

MEXATRONIK OBYEKT LARNI MATEMATIK MODELLASHTIRISH METODLARI

Safarov O'tkir Juma o'g'li

ORCID iD: 0009-0003-6883-1310, E-mail: safarovutkir0909@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada mexatronik obyektlarni matematik modelashtirishning nazariy asoslari, asosiy metodlari va ularning amaliy qo'llanilish jihatlari yoritilgan. Mexatronik tizimlarning murakkabligi va ko'p funksionaliligi ularni tahlil qilishda zamonaviy modelashtirish yondashuvlarini qo'llashni talab etadi. Shu nuqtai nazardan, maqolada analitik, sonli, simulyatsion va empirik modelashtirish metodlari batafsil tahlil qilingan hamda ularning afzalliklari va cheklovlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, modelashtirish metodlarining sanoat avtomatikasi, robototexnika, transport tizimlari, energetika va tibbiyot sohaslarida qo'llanilishi misollar asosida bayon etilgan. Tadqiqot natijalari mexatronik tizimlarni loyihalash va optimallashtirish jarayonlarida matematik modelashtirishning muhim o'rin tutishini ko'rsatadi. Mazkur ish mexatronika va avtomatika sohasida tahsil olayotgan talabalar, ilmiy tadqiqotchilar hamda muhandislar uchun foydali bo'lib, mexatronik tizimlarni samarali tahlil qilish va boshqarish bo'yicha nazariy hamda amaliy bilimlarni shakllantirishga xizmat qiladi.

Abstract. This article discusses the theoretical foundations, main methods, and practical applications of mathematical modeling of mechatronic objects. The complexity and multifunctionality of mechatronic systems require the use of modern modeling approaches for their effective analysis. In this regard, the paper provides a detailed analysis of analytical, numerical, simulation, and empirical modeling methods, as well as their advantages and limitations. Furthermore, the application of these modeling methods in various fields such as industrial automation, robotics, transportation systems, energy, and medical technology is presented with examples. The results of the study demonstrate the significant role of mathematical modeling in the design and optimization of mechatronic systems. This work is intended for students, researchers, and engineers in the field of mechatronics and automation, and it contributes to the development of both theoretical and practical knowledge for effective analysis and control of mechatronic systems.

Kalit so'zlar: mexatronika, matematik modelashtirish, dinamik tizimlar, analitik metodlar, sonli usullar, simulyatsiya, empirik modelashtirish, boshqaruv tizimlari, robototexnika, tizim identifikatsiyasi, MATLAB/Simulink, optimallashtirish, avtomatika.

Keywords: mechatronics, mathematical modeling, dynamic systems, analytical methods, numerical methods, simulation, empirical modeling, control systems, robotics, system identification, MATLAB/Simulink, optimization, automation

Hozirgi kunda ilm-fan va texnologiyalarning jadal rivojlanishi natijasida murakkab texnik tizimlarni loyihalash va boshqarish jarayonlari yanada takomillashib bormoqda. Ayniqsa, mexatronika sohasi mexanika, elektronika, avtomatika va axborot texnologiyalarining integratsiyasi asosida zamonaviy yuqori aniqlikdagi va samaradorlikka ega tizimlarni yaratishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bunday tizimlarni samarali ishlab chiqish va ularning ishlashini tahlil qilishda matematik modelashtirish muhim vosita hisoblanadi. Mexatronik obyektlarni matematik modelashtirish – bu real fizik tizimlarning xatti-harakatlarini matematik ifodalar, tenglamalar va algoritmlar yordamida tasvirlash jarayonidir. Ushbu jarayon yordamida tizimning dinamik

xususiyatlari, barqarorligi, boshqaruv qonuniyatlari hamda tashqi ta'sirlarga javobi oldindan aniqlanishi mumkin. Bu esa tajribaviy sinovlarga bo'lgan ehtiyojni kamaytirib, vaqt va resurslarni tejash imkonini beradi. Mazkur maqolada mexatronik obyektlarni modellashtirishning asosiy metodlari, jumladan, analitik, sonli va simulyatsion yondashuvlar ko'rib chiqiladi. Shuningdek, har bir metodning afzalliklari va cheklovlari tahlil qilinib, ularni amaliy qo'llash imkoniyatlari yoritiladi. Tadqiqot natijalari mexatronik tizimlarni loyihalash va optimallashtirish jarayonlarida samarali qarorlar qabul qilishga xizmat qiladi. Mexatronik obyektlarni matematik modellashtirish nazariyasi turli fanlar – mexanika, elektr texnika, avtomatika va tizimlar nazariyasining o'zaro integratsiyasiga asoslanadi. Ushbu yondashuv murakkab tizimlarning ishlash jarayonini yagona matematik model orqali ifodalash imkonini beradi. Natijada, tizim elementlari o'rtasidagi bog'lanishlar, ularning dinamik xatti-harakatlari va boshqaruv mexanizmlari chuqur tahlil qilinadi. Mexatronik tizimlarning matematik modellari asosan differensial tenglamalar, algebraik tenglamalar hamda mantiqiy bog'lanishlar orqali ifodalanadi. Bunda tizimning kirish (input) va chiqish (output) signallari, ichki holat o'zgaruvchilari va tashqi ta'sirlar hisobga olinadi. Dinamik tizimlarni modellashtirishda odatda quyidagi umumiy ko'rinishdan foydalaniladi:

1. holat tenglamalari (state-space model),
2. uzatish funksiyalari (transfer function),
3. blok-sxemalar va signal oqim diagrammalari.
4. Holat fazosida ifodalangan model mexatronik obyektning eng umumiy va qulay tasvirlaridan biri bo'lib, quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\mathbf{x}(t)=\mathbf{A}\mathbf{x}(t)+\mathbf{B}u(t), \quad \mathbf{y}(t)=\mathbf{C}\mathbf{x}(t)+\mathbf{D}u(t)$$

bu yerda $\mathbf{x}(t)$ — holat vektori, $u(t)$ — kirish signali, $\mathbf{y}(t)$ — chiqish signali, $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ — tizim parametrlarini ifodalovchi matritsalaridir. Mexatronik tizimlarni modellashtirishda chiziqli va nochiziqli modellardan foydalaniladi. Chiziqli modellar sodda va tahlil qilishga qulay bo'lsa-da, real tizimlarning ko'pchiligi nochiziqli xususiyatlarga ega bo'ladi. Shuning uchun amaliy masalalarda ko'pincha chiziqilashtirish (linearizatsiya) usuli qo'llaniladi. Bundan tashqari, modellashtirish jarayonida quyidagi nazariy yondashuvlar muhim ahamiyatga ega:

1. Energiya asosida modellashtirish (Lagrange va Hamilton usullari) – mexanik tizimlar uchun;
2. Elektr zanjirlar nazariyasi – elektr komponentlarni ifodalashda;
3. Sistemali yondashuv – turli fizik tabiatga ega elementlarni yagona modelga birlashtirishda;
4. Identifikatsiya usullari – real tizim parametrlarini tajriba asosida aniqlashda.

Shuningdek, zamonaviy modellashtirish jarayonida kompyuter texnologiyalaridan keng foydalaniladi. MATLAB/Simulink, LabVIEW kabi dasturiy vositalar yordamida murakkab mexatronik tizimlarning simulyatsiyasi amalga oshiriladi va ularning ishlash samaradorligi oldindan baholanadi. Mexatronik obyektlarni matematik modellashtirish nazariyasi tizimlarni chuqur tahlil qilish, optimal boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish va innovatsion texnologiyalarni yaratishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Mexatronik obyektlarni matematik modellashtirishda turli metodlardan foydalaniladi. Ushbu metodlar tizimning murakkabligi, aniqlik darajasi va qo'llash

sohasiga qarab tanlanadi. Asosan, modellashtirish metodlari analitik, sonli va simulyatsion yondashuvlarga bo'linadi. Analitik modellashtirish metodi - Analitik modellashtirish mexatronik tizimning fizik qonuniyatlariga asoslanadi. Bu usulda tizim harakati differensial tenglamalar orqali ifodalanadi. Masalan, mexanik tizimlar uchun Nyuton qonunlari yoki Lagrange tenglamalari, elektr tizimlar uchun esa Kirxgof qonunlari qo'llaniladi. Analitik metodning afzalligi — yuqori aniqlik va nazariy jihatdan chuqur tahlil imkoniyati. Biroq murakkab tizimlar uchun bu usul ko'pincha qiyin va ko'p vaqt talab etadi. Sonli (numerik) modellashtirish metodi – Sonli modellashtirish analitik tenglamalarni aniq yechish imkoni bo'lmaganda qo'llaniladi. Bu usulda differensial tenglamalar turli sonli usullar yordamida taxminiy yechiladi. Eng keng tarqalgan usullar quyidagilar: Eyler usuli, Runge–Kutta usullari, Chekli ayirmalar usuli. Sonli metodlar kompyuter yordamida amalga oshiriladi va murakkab, nochiziqli tizimlarni tahlil qilishda samarali hisoblanadi. Biroq natijalar aniqligi tanlangan qadam va algoritmgaga bog'liq bo'ladi. Simulyatsion modellashtirish metodi - Simulyatsion modellashtirish mexatronik tizimlarning ishlashini kompyuter muhitida taqlid qilishga asoslanadi. Bu metodda tizim modeli maxsus dasturiy vositalarda yaratiladi va turli sharoitlarda sinovdan o'tkaziladi. Simulyatsiyaning asosiy afzalliklari: 1. real tizimni qurmasdan turib tahlil qilish imkoniyati; 2. xavfsiz va iqtisodiy samaradorlik; 3. turli parametrlarni tez o'zgartirib ko'rish imkoniyati. Ko'pincha MATLAB/Simulink, SolidWorks, ANSYS kabi dasturlar keng qo'llaniladi. Empirik (tajribaviy) modellashtirish metodi - Empirik modellashtirish real tizimdan olingan tajriba ma'lumotlariga asoslanadi. Bu usulda tizimning kirish va chiqish signallari orasidagi bog'lanish statistik yoki regressiya modellari orqali aniqlanadi. Ushbu metod tizimning ichki tuzilishi noma'lum bo'lgan hollarda ayniqsa foydali hisoblanadi. Ammo modelning aniqligi tajriba ma'lumotlarining sifatiga bog'liq bo'ladi. Kombinatsiyalashgan modellashtirish metodi - Amaliyotda ko'pincha bir nechta metodlar birgalikda qo'llaniladi. Masalan, analitik model asosida tuzilgan tenglamalar sonli usullar yordamida yechiladi va natijalar simulyatsiya orqali tekshiriladi. Bu yondashuv tizimni yanada aniq va ishonchli modellashtirish imkonini beradi. Mexatronik obyektlarni matematik modellashtirish turli sanoat va texnologik sohalarda keng qo'llaniladi. Ushbu yondashuv murakkab tizimlarni loyihalash, tahlil qilish va optimallashtirishda muhim vosita bo'lib xizmat qiladi. Ayniqsa, real tizimni yaratishdan oldin uning ishlashini oldindan baholash imkoniyati modellashtirishning eng katta afzalliklaridan biridir. Sanoat avtomatikasi - Ishlab chiqarish jarayonlarida mexatronik tizimlar, masalan, robotlashtirilgan liniyalar va avtomatik boshqaruv tizimlari keng qo'llaniladi. Matematik modellar yordamida ushbu tizimlarning harakati, tezligi va aniqligi oldindan hisoblab chiqiladi. Bu esa ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va nosozliklarni kamaytirishga xizmat qiladi. Robototexnika - Robot manipulyatorlar va mobil robotlarni loyihalashda modellashtirish asosiy bosqichlardan biridir. Kinematik va dinamik modellar yordamida robotning harakat trayektoriyasi, kuchlar taqsimoti va boshqaruv algoritmlari aniqlanadi. Natijada robotlarning aniqligi va barqarorligi oshiriladi. Transport tizimlari - Avtomobillar, uchuvchisiz transport vositalari va temir yo'l tizimlarida mexatronik modellashtirish keng qo'llaniladi. Masalan, avtomobilning tormoz tizimi yoki stabilizatsiya tizimi matematik modellar asosida ishlab chiqiladi va sinovdan o'tkaziladi. Bu esa xavfsizlik darajasini sezilarli oshiradi. Aviatsiya va kosmik texnologiyalar - Samolyotlar va kosmik apparatlarning boshqaruv tizimlari yuqori aniqlikdagi matematik modellar asosida yaratiladi. Ushbu modellar parvoz dinamikasini, tashqi ta'sirlarni va tizim barqarorligini hisobga oladi. Simulyatsiya orqali turli ekstremal holatlar oldindan tekshiriladi. Tibbiyot texnikasi - Zamonaviy tibbiy qurilmalar, masalan, jarrohlik robotlari, protezlar va diagnostika uskunalarida mexatronik modellashtirish muhim rol o'ynaydi. Model asosida qurilmaning ishlash aniqligi va xavfsizligi ta'minlanadi. Energetika tizimlari - Elektr stansiyalari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari (quyosh

panellari, shamol generatorlari) hamda aqlli tarmoqlarni boshqarishda matematik modellar qo'llaniladi. Bu tizimlarning samaradorligini oshirish va energiya yo'qotishlarini kamaytirishga yordam beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, matematik modellashtirish mexatronik tizimlarni loyihalash, tahlil qilish va boshqarishda muhim ahamiyat kasb etadi. Analitik, sonli, simulyatsion va empirik modellashtirish metodlari har biri o'ziga xos afzallik va cheklovlarga ega bo'lib, ularni to'g'ri tanlash tizim samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Zamonaviy muhandislik amaliyotida kombinatsiyalashgan yondashuvdan foydalanish yanada aniq va ishonchli natijalarga erishish imkonini bermoqda. Shuningdek, modellashtirish metodlarining sanoat avtomatikasi, robototexnika, transport, energetika va tibbiyot kabi turli sohalarda keng qo'llanilishi ularning dolzarbligini yana bir bor tasdiqlaydi. Kompyuter texnologiyalari va maxsus dasturiy vositalarning rivojlanishi esa modellashtirish jarayonini yanada qulay va samarali qilmoqda. Xulosa qilib aytganda, mexatronik obyektlarni matematik modellashtirish zamonaviy texnologiyalarni yaratish va rivojlantirishda muhim ilmiy-amaliy vosita hisoblanadi. Kelgusida ushbu yo'nalishda olib boriladigan tadqiqotlar yanada mukammal modellar ishlab chiqish va aqlli boshqaruv tizimlarini yaratishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. – Pearson Education, 2015.
2. Ogata K. Modern Control Engineering. – Prentice Hall, 2010.
3. Dorf R.C., Bishop R.H. Modern Control Systems. – Pearson, 2017.
4. Franklin G.F., Powell J.D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. – Pearson, 2015.
5. Nise N.S. Control Systems Engineering. – Wiley, 2011.
6. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – Pearson, 2018.
7. MATLAB Documentation. – MathWorks Inc., <https://www.mathworks.com> O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim muassasalari uchun o'quv qo'llanmalar (mexatronika va avtomatika bo'yicha).
8. Mirzayev A., Rahimov B. Mexatronika asoslari. – Toshkent, 2020.
9. Karimov Sh. Avtomatik boshqaruv tizimlari. – Toshkent, 2018.