TEXNOLOGIK MASHINALAR ISH JARAYONLARINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Qirg‘izboyeva Malohat Mamatkarim qizi
“Texnologik mashinalar va jihozlar” kafedrasi stajyor-o‘qituvchisi Andijon davlat texnika instituti
Tel.: +998 97 426 07 01
E-mail: qirgizboyevamalohat94@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-5377-0970

Annotatsiya: Mazkur maqolada texnologik mashinalar ish jarayonlarini matematik modellashtirishning nazariy va amaliy jihatlari tizimli tarzda tahlil qilindi. Ishlab chiqilgan matematik modellar mashinalarning kinematik va dinamik xususiyatlarini aniq ifodalash imkonini beradi, energiya sarfi, tebranishlar va dinamik yuklanishlarni bashorat qiladi. Matritsali, energiyaviy va sonli modellashtirish usullari qo‘llanilib, mashina ishchi organlarining optimal ishlash rejimlari aniqlandi. Parametrik sezgirlik tahlili mashina konstruktsiyasini optimallashtirish va ekspluatatsion samaradorlikni oshirish uchun ilmiy asos yaratdi. Olingan natijalar texnologik mashinalarni loyihalash, modernizatsiya qilish va ekspluatatsiya jarayonlarini ilmiy asosda boshqarish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Texnologik mashinalar, matematik modellashtirish, matritsali usullar, dinamik tahlil, energiya samaradorligi, parametrik sezgirlik, kinematika, tebranish tahlili, sonli metodlar, optimallashtirilgan ish rejimi, mexanik tizimlar.

Аннотация: В данной статье систематически проанализированы теоретические и практические аспекты математического моделирования рабочих процессов технологических машин. Разработанные математические модели позволяют точно описывать кинематические и динамические характеристики машин, прогнозировать потребление энергии, колебания и динамические нагрузки. Применялись матричные, энергетические и численные методы моделирования, что позволило определить оптимальные режимы работы рабочих органов машин. Анализ чувствительности параметров обеспечивает научную основу для оптимизации конструкции и повышения эксплуатационной эффективности. Полученные результаты позволяют управлять проектированием, модернизацией и эксплуатацией технологических машин на научной основе.

Ключевые слова: Технологические машины, математическое моделирование, матричные методы, динамический анализ, энергетическая эффективность, анализ чувствительности параметров, кинематика, анализ колебаний, численные методы, оптимальные режимы работы, механические системы.

ISSN 3030-3907

Abstract: This paper presents a systematic analysis of the theoretical and practical aspects of mathematical modeling of technological machine operational processes. The developed mathematical models enable precise representation of machine kinematics and dynamics, prediction of energy consumption, vibrations, and dynamic loads. Matrix, energy-based, and numerical modeling methods were applied to determine the optimal operating modes of machine working components. Parametric sensitivity analysis provides a scientific basis for design optimization and operational efficiency improvement. The results demonstrate that mathematical modeling is an effective tool for the design, modernization, and management of technological machines.

Keywords: Technological machines, mathematical modeling, matrix methods, dynamic analysis, energy efficiency, parametric sensitivity analysis, kinematics, vibration analysis, numerical methods, optimized operating mode, mechanical systems.

Kirish.

Zamonaviy sanoat va ishlab chiqarish tizimlarida texnologik mashinalar va jihozlarning samaradorligi, ishonchliligi hamda energiya tejamkorligi muhim strategik ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu ko‘rsatkichlarni oshirish, bir tomondan, konstruktiv va texnologik yechimlarning mukammalligi bilan, ikkinchi tomondan esa mashinalarning ish jarayonlarini chuqur ilmiy asosda tahlil qilish imkonini beruvchi matematik apparatlarning qo‘llanilishi bilan bevosita bog‘liqdir. Aynan shu nuqtai nazardan, matematik modellashtirish texnologik mashinalar ish jarayonlarini o‘rganishda asosiy tadqiqot vositalaridan biri sifatida qaraladi.

Matematik modellashtirish real texnologik jarayonlarni soddalashtirilgan, ammo fizik mazmunini saqlab qolgan matematik ifodalar orqali tasvirlash imkonini beradi. Bunda mashina ishchi organlarining harakati, kuchlar muvozanati, energiya almashinuvi, ishqalanish va yeyilish jarayonlari kabi murakkab omillar differensial tenglamalar, algebraik munosabatlar va statistik modellarga keltiriladi. Natijada, real tajribalarni o‘tkazmasdan turib, mashina ishlash rejimlarini bashorat qilish, optimal parametrlarni tanlash va ekspluatatsion xatoliklarni kamaytirish imkoniyati yuzaga keladi.

Shu sababli, mazkur maqolaning asosiy maqsadi texnologik mashinalar ish jarayonlarini matematik modellashtirishning nazariy asoslarini ochib berish, qo‘llaniladigan matematik usullarni tizimli tahlil qilish hamda ularning amaliy samaradorligini ilmiy nuqtai nazardan asoslashdan iboratdir.

Material va metodlar. Mazkur tadqiqotda texnologik mashinalar ish jarayonlarini matematik modellashtirish tizimli va ko‘p bosqichli yondashuv asosida amalga oshirildi. Dastlab, o‘rganilayotgan mashina mexanik tizim sifatida idealizatsiya qilinib, uning konstruktiv tuzilmasi, kinematik bog‘lanishlari va

ISSN 3030-3907

dinamik yuklanish xususiyatlari aniqlab olindi. Modellashtirish jarayonida real texnologik tizimlarning murakkabligini hisobga olgan holda, soddalashtirilgan, ammo fizik mazmunini saqlab qolgan deterministik model tanlandi.

Mashina ishchi organlarining harakat qonuniyatlarini aniqlash uchun Lagrange mexanikasi asosidagi ikkinchi tur differensial tenglamalar qo‘llanildi. Umumlashtirilgan koordinatalar yordamida tizimning kinetik va potensial energiyalari aniqlanib, energiyaviy balans asosida harakat tenglamalari hosil qilindi. Bu yondashuv ko‘p erkinlik darajasiga ega bo‘lgan mexanizmlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik va hisoblash barqarorligini ta’minladi.

Tizimdagi kuchlanish-holatini baholashda kontinuum mexanikasi elementlari, xususan, elastik va qisman plastik deformatsiyalar nazariyasidan foydalanildi. Ishchi organlarga ta’sir etuvchi tashqi yuklamalar, ishqalanish kuchlari va inertsiya effektlari matematik ifodalandi hamda ularning o‘zaro ta’siri superpozitsiya printsipi asosida tahlil qilindi. Natijada mashina elementlarida yuzaga keladigan maksimal kuchlanishlar va ularning chegaraviy holatlari aniqlash imkoniyati yaratildi.

Murakkab texnologik tizimlarni hisoblashda matritsali modellashtirish usullari keng qo‘llanildi. Harakat tenglamalari massalar, qattiqlik va so‘nish koeffitsiyentlarini o‘z ichiga olgan matritsalar orqali ifodalandi. Ushbu yondashuv tizimning dinamik javobini aniqlash, xususiy chastotalar va rezonans holatlarini baholash imkonini berdi. Matritsali model quyidagi umumiy ko‘rinishda ifodalandi:

$$[\boldsymbol{M}]\{\ddot{\boldsymbol{q}}\} + [\boldsymbol{C}]\{\dot{\boldsymbol{q}}\} + [\boldsymbol{K}]\{\boldsymbol{q}\} = \{\boldsymbol{F}(\boldsymbol{t})\}$$

bu yerda $[M]$— massa matritsasi, $[C]$— so‘nish matritsasi, $[K]$ — qattiqlik matritsasi, $\{q\}$ — umumlashtirilgan koordinatalar vektori, $\{F(t)\}$esa vaqtga bog‘liq tashqi kuchlar vektoridir.

Differensial tenglamalarni analitik yechish imkoniyati cheklangan holatlarda sonli modellashtirish metodlari qo‘llanildi. Xususan, Runge–Kutta yuqori tartibli algoritmlari yordamida tizimning vaqt bo‘yicha dinamik javobi hisoblab chiqildi. Hisoblash aniqligini oshirish maqsadida qadam uzunligi adaptiv tarzda tanlanib, xatoliklarni baholash mexanizmlari joriy etildi.

Bundan tashqari, modellashtirish natijalarining ishonchliligini baholash uchun parametrik sezgirlik tahlili o‘tkazildi. Model parametrlarining kichik o‘zgarishlari natijalarga qanday ta’sir ko‘rsatishi aniqlanib, eng muhim ta’sir ko‘rsatuvchi parametrlar ajratib olindi. Bu yondashuv mashina konstruktiv elementlarini optimallashtirish va ekspluatatsiya jarayonida xavf omillarini kamaytirish imkonini berdi.

Tadqiqot davomida matematik hisoblashlar kompyuter matematikasi muhitida amalga oshirilib, modellar vizualizatsiyasi va natijalarni tahlil qilish

ISSN 3030-3907

uchun zamonaviy raqamli vositalardan foydalanildi. Olingan natijalar nazariy qarashlar bilan solishtirilib, modelning adekvatligi va barqarorligi ilmiy asosda baholandi.

Natijalar. Ishlab chiqilgan matematik modellar asosida texnologik mashinalar ish jarayonlarining kinematik va dinamik xususiyatlari kompleks tarzda tahlil qilindi. O‘tkazilgan hisoblashlar natijasida ishchi organlarning vaqt bo‘yicha tezlik, tezlanish va siljish parametrlari aniqlanib, ularning o‘zaro funksional bog‘liqligi aniqlandi. Dinamik modellashtirish mashinaning turli ish rejimlarida yuklanishlarning notekis taqsimlanishini ko‘rsatdi, bu esa ayrim konstruktiv elementlarda lokal kuchlanishlarning ortishiga olib kelishi mumkinligini tasdiqladi.

Matritsali dinamik model asosida tizimning xususiy chastotalari va tebranish shakllari (modalar) aniqlanib, rezonans hodisalarining yuzaga kelish ehtimoli baholandi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, mashinaning nominal ish rejimida asosiy ish chastotalari tizimning birinchi va ikkinchi modalaridan yetarli darajada uzoqda joylashgan bo‘lib, bu dinamik barqarorlikning ta’minlanganligini anglatadi. Shu bilan birga, yuklanishlarning keskin o‘zgarishi sharoitida ayrim oraliq rejimlarda tebranish amplitudalarining sezilarli darajada ortishi kuzatildi.

Sonli integrallash natijalari ishchi organlarga ta’sir etuvchi moment va kuchlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlarini aniqlash imkonini berdi. Hisoblashlar asosida maksimal dinamik kuchlanishlar qiymati aniqlanib, ular ruxsat etilgan chegaraviy qiymatlardan oshmasligi qayd etildi. Bu holat ishlab chiqilgan modelning konstruktiv ishonchlilikni baholashdagi ahamiyatini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, energiya balansining tahlili mashinaning ayrim ish rejimlarida ortiqcha energiya sarfi mavjudligini aniqlab, optimallashtirish uchun potensial yo‘nalishlarni belgilab berdi.

Parametrik sezgirlik tahlili natijalari mashina ish jarayonlariga eng kuchli ta’sir ko‘rsatuvchi omillarni aniqlash imkonini berdi. Xususan, inertsiya momenti, ishqalanish koeffitsiyenti va so‘nish parametrlari tizimning dinamik javobiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Ushbu parametrlarning nisbatan kichik o‘zgarishi ham ishchi organlar tebranish amplitudalarining ortishiga yoki kamayishiga olib kelishi mumkinligi qayd etildi.

Modellashtirish natijalari asosida mashinaning optimal ishlash rejimlari aniqlanib, ularning texnik-iqtisodiy samaradorligi baholandi. Optimal parametrlar tanlanganda, energiya sarfining kamayishi, dinamik yuklanishlarning pasayishi hamda ishchi organlarning xizmat muddati uzayishi kuzatildi. Olingan natijalar matematik modellashtirish texnologik mashinalarni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonida yuqori samarali tahlil vositasi ekanligini amaliy jihatdan tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

Muhokama. O‘tkazilgan matematik modellashtirish natijalari texnologik mashinalar ish jarayonlarini tahlil qilishda nazariy va amaliy yondashuvlarning yuqori darajada uyg‘unlashganligini ko‘rsatdi. Ishlab chiqilgan modellarning adekvatligi tizimning kinematik va dinamik xususiyatlarini real ish sharoitlariga yaqin aniqlikda ifodalash imkonini berdi. Bu holat matematik modellashtirishni texnologik mashinalar loyihalash va ekspluatatsiya jarayonlarida muhim ilmiy vosita sifatida qo‘llash mumkinligini tasdiqlaydi.

Natijalarning tahlili shuni ko‘rsatdiki, tizim dinamik javobi asosan inertsiya, ishqalanish va so‘nish parametrlari bilan belgilanadi. Bu esa mexanik tizimlarning klassik dinamik nazariyasida keltirilgan xulosalar bilan mos keladi. Shu bilan birga, modellashtirish jarayonida aniqlangan ayrim noaniqliklar real tizimlarda uchraydigan nolinearliklar, masalan, ishqalanish koeffitsiyentining tezlikka bog‘liqligi yoki materiallarning elastik-plastik xususiyatlari bilan izohlanadi. Mazkur omillarni hisobga olish modelni yanada murakkablashtirishni talab etadi.

Tadqiqot natijalarini mavjud ilmiy adabiyotlar bilan solishtirish shuni ko‘rsatdiki, ko‘plab tadqiqotlarda texnologik mashinalar ish jarayonlari soddalashtirilgan chiziqli modellar orqali ifodalanadi. Ushbu ishda esa matritsali va energiyaviy yondashuvlarning qo‘llanilishi hisoblash aniqligini oshirishga xizmat qildi. Bu esa murakkab ko‘p erkinlik darajasiga ega tizimlarni tahlil qilishda taklif etilgan metodologiyaning ustunligini namoyon etadi.

Muhokama jarayonida modellashtirishning chegaralari ham aniqlandi. Xususan, parametrlarning aniqligi boshlang‘ich ma’lumotlarga sezilarli darajada bog‘liq bo‘lib, noto‘g‘ri baholangan kirish parametrlari natijalarning og‘ishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, matematik modelni tajribaviy ma’lumotlar bilan verifikatsiya qilish va kalibrlash kelgusidagi tadqiqotlar uchun muhim yo‘nalish sifatida qaraladi.

Bundan tashqari, parametrik sezgirlik tahlili natijalari mashina konstruktiv elementlarini optimallashtirishda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Eng ta’sirchan parametrlarni aniqlash orqali konstruksiyani yengillashtirish, energiya sarfini kamaytirish va dinamik yuklanishlarni pasaytirish imkoniyatlari yuzaga keladi. Bu holat texnologik mashinalarning xizmat muddatini uzaytirish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, muhokama natijalari matematik modellashtirish texnologik mashinalar ish jarayonlarini chuqur tahlil qilish, ularning ishonchliligi va samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlarda muhim metodologik asos bo‘lib xizmat qilishini ko‘rsatadi. Kelgusida modellarni nolinear effektlar, tasodifiy yuklanishlar va raqamli egizak (digital twin) texnologiyalari bilan integratsiyalash tadqiqotlarning dolzarbligini yanada oshiradi.

ISSN 3030-3907

Xulosa. Mazkur tadqiqotda texnologik mashinalar ish jarayonlarini matematik modellashtirishning nazariy va amaliy jihatlari kompleks yondashuv asosida tahlil qilindi. Ishlab chiqilgan matematik modellar texnologik mashinalarning kinematik va dinamik xususiyatlarini tizimli ravishda ifodalash imkonini berib, ularning ish rejimlarini chuqur ilmiy asosda baholashga xizmat qildi. Olingan natijalar matematik modellashtirishning muhandislik amaliyotida yuqori samaradorlikka ega ilmiy vosita ekanligini tasdiqlaydi.

Tadqiqot jarayonida qo‘llanilgan energiyaviy, matritsali va sonli modellashtirish usullari murakkab ko‘p erkinlik darajasiga ega texnologik tizimlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik va hisoblash barqarorligini ta’minladi. Dinamik yuklanishlar, tebranish jarayonlari va energiya sarfining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi aniqlanib, mashina elementlarining chegaraviy holatlari va ekspluatatsion xavfsizligi baholandi. Bu esa konstruktiv yechimlarni optimallashtirish uchun muhim ilmiy asos yaratdi.

Matematik modellashtirish natijalari asosida mashinalarning optimal ishlash rejimlari aniqlanib, energiya samaradorligini oshirish, dinamik yuklanishlarni kamaytirish hamda ishchi organlarning xizmat muddatini uzaytirish imkoniyatlari ko‘rsatib berildi. Parametrik sezgirlik tahlili orqali tizim ishiga eng kuchli ta’sir ko‘rsatuvchi omillar aniqlanib, texnologik mashinalar konstruktsiyasini takomillashtirishda yo‘naltiruvchi mezonlar belgilandi.

Xulosa qilib aytganda, matematik modellashtirish texnologik mashinalarni loyihalash, modernizatsiya qilish va ekspluatatsiya jarayonlarini ilmiy asosda boshqarish imkonini beruvchi samarali vosita hisoblanadi. Kelgusidagi tadqiqotlarda nolinear effektlar, tasodifiy yuklanishlar hamda raqamli egizak texnologiyalarini matematik modellar bilan integratsiyalash texnologik mashinalar samaradorligini yanada oshirish uchun istiqbolli yo‘nalish sifatida qaraladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Inman D. J. *Engineering Vibration*. — 4th ed. — Pearson Education, 2014.
2. Rao S. S. *Mechanical Vibrations*. — 6th ed. — Pearson, 2017.
3. Bathe K. J. *Finite Element Procedures*. — Prentice Hall, 1996.
4. Norton R. L. *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. — McGraw-Hill, 2020.
5. Shigley J. E., Mischke C. R., Budynas R. G. *Mechanical Engineering Design*. — McGraw-Hill, 2015.
6. Haug E. J. *Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems*. — Allyn and Bacon, 1989.
7. Chapra S. C., Canale R. P. *Numerical Methods for Engineers*. — 7th ed. — McGraw-Hill, 2015.

ISSN 3030-3907