydalanish zarurligi ta’kidlanadi. Shu bilan birga, ko‘pchilik tadqiqotchilar ushbu cheklovlarga qaramay, garmonik linearizatsiya usuli amaliy mexanika masalalarida yuqori samaradorlikka ega ekanligini e’tirof etadilar. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, garmonik linearizatsiya usuli nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ushbu usul mexanika masalalarini soddalashtirilgan, ammo yetarli darajada aniq modellar asosida o‘rganish imkonini berib, zamonaviy muhandislik amaliyotida keng qo‘llanilmoqda. Shu bois, garmonik linearizatsiya usulining mexanika masalalariga tadbiqini chuqur o‘rganish va uni yanada rivojlantirish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

Tadqiqot muhokamasi. Ushbu tadqiqotda garmonik linearizatsiya usulining nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilishdagi imkoniyatlari va samaradorligi muhokama qilinadi. Olib borilgan nazariy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, real mexanik tizimlarda uchraydigan nolinearliklarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri analitik usullar bilan yechish ko‘pincha murakkab va amaliy jihatdan noqulay hisoblanadi. Shu sababli,

garmonik linearizatsiya usuli nolinear masalalarni soddalashtirilgan chiziqli modellar orqali o‘rganishda muhim vosita sifatida namoyon bo‘ladi. Tadqiqot jarayonida garmonik linearizatsiya usuli yordamida nolinear kuch yoki momentlar ekvivalent chiziqli ko‘rinishga keltirildi va natijada tizimning asosiy dinamik xususiyatlarini ifodalovchi differensial tenglamalar olindi. Ushbu yondashuv mexanik tizimlarning tebranish chastotasi, amplitudasi va barqarorlik shartlarini aniqlashda qulaylik yaratdi. Ayniqsa, davriy tebranishlarga ega bo‘lgan tizimlarda asosiy garmonik komponentning ustunligi ushbu usulning qo‘llanishini oqlaydi.

Muhokama davomida garmonik linearizatsiya natijalari klassik chiziqli modellar va sonli modellashtirish natijalari bilan solishtirildi. Taqqoslashlar shuni ko‘rsatdiki, nisbatan kuchsiz va o‘rtacha darajadagi nolinearliklar mavjud bo‘lgan holatlarda garmonik linearizatsiya usuli yetarli aniqlikni ta’minlaydi. Bu esa ushbu usulni muhandislik hisoblari va dastlabki loyihalash bosqichlarida qo‘llash maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, tadqiqotda garmonik linearizatsiya usulining ayrim cheklovlari ham muhokama qilindi. Xususan, tizimda yuqori garmonik tebranishlar sezilarli rol o‘ynagan holatlarda usul natijalari aniq yechimlardan farq qilishi mumkin. Bu holat, ayniqsa, kuchli nolinear elastik elementlar yoki keskin ishqalanish xususiyatlariga ega bo‘lgan mexanik tizimlarda kuzatiladi. Shunday sharoitlarda qo‘shimcha garmoniklarni hisobga olish yoki sonli modellashtirish usullari bilan birgalikda tahlil olib borish zarurati yuzaga keladi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, garmonik linearizatsiya usuli mexatron modullar, avtomatlashtirilgan mexanizmlar va texnologik qurilmalarda yuzaga keladigan nolinear jarayonlarni tahlil qilishda samarali hisoblanadi. Ushbu usul yordamida tizim parametrlarini optimallashtirish, tebranishlarni kamaytirish va barqaror ish rejimlarini aniqlash imkoniyati mavjud. Ayniqsa, mexanik tizimlarning energiya samaradorligini oshirish masalalarida garmonik linearizatsiya orqali olingan natijalar muhim amaliy ahamiyat kasb etadi. Muhokama jarayonida usulning raqamli modellashtirish bilan integratsiyasi alohida e’tiborga olindi. Kompyuter simulyatsiyalari garmonik linearizatsiya asosida olingan analitik natijalarni tekshirish va aniqlashtirish imkonini berdi. Natijalarning o‘zaro mos kelishi ushbu yondashuvning ishonchliligini tasdiqlaydi. Biroq ayrim holatlarda sonli yechimlar tizimning murakkab dinamik xatti-harakatlarini chuqurroq ochib berishi mumkinligi ham aniqlandi. Tadqiqot muhokamasi garmonik linearizatsiya usulining mexanika masalalarida samarali va qulay tahlil vositasi ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu usul nolinear tizimlarni soddalashtirilgan shaklda o‘rganishga imkon berib, nazariy va amaliy mexanika masalalarini hal etishda muhim rol o‘ynaydi. Kelgusida garmonik linearizatsiya usulini takomillashtirish, uni boshqa tahlil usullari bilan uyg‘unlashtirish va murakkab mexanik tizimlarga qo‘llash bo‘yicha tadqiqotlarni kengaytirish maqsadga muvofiqdir.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, garmonik linearizatsiya usuli nolinear mexanik tizimlarni tahlil qilishda samarali va qulay nazariy-amaliy vosita hisoblanadi. Ushbu usul yordamida murakkab nolinear bog‘lanishlarni ekvivalent chiziqli modellar orqali ifodalash mumkin bo‘lib, bu mexanik tizimlarning asosiy dinamik xususiyatlarini aniqlashni sezilarli darajada soddalashtiradi. Tadqiqot natijalari garmonik linearizatsiya usuli nisbatan kuchsiz va o‘rtacha darajadagi nolinearliklar mavjud bo‘lgan holatlarda yetarli aniqlikni ta’minlashini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, usul mexatron modullar, avtomatlashtirilgan mexanizmlar va tebranuvchi tizimlarni dastlabki tahlil qilish va loyihalash bosqichlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Kelgusida ushbu usulni raqamli modellashtirish va boshqa nolinear tahlil usullari bilan uyg‘unlashtirish mexanika masalalarini yanada chuqurroq o‘rganish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Meirovitch L. Elements of Vibration Analysis. – New York: McGraw-Hill, 2001.
2. Vakakis A. F., Gendelman O. V. Nonlinear Dynamics and Localization Phenomena. – Berlin: Springer, 2018.
3. Rao S. S. Mechanical Vibrations. – Boston: Pearson Education, 2017.
4. Thompson J. M. T., Stewart H. B. Nonlinear Dynamics and Chaos. – Chichester: Wiley, 2002.
5. Zhabko A. P., Yudovich V. I. Nolinear mexanik tizimlarning barqarorligi. – Sankt-Peterburg: SPbGU, 2006.