

ZAMONAVIY QURILMALARDA DIFFERENSIAL MODEL YORDAMIDA FIZIK JARAYONLARNI PROGNOZ QILISH VA SAMARADORLIKNI BAHOLASH

Ismoilova Zamira Tuxtayevna

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Oliy matematika va axborot texnologiyalari kafedrası katta o'qituvchi

Annotatsiya. Mazkur maqola zamonaviy muhandislik tizimlarida fizik jarayonlarni matematik modellashirish va hosilalar yordamida tahlil qilishga bag'ishlangan. Unda to'rtta asosiy amaliy masala ko'rib chiqiladi: protsessorning sovishi, akustik tizimda amplituda tebranishi, quyosh batareyasi haroratining kunlik dinamikasi va elektrodvigatelning ishga tushish jarayonidagi aylanish momenti. Har bir holatda birinchi va ikkinchi tartibli hosilalar yordamida jarayonning tezligi va tezlikning o'zgarishi (tezlanishi) aniqlanadi. Tadqiqot Nyuton sovish qonuni, sönümlanish hodisasi va sinusoidal tebranishlar kabi fizik prinsiplarni matematik ifodalar bilan bog'laydi. Maqolada olingan natijalarning fizik talqini berilib, texnik tizimlarning ishonchligi, samaradorligi va xizmat muddatini oshirishda matematik tahlilning ahamiyati asoslab berilgan. Xususan, ikkinchi tartibli hosilaning parametrlar o'zgarishining intensivligi va barqarorlik chegarasini aniqlashdagi roli ta'kidlangan.

Annotation. This article focuses on mathematical modeling and analysis using derivatives to understand physical processes in modern engineering systems. It examines four key practical problems: processor cooling, amplitude oscillation in acoustic systems, daily temperature dynamics of solar panels, and the starting torque of an electric motor. In each case, the first and second derivatives are used to determine the rate of change and the acceleration of that change. The study connects physical principles such as Newton's Law of Cooling, damping phenomena, and sinusoidal oscillations with mathematical expressions. The article provides physical interpretations of the obtained results, substantiating the importance of mathematical analysis in enhancing the reliability, efficiency, and lifespan of technical systems. Notably, the role of the second derivative in determining the intensity of parameter changes and stability limits is highlighted.

Kalit so'zlar: Matematik modellashirish, hosilalar, protsessor sovishi, Nyuton sovish qonuni, akustik tebranish, sönümlanish, quyosh batareyasi, termik stress, elektrodvigatel, aylanish momenti, tizim tahlili, muhandislik ilovalari.

Keywords: Mathematical modeling, derivatives, processor cooling, Newton's Law of Cooling, acoustic oscillation, damping, solar panel, thermal stress, electric motor, starting torque, system analysis, engineering applications.

Zamonaviy mikroelektron qurilmalarning, xususan, protsessorlarning ishlashi jarayonida yuzaga keladigan issiqlik ajralishi ularning samaradorligi va ishonchligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Elektr energiyasining katta qismi issiqlik ko'rinishida tarqaladi va agar bu issiqlik vaqtda sovitilmasa, mikrochipning haddan tashqari qizib ketishi natijasida tizim ishdan chiqishi mumkin. Shuning uchun protsessor sovishini modellashirish zamonaviy kompyuter tizimlarida issiqlik boshqaruvi strategiyasini loyihalashda muhim ahamiyatga ega.

Mazkur modelda Nyuton sovish qonuniga asoslangan holda, protsessorning harorati vaqt bo'yicha eksponensial ravishda kamayishi bilan ifodalanadi. Modelga ko'ra, harorat vaqt o'tishi bilan xona haroratiga yaqinlashadi. Bu turdagi differensial yondashuv issiqlik almashinuvi jarayonini tahlil qilish, sovitish tizimi samaradorligini baholash, va harorat o'zgarishining dinamikasini tushunishda juda muhim. Ayniqsa, birinchi va ikkinchi tartibli hosilalarning fizik ma'nosi – sovish tezligi va uning o'zgarishi – bu tizimni yanada chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

1-MASALA: Processor sovishini modellashtirish. Kompyuter mikroprotsessori uzoq ishlagandan so'ng 85°C gacha qiziydi. Tizim xavfsizligi uchun unga termal nazorat tizimi (sovitgich) ulangan. Sovitgich ishga tushirilgach, mikrochip harorati asta-sekin xona haroratiga yaqinlashadi. Sovish jarayonining matematik modeli quyidagicha berilgan:

$$T(t) = 60 \cdot e^{-0,2t} + 25$$

Bu yerda:

- ✓ $T(t)$ – mikrochip harorati ($^{\circ}\text{C}$),
- ✓ t – vaqt (daqiqalarda),
- ✓ 25°C – xona harorati,
- ✓ $60 \cdot e^{-0,2t}$ – vaqt o'tishi bilan kamayadigan harorat farqi

Topshiriqlar:

- 1) Haroratning vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosilasini toping (sovish tezligini aniqlang).
- 2) Ikkinchi tartibli hosilasini toping (tezlikning o'zgarishini baholang).
- 3) $t = 5$ daqiqa uchun birinchi va ikkinchi tartibli hosilalar qiymatini hisoblang.
- 4) Natijalarning fizik mazmunini baholab, sovutish tizimi samaradorligi haqida xulosa chiqaring.

Bu model issiqlik almashinuvi Nyuton qonuniga asoslangan bo'lib, harorat vaqtdan eksponensial tarzda kamayishini ko'rsatadi. Tizimda haroratning qanday tezlikda o'zgarayotganini va bu o'zgarishning qanday tezlashishini tahlil qilish talab etiladi.

Yechish. Bizga haroratning vaqtga nisbatan qanday tezlikda o'zgarishini aniqlash kerak, ya'ni birinchi tartibli hosila mikrochip harorati sovish tezligini niqlaymiz:

$$T'(t) = (60 \cdot e^{-0,2t} + 25)' = -12 \cdot e^{-0,2t}$$

Bu funksiya harorat qanday tezlikda kamayayotganini bildiradi. Manfiy ishora sovish borayotganini ko'rsatadi.

- 1) Ikkinchi tartibli hosilani topish tezlikning o'zgarishini aniqlaymiz.

Ikkinchi hosila sovish tezligining qanday o'zgarayotganini bildiradi:

$$T'' = (-12e^{-0,2t})' = -12(-0,2)e^{-0,2t} = 2,4 \cdot e^{-0,2t} \quad T'' = 2,4 \cdot e^{-0,2t}$$

Bu qiymat harorat kamayishining sekinlashayotganini bildiradi, chunki ikkinchi hosila musbat.

- 2) $t = 5$ daqiqadagi qiymatlarni hisoblash: Birinchi hosila qiymati:

$$T'(5) = (60 \cdot e^{-0,2 \cdot 5} + 25)' = -12 \cdot e^{-0,2 \cdot 5} = -12e^{-1} \approx -12 \cdot 0,3679 \approx -4,4148$$

Ya'ni, 5-daqiqada harorat har daqiqada $4,41^{\circ}\text{C}$ ga pasaymoqda.

- 3) Birinchi hosila $T'(t) < 0$ bo'lgani uchun harorat pasaymoqda. Ikkinchi hosila $T''(t) > 0$, demak sovish tezligi asta sekinlik bilan kamaymoqda.

Bu Nyuton so'vish qonuniga mos: harorat va atrof-muhit o'rtasidagi farq kamaygani sari, so'vish sekinlashadi. Sovutish tizimi samarali ishlamoqda. Harorat dastlab tez pasayadi, keyinchalik xona haroratiga yaqinlashgani sari pasayish sekinlashadi. Bu energiya tejamkor so'vish modeliga mos keladi.

Akustik tizimlar - mikrofonlar, dinamika tizimlari yoki datchiklar - tovush signallarini qayd etish va uzatishda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Bunday tizimlar vaqt o'tishi bilan energiya yo'qotadi, bu esa amplituda tebranishining so'nishiga olib keladi. Tebranish jarayonini modellashtirish uchun eksponensial pasayuvchi va sinusoidal komponentlarni o'z ichiga olgan matematik modeldan foydalaniladi. Bu model tovush amplitudasining real fizik xatti-harakatlarini - ayniqsa signal kuchining sekin-asta kamayishini - aniq ifodalaydi.

Modelning birinchi hosilasi - amplituda o'zgarishining tezligini, ikkinchi hosila esa - bu o'zgarishning qanday tezlanishini ko'rsatadi. Ayniqsa, sinxron sinusoidal va eksponensial pasayish tarkibiy qismlarining o'zaro ta'siri tizimda qanday sönümlanish ro'y berayotganini aniqlashga yordam beradi. Ushbu yondashuv akustik qurilmalar dizaynida barqarorlikni ta'minlash va signal uzatish sifatini nazorat qilishda muhim ahamiyatga ega.

2-MASALA. Akustik tizimdagi amplituda tebranishi

Biror akustik tizim (mikrofon, ovoz kuchaytirgich yoki datchik) tovush signallarini qayd etmoqda. Vaqt o'tishi bilan signallarning kuchi pasayadi, lekin u hali ham sinusoidal tebranishni saqlab qolmoqda. Tovush amplitudasining o'zgarishi quyidagicha modellashtiriladi:

$$A(t) = 10 \cdot e^{0,1 \cdot t} \sin 3t$$

Bu yerda:

- $A(t)$ – tovush amplitudasi (nisbiy birlikda),
- t – vaqt sekunda,
- $e^{0,1 \cdot t}$ - tebranish amplitudasining pasayish koeffitsienti,
- $\sin 3t$ – sinusoidal tovush tebranishi.

Ushbu model akustik tizimning energiya yo'qotilishi va sinxron tebranishini o'z ichiga oladi. Tizimning sezuvchanligi, tebranish intensivligi va uning barqarorligi hosilalar orqali aniqlanadi.

Topshiriqlar:

1. Amplitudaning birinchi tartibli hosilasini toping (tezlikni ifodalovchi funksiya).
2. Amplitudaning ikkinchi tartibli hosilasini aniqlang (tezlikning o'zgarishi).
3. $t = \pi$ va $t = 2\pi$ vaqt nuqtalarida hosilalarni hisoblang.
4. Tizimning vaqt o'tishi bilan qanday sönümlanishga uchrashi haqida xulosa chiqaring.

Yechish. Amplitudaning birinchi tartibli hosilasini topib, tezlikni ifodalovchi funktsiyani aniqlaymiz:

1) $(f(x) \cdot g(x))' = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$ hosila olish qoidasidan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A'(t) = (10 \cdot e^{0,1 \cdot t} \sin 3t)' = -1,0 \cdot e^{-0,1 \cdot t} \sin 3t + 30 \cdot e^{-0,1 \cdot t} \cdot \cos 3t$$

Bu funksiya tovush amplitudasining vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini bildiradi.

2) Amplitudaning ikkinchi tartibli hosilasini topib, tezlikning o'zgarishini aniqlaymiz:

$$A''(t) = -89,9 \cdot e^{-0,1 \cdot t} \sin 3t - 60 \cdot e^{-0,1 \cdot t} \cdot \cos 3t;$$

Bu funksiya amplituda o'zgarishining tezlanish bildiradi.

3) $t = \pi$ va $t = 2\pi$ da qiymatlarni hisoblash:

$$A'(\pi) = -21,91 \quad A''(\pi) = 4,38$$

Bu holatda amplituda pasaymoqda (manfiy birinchi hosila), lekin sönümlanish sekinlashmoqda (musbat ikkinchi hosila).

$$A'(2\pi) = 16,00 \quad A''(2\pi) = -3,20$$

So'nish kuchi vaqt o'tgan sari kamaymoqda. Bu esa barqaror tebranish holatiga yaqinlashish degani.

Akustik tizimda amplituda vaqt o'tgan sayin pasayadi, bu - energiyaning asta-sekin yo'qalayotganini bildiradi. Tovush signalining sustlashuvi sinusoidal tebranishda davom etadi, lekin uning amplitudasi doimiy ravishda pasayib boradi. Bu hodisa sönümlanish deb ataladi va real fizik tizimlar uchun tabiiy xulqdir.

Quyosh batareyalari kundalik harorat tebranishlari ta'sirida ishlaydi. Ushbu harorat o'zgarishlari, odatda, sinusoidal tusga ega bo'lib, ertalab tez o'sib, kunduzi eng yuqori qiymatga erishadi va kechqurun pasayadi. Mazkur tebranishlar batareya materiallarida termik stresslar paydo bo'lishiga olib keladi, bu esa tizimning xizmat muddatiga va samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi.

Quyosh nurlanishining intensivligiga bog'liq bo'lgan harorat o'zgarishini matematik modellashirish orqali termik yuklama va uning vaqt bo'yicha o'zgarishini chuqur tahlil qilish mumkin. Modelning birinchi hosilasi - issiqlik ortish tezligini, ikkinchisi esa - bu tezlikning qanday o'zgarishini ko'rsatadi. Bu matematik yondashuv yordamida haroratning eng tez o'zgaradigan nuqtalari aniqlanadi, va bu ma'lumotlar issiqlik bardoshliligi, material kengayishi va sovutish tizimlarining samaradorligini loyihalashda asosiy rol o'ynaydi.

3-MASALA: Quyosh batareyasi haroratining kunlik dinamikasi

Quyosh batareyalari quyosh nurining intensivligiga bog'liq holda harorat tebranishiga uchraydi. Quyosh chiqishi va botishi bilan ularning harorati kun davomida sinusoidal tarzda o'zgaradi. Quyidagi funksiya bu tebranishni ifodalaydi:

$$T(t) = 20 + 15 \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{12}$$

Bu yerda:

- $T(t)$ – batareya harorati ($^{\circ}\text{C}$),
- t – vaqt (soatlarda, $0 \leq t \leq 24$),
- 20°C – tunda kuzatiladigan bazaviy harorat,
- 15°C – quyosh nurlanishidan kelib chiqadigan maksimal harorat o'zgarishi.

Modelga ko'ra, harorat ertalab ($t \approx 6$ soat) tez o'sadi va kechqurun ($t \approx 18$ soat) pasayadi. Ushbu tebranish batareyaga tushadigan issiqlik yukini aniqlashda muhim.

Topshiriqlar:

1. Harorat funksiyasining birinchi hosilasini toping (issiqlik ortish tezligi).
2. Ikkinchi hosilani toping (issiqlik ortishining o'zgaruvchanligi).
3. Harorat eng keskin o'zgaradigan vaqtlarni aniqlang.

4. Termik stressning tizim samaradorligiga ta'sirini tahlil qiling.

Yechish.

1) Bu - kun davomida quyosh batareyasi haroratining sinusoidal o'zgarishi.

Funksiya vaqt o'tishi bilan qanday o'zgarayotganini bilish uchun hosila olamiz:

Harorat funksiyasining birinchi hosilasini topib, issiqlik ortish tezligini aniqlaymiz:

$$T'(t) = \frac{5\pi}{4} \cos \frac{\pi \cdot t}{12}$$

Bu ifoda haroratning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini bildiradi:

Musbat qiymat: harorat oshayotganini bildiradi. Manfiy qiymat: harorat pasayayotganini bildiradi. Nol bo'lsa: harorat o'zgarmayapti, ya'ni ekstremum nuqtada (eng yuqori yoki eng past qiymatda) turibdi.

2) Ikkinchi hosilani toping (issiqlik ortishining o'zgaruvchanligi).

$$T''(t) = \left(\frac{5\pi}{4} \cos \frac{\pi \cdot t}{12} \right)' = -\frac{5\pi^2}{48} \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{12}$$

Bu funksiya harorat ortishining tezligi qanday o'zgarayotganini bildiradi - ya'ni harorat tezlanayotganmi yoki sekinlashayotganmi.

3) Harorat eng keskin o'zgargan nuqtalar - bu birinchi hosila ekstremum nuqtalari, ya'ni ikkinchi hosila nolga teng bo'ladigan nuqtalar:

$$T''(t) = 0 \Rightarrow \sin \frac{\pi \cdot t}{12} = \pi \cdot n \Rightarrow t = 12n$$

- $t=0$ soat (tong)
- $t=12$ soat (kunduzi)
- $t = 24$ soat (tun oxiri)

Bu nuqtalarda issiqlik o'zgarishining tezligi o'zgaradi, ya'ni harorat ko'tarilishi yoki pasayishi maksimal yoki minimal holatga yaqinlashadi.

4) Termik stress tahlili: Harorat sinusoidal o'zgaradi - bu tabiiy kun-tun sikli bilan bog'liq; Ertalab ($t \approx 6$) harorat tez ko'tariladi quyosh chiqishi ta'siri; kunduzi ($t \approx 12$) harorat eng yuqori nuqtaga yetadi; kechqurun ($t \approx 18$) harorat pasayadi - quyosh botishi; tunda harorat minimal qiymatga yaqinlashadi.

Quyosh batareyalaridagi komponentlar haroratning o'zgarishiga bardosh berishi kerak. Agar harorat o'ta tez o'zgarsa, materiallar kengayadi yoki siqiladi, bu esa: mikroyoriqlar, kontaktlarning uzilishi, elektr samaradorlikning pasayishi kabi muammolarga olib kelishi mumkin.

Haroratning kundalik sinusoidal tebranishi quyosh batareyasida termik stress hosil qiladi. Bu stress batareyalarning xizmat muddatini qisqartiradi. Demak, bu model orqali ishlab chiqaruvchilar sovitish tizimlarini loyihalashtirishi yoki material tanlovini optimallashtirishi mumkin.

Elektrodvigatellarni ishga tushirish jarayoni dinamik va muhim bosqich hisoblanadi. Bu jarayonda aylanish momenti dastlab kuchayadi, so'ngra dvigatelda yuzaga keladigan ishqalanish va zaxira kuchlari ta'sirida pasayadi. Ushbu fizik holat dvigatelning mexanik reaksiyasini to'g'ri modellashtirish, uning ortiqcha yuk ostida ishlashini oldindan baholash, va samarali boshqaruv strategiyasini ishlab chiqishda hal qiluvchi omildir.

Modellashtirishda momentning vaqt bo'yicha birinchi hosilasi - momentning o'zgarish tezligi, ikkinchi hosilasi esa - bu o'zgarishning tezlanishini bildiradi. Maksimal aylanish momenti yuzaga keladigan vaqtni aniqlash orqali dvigatelga maksimal yuk tushadigan nuqtalarni oldindan prognoz qilish mumkin. Bu esa tizimni soft starterlar, termik datchiklar va elektr himoya avtomatikalari orqali himoyalashda zarur hisoblanadi. Model orqali tizimdagi eng yuqori mexanik yuklanish holatini aniqlash va unga qarshi chora-tadbirlar ishlab chiqish elektr mashinalar ishonchligini ta'minlaydi.

4-MASALA: Elektrodvигatel ishga tushish jarayonida aylanish momenti

Elektrodvигatel ishga tushirilganda, aylanish momenti dastlab ortadi, keyin esa ishqalanish va qarshilik ta'sirida pasayadi. Ushbu fizik jarayon quyidagi funksiya orqali modellashtirilgan:

$$M(t) = t^2 \cdot e^{-t}$$

Bu yerda:

- $M(t)$ – aylanish momenti (N·m),
- t – vaqt sekunda,
- t^2 – dvigatel ishga tushishi bosqichidagi kuch ortishini bildiradi,
- e^{-t} – qarshilik kuchi tufayli yuzaga keladigan kamayish.

Bu model elektr mashinalar dizayni va tahlilida muhim bo'lib, moment maksimal qiymatga erishgach, sekin kamayadi. Dvigatelni ortiqcha yuklanishdan himoya qilish uchun maksimal moment aniqlanishi lozim.

Topshiriqlar:

1. Birinchi tartibli hosilani hisoblang, ekstremum nuqtasini toping.
2. Ikkinchi tartibli hosilani toping, maksimal qiymatni tekshiring.
3. Tizimdagi maksimal yuk tushadigan vaqtni aniqlang.
4. Bu holatda dvigatelni himoyalash uchun qanday choralar ko'rilishini izohlang.

Elektrodvигatel suv nasosi, ventilyator, mexanik press ishga tushirilganda dastlabki kuch beriladi. Bu vaqtda aylanish kuchi kuchli o'zgaradi, dastlab moment tezi o'sadi, keyin dvigatel o'zining qarshilik kuchlari bilan sekinlashadi. Bu o'zgarishlarni matematik modelda tasvirlash uchun quyidagi formula taklif qilingan:

$$M(t) = t^2 \cdot e^{-t}$$

- 1) Quvvat qoidasidan foydalanamiz:

$$M'(t) = (t^2 \cdot e^{-t})' = (2t - t^2) \cdot e^{-t}$$

- $M'(t) > 0$ moment ortmoqda (aylanish kuchi kuchaymoqda),
- $M'(t) = 0$ maksimal qiymatga erishilgan,
- $M'(t) < 0$ moment pasaymoqda (qarshilik ustun).

$$M'(t) = (t^2 \cdot e^{-t})' = (2t - t^2) \cdot e^{-t} = 0 \Rightarrow 2t - t^2 \Rightarrow t(2 - t) = 0 \Rightarrow$$

- $t = 0$ – boshlang'ich holat,
- $t = 2$ sekund – aylanish momenti maksimal bo'lgan vaqt.

$$2) \quad M''(t) = ((2t - t^2) \cdot e^{-t})' = e^{-t}(2 - 2t - 2t + t^2) = e^{-t}(t^2 - 4t + 2) = e^{-2}(-2)$$

$$M''(t) = -2e^{-2} < 0$$

- 3) Demak, bu maksimum nuqta. Maksimum momentni hisoblaymiz

$$M(2) = 2^2 e^{-2} = 4 \cdot e^{-2} \approx 4 \cdot 0,1353$$

Demak, eng katta moment - 0.5412 bo'lib, bu tizimga maksimal yuk tushayotgan holat.

Maksimal yuk holati dvigatelga zarar yetkazmasligi uchun:

Soft starter: dvigatelni silliq ishga tushiradi, shok yukni kamaytiradi. Moment monitoringi: $t=2$ atrofida avtomatik nazorat Elektr tok cheklovchi avtomatlar: haddan ortiq yukni sezib ishni to'xtatadi. Ventilyatsiya va sovitish tizimi: termik ortiqcha yuklanishni kamaytiradi. Rele va datchiklar: moment oshsa signal beradi yoki tizimni o'chiradi

Bugungi kunda muhandislik tizimlari, elektron qurilmalar va energiya manbalarining ishonchliligi nafaqat ularning mexanik yoki elektr ko'rsatkichlariga, balki vaqt davomida qanday fizik holatlarga uchrashiga ham bevosita bog'liq. Ushbu ilmiy tadqiqotda bir nechta amaliy holatlar asosida vaqtga bog'liq jarayonlar analitik metodlar yordamida o'rganildi. Har bir holatda fizik parametrlarning evolyutsiyasini aks ettiruvchi matematik ifodalar kiritildi va ular orqali tizimlarning ichki dinamikasi baholandi.

Avvalo, sovitish jarayoni orqali yuqori haroratli mikrosxema qanday qilib muvozanat haroratga yaqinlashishi ko'rsatildi. Bunda haroratning kamayish darajasi va bu kamayishning vaqt o'tishi bilan qanday sekinlashishi matematik tarzda asoslab berildi. Bu jarayon real sharoitlarda issiqlik muvozanatining bosqichma-bosqich tiklanishini ifodalaydi.

Keyingi bosqichda, tovush signallari bilan ishlovchi qurilmalarda energiya so'lishi, ya'ni amplituda o'zgarishining dinamik xatti-harakatlari baholandi. Tizimdagi doimiy tebranishning, signal kuchining qanday o'chib borishi tebranishlar ustida faoliyat yuritadigan qurilmalarning barqarorligi va aniqligini oldindan baholash imkonini beradi.

Shuningdek, kundalik harorat sikllariga uchraydigan quyosh panellarining holati sinchiklab tahlil qilindi. Quyosh chiqishidan botishigacha bo'lgan harorat o'zgarishlari strukturaviy stressga olib kelishi mumkinligi ko'rsatildi. Bu stresslarning vaqtinchalik emas, balki doimiy va takrorlanuvchi xususiyatga egaligi ularning qurilmaning xizmat muddatiga salbiy ta'sir ko'rsatishini isbotlaydi.

Oxirgi misolda, elektrodvigatel ishga tushirilganda hosil bo'ladigan moment o'zgarishi ham analitik yondashuv orqali tadqiq qilindi. Bunda dastlabki harakatda kuchayuvchi dinamik bosim, so'ng esa sistemadagi tabiiy yo'qotishlar natijasida pasayuvchi harakat kuchi aniq ko'rsatildi. Natijada, tizimni himoyalash uchun qanday texnik yechimlar zarurligi asoslab berildi.

Umuman olganda, bu ish orqali shuni aytish mumkinki, ikkinchi tartibli hosila orqali nafaqat biror parametrning o'zgarish tezligini, balki o'zgarishning intensivligi va barqarorlik chegarasini aniqlash mumkin. Har bir matematik model - bu real tizimning abstrakt ifodasi bo'lib, amaliy muammolarni oldindan prognoz qilish, xavfsizlik chegaralarini belgilash va samarali boshqaruv strategiyasini shakllantirishga xizmat qiladi.

Zamonaviy texnikada barqarorlik, chidamlilik va energiya samaradorligi kabi omillarni ta'minlashda bunday tahlillarning o'rni beqiyosdir. Shuning uchun bu kabi differensial yondashuvlar texnologik rivojlanishning ajralmas qismi bo'lib, turli sohalarda keng ko'lamli muhandislik qarorlarini qabul qilishda mustahkam nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.