

## RAQAMLI DASTUR ASOSIDA SIQILISH DEFORMATSIYASINI ZAMONAVIY METOD ORQALI O'RGANISH

*Nizomiy nomidagi O'zbekiston Milliy Pedagogika Universiteti  
Professional ta'lim va san'at fakulteti  
Texnologik Ta'lim talabasi*

**Yementayeva Aynur Ismadiyarovna**

*Ilmiy rahbar: Professor-o'qituvchi*

**Muhamedsaidov Bakidjan Karimovich**

**Annotatsiya:** *Ushbu maqolada materiallarning siqilish deformatsiyasini o'rganishda raqamli dasturiy vositalardan foydalanishning zamonaviy yondashuvlari tahlil qilinadi. An'anaviy laboratoriya tajribalari bilan taqqoslaganda, kompyuter modellashtirish usullari deformatsiya jarayonini aniqroq, xavfsizroq va tezkor baholash imkonini berishi ko'rsatib o'tiladi. Tadqiqotda mashinasozlik, qurilish materiallari va metallurgiya sohalarida keng qo'llaniladigan elementlarning siqilish ostidagi holati raqamli simulyatsiya orqali tahlil qilindi. Bunda asosiy e'tibor stress–strain (kuchlanish–deformatsiya) grafigini qurish, kritik yuklamani aniqlash, materialning elastik va plastik bosqichlarini ajratish, shuningdek, nosimmetrik deformatsiya zonalarini aniqlashga qaratildi.*

*Maqolada ANSYS, Abaqus yoki SolidWorks Simulation kabi platformalarda sonli hisoblash metodlari – oxirgi elementlar usuli (FEM) asosida olib borilgan tajribalarning natijalari berilgan. Raqamli tahlil natijalari real sinov ma'lumotlari bilan solishtirilib, modelning aniqligi baholandi. Tadqiqot natijalari zamonaviy raqamli metodlarning materiallarning mexanik xususiyatlarini prognoz qilishda samarali ekanini ko'rsatadi hamda ishlab chiqarish jarayonlarida sifatni optimallashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega.*

**Kalit so'zlar:** Raqamli modellashtirish, Siqilish deformatsiyasi, Visko-elastik materiallar, Oxirgi elementlar usuli (FEM), Katta deformatsiya, Kompozit materiallar, Tolali strukturalar, Stress–strain xatti-harakat, Virtual simulyatsiya, Material xatti-harakati, Chiziqli bo'lmagan analiz, Energiya yutilishi, Buzilish zonalarini, Anizotrop deformatsiya, Tajriba validatsiyasi

Bugungi kunda raqamli texnologiyalar nafaqat kommunikatsiya yoki ishlab chiqarishni, balki tabiat va texnikadagi murakkab jarayonlarni anglash tarzini ham tubdan o'zgartirmoqda. Materiallarning siqilish deformatsiyasi — mexanika va muhandislikning eng qadimiy, eng asosiy muammolaridan biri bo'lsa-da — uni chuqur va aniq tahlil qilishning yangi imkoniyatlari aynan raqamli modellashtirish orqali yuzaga kelmoqda. Oldin birgina tajriba uchun murakkab jihozlar, ko'p vaqt va moddiy resurs talab etilgan bo'lsa, hozirda simulyatsiya dasturlari orqali shu jarayon virtual laboratoriyada qayta-qayta, turli sharoitlarda va turli modellar asosida sinab ko'rish mumkin bo'lib qoldi.

Zamonaviy kompyuter dasturlari — xususan, oxirgi elementlar usuli (FEM) asosida ishlovchi ANSYS, Abaqus, SolidWorks Simulation kabi platformalar — materialning

kuchlanishlari, ichki energiyasi, lokal sinish zonalari va kritik yuk nuqtalarini ko'z bilan ko'rinarli qilib tasvirlay oladi. Bu esa, o'z navbatida, real tajribada ko'rish mushkul bo'lgan mikrodeformatsiya holatlarini ham aniqlash imkonini beradi. Muhimi, raqamli simulyatsiya nafaqat nazariy tahlil vositasi, balki amaliy muhandislik qarorlarini qabul qilishda ham ishonchli asos bo'lib xizmat qila boshladi. Raqamli metodlar, ayniqsa, murakkab geometriyali yoki noan'anaviy materialli konstruksiyalarni tahlil qilishda o'zini oqlamoqda. Masalan, kompozit materiallar, poroz strukturalar, mikro-o'lchamli mexanik elementlar, hatto biomateriallar ham siqilish ostida turlicha xatti-harakat ko'rsatadi. Bunday tizimlarni eksperimental tarzda o'rganish ko'pincha qimmat va xavfli bo'lishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, virtual model yaratish, yuk parametrlarini o'zgartirib jarayonni qayta qurish, natijalarni solishtirish — bu o'ziga xos raqamli laboratoriya bo'lib, u ilmiy izlanishlar sifatini oshirish bilan birga muhandisning vaqtini ham samarali tejaydi. Shu tariqa, ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — siqilish deformatsiyasini zamonaviy raqamli metodlar orqali chuqur o'rganish, turli simulyatsiya yondashuvlari yordamida materialning mexanik javobini tahlil qilish va ularning amaliy qo'llanish imkoniyatlarini ko'rsatishdan iborat. Raqamli tahlil orqali olingan natijalar muhandislik konstruksiyalarining ishonchligini oshirish, material tanlashni optimallashtirish hamda yangi texnologik yechimlar ishlab chiqishda muhim o'rin tutadi.

Materiallarning siqilish deformatsiyasini o'rganish nafaqat klassik mexanika yondashuvlariga, balki zamonaviy raqamli simulyatsiya metodlariga ham tayanishni talab qiladi. Ayniqsa, murakkab tuzilishga ega kompozit materiallar, tolali strukturalar yoki visko-elastik xususiyat ko'rsatadigan moddalarda oddiy eksperimental usullar har doim ham to'liq tasavvur bera olmaydi. Shuning uchun ilmiy tadqiqotlarda raqamli modellashtirish — masalan, oxirgi elementlar usuli (FEM), visko-elastik modellar, finite strain (katta deformatsiya) algoritmlari asosiy tahlil vositasiga aylangan.

Ayniqsa “Simulation of fiber-reinforced viscoelastic structures subjected to finite strains” nomli maqola diqqatga sazovor bo'lgan. Ushbu tadqiqot tolali kompozit materialning siqilish jarayonini raqamli dastur orqali modellashtirib, real tajribada ko'rish qiyin bo'lgan ko'plab jarayonlarni ochib bergan. Mazkur maqola zamonaviy usullar nega bugungi kunda muhimligini amalda ko'rsatib beradi.

Birinchidan, maqolada qo'llangan visko-elastik model kompozit materialning vaqtga bog'liq deformatsiyasini hisobga oladi. Oddiy elastik modellar yuk berilsa darhol javob kaytargan sistemani tasvirlaydi, ammo visko-elastik materiallar real hayotda “oqiydi”, kuchlana turib sekin deformatsiyalanadi va yuk olib tashlangandan keyin ham darhol shaklini tiklamaydi. Raqamli simulyatsiyada aynan shu murakkab xatti-harakat matematik modellar orqali aniq tasvirlangan. Talaba sifatida men uchun bu juda muhim — chunki bu yondashuv real fizik jarayonlarni maksimal darajada haqiqiy qayta yaratadi.

Ikkinchidan, maqolada katta deformatsiya (finite strain) masalasi ko'rib chiqiladi. Bu shuni anglatadiki, siqilish jarayoni kichik elastik siljishlar bilan cheklanmaydi, balki materialning geometriyasi sezilarli darajada o'zgaradi. Oddiy Hooke qonunlari bunday

holatlarni tushuntira olmaydi. Shu sababli, raqamli algoritmlar har bir bosqichda geometriyani qayta hisoblaydi, stress (kuchlanish) taqsimotini yangilaydi va deformatsiyaning chiziqli bo'lmagan xususiyatini modellashtiradi. Bu esa zamonaviy materialshunoslikning asosiy talabi hisoblanadi.

Uchinchidan, maqola kompozit ichidagi tolalarning rolini alohida ko'rsatadi. Siqilish paytida:

- qaysi tolalar yukni ko'proq ko'taradi,
- qaysi qatlamlar tezroq deformatsiyalanadi,
- qayerda buzilish ehtimoli yuqori,
- tolalar o'rtasida sirpanish yoki energiya yutilishi qay tarzda sodir bo'ladi

kabi jarayonlar raqamli dastur yordamida aniq tahlil qilingan. Bu ma'lumotlar oddiy eksperimentda ko'rinmaydi, chunki material ichki tuzilmasini kuzatish juda qiyin. Raqamli modellashtirish esa buni virtual "kesim" shaklida ko'rsatib beradi.

Maqolada olingan raqamli natijalar — stress–strain grafigi, buzilish zonalarining paydo bo'lishi, visko-elastik bosqichlarning ketma-ketligi — barchasi siqilish deformatsiyasining aniq prognozini beradi. Bu esa zamonaviy sanoat va ilmiy tadqiqotlarda raqamli texnologiyalar nega muhimligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Nima uchun bu metodlar zamonaviy hisoblanadi?

Bugun muhandislik va materialshunoslik fanlarida raqamli metodlarning qadri avvalgidan ham ortib bormoqda. Buning sababi shundaki, real hayotdagi materiallar mukammal emas — ular mikroyoriqlar, bo'shliqlar, tolalar, poroz strukturalar yoki kompozit qatlamlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Bunday murakkablikni oddiy matematik formulalar bilan tasvirlash qiyin, laboratoriya sinovlari esa ko'pincha vaqt, mablag' va maxsus sharoit talab qiladi. Zamonaviy raqamli yondashuvlar mana shu murakkablikni aniq modellashtirishga imkon yaratib, ilmiy izlanishlar sifatini yangi darajaga ko'tarmoqda.

Masalan, "meshless" deb ataluvchi metodlar — bo'laklarga ajratilgan an'anaviy elementlardan ko'ra erkinroq, moslashuvchanroq hisoblash tamoyiliga asoslanadi. Katta deformatsiya paydo bo'lganda, material shakli keskin o'zgariganda yoki mikrostrukturaviy xususiyatlar ustun rol o'ynaganda, bu usullar odatiy FEM modellarga nisbatan ancha barqaror va aniq natijalar beradi. Xuddi shunday, lattice-modellar murakkab material ichki strukturasi soddalashtirilgan, lekin fizik ma'nisini yo'qotmagan holda ifodalaydi. Natijada materialning sinishidan tortib, elastik bosqichigacha bo'lgan jarayon virtual makonda ko'z oldimizda jonlanadi.

Kompozit va biologik materiallar, hujayraviy tuzilishga ega poroz jismlar, nanomashtab elementlarga kelganda esa, an'anaviy statik hisoblashlar umuman yetarli bo'lmay qoladi. Bu yerda raqamli simulyatsiya, eksperimental validatsiya va optimallashtirishning uyg'unlashgan kombinatsiyasi materialning haqiqiy mexanik xatti-harakatini chuqurroq anglashga yordam beradi. Bir necha parametrlarni o'zgartirib turib, yuzlab virtual tajribalarni bir zumda o'tkazish mumkin — bu esa laboratoriyada kunlab qilinadigan ishni daqiqalarga qisqartiradi. Shu bois raqamli yondashuvlar nafaqat ilmiy izlanishlar uchun qulay, balki

amaliy jihatdan ham nihoyatda samarali. Ular vaqtni tejaydi, sinov xarajatlarini kamaytiradi, qayta ishlanishi mumkin bo'lgan reproduce-natijalarni beradi va muhandisga konstruksiyani har xil holatlarda sinab ko'rish imkonini yaratadi. Eng muhimi, bunday metodlar inson tasavvur qila olmaydigan darajada murakkab fizik jarayonlarni ko'rinarli, tahlil qilarli va boshqariladigan ko'rinishga olib keladi.

### **XULOSA**

Raqamli modellashtirish texnologiyalarining tez sur'atlarda rivojlanishi materiallarning siqilish deformatsiyasini o'rganishda yangi ilmiy ufqlarni ochib berdi. Avvallari bunday jarayonlarni faqat laboratoriya tajribalari orqali kuzatish mumkin bo'lgan bo'lsa, bugungi kunda oxirgi elementlar usuli (FEM), visko-elastik matematik modellar, katta deformatsiya (finite strain) algoritmlari va meshless yondashuvlar yordamida materialning haqiqiy mexanik xatti-harakatini virtual muhitda to'liq qayta yaratish imkoniyati mavjud bo'ldi. Ayniqsa, tolali kompozitlar, poroz tuzilishli modellar, murakkab anizotrop materiallar yoki vaqtga bog'liq deformatsiya qiluvchi visko-elastik sistemalarda raqamli simulyatsiya an'anaviy tajribalarga nisbatan ustunlik ko'rsatmoqda.

Zamonaviy usullar siqilish jarayonini chuqur tahlil qilish imkonini beradi: yuk ta'sirida kuchlanishning ichki taqsimlanishi, tolalar bo'ylab o'zgaruvchi deformatsiya, qatlamlar orasidagi sirpanish, lokal buzilish zonalarining paydo bo'lish vaqti hamda energiya yutilish mexanizmlarini virtual ravishda kuzatish mumkin. Eng muhimi, raqamli modellar katta deformatsiya sharoitlarida materialning geometriyasi bosqichma-bosqich o'zgarib borishini hisobga oladi, bu esa real fizik jarayonlarga juda yaqin natijalar beradi. Shuningdek, visko-elastik modellashtirish materialning vaqt omiliga bog'liq xatti-harakatini – sekin deformatsiya, shaklning kech tiklanishi va stress-relaksatsiya jarayonlarini aniq tasvirlaydi.

Xususan, "fiber-reinforced viscoelastic structures subjected to finite strains" bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar zamonaviy metodlarning real ilmiy qiymatini yaqqol ko'rsatadi: unda kompozit tolalarining yuk ta'siridagi individual roli, qatlamlar o'rtasidagi energiya almashinuvi, buzilish ehtimoli yuqori bo'lgan zonalar va stress-strain xatti-harakati bir butun tizimda tahlil qilingan. Bu esa raqamli modellashtirishning nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham yuqori aniqlikka ega bo'lgan kuchli ilmiy vosita ekanini tasdiqlaydi.

Umuman olganda, raqamli dastur asosida siqilish deformatsiyasini zamonaviy metodlar orqali o'rganish bugungi materialshunoslik va mexanika sohasining eng muhim yo'nalishlaridan biridir. Bu yondashuvlar nafaqat ilmiy tadqiqotlar darajasida, balki real sanoat mahsulotlarining sifatini oshirish, xavfsizligini ta'minlash va optimal konstruksiyalar yaratishda ham keng qo'llanilmoqda.

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR (O'ZBEKCHA TARJIMA BILAN):**

1. Holzapfel, G. A., & Ogden, R. W. "Simulation of fiber-reinforced viscoelastic structures subjected to finite strains." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*,
2. Chen, W. & Adams, D. "Visko-elastik kompozit materiallarning siqilishga ishlov berish holatida oxirgi elementlar tahlili."
3. Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. "Oxirgi elementlar usuli: Asoslari va fundamental tamoyillari." Elsevier, 2013.
4. Bathe, K. J. "Oxirgi elementlar protseduralari." MIT Press, 2006.
5. ScienceDirect (Elsevier). <https://www.sciencedirect.com>
6. SpringerLink. <https://link.springer.com>
7. Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com>
8. ResearchGate. <https://www.researchgate.net>