

Week 2

# Fundamentals of CAE Engineering Analysis

Teshabaev Anvar E.

## Contents

- 1 CAE tizimlar darajalari va imkoniyatlari
- 2 Modellashtirish, matematik modellar
- 3 Analitik hisob-kitoblar va Raqamli modellashtirish
- 4 Hidrogazodinamika va gidravlika modellashtirish

# CAE ASOSLARI

- Zamonaviy CAE – tizim va loyihachining bilimlari va mahorati kompyuter modellashtirish va kompyuter modeli asosida loyihalayotgan buyumning
  1. real foydalanish sharoitlarida kanday o'zini ko'rsatishini yuqori aniqlik bilan ko'rsatadi,
  2. loyihaning kamchiliklarini aniqlashga,
  3. ratsional va optimal
    - shaql,
    - o'lcham va
    - buyum materialini tanlashga imkon beradi.

# CAE tizimlar darajalari

➤ O'zbekistonda mashinasozlik korhonalari, asosan avtomobil sanoati korhonalari kuyidagi yuqori darajadagi CAD tizimlaridan foydalanadi:

1. Pro / Engineer,
2. Unigraphics (NX)
3. CATIA (barchasi CAE qismiga ega).

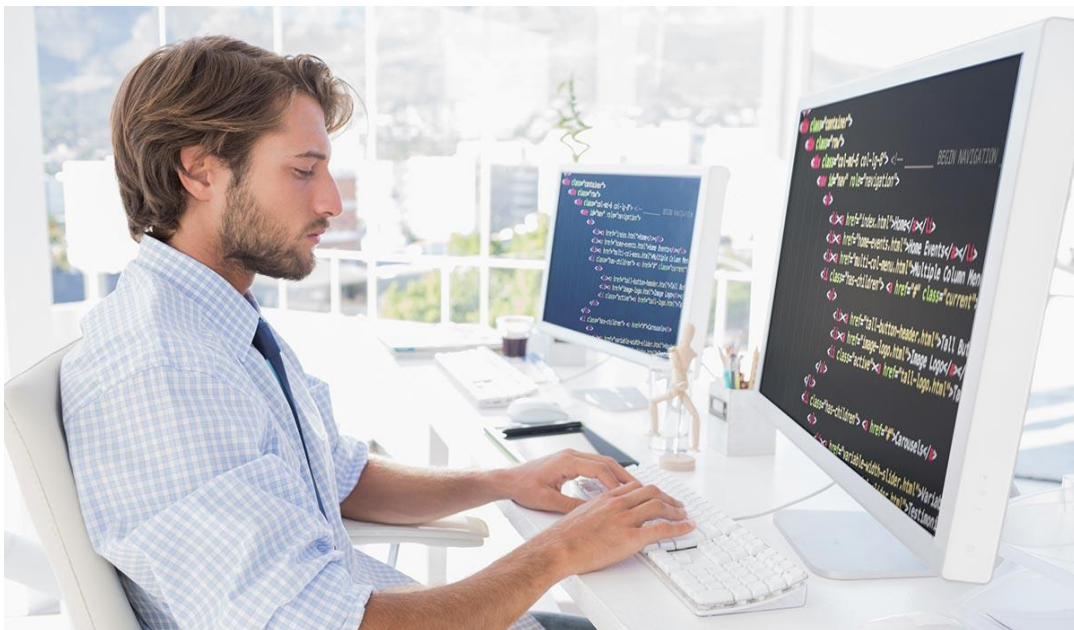
# CAE tizimlar darajalari

➤ **ANSYS yadrosiga asoslangan eng mashhur o'rta darajadagi SAE tizimlari:**

- 1. Cimatron (Cimatron Ltd.),**
- 2. Mastercam (CNC Software, Inc.),**
- 3. AutoCAD 2000,**
- 4. Powermill (DELCAM) va boshqalar.**

# Muhandislik Tahlil qismlari

- **Muhandislik tahlil – bu inson (muhandislar: loyihachi va dasturchi) ning va kompyuterning birgalashib ishlashi natijasidir.**



# Loyihachining vazifalari

1. Loyiha echimlarining to'g'riligini sifatli baholash
2. Yaratilayotgan mahsulotning texnik talablari va bozor talablariga muvofiqligini tekshirish
3. Mahsulot loyihasida topilgan kamchilik va muammolarni hal qilish
4. Muhandis ish joyidagi muammolarni hal qilish

# Loyihachining vazifalari

5. Yangi yuqori texnologik mahsulotni loyihalash va muhandislik tahlil metodologiyasi yaratish,
6. Raqamli tahlil vositalarini avtomatlashtirishni amalga oshirish (muammolarni tahlil qilish, hisobot tayyorlash va hal qilish uchun vositalarni tanlash va usullarni ishlab chiqish).

# Kompyuterning vazifalari

1. Istiqbolli loyiha variantlarini tadqiq qilish, eng yaxshisini (optimallini) tanlash,
2. Mahsulotning prototiplari sonini va ularning sinovlari hajmini kamaytirish,
3. Yuqori texnologik mahsulotlarning parametrlari va ish sharoitlarini optimallashtirish).



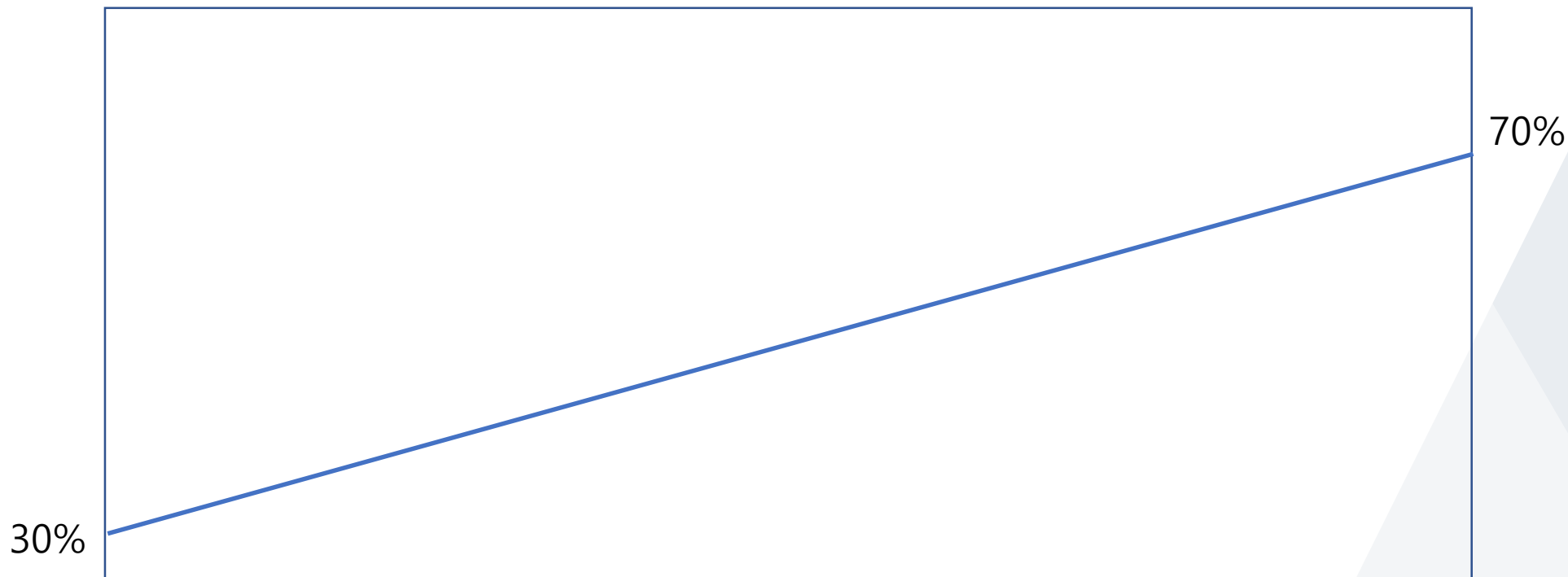
# “Inson-Kompyuter” tizimi

- CAE tizimlari – kompyuter yordamida mashinasozlik mahsulotlarni yaratish – loyihalash va muhandilik tahlil qilishi ikki turda bo’lishi mumkin:
  1. Kompyuterlashgan tizimlar (Inson + Kompyuter) kompyuter - asosan yordamchi vosita sifatida.
  2. Avtomatlashgan tizim (barcha ishlarni asosan kompyuter bajariladi – bir hil va ko’p qaytariladigan amallar misolida).

# “Inson-Kompyuter” tizimi

Kompyuterlashgan MTT

Avtomatlashgan MTT



1-rasm. “Inson - Kompyuter” tizimida bajarilayotgan ish hajmi taqsimoti, % hisobida

# KMT foydalanish natijalari

- Loyihalash va loyihaning Muhandislik Tahlili o'tkazish uchun vaqt va moliyaviy xarajatlarini kamaytirish,
- Loyihalayotgan mahsulotning sifatini loyihalash bosqichida yaxshilab borish,
- korxonaning global raqobatbardoshligini oshishi

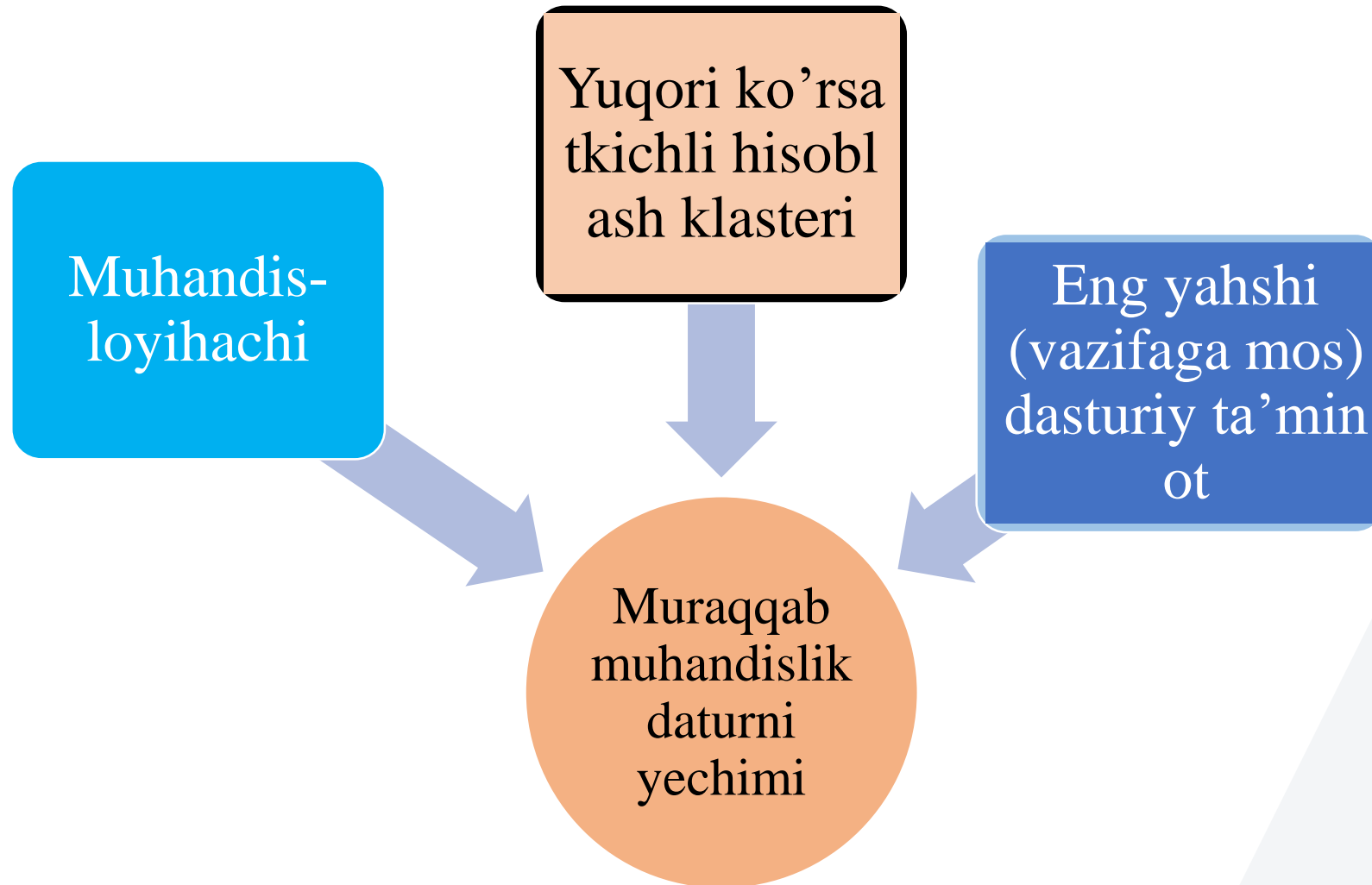
# KMT muammolari

- Mahsulotlar va inshootlarning mustahkamligi
- Barqarorlikni hisoblash
- Vibratsiyali yuklash paytida kuchni hisoblash
- Mashinasozlik mahsulotining chidamliligini hisoblash
- Dinamik yuklashda quvvatni hisoblash
- Suyuqlik va gazlarning dinamikasi

## KMT muammolari (2)

- Issiqlik fizikasi
- Elektromexanik qurilmalarni hisoblash
- Tegishli ko'p tarmoqli vazifalar
- Vibroakustika
- Parametrik optimallashtirish
- Topologik optimallashtirish.

# KMT tarqibiy qismlari



# KMT talablari

## 1. Muhandis-konstruktor:

- sifatli ixtisoslashtirilgan ta'lim,
- sohada ishlash va loyihalarni amalga oshirish tajribasi,
- keng texnik bilim va dunyo qarash,
- muhandislik dasturiy ta'minotini chuqur bilish.

## KMT talablari (2)

### 2. Kuchli hisoblash klasteri:

- tezkor hisob-kitoblar qobiliyati,
- katta o'lchamdagi murakkab ko'p tarmoqli muammolarni hal qilish qobiliyati.

## KMT talablari (3)

3. Eng yaxshi va mos dasturiy ta'minot:
  - Muhandislik tahlil dasturlariga alohida talablar
  - Tanlash imkoniyati
  - ANSYS - ko'p tarmoqli tahlil qilish uchun dunyodagi eng yaxshi dasturlar to'plami.

## KMT farqi

Muhandislik tahlil hisob-kitobi mahsulotni loyihalashda boshqa har qanday hisob-kitobdan (masalan, metall sig'imi – materialloemkostni meyorlashdan va sarfini hisoblashdan, GOST talablariga muvofiqligini baholashdan), ma'lum fizik hodisalarni ba'zi matematik modellariga asoslanganligi bilan ajralib turadi.

# KMT matematik modeli

Mahsulotlar raqobatbardoshligini ta'minlash uchun - bozorga tezroq olib chiqish, raqobatchilarga nisbatan narx yoki funktsional afzalliklarga ega bo'lish), qoida tariqasida, aniqroq va tezroq hisob-kitoblarni talab qiladi.

Kompyuter hisob-kitob qilish jarayoni ingliz tilida CAE - kompyuter yordamida muhandislik deb ataladi.

# KMT matematik modeli

Kompyuter muhandislik hisob-kitoblarini ikkita katta to'plamga bo'lish mumkin:

1. Analitik hisob-kitoblar
2. Raqamli modellashtirish.



# Analitik hisob-kitoblar

Analitik hisob-kitoblar – bu ma'lum bir holatda butun fizik hodisani tavsiflovchi algebraik formula, ulardagi dastlabki ma'lumotlar almashtirish va tayyor natijani olish. Masalan,

1. o'xshashlik mezonlari (Reynolds, Prandtl, Grasgoff va boshqalar) o'rtasidagi nisbatlardan foydalanib, issiqlik almashtirgichning samaradorligini hisoblashingiz mumkin.
2. bir balkaning cho'zilish, kuchlanish, egish yoki burish kuchini hisoblash yoki teskari muammoni hal qiling, ya'ni kerakli natija uchun kerakli dastlabki ma'lumotlarni tanlash

# Analitik hisob-kitoblar

Analitik usullarning murakkabligi va cheklanishi - modellar (formulalar) universaligidir, ya'ni har bir hisoblash uchun modelni izlash yoki shakllantirish kerak.

Masalan, issiqlik almashinuvi ikkita holatda:

- Quvur ichidagi quvur shaqlida,
- Korpus va quvur uchun

bir hil jarayon bo'lsada - qattiq devor orqali ikkita harakatlanuvchi muhit o'rtasida issiqlik almashtirgichni hisoblash uchun yangi model talab etadi.

Yana, modellarda empirik koeffitsientlar mavjud, ularning to'g'ri qiymatlari ko'p yillik amaliyot natijasida olish mumkin.

## KMT matematik modeli

Mahsulotlar raqobatbardoshligini ta'minlash uchun - bozorga tezroq olib chiqish, raqobatchilarga nisbatan narx yoki funktsional afzalliklarga ega bo'lish), qoida tariqasida, aniqroq va tezroq hisob-kitoblarni talab qiladi, shuning uchun kompyuter muhandislik hisob-kitob qilish jarayoni ingliz tilida CAE kompyuter yordamida muhandislik deb ataladi.

# KMT matematik modeli

Kompyuter muhandislik hisob-kitoblarini ikkita katta to'plamga bo'lish mumkin:

1. Analitik hisob-kitoblar
2. Raqamli modellashtirish.

## **Analitik hisob-kitoblar**

Analitik hisob-kitoblar – bu ma'lum bir holatda butun fizik hodisani tavsiflovchi algebraik formula, ulardagi dastlabki ma'lumotlar almashtirish va tayyor natijaolish.

## Usul kamchiliklari

Analitik usullarning murakkabligi va cheklanishi - modellar (formulalar) universaligidir, ya'ni har bir hisoblash uchun modelni izlash yoki shakllantirish kerak.

## Usul kamchiliklari

Masalan, issiqlik almashinuvi 2ta holatda bir hil jarayon bo'lsada - qattiq devor orqali ikkita harakatlanuvchi muhit o'rtasida

1. quvurdagi quvur shaqlida,
  2. korpus va quvur uchun
- issiqlik almashtirgichni hisoblash uchun yangi model talab etadi.

Shuningdek, modellar o'z ichiga empirik koeffitsientlarni oladi, ularning to'g'ri qiymatlari ko'p yillik amaliyot natijasidir.

## Usul kamchiliklari

Masalan, issiqlik almashinuvi ikkita holatda bir hil jarayon bo'lsada - qattiq devor orqali ikkita harakatlanuvchi muhit o'rtasida

1. quvurdagi quvur shaqlida,
  2. korpus va quvur uchun
- issiqlik almashtirgichni hisoblash uchun yangi model talab etadi.

## Usul kamchiliklari

Shuningdek, modellar o'z ichiga empirik koeffitsientlarni kamrab oladi, ularning to'g'ri qiymatlari ko'p yillik amaliyot natijasidir.

## Muraqqab hisob-kitoblar

Murakkab analitik hisob-kitoblar uchun oliy matematika foydalaniladi. Ishni avtomatlashtirish uchun dasturiy ta'minot yordamida analitik hisob-kitoblarni amalga oshiradilar, bunda aslida raqamlarni formulalarga almashtirish mumkin.

Buning uchun kompyuter matematikasi (SCM) tizimlari dan foydalanish mumkin, masalan, MathCAD, Maple, Wolfram Mathematica, MATLAB yoki Scilab (bepul), garchi bunday tizimlarning imkoniyatlari ko'pincha ushbu dasturiy ta'minotdan foydalanadigan hisob-kitoblar uchun ortiqcha bo'lsa ham.

## Soddalashgan hisob-kitoblar

Eng oson va sodda analitik hisob-kitoblar dastak varianti – bu Microsoft Excel yoki LibreOffice Calc.

Ushbu elektron jadval muharrirlari quvur armaturasining kuchini hisoblash uchun elektron jadval, unda hamma narsa avtomatlashtirilgan, shu jumladan hisobotni shakllantirish va materiallarning mexanik xususiyatlarini tanlash, hatto VBA-dan foydalanmasdan ham.

Demak, qaysidir ma'noda, deyarli har bir kompyuter da to'liq SAE tizimi mavjud.

## CAE tizimlari barcha PK mavjud

Analitik hisob-kitoblar uchun ixtisoslashgan dastur - "APM" mexanik modullarining butun to'plami mavjud, har biri o'ziga hos analitik hisob-kitoblarni amalga oshiradi: vallar, reductor, podshipnik, prujinalar va boshqalar.

Analitik modellar va formulalar, odatda, juda umumlashgan va ba'zi mahsulotlar loyiha xususiyatlarini hisobga olmaydi yoki aksincha. Masalan, GOSTlarda hisoblash formulalaridan foydalanib, quvvatni hisoblash mumkin, ammo massa yoki narx jihatidan eng optimal bo'lmaydi. Yoki ba'zi qismni analitik hisoblashda boshqa qism bilan o'zaro ta'sirini hisobga olinmaydi. Bunday hollarda kuchliroq dastur talab etiladi.

# Raqamli modellashtirish

Raqamli modellashtirish asosida – quyidagi fundamental jarayonlar:

1. qattiq (ham qattiq, ham oqimli) muhit mexanikasi,
  2. issiqlik almashuvi,
  3. moddalarning kimyoviy o'zgarishi,
  4. elektr va magnit maydonlarning o'zaro ta'siri
- va ular ko'pincha differentsial va qisman differentsial tenglamalar bilan tavsiflanadi.

## Raqamli modellashtirish

Ushbu tenglamalar, agar ular analitik yechimlarga ega bo'lsa-da, juda oz sonli maxsus holatlar uchun ishlatiladi (shuning uchun ular analitik formulalar va hisob-kitoblar uchun asosdir).

Masalan, harakatlanuvchi muhit mexanikasida Navier-Stokes tenglamalaring analitik yechimlari umuman o'ta muraqqab bo'lib, eng murakkab vazifadan biridir deb hisoblanadi.

## Raqamli modellashtirish

Leonard Eyler davridan boshlab bunday tenglamalarni yechish uchun raqamli usullar ishlab chiqilgan va qo'llanilgan. Ular bir yoki bir nechta differentsial tenglamalarni chiziqli algebraik tenglamalar tizimiga (SLAE) olib keladi.

Umuman olganda, matematik muammolar uchun raqamli modellashtirish usullari juda ko'p:

1. SLAE,
2. oddiy differentsial tenglamalar,
3. chiziqli bo'lmagan algebraik tenglamalar.

## Raqamli modellashtirish

Differentsial tenglamalarda funktsiyalar argumentlarning cheksiz kichik o'sishlari bilan shakllantiriladi.

Raqamli modellashtirishda fazo va vaqtning cheksiz kichik qismlari cheklangan qismlarga almashtiriladi.

Ya'ni, murakkab fundamental tenglamalar kompyuterlarda hal qilish uchun juda mos bo'lgan parcha-parchalangan sodda tenglamalar to'plamiga keltiriladi.

## Usulning afzalliklari

Raqamli modellashtirish usulining afzalligi - ko'p qirraliligidir.

Deformatsiyalanadigan qattiq jismning mexanikasini hisoblash uchun CAE tizimlari fazoviy konstruktsiya - binoning kuchlanishini yoki kosmik kema ichidagi issiqlik almashinuvini bir xil darajada yaxshi hisoblaydi - jarayonlar fizikasi bir hil-ku.

Foydalanish uchun ma'lumotlar CAD modellaridan va atrof-muhit va qattiq materiallarning xususiyatlarini korporativ normativ-ma'lumot axborot tizimidan olish mumkin.

Salbiy tomoni - o'zlashtirish qiyinligi va ba'zan vazifani tayyorlash (Preprocessing), natijalariga ishlov berish va qayta ishlash (Postprocessing) uzoq vaqtni talab etishi.

## Usuldan foydalanish

Raqamli modellashtirish deformatsiyalanadigan qattiq jismlar mexanikasi (MDTT) hisob — kitoblarida keng qo'llaniladi, ular kuch (chidamlilik) hisob-kitoblari deyiladi. Ular sanoatning barcha sohalarida ishlatiladi: mashinasozlik, transport, energetika, qurilish va h.k.

Bunday vazifalar uchun eng keng tarqalgan usul — bu Finite Element Method (FEM) yoki Finite Element Analysis (FEA) deb nomlangan cheklangan elementlar usuli (ChEU, МКЭ).

## Usuldan foydalanish

Dasturiy ta'minot sohasida hisob-kitoblar uchun jahon yetakchilari:

- ANSYS Mechanical (va uning yadrosi APDL),
- Nastran (FEMAP yoki Patran Prepost Protsessorlari bilan),
- Dassault Systèmes Simulia (Abaqus paketlari mavjud).

Russiya bozorda turli xil rivojlanish darajasidagi ko'plab echimlar mavjud, ammo etarlicha rivojlanganlardan Fidesys, Logos-Power va APM WinMachine-ni ko'rsatish mumkin.

## Aniq dinamika usuli

Juda qisqa muddatda ob'ektga katta ta'sir ko'rsatadigan jarayonlarda qo'llaniladi: portlash, detonatsiya, zarba to'lqinlarining to'siqlar bilan o'zaro ta'siri, avtomobillar uchun krash-test (avariya sinovlarini modellashtirish) yoki hatto samolyot qulaganda atom stansiyaning xavfsizligi.

Yani, eng murakkab chiziqli bo'lmagan fizikani hisobga olish mumkin, ammo tenglamalarni faqat vaqt o'tishi bilan juda kichik qadamlar bilan birlashtirish mumkin.

Dunyoda ANSYS LS-Dyna va Abaqus Explicit etakchi hisoblanadi, Russiyada Logos-Power mos yechimdir.

## Aniq dinamika usuli

Shuningdek, ushbu sinfdagi vazifalar silliqlangan zarrachalar gidrodinamikasi (Smooth Particle Hydrodynamics, SPH) va uning SPG (Smooth Particle Galerkin) turidagi o'zgarishlari usullari bilan hal qilinadi.

Nomidagi "gidrodinamika" so'ziga qaramay, usulning o'zi ko'pincha qattiq moddalar uchun ishlatiladi.

## Aniq dinamika usuli

Kuch-quvvat tahlil ko'pincha tsiklik yoki charchoqlik kuchi (fatigue), tuzilmaning barqarorligini yo'qotish (buckling) muammolari hal qilinadi.

FEA qattiq jismdagi issiqlik o'tkazuvchanlik va termomexanik muammolarini, ya'ni qattiq jismdagi harorat taqsimotini hisoblash muammolarini (lekin tana atrofidagi suyuqlik yoki gazni "haqiqiy" modellashtirishsiz) va bu haroratning deformatsiyalar va mexanik stresslarga ta'sirini o'z ichiga oladi.

## Aniq dinamika usuli

Avtomobilsozlikda jismlar dinamikasini modellashtirish (Rigid body yoki Multibody dynamics, MBD) Mexanizmlarining ishlashini modellashtirishdir, unda bo'g'inlar deformatsiyalanmaydigan jismlar sifatida ko'riladi va ideal turdagi bo'g'inlar yordamida ulanadi.

Bunday hisob-kitoblar elementlarda harakat qiluvchi kuchlarni aniqlash va uzellar geometriyasini, mexanizmlar imkoniyatlarini tanlash uchun mo'ljallangan.

MSC Adams va Ansys Motion bunday sinfda jahon yetakchilaridir, Rossiya – Euler va Universal mexanizm dasturlari mavjud.

## Gidrogazodinamik modeli

Gidrogazodinamik va gidravlik modellar farqi shundaki, hi soblash gidrogazodinamikasida suyuqlik oqimini uch, ba' zan ikki o'lchovli fazoda modellashtiriladi, ya'ni quvur lini yani bir-biriga bog'langan "kublar" to'plami sifatida qaraladi: tekis qism, burilish, gidravlik armatura va boshqalar. Model nafaqat gidravlik, balki pnevmatik, mexanik tizimlarni ham taqdim etishi mumkin.

Tizimni modellashtirish dasturlari: yetakchilar: Matlab Simulink, Siemens Amesim, Ansys TwinBuilder, Russiada – SimInTech va Pradis mavjud.

## NAZORAT SAVOLLARI

1. Kompyuterlashgan va avtomatlashtirilgan Muhandislik tahlilning boshqalardan farqi nimada?
2. Kompyuterlashgan Muhandislik tahlil tizimning resurslari – bu... ?
3. Hisoblash klasterining ko'rsatkichlari nimalardan iborat?
4. Muhandislik tahlil hisob-kitoblarining boshqalardan farqi?
5. Analitik va raqamli hisob-kitoblari nimalardan iborat?
6. Matematik tizimlaridan kaysilarini bilasiz?
7. Kompyuter matematika tizimlariga misol keltiring?
8. Har bir kompyuterda Muhandislik tahlil dastaklari mavjud mi?

## NAZORAT SAVOLLARI

9. Excel elektron jadvallar tizimida Muhandislik tahlil o'tkaziladimi?
10. Raqamli modellashtirish asosiga nimalar olingan?
11. Raqamli hisob-kitoblari negizida qaysi fundamental tenglamalar turadi?
12. Raqamli hisob-kitoblar qaysi matematik masalalarni yechishda ishlatiladi?
13. Raqamli hisob-kitoblar turlari: static, dinamik, chizikli va no chizikli haqida nimalarni bilasiz?
14. O'ta qisqa muddatli jismoniy jarayonlarni modellashtirishda qaysi usullar ishlatiladi?

# ADABIYOTLARLAR

1. Большаков В. П. 3Д-моделирование в Аутокад, КОМПАС-3Д, Солидворкс, Инвентор, Т-Флекс. — Россия : Издательский дом «Питер», 2010.
2. Мельников В. Г. , С. Е. Иванов, Г. И. Мельников. Компьютерные технологии в механике приборных систем / Под ред. В. Г. Мельникова.— СПб.: СПбГУ ИТМО, 2014 .— 130 с.
3. Компьютерное моделирование в прикладной механике. Учебное пособие.
4. Рябов Филипп. САЕ для любопытствующих: инженерные расчеты — какие они бывают.
5. Вершинин А.В. и др. Обзор системы инженерного анализа САЕ FIDESYS. Примеры решенных задач.
6. SolidWorks для самых начинающих. Часть 3. <https://www.youtube.com/watch?v=goDzp60NPMk>

**Savollar, qo'shimchalar,  
e'tirozlar, takliflar?**

Murojaat uchun:

Farg'ona politexnika instituti, Mashinasozlik  
texnologiyalari va avtomatlashtirish kafedrası,  
t.f.n., dotsent – Teshabayev Anvar Ergashevich

e-mail: [ateshabaev1958@gmail.com](mailto:ateshabaev1958@gmail.com)

Phone: +998 93 252 -6488?

**E'tiboringiz uchun rahmat!**