

*H.T. To'rayev, E. O'rinboyev, A. Musayev*

# HARAKAT TURG'UNLIGINI TADQIQ ETISHNI AVTOMATLASHTIRISH

*Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma*

Axborotlashtirish Xalqaro akademiyasining akademigi  
**H.T. To'rayev** tahriri ostida

2032808



5410252)

**Taqrizchilar:**

**M.M.Komilov** – O‘zFA akademigi;

**Sh.Nazirov** – fizika-matematika fanlari doktori, professor;

**R.Sa’dullayev** – texnika fanlari doktori, professor;

**M.Oripov** – fizika-matematika fanlari doktori, professor.

O‘quv qo‘llanmada yangi informatsion texnologiyalar, dinamik tizimlar harakatining turg‘unligi haqidagi umumiy tushunchalar, dinamik tizimlar harakati turg‘unligini tadqiq etishning Gurvis, Raus, Lyenar–Shipar, Mixaylov, Naykvist kriteriyalari, umumlashgan Shturm qatori va *D*-bo‘laklash usuliga asoslangan algoritm va dasturlari bayon etilgan. Unda MAPLE 6 tizimi haqida umumiy tushunchalar, dinamik tizimlar harakatining turg‘unligini tadqiq qiluvchi dasturiy-instrumental vosita va uning muayyan dinamik tizimlar harakatining turg‘unligini tekshirishga tatbiqu bayon etilgan.

O‘quv qo‘llanma oliy o‘quv yurtlarining 5460100 – matematika, 5480100 – amaliy matematika va informatika, 5440200 – mexanika bakalavriatura yo‘nalishlari va 5A480103, 5A460103, 5A440202 – mexanika magistratura ixtisosliklari bo‘yicha ta‘lim olayotgan talabalarga mo‘ljallangan. Kitobdan, shuningdek, aspirantlar, ilmiy xodimlar hamda amaliy mexanika, aviasozlik va kosmik texnika, avtomatlashtirish va boshqaruv tizimlari sohalarida ishlayotgan muhandis va konstruktorlar ham foydalanishlari mumkin.

T 2400000000 – 89  
353(04) – 2006

Qat‘iy buyurt. – 2006

© «O‘qituvchi» NMIU, 2006.

---

*O'zbekiston Respublikasi mustaqilligining 15 yilligiga bag'ishlanadi.*

## SO'ZBOSHI

Mazkur o'quv qo'llanma «Uzluksiz ta'lim tizimi uchun o'quv adabiyotlarining yangi avlodini yaratish konsepsiyasi» talablariga mos ravishda tayyorlangan. O'quv qo'llanmada talabalarning bilimlarni ongli ravishda o'zlashtirishiga erishish, ularda qiziqish uyg'otish va mustaqil fikrlashga yo'naltirish uchun imkoniyat yaratilgan.

Jahon ilmiy adabiyotida harakatning turg'unligini tadqiq etishni avtomatlashtirishga bag'ishlangan sanoqli adabiyotlar mavjud [1, 4, 40]. Afsuski, hozirgacha o'zbek tilida harakat turg'unligini tadqiq etishni avtomatlashtirishga bag'ishlangan birorta ham o'quv adabiyoti (darslik, o'quv qo'llanma) yozilmagan. Oliy o'quv yurtlarida turg'unlik nazariyasidan darslar maxsus kurs sifatida o'tiladi. Shuning uchun ham mualliflar ushbu qo'llanmani o'zbek tilida birinchi bo'lib yozishga jazm qilishdi.

O'quv qo'llanmada yangi informatsion texnologiya g'oyasiga asoslanilib, amaliy masalalarni kompyuter yordamida yechishning barcha **matematik model—algoritm—dasturiy ta'minot—hisoblash eksperimenti—tahlil va sintez** bosqichlari to'liq qamrab olingan. Qo'llanma talaba va magistrantlar uchun laboratoriya, kurs loyihalari, malakaviy bitiruv ishlari, magistrlik dissertatsiyalarini bajarishda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'quv qo'llanmaning **birinchi bobida** kompyuterda masalalarni yechish uchun zamonaviy texnologiyalarni qo'llashning zaruriyati va asosiy g'oyalari, hisoblash tizimida intellektual interfeysning ahamiyati, hisoblash eksperimentlarini o'tkazish jarayonini tashkil qilish va hisoblash tizimining tarkibiy qismlari bayon qilingan.

**Ikkinchi bobda** dinamik tizimlar (sistemalar) harakatining turg'unligi, golonom va nogolonom tizimlar hamda ularning tadqiqotidagi qiyosiy belgilar haqida umumiy tushunchalar berilgan.

**Uchinchi bobda** muayyan masalaning qo'yilishini tahlil qilish, uning harakat va xarakteristik tenglamalarini keltirib chiqarish, harakatning turg'unligini Gurvis, Lyenar—Shipar, Mixaylov va Naykvist kriteriyalari, umumlashgan Shturm qatori hamda *D*-bo'laklash usullari orqali tadqiq qilish algoritmlari berilgan va ko'riyatotgan tizim konstruktiv parametrlarining turg'unlik sohalarining chegaralariga ta'sirini o'rganish uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazish uslubi yoritilgan. Berilgan algoritmlarga asoslangan dasturlar va ularni amaliyotga joriy qilish misollar asosida ko'rsatilgan.

**To'rtinchi bobda** dinamik tizimlarning tadqiqoti uchun yaratilgan dasturiy ta'minotning ba'zi modullari **Maple 6** tizimida yaratilganligi uchun bu tizimning interfeysi (muloqot muhiti) hamda uning asosiy elementlari va buyruqlari to'g'risida umumiy tushunchalar keltirilgan. Shu jumladan, palitralardan foydalanish, ishchi varaqlarni hujjatlashtirishda giperhavolalar tashkil qilish, soddalashtirish, qavslarni ochish, ko'phadni ko'paytuvchilarga ajratish, o'xshash hadlarni ixchamlashda ishlatiladigan buyruqlar, ro'yxat va massiv, jadval to'g'risidagi tushunchalar, ketma-ketlikni hosil qilish tartibi, tenglama va tengsizliklarni yechishda ishlatiladigan buyruqlar, differensiallash va integrallash buyruqlari bayon etilgan.

**Beshinchi bobda** dinamik tizimlarning harakat turg'unligini tekshirish uchun yaratilgan dasturiy-instrumental vositaning (DIV) tarkibi, maqsadi va vazifalari bayon etilgan. DIVning integral muhiti, uning ma'lumotlar bazasini tashkil qilish, funksional va hisoblash modullarining tavsifi hamda DIV yordamida dinamik tizimlar harakatini tadqiq etish uchun ko'rsatmalar berilgan.

**Oltinchi bobda** AVTO dasturiy-instrumental vositasini muayyan dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tekshirishga tatbiq etish jarayoni turli xil misollar asosida namoyish qilingan.

Kitobni tayyorlashda A.M. Lyapunov, I. Samarskiy, V. Qobulov, Y.I. Neymark, N.A. Fufayev, V.V. Rumyansev, A.V. Karapetyan, I.G. Malkin, A. Matrosov, A.V. Mixaylov, A. Faysman, Y.S. Kuzin, A.I. Roytman, V.E. Bolnokin kabi olimlar tomonidan yaratilgan monografiya, o'quv qo'llanma va ilmiy maqolalaridan foydalandik.

Kitob faqat universitet va texnika oliy o'quv yurtlarining talabalarigagina emas, balki o'z ishida turg'unlik nazariyasidan foydalanuvchi aspirantlar, muhandislar va ilmiy xodimlarga ham foydali bo'ladi deb ishonamiz.

Kitobning so'zboshisi H.T. To'rayev tomonidan yozilgan. 2- bob H.T. To'rayev va A. Musayev tomonidan, 1, 3, 4 va 5- boblari E.O'rinboev tomonidan, 6- bob H.T. To'rayev va E.O'rinboev tomonidan yozilgan.

Kitob qo'lyozmasi bilan mufassal tanishib, uning mazmunini va sifatini yaxshilash yo'lida foydali ko'rsatma va maslahatlar bergan taqrizchilar: Samarqand davlat universiteti «Nazariy mexanika» kafedrası, Toshkent Davlat texnika universiteti «Telematika» kafedrası mudiri, O'zFA akademigi M.M. Komilov, O'zbekiston Milliy universiteti «Informatika va amaliy dasturlash» kafedrası mudiri, fizika-matematika fanlari doktori, professor M. Oripov, O'zFA «Kibernetika» instituti laboratoriya mudiri, texnika fanlari doktori, professor R. Sa'dullayev, Toshkent Axborot texnologiyalari universiteti «Dasturlash texnologiyalari va algoritmlash» kafedrası mudiri, fizika-matematika fanlari doktori, professor Sh. Nazirov hamda kitobdagi ayrim dasturlarni tuzgan va kitob matnini kompyuterga kiritgan kafedramiz magistrantlari F. Murodov, I. Kim va muhandis X. Yoqubovaga o'z minnatdorchiligimizni bildiramiz.

Kitob o'zbek tilida birinchi marta yozilgani uchun ayrim kamchiliklardan xoli bo'lmasligi mumkin. Shu tufayli kitob haqidagi tanqidiy fikr va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qilamiz va oldindan o'z tashakkurimizni izhor etamiz.

*Mualliflar*

**1- §. EHMda masalalarni yechishda yangi  
texnologiyalarning zarurligi**

XX asrning 60–70- yillari EHMLarning turli sohalarda qo‘llanilishi nuqtayi nazaridan hisoblash texnikasi uchun juda tez rivojlanish davri bo‘ldi. Bu davrda axborotlarni qayta ishlash tizimlarini joriy qilish vositalari yaratildi va sinovdan o‘tkazilib, ularning qo‘llanilish texnologiyasi takomillashtirildi. Ayniqsa, EHMLarning mukammalligi va tezkorligi sezilarli tarzda o‘zgardi. Operativ va tashqi xotiralar hajmi, qo‘shimcha qurilmalar ro‘yxati kengaydi, tizimli dasturiy ta‘minotning funksional imkoniyatlari keskin ortdi.

Bu rivojlanishning eng muhim sifat o‘zgarishi deb, XX asrning 1980- yillari boshida shaxsiy EHMLarning (SHEHM) yaratilishini e‘tirof etish mumkin. Hozirgi vaqtda SHEHMLar shunday hajmga ega bo‘ldiki, hattoki kichik yozuv stolida joylashsa-da, ularning texnik xarakteristikalari va funksional imkoniyatlari ilgari katta EHMLarning ko‘rsatkichlari va imkoniyatlaridan ancha ustun, shuning uchun hisoblash texnikasidan foydalanish sohalari kengaydi. Avvallari EHMLardan foydalanish juda qimmat, bir qator ahamiyatli masalalarni hal qilishda past samara bergan bo‘lsa, hozir ular nisbatan juda arzonligi tufayli zaruriy vositaga aylandi. Aytish mumkinki, har bir sanoat mahsuloti kabi, EHMLar uchun ham, rivojlanish yo‘nalishi va sur‘ati ularning turli sohalarda qanchalik samarali qo‘llanilishi bilan chambarchas bog‘liqdir. Biroq o‘tgan asrning 80- yillari boshida hisoblash texnikasi vositalarining rivojlanishi va ulardan foydalanib masalalarni yechish an’anaviy usullarda davom ettirildi. Bu holatni tahlil qilish uchun EHMda masalani yechishning tashkil qilinishi va dasturiy ta‘minotining hayotiy siklini chuqurroq qarab chiqish zarur.

Masalani yechish jarayoni **foydalanuvchi** tomonidan uning qo'yilishi bilan boshlanadi. Ko'pchilik hollarda masala foydalanuvchining kasbiy izlanishlari sohasidagi ma'lum maqsadga yo'naltirilgan faoliyati jarayonida paydo bo'ladi. Umumiy holda, masalaning yechilish jarayoni iteratsion xarakterga ega. Masalaning boshlang'ich qo'yilishida va uni yechish natijasida foydalanuvchini qanoatlantirmaydigan natijalar kelib chiqishi mumkin. Shuning uchun ham zaruriy o'zgartirishlar kiritilishi, yangi natijalar olinib, tahlil qilinishi va bu jarayon foydalanuvchining kasbiy faoliyat maqsadlarini qanoatlantiradigan natijalar olinmaguncha davom etishi kerak.

Bunday jarayonning muvaffaqiyatli tarzda kechishi hamda kerakli natijaga erishishning zaruriy sharti shuki, foydalanuvchi o'z faoliyati sohasida sodir bo'layotgan voqelikni tahlil qilishi, yuz berayotgan holatlar rivojini oldindan bashorat qilishi hamda zaruriy yechimlarni topish uchun yetarli kasbiy ma'horat hamda **bilimga** ega bo'lishi kerak. Ayni bir paytda, u o'z masalasini yechish uchun hisoblash vositalarini ishlatish usullari haqida hech qanday bilimga ega bo'lmasligi mumkin. Bunday hollarda, foydalanuvchi va EHM o'rtasidagi muloqotni ta'minlashda **analitik tahlilchi** va **dasturchi** xizmat ko'rsatadi.

Analitik tahlilchining asosiy vazifasi EHMda yechiladigan turli masalalarning qo'yilish usullarini bilishdan iborat. Bundan tashqari, u masalaning tahlili borasida foydalanuvchi bilan muloqot o'tkazishi uchun tegishli sohadagi bilimlarga va dastur tuzish jarayoni haqida, hech bo'lmaganda, umumiy tasavvurlarga ega bo'lishi zarur. Analitik tahlilchi foydalanuvchi bilan muloqoti jarayonida masalani yechish uchun mos keladigan usulni tanlaydi, tanlangan usulga asosan, kerakli ma'lumotlar va ularning tarkibini aniqlaydi hamda EHMda masalani yechish tizimini yaratadi. Masalani yechish tizimi yaratilganidan so'ng foydalanuvchi masalani yechishning keyingi bosqichlaridan uzoqlashadi.

Dasturiy ta'minotni (DT) yaratish bosqichi dasturchi tomonidan mustaqil ravishda yoki analitik tahlilchi bilan hamkorlikda amalga oshiriladi, foydalanuvchining albatta ishtirok etishi shart emas. Dasturchi, dasturiy ta'minotni yaratish borasida, masalani

yechish tizimini hamda analitik tahlilchi bilan muloqot qilishi uchun masalani yechish usullarini yuqori saviyada bilishi kerak. Ularning muloqotida e'tibor, asosan, dasturiy ta'minotni yaratish va optimallashtirishga qaratiladi. Masalaning qo'yilishida va uni yechish tizimini yaratishda yuz beradigan xatoliklar, noaniqliklar, samarasiz yechimlar amaliy jihatdan oshkora namoyon bo'lmasligi ham mumkin. Ba'zan optimallashtirish jarayoni masalaning yechilish tizimiga shunday o'zgartirishlarni kiritishga olib kelishi mumkin, ular analitik tahlilchi nuqtayi nazaridan muhim bo'lmasligi, ammo foydalanuvchi nuqtayi nazaridan masalaning mohiyatiga sezilarli ta'sir etishi mumkin.

Dasturni sozlash va sinovdan o'tkazish dasturchi tomonidan amalga oshiriladi. Olingan natijalar foydalanuvchini qanoatlantirmasa, yuqorida aytib o'tilganidek, u masalaning qo'yilishiga zaruriy o'zgartirishlar kiritishi va yangi natijalar olib, tahlil qilishi kerak va h.k., toki kasbiy faoliyatini amalga oshirish uchun zarur bo'lgan natijalar olinmaguncha, bu jarayon qayta-qayta davom ettirilishi lozim.

Ammo dasturlashning an'anaviy texnologiyasida dasturga o'zgartirishlarni kiritish qo'shimcha dasturchi va analitik tahlilchilarning jalb qilinishini talab etadi. Bu jarayon yangi dasturni yaratishga nisbatan ancha murakkab jarayondir, chunki analitik tahlilchi va dasturchi bir nechta foydalanuvchi bilan muloqot qilib, dasturga o'zgartirishlar kiritmoqchi bo'lsa, bu juda ko'p vaqt talab etishi mumkin. Ayniqsa, agar dasturiy ta'minot tarkibini, uning turli masalalar turkumi uchun tatbiqini amalga oshirishda moslashtirish jarayonining murakkabligi hisobga olinsa, o'zgartirishlarni amalga oshirish imkoniyatlari keskin kamayadi. Shuni ta'kidlash kerakki, dasturiy ta'minotni qayta qurishni talab qiladigan o'zgartirishlar faqat aniq masalani yechishdagina emas, balki ko'proq ishlab chiqarish, iqtisodiy va shunga o'xshash vaziyatlarning o'zgarishi bilan, hatto masalaning talablarini dasturiy ta'minotni yaratuvchilar tomonidan noto'g'ri tushunilgan hollarda ham amalga oshiriladi.

Odatda, tatbiqiy-dasturiy ta'minot nisbatan mustaqil qismlardan iborat bo'lib, ularning har biri ma'lum bir masalalar sinfini yechishga mo'ljallangan. Dasturiy tizimning turli masalalar tur-



kumi uchun qo'llanilish jihatlarini e'tiborga olib, uning loyiha-sida moslashtirish vositalarini nazarda tutish kerak. Bu vositalardan foydalanish imkoniyatlari dasturchi va foydalanuvchi saviyasiga monand bo'lishi zarur.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, murakkab dasturiy tizim, odatda, sozlash va sinash bosqichlarida aniqlanmagan xatoliklarga ega bo'lishi mumkin. Bunday xatoliklar dasturiy tizim yaratilishining ixtiyoriy bosqichida sodir bo'lishi mumkin. Xususan, ular masalaning qo'yilishini, ya'ni undagi talablarni dasturchi noto'g'ri tushunganligi yoki dasturiy ta'minotni aniq shart-sharoitlarda qo'llash uchun moslashtirish vositalarini hisobga olmaganligi tufayli ro'y berishi mumkin. Shuningdek, dasturiy tizimni hujjatlashtirganda, ko'rsatilgan texnik xarakteristikalarning hamda uni joriy qilish yo'riqnomalarining ba'zi hollar uchun mos kelmasligi tufayli ham xatoliklarga yo'l qo'yiladi. Bunday xatoliklar foydalanuvchi tomonidan aniqlanadi, ularni sozlash va funksional imkoniyatlarini rivojlantirish esa dasturiy ta'minotni yaratuvchi tomonidan amalga oshiriladi.

Agar «xatoliksiz» dasturiy tizimni yaratish usuli mavjud deb (amaliyotda bu juda ham kam uchraydi) faraz qilsak, unda masalaning qo'yilishidagi keyingi o'zgarishlarni, yechilish jarayonidagi talablarning o'zgarishini doimiy ravishda hisobga olib borish amaliy jihatdan qiyin masaladir, chunki ular DTning qo'llanilishiga bog'liq holda o'zgaradi. Bu o'zgarishlar, asosan, o'rganilayotgan sohadagi shart-sharoitlarning tabiiy rivojlanishi tufayli namoyon bo'ladi. Bu esa DTning funksional imkoniyatlarini doimiy kengaytirib turish zaruratini keltirib chiqaradi.

Dasturchining xatoliklarni tuzatish va funksional imkoniyatlarni kengaytirish bilan bog'liq faoliyati DTning *markazlashgan kuzatuvchi* deyiladi. Shu bilan birga, har bir foydalanuvchining o'z kuzatish jarayoni ham mavjud. Kuzatishning asosiy maqsadi DTni aniq qo'llanilish shart-sharoitlarining o'zgarib turishiga ko'ra moslashtirish vositalarini yaratish yoki, ular yordam bermasa, kuzatuvchi tomonidan qo'shimcha dasturlar yaratishdan iborat.

Shunday qilib, amaliy dasturlar ta'minotining kuzatuvchi uni ro'yobga chiqarish sikli davomida amalga oshiriladi. An'anaviy

texnologiyada kuzatuv jarayoni qo‘shimcha dastur ishlab chiqishni talab qiladi. Xususan, foydalanuvchilarning qo‘shimcha talablarini qanoatlantirish uchun dasturiy ta‘minot bo‘yicha mutaxassislar soni ikki baravar ortishi lozim. Bu esa EHMlarning qo‘llanilish sohasi kengaygan sari bunday mutaxassislarga bo‘lgan talabni aslida ta‘minlashni qiyinlashtiradi. Yuqorida aytilganlarning hammasi EHMlarni qo‘llashning yangi texnologiyalarini yaratish zarurligini tasdiqlaydi.

## **2- §. Yangi texnologiyalarning mohiyati**

Yaqin o‘tmishda EHMdan foydalanuvchilar oddiy hisoblash masalalarini yechish uchun dasturlashtirish asoslarini bilishlari shart edi. Masalalarni yechishda faqat o‘zlari tushunadigan va amalda qo‘llay oladigan yarim odmi holatdagi dasturlarni tuzishga majbur bo‘lar edilar.

Hozirgi paytda kompyuter texnologiyalarining keskin rivojlanishi shaxsiy kompyuterlar imkoniyatlarining superkompyuterlar imkoniyatlariga yaqinlashib borishini ta‘minlamoqda. Shu bois shaxsiy kompyuterlarga bo‘lgan dastlabki munosabatlar o‘zgarimoqda. Boshlanishida, shaxsiy kompyuterlarning ish yuritish jarayonlarini yengillashtiruvchi imkoniyatlaridan, ya‘ni unda mavjud bo‘lgan amaliy dasturlar tizimidan va matnli protsessorlardan o‘z faoliyati va maishiy maqsadlari yo‘lida foydalanishga ko‘nikish paydo bo‘ldi. Natijada, EHMlarning azaldan murakkab hisoblash va texnologik jarayonlarni amalga oshirish maqsadida yaratilganligini yoddan chiqarib, insoniyat tarixidagi eng «ongli mashina»larni sodda maishiy vositaga aylantirib qo‘yayozishdi. Lekin, vaqt o‘tishi bilan, hisoblash mashinalarini asl maqsad va vazifalari yo‘lida qo‘llash imkoniyati yanada yuqori bosqichlarga ko‘tarila boshladi. Bunga sabab, XX asrning oxirlarida yaratilgan va shaxsiy kompyuterlarda juda samarali joriy qilinayotgan kompyuter algebrasi tizimlaridir.

Kompyuter algebrasi tizimlari hisoblash tizimlari uchun qo‘llaniladigan «kompyuter intellekti» tushunchasining mazmun va mohiyatini amalda namoyish qilish imkoniyatini yaratdi. Bu tizimlar amaliy-dasturiy ta‘minotni (ADT) yaratuvchi mutaxassislar uchun quyidagi imkoniyatlarni berdi:

- yuqori saviyadagi dasturlashtirish tizimlari;
- hujjatlar va dasturlarni yaratish hamda tahrir qilish imkoniyatini beruvchi matn muharrirlari;
- foydalanuvchilar uchun bevosita muloqot asosida ishlash imkoniyatini beruvchi zamonaviy ko'p oynali interfeysi;
- yuqori saviyadagi ma'lumotnoma tizimi;
- matematik ifodalarni qayta ishlovchi algoritm va qoidalar majmuyi;
- analitik va sonli amallarni bajaruvchi dasturiy protsessor;
- muloqot jarayonida sodir bo'ladigan xatoliklarni ko'rsatuvchi diagnostika;
- tizimning bevosita yadrosiga birlashtirilgan va qo'shimcha vazifalar kutubxonasi;
- tizimni qo'llash va matematik usullarni tatbiq qilish uchun kerak bo'ladigan paketlar majmuyi.

Bu imkoniyatlar, o'z navbatida, mutaxassislarga amaliy-dasturiy ta'minot yaratishda masalaning matematik modelini qurish, hisoblash usullarini tanlash, hisoblash eksperimentlarini o'tkazish va natijalarni tahlil qilish vositalarini beradi. Bu esa ADTni tashkil qilish tamoyillarini va masalalarni an'anaviy texnologiya doirasida qo'llanilib kelingan yechish usullarini tubdan o'zgartirish imkonini yaratadi. Buning uchun dasturiy tizimlarni shunday tuzish kerakki, ularni qo'llash va kuzatish jarayonlari keskin soddalashsin. Dasturiy tizimni yaratishning an'anaviy texnologiyasi bo'yicha ADTni yaratish jarayonida masalani ifodalash uchun qo'llaniladigan atama va tushunchalar qisqa ko'rinishda bo'lib, ular qo'llanilishi mumkin bo'lgan biror-bir sohaga bog'liq bo'lmasdan, balki ko'proq matematik modelga bog'liq. Masalaga bog'liq ravishda bu model: jarayonlar tadqiqoti, matematik tahlil masalasini yechishning sonli usuli, ma'lumotlarning abstrakt modeli va hokazolar bo'lishi mumkin. Bu holat dasturiy tizimlarni universallashtirishga intilish sharti bo'lib, har bir shunday tizimni turli o'rganiluvchi sohalarga keng tatbiq etishga qaratilgan harakatdir. Lekin har bir o'rganiluvchi soha foydalanuvchilarga ko'proq tushunarli va ma'lum mazmunga ega bo'lgan tushunchalar tizimi orqali tavsiflanadi.

Shunday qilib, o'rganiluvchi sohaning tushunchalari tizimi bilan ma'lumotlarni qayta ishlashning an'anaviy texnologiyasi va dasturi asosiga qo'yilgan formal modelning qoida va tushunchalari mos tushmaydi. Bu farq masalani yechish jarayonida foydalanuvchi bilan EHM muloqotida sodir bo'ladigan qiyinchiliklarning asosiy sababidir.

An'anaviy texnologiyaga, asosan, dasturiy ta'minot yaratilishi uchun o'rganiluvchi sohaning tushunchalari tizimida ifodalangan masalaning qo'yilishi formal model tushunchalari tizimiga o'tkazilishi kerak. Ma'lumotlarni bir tushunchalar tizimidan boshqasiga o'tkazilishi *interpretatsiya* deyiladi. Masala natijalarini tushuna olish uchun birinchisiga teskari bo'lgan interpretatsiyani amalga oshirish lozim. Interpretatsiya jarayoni dasturiy tizimning hajmi, murakkabligi va universallik darajasining ortib borishi bilan bir qator obyektiv va subyektiv omillarga ham bog'liq bo'lib qoladi.

An'anaviy texnologiyalar doirasida interpretatsiya muammolarini yechish shartli ravishda xususiy va sistematik usullarga bo'linadi.

Xususiy usullar foydalanuvchining EHM bilan muloqot jarayonini faqat ayrim hollarda yaxshilaydi. Bularga, masalan, dasturiy tizimlarni mazmunli hujjatlashtirish, foydalanuvchiga turli xildagi yordam tizimlarini yaratish va hokazo usullarni ko'rsatish mumkin.

Muloqot jarayonini soddalashtirishning sistematik usullarida asosiy g'oya bir vaqtning o'zida quyidagi imkoniyatlarni yaratishga qaratilgan. Qat'iy chegaralangan amaliy masalalar doirasi uchun:

– o'rganilayotgan sohaning tushunchalari tizimi asosidagi muloqotni ta'minlash;

– bu masalalar doirasini kuzatuvchi dasturchi tomonidan tezkorlik bilan kengaytirilishini ta'minlash.

An'anaviy texnologiyada sistematik usullar turli «menyu» tizimi asosidagi muloqotni ta'minlash va shunday tizimlarni generatsiya qilish vositalarini yaratish hamda ayrim zamonaviy dasturlash tillarini ishlatish bilan amalga oshiriladi. Bunday tizimlar keng miqyosda tarqalib, tez rivojlanmoqda. Ammo ularning hammasi uchun bir kamchilik xos bo'lib, bu dasturni har bir foydalanuvchilar guruhi uchun moslashtirib borish zarurligidir.

Yangi informatsion texnologiyalarning maqsadi – foydalanuvchining EHM bilan muloqoti jarayonini soddalashtirishni dasturiy ta’minotni doimo moslashtirib bormasdan amalga oshirishdan iboratdir. Bu vositalar foydalanuvchilarga, keyinchalik, o’rganilayotgan soha tushunchalari tizimini mustaqil o’zgartira olish, mavjud tushunchalar tizimidagi ta’riflarga asosan yangilarini ta’riflash imkonini beradi. Foydalanuvchiga o’rganiluvchi sohani o’zining nuqtayi nazaridan ta’riflash masalani yechish jarayonida muhim bo’lgan obyektlarni ajratish, ularning o’zaro bog’liqligini aniqlash va oson xulosa chiqarish imkonini beradi.

Hisoblash texnikasi sohasida maxsus tayyorgarligi bo’lmagan, kasbiy faoliyati sohasida paydo bo’ladigan masalalarni EHMda yordamchi dasturchilarsiz yoki ularning sirdan (oshkormas) yordami bilan yechishda foydalanuvchi uchun kerakli dasturiy va apparat vositalari tizimi *intellektual interfeys (II)* deb ataladi.

Intellektual interfeysning hisoblash texnikasiga qo’llash jarayoni *EHMlarni intellektuallashtirish* deb ataladi. Bunda «intellektual» va «intellektuallashtirish» tushunchalari «intellekt» tushunchasiga nisbatan shartli aniqlangan bo’lib, bir tomondan, hisoblash vositalarining umumiy tizimida intellektual interfeys bajarayotgan vazifalar notrivialligini, boshqa tomondan esa oxirgi vaqtlargacha bu vazifalarni bajarish insonga xos ekanligini ta’kidlaydi.

Intellektual interfeys vositalarini amalga tatbiq qilish bilimlar bilan ishlashning rivojlangan usullariga, ya’ni ularni tavsiflash, saqlash, o’zgartirish va hokazolarga tayanadi.

Bilimlar masalani yechish uchun zarur bo’lgan barcha ma’lumot va tushunchalar majmuyidan iborat bo’lib, ularning tarkibi quyidagilardan iborat:

- 1) yechilayotgan masalaning o’rganilayotgan sohasiga taalluqli tushunchalar tizimi;
- 2) yechilayotgan masalaning formal modellari bilan bog’liq tushunchalar tizimi;
- 3) o’rganilayotgan soha va formal model tushunchalarining mosligi haqidagi ma’lumot;
- 4) o’rganilayotgan sohaning joriy holati haqidagi ma’lumot;
- 5) masalalarni yechish usullari haqidagi ma’lumot.

Bilimlarni tavsiflashning u yoki bu usul va vositalari asosida tashkil qilingan o'rganilayotgan soha haqidagi bilimlar *o'rganilayotgan sohaning modeli* deyiladi.

Bilimlar tizimi shunday tashkil qilinishi kerakki, foydalanuvchining EHM bilan muloqoti o'rganilayotgan soha tushunchalari va atamalari asosida amalga oshiriladigan bo'lsin.

Bilimlarni tavsiflash va intellektual interfeysning ayrim qismlarini yaratish ishlari bo'yicha to'plangan tajriba shuni ko'rsatmoqdaki, foydalanuvchi bilan EHM muloqotini tashkil qilish masalasiga yangicha yondashishni bosqichma-bosqich amalga oshirish dasturiy vositalarini yaratish, kuzatish va ishlatish bo'yicha hamma turdagi ishlarga jiddiy ta'sir qiladi. Shunday qilib, EHMda masalalar yechishning yangi texnologiyasi paydo bo'lganligini ta'kidlash mumkin.

Yangi texnologiyada, yechilayotgan masala turkumiga bog'liq holda, foydalanuvchi va hisoblash tizimi muloqotida almashinayotgan ma'lumotlar mazmunida muvofiqlik ta'minlangan bo'lishi kerak. Bu shuni anglatadiki, yangi texnologiyani qo'llash vositalari foydalanuvchilarga ma'lumotlarni tabiiy holda, ya'ni tabiiy tildagi matnlar, qo'lda chizilgan tasvirlar (shu jumladan, jadvallar, grafiklar, qo'lyozma belgilari), og'zaki xabar, turli matematik ifodalar va yana foydalanuvchining kasbiy dialektidagi boshqa ko'rinishlarda ifodalash imkonini berishi kerak.

Yangi informatsion texnologiyadan foydalanish uchun minimal vaqt sarflanishi zarur. O'rganish vaqti asosan terminal bilan ishlashni: «qanday bilish», «nimani bosish», «qayerga murojaat qilish», «qayerga qarashni» o'zlashtirib olish va tizim imkoniyatlari bilan tanishishga ketishi kerak. Bunda qiyinchilik paydo bo'lganda foydalanuvchiga uni hal qilish uchun tizim yordamini olish imkoniyati berilishi lozim. Shuni ta'kidlash kerakki, bunda gap tasodifiy foydalanuvchi haqida ketyapti. EHMdan doimiy foydalanayotgan foydalanuvchi uchun o'rgatishning kengroq tizimi ishlab chiqilishi, ya'ni yangi informatsion texnologiyada ham «qancha ko'p bilsang, shuncha ko'p olasan» tamoyili saqlanib qolishi kerak.

Yagona inson—mashina tizimi tarkibida foydalanuvchining EHM bilan muloqotini ta'minlaydigan intellektual interfeys quyidagi vazifalarni bajarishi lozim.

1. Foydalanuvchiga, EHMga masalaning yechish dasturini emas, balki faqat masalaning qo'yilish shartini berishni ta'minlash va bunda masalani bir necha bo'lakka bo'lib yechish imkoniyati saqlanishi, bu esa, o'z navbatida, masalani yechishning bilvosita yo'lini oldindan ko'rsatish imkoniyatini berishi zarur.

2. Foydalanuvchiga o'zining kasbiy sohasidagi atama va tushunchalarni ishlatib, masalani yechishning operatsion muhitini mustaqil tashkil qilish imkoniyatini ta'minlashi kerak.

3. Foydalanuvchiga masalani hisoblash tizimi bilan yechish jarayonida almashinayotgan axborotni ifodalashning tabiiy shakllarini ta'minlashi va bu almashinuvda muloqot tashkil etishning o'zi uchun qulay usullarini tanlashi talab qilinadi.

4. Foydalanuvchiga muloqot qilish shaklini o'zgartirish imkoniyatini berishi, mumkin bo'lgan o'zgarishlar tizimi «menyu» tipidagi muloqotni nazarda tutishi, turli so'rovlar asosida ma'lumotlar almashinish imkoni bo'lishi shart.

Tasodifiy foydalanuvchining tayyormasligi sababli muloqot jarayonida yo'l qo'yiladigan xatoliklarga izohlar olish uchun intellektual interfeys tarkibida foydalanuvchiga maslahat beruvchi vositalar bo'lishi lozim.

### **3- §. Intellektual interfeyslarning hisoblash tizimidagi o'rni**

Intellektual interfeys (II) foydalanuvchilarning kompyuter bilan muloqotini (amaliy masalalarni yechish jarayonida) yengillashtiruvchi vosita bo'lib, an'anaviy muloqot vositalaridan quyidagilar bilan farq qiladi:

— II ning muloqot vositalari turli darajadagi malakaga ega bo'lgan foydalanuvchilarga moslashtiriladi, an'anaviy muloqotda esa foydalanuvchilardan hisoblash texnikasi vositalariga moslashuvni, ya'ni ulardan maxsus ko'nikmalarni egallash talab qilinadi;

— II vositalari masalani yechish jarayonida kerakli ma'lumotga ehtiyoj tug'ilganda ham muloqotni ta'minlaydi, an'anaviy usul vositalari esa, asosan, dasturni bajarish jarayoniga qaratilgan;

– II vositalarida muloqot «foydalanuvchi–kompyuter», «kompyuter–foydalanuvchi» tarzida almashinib turishga mo‘ljallangan bo‘lsa, an’anaviy usulda faqat DTni sozlash va bajarish davomida dasturchi bilan muloqotga moslashtirilgan edi.

Bu imkoniyatlar foydalanuvchilarning kompyuter bilan muloqotini dasturchilarsiz, ya’ni bevosita amalga oshirish imkonini beradi. Vositalarning turli-tumanligi IIning samaradorlik darajasini belgilaydi.

Foydalanuvchi deganda, biror o‘rta darajadagi foydalanuvchini emas, balki muloqotni turli darajadagi talablar asosida talab qiluvchilar tushuniladi. Talablar majmuyi har bir individual foydalanuvchining malakasiga (o‘z mutaxassisligi sohasidagi va kompyuter vositalaridan foydalanish darajasiga nisbatan), so‘rovlariga, ko‘nikmalariga, kompyuterga bo‘lgan munosabatiga va h.k.larga bog‘liq. Shu bilan birga, har bir foydalanuvchining malakasiga, talablariga javob beruvchi hisoblash tizimini yaratish qiyin. Shuning uchun II ni yaratishda ikkita yo‘ldan biri tanlanishi kerak:

1) ma’lum sinfdagi foydalanuvchilar talabiga javob beruvchi maxsus tizimni yaratish. Bu tizim ma’lum xususiy hollar uchun muvaffaqiyatli bo‘lishi mumkin, lekin umumiy talabga javob bermaydi;

2) hisoblash tizimining keng ko‘lamdagi masalalar turkumini yechuvchi, lekin ayrim foydalanuvchilarning o‘ziga xos talablariga ham javob berishni amalga oshirish uchun oson moslashtiriladigan bazaviy vositalarini yaratish.

Har bir intellektual vazifani amalga oshirish yuqorida qayd qilingan vositalar majmuyini yaratishga asoslanadi. Hisoblash tizimining tarkibiga yaratilgan vositalar majmuyini kiritish foydalanuvchilarni bir masalalar sinfini yechadigan intellektual interfeys bilan ta’minlaydi. Bunda foydalanuvchiga o‘ziga xos va mos operatsion muhitni hosil qilib olish imkoniyati beriladi.

Ma’lumotlarni qayta ishlashning yangi texnologiyasi masalani yechishning barcha jarayonlarini qamrab oladi. Bu texnologiya masalani yechishning barcha bosqichlarida foydalanuvchilarning muloqot asosida ishtirok etishini ta’minlaydi. Shu bilan birga, u masalani yechishning barcha bosqichlarini yoki «inson–



kompyuter» muloqotining ayrim bo'g'inlarini tashkil qilishda sifat jihatdan yangi talablarga javob berishni ham talab qiladi. Bunday talablarni quyidagicha izohlash mumkin: kompyuterda masalani yechishning an'anaviy texnologiyalarida hisoblash tizimining vazifasi oldindan aniqlangan, aniq ketma-ketlikdagi jarayonlarni bajarishdan iborat edi. Natijalar dasturda ko'rsatilgan amallarning va masalaning shartida ko'rsatilgan parametrlarning qiymatlari funksiyasi sifatida bo'lib, barcha amallarni hisoblash tizimi bajargan.

Yangi texnologiyada esa hisoblash tizimiga faqat masalaning qo'yilishi, kutilayotgan natijalarga qo'yilgan talablarning tavsifi beriladi, bajariladigan amallar tartibi hamda vazifalarni hisoblash tizimining o'zi aniqlaydi. Bunda tashkil qilinadigan «inson—kompyuter» tizimida hisoblash tizimi oldindan ko'rsatilgan amallar ketma-ketligini bajaruvchi passiv holatdan, mavjud bilimlar ustida hisoblash, mantiqiy va qidirish amallarini bajarib, masalaning qo'yilishida belgilangan talablarni bajarish uchun kerak bo'lgan dasturlarni avtomatik tarzda jamlab, yagona dastur holatiga keltiradigan tizimga aylanadi.

#### **4- §. Yangi texnologiyalarda hisoblash tizimini tashkil qilish**

Dasturiy ta'minot yaratishning evolutsion rivojlanishidagi yana bir o'zgarish — ma'lumotni qayta ishlash jarayonining yangicha tashkil qilinishidir. Bu jarayon bilimlarni protseduralar va tavsiflar yordamida EHMda ifodalash usullari, bu usullarning masala muammolarini talqin qilishdagi nisbiy o'rni, ma'lumotlarni qayta ishlashda o'zaro bog'liqligi va roli bilan bevosita bog'liq.

Har qanday dastur biror ma'lumotlar strukturasi (tuzilmasi) ustida bajariladigan amallar ketma-ketligini ifodalovchi protseduradan iboratdir. Ma'lumotlar strukturasi tavsiflovchi bilim bo'lib, muhitni tashkil qiluvchi obyektlar to'g'risidagi ma'lumotlar va ular ustida bajariladigan amallarni ifodalaydi.

Ixtiyoriy protsedura ma'lum bir tavsiflovchi bilimni qayta ishlab, yana yangi tavsifni keltirib chiqaradi. Foydalanuvchi uchun kerakli natijalar ham tavsiflardan iborat bilim ko'rinishida hosil qilib beriladi.

Dasturiy ta'minot evolutsiyasi davomida obyektlarni tavsiflovchi ma'lumotlarni tashkil qilish usullari rivojlanib, tarkibi murakkablashib bormoqda. Ma'lumotlar va ularni qayta ishlovchi dasturlar orasidagi munosabat ham, EHMda axborotlarni qayta ishlash jarayonini tashkil qilishda ularning tutgan o'rni ham o'zgarib bormoqda. Berilgan ma'lumotlarni alohida-alohida elementlar ko'rinishida tavsiflash usulidan vektorlar, massivlar, ro'yxatlar, fayllar yordamida tavsiflash usuliga o'tilmoqda. Masaladagi murakkab obyektlarni tabiiy tavsiflashda esa ko'proq abstrakt ma'lumotlar turi qo'llanilmoqda.

Ayni bir paytda, ma'lumotlarni EHMda qayta ishlash jarayonida berilgan ma'lumotlar va dasturlarning ahamiyati ham o'zgaradi. Ma'lumotni qayta ishlash jarayonida unga nisbatan ikki xil yondashish qo'llaniladi. Birinchi yondashishda masalani yechish jarayonida axborotlarni qayta ishlash dasturni bajarish sifatida qaralib, ikkinchi yondashishda kerakli natijaga erishish deb tushuniladi. Bu ikki xil usul axborotni turlicha tavsiflashdan tashqari, turlicha nazorat va masalani yechish jarayonini turlicha tashkil qilishlar bilan ham farqlanadi.

Yana shuni ham aytib o'tish kerakki, ma'lumotlar va ularni qayta ishlovchi dasturlar orasidagi munosabatning o'zgarishi ma'lumotni dasturning ishlashi uchun kerak bo'lgan oddiy axborot emas, balki o'rganilayotgan soha to'g'risida tavsiflovchi bilimlardan tashkil topgan ma'lumotlar bazasi deb qaralishida namoyon bo'lmoqda. Ma'lumotlar majmuyi va ularni qayta ishlovchi protseduralar juftligi o'rganilayotgan sohani tavsiflovchi ma'lumotlar bazasini tashkil qiladi. Axborotni qayta ishlash jarayonida dastur va ma'lumot orasidagi munosabat ham o'zgarimoqda. Endi biror jarayonga yo'naltirilgan dastur ham, ma'lumot (bilim) hosil qiluvchi dastur ham yaratilmoqda.

Birinchi munosabat, axborotni an'anaviy texnologiya asosida qayta ishlash bo'lib, unda asosiy maqsad — dasturning bajarilish paytida kechadigan holatlarni va o'zgarish jarayonini boshqarishga qaratilgan bo'ladi.

Ikkinchi munosabat, ya'ni yangi texnologiyalarda, asosiy maqsad — axborotni qayta ishlash natijasida yangi ma'lumot (bilim) olishga qaratilgandir.

Yangi texnologiyalarda axborotni qayta ishlash jarayoniga qo'yiladigan talablar quyidagilarni ta'minlashga qaratilgan.

1. Har qanday masalani yechishda, asosiy maqsad, foydalanuvchining so'roviga ko'ra ma'lum bir xususiyatga ega bo'lgan bilimni hosil qilib berish, bunda bilim «buyurtmachi»si va «iste'molchi»si ixtiyoriy foydalanuvchi yoki bilimni qayta ishlovchi dastur bo'lishi mumkin.

2. Agar iste'molchiga umumiy masalaning biror qismini yechish uchun u yoki bu bilim yetishmasa, u tizimga murojaat qiladi. Bir iste'molchi (foydalanuvchi yoki dastur)ga bilimining yetishmasligi tufayli sodir bo'lgan so'rov asosida boshqa dastur (foydalanuvchi) uchun qisman masala sharti paydo bo'ladi.

«Inson—mashina» tizimi mustaqil komponentlardan iborat bo'lib, ularning har biri ikkita vazifani bajaradi:

— tashqi iste'molchining so'rovi asosida paydo bo'lgan qisman masalani yechish;

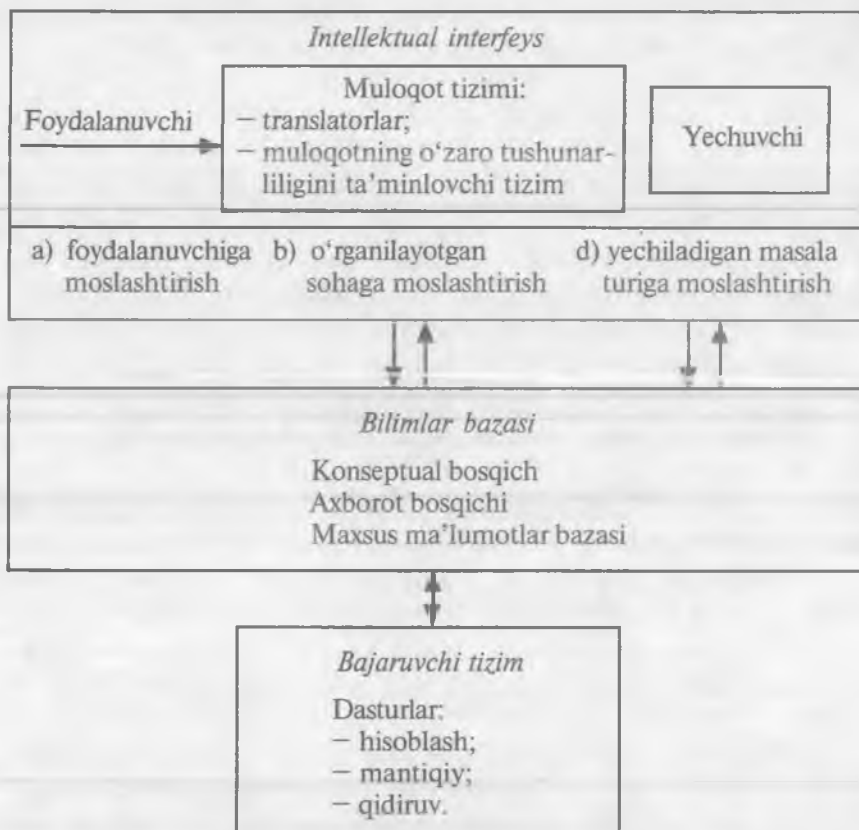
— biror qisman masalani yechish mobaynida ma'lumot yetishmasa, boshqa komponentlarga kerakli so'rov bilan murojaat qilish.

Har bir masalani «inson—mashina» tizimining komponentlari qisman masala sifatida yechadi. Masalani yechish jarayoni komponentlar talablarini bajaradigan qisman jarayonlarga bo'linadi. O'rganilayotgan soha foydalanuvchisining ma'lum bir bilimga ega bo'lishi uchun kerak bo'lgan so'rovi asosida dasturiy tizim ishga tushadi.

3. Masalani yechishning ixtiyoriy vaqtdagi holati hisoblash tizimining bilimlar tizimiga qarab baholanadi. Bilimning protsedurali qismi o'zgarmas bo'lib, tavsiflovchi qismi o'zgarib turadi. Aniq bir jarayonning talabga mos kelmasligi hisoblash tizimining ichki faolligini oshiradi va, mos ravishda, axborotni qayta ishlash rejimini o'zgartirishga olib keladi.

## 5- §. Hisoblash tizimining tarkibiy qismlari

Masalani EHMda yechishning yangi texnologiyasida hisoblash tizimi (HT) quyidagi sxema bo'yicha bog'langan 3 ta hisoblash vositasidan tashkil topgan: bajaruvchi tizim (BT), intellektual interfeys (II) va bilimlar bazasi (BB).



**Bajaruvchi tizim** masalani yechish mobaynida qo'llaniladigan dasturlar va ularning bajarilishini ta'minlaydigan barcha vositalardan iborat. Uning tarkibida hisoblash, bilimlar bazasidan kerakli bilimni qidirish, mantiqiy xulosa chiqarish dasturlari va bu dasturlarning bajarilishini ta'minlovchi apparat vositalari bo'ladi. Apparat vositalari tarkibida hozirgi paytda keng qo'llanilayotganlaridan tashqari, maxsus vositalar ham bo'lishi mumkin.

**Bilimlar bazasi** hisoblash tizimi tarkibidagi barcha vositalar faoliyatini muvofiqlashtirish vazifasini bajaradi. Translatorlar foydalanuvchi va HT orasidagi muloqotni BBdagi bilimlarni

*tavsiflash tili* (BTT) ga tarjima qiladi. Interfeyslar esa BTning dasturiy vositalaridan foydalanib, BTTdagi ifodalarni mos qisman tizim tushunchalariga moslashtiradi.

BB esa HT ning boshqa vositalariga mos tavsiflovchi bilimlarga va ularni qayta ishlovchi protseduralarga ega. Bu bilimlar umumiy ifodalash formati, tavsiflash tili, manipulatsiya qilish sxemasiga ega bo'lib, ular bilimlarni qayta ishlash amallarining HTning barcha bo'g'inlariga mos tarzda bajarilishini ta'minlaydi. BBdagi bilimlar ularni qayta ishlovchi dasturlarga bog'liqmas bo'lib, yagona tizimni tashkil qiladi.

BBdagi bilimlar tizimi o'rganilayotgan sohaning tarkibiy qismlari orasidagi bog'lanishlar va bu bog'lanishlarning o'zgarib turish dinamikasini ifodalaydi. Bu bilimlarning to'liqligi ta'minlangan hamda ulardan yangi bilimlarni keltirib chiqarish imkoniyati bo'lishi kerak. Bilimlar tizimini yaratishda ma'lum masalalar sinfini yechish negizi yaratiladi, aniq bir tatbiq uchun ulardan qanday foydalanish esa alohida masala hisoblanadi.

Bilimlarni ifodalash va ularni yagona tizimga keltirish uchun ikki guruh talablar mavjud. Birinchi guruh talablar an'anaviy texnologiyalar uchun ham, yangi texnologiya uchun ham umumiydir. Bu talablar quyidagilardan iborat:

– barcha yechiladigan masalalar turkumi uchun BTTning ifodalari tushunarli va samarali bo'lishi kerak;

– tanlangan BTT universal va ochiq bo'lishi bilan birga, uni turli xil o'rganiluvchi sohalarga moslashtirish vositalari mavjud bo'lishi kerak.

Ikkinchi guruh talablar, asosan, yangi texnologiyalar uchun xosdir. Bu talablar muammoni BBga bir qiymatli akslantirish zarurligi va akslantirishni amalga oshirishda foydalanuvchilarga tabiiy vositalarning yaratilishidan iborat.

Bir qiymatli akslantirish deganda, o'rganilayotgan sohadagi ixtiyoriy jarayonni BB vositalaridan foydalanib modellashtirish imkoniyati mavjud bo'lishi, tabiiy vositalardan foydalanish deganda esa foydalanuvchining EHM bilan muloqoti tabiiy tilga yaqin tilda amalga oshirilishi tushuniladi.

Yangi texnologiyada BBni ikki bosqichli tizim sifatida tashkil qilish mumkin:

– umumiy bilimlardan va metabilimlardan iborat konseptual (yuqori) bosqich;

– aniq axborotlar va maxsus ma'lumotlar bazasi (quyi bosqich).

Biror soha bilimlarini maxsus atama, belgi va tushunchalar yordamida kompakt (ixcham) ifodalanishi *metabilim* deb aytiladi.

Ma'lumotlar bazasini BB tarkibida yagona tizim sifatida tashkil qilish zamonaviy ma'lumotlarni boshqarish tizimlari (MBBT) yordamida o'rganilayotgan soha obyektlari o'rtasidagi bog'lanishni aniq ma'lumotlar asosida ifodalash imkonini beradi. Aynan shu bog'lanishlar asosida o'rganilayotgan soha to'g'risida ma'lumotlar massivi paydo bo'lib, ularning qiymatlarini aniqlash o'rganilayotgan sohadagi masalani yechishning asosiy mohiyati hisoblanadi. Konseptual bosqichda aniq dalillarning saqlanmasligi, o'rganilayotgan sohadagi umumiy muammo ta'rifini mujassamlashtirib, unga asosan xususiy hollarni aniqlashni ta'minlaydi. Metabilimlar BBning tuzilishi va undagi bilimlarni qayta ishlash usullarini aniqlab, BBni foydalanuvchilarga moslashtirib turilishini ta'minlaydi.

Konseptual bosqichda BTT sifatida maxsus vositalar va tillar qo'llaniladi, quyi bosqich uchun zamonaviy MBBT qo'llaniladi. BTT lar o'z sintaksisi, matnidagi jumlar bilan o'rganilayotgan soha obyektlari o'rtasidagi bog'lanish qoidalari va maxsus so'zlar turkumiga ega.

*Intellektual interfeys* foydalanuvchi va HI bilan muloqotni ta'minlaydigan barcha vositalardan tashkil topadi.

II dagi yechuvchi foydalanuvchi bilan muloqot asosida masalani yechish uchun zarur dasturiy vositalarni avtomatik sintez qilib beradi. Undagi muloqot tizimi esa foydalanuvchining talablarini BBdagi BTTga va aksincha translatsiya qilib beradi.

Dastur sintezi undagi elementar qismning turiga bog'liq ravishda har xil saviyada kechishi mumkin. Elementar qism sifatida biror amal, dasturiy modul, hattoki amaliy dasturlar paketi ham bo'lishi va ularga mos tilda murojaat qilinsa, talab qilingan so'rov yechimi olinishi mumkin.

Masalani yechish uchun boshlang'ich ma'lumot biror bilimni so'rash sifatida bo'lishi, agar so'ralgan bilimni aniqlash uchun ma'lumot yetarli bo'lmasa, qo'shimcha ma'lumotlar talab qilinishi mumkin. BBda har bir dasturning vazifasi va maqsadi to'g'risida axborot mavjud. Yechuvchi kiritilgan so'rovni BBdagi ma'lumotlarga asosan tahlil qilib va bu so'rovga mos dasturlar majmuyini bir butun holatga keltirib, uni bajaradi va mos javobni foydalanuvchiga yetkazadi.

Shunday qilib, yechuvchi HTning bir bo'g'ini bo'lib, u kiritilgan masalani tahlil qiladi, uni qisman masalalarga ajratadi, ularga mos dasturlarni sintez qilib, talab qilingan yechimni beradi. Yechuvchining ish jarayoni translatsiya yoki interpretatsiya rejimida kechishi mumkin. Interpretatsiya rejimida masala bosqichma-bosqich yechiladi va har bir qadamda oldingi qadam natijalaridan foydalaniladi.

Intellektual interfeysning yana bir vazifasi foydalanuvchi va HT orasida muloqotdir, bunda axborotni ifodalashda inson uchun tabiiy bo'lgan shakllari (matnlar, rasmlar, og'zaki), jumladan, ularning turli kombinatsiyalari ishlatilishi mumkin.

Muloqot vositalarini vazifalariga ko'ra, ikki guruhga bo'lish mumkin: translatsiya vositalari va o'zaro tushunishni ta'minlash vositalari.

**Translatsiya vositalari** muloqot jarayonida foydalanuvchi tilidagi so'rovlarni HTdagi bilimlarni tavsiflash tiliga tarjima qiladi va, aksincha. Bunda ular quyidagi talablarni qanoatlantirishi kerak:

a) bu vositalarning minimal tayyorgarlikka ega bo'lgan ommaviy foydalanuvchilarga mo'ljallanganligini hisobga olib, yuz beradigan tushunmovchiliklar, to'siqlar, foydalanuvchining turli xatoliklarini bartaraf qilish imkoniyatining mavjudligi;

b) turli foydalanuvchilar guruhi bilan muloqot rejimini muvofiqlashtirish mumkinligi;

d) bu vositalardan foydalanish jarayonida barcha foydalanuvchilarning talablari o'zgarib turishini e'tiborga olib, HTning ochiq-ligini ta'minlash mumkinligi;

e) turli xil tarkibdagi HT bilan muvofiqligini ta'minlash mumkinligi.

**O'zaro tushunishni ta'minlash vositalari** universal bo'lib, muloqot tiliga ham, o'rganilayotgan soha muhitiga ham bog'liq emas, ammo ularni yaratish va bajarayotgan vazifalarning boshqa vositalarga nisbatan taqsimlanishi ko'p omillarga bog'liq. O'zaro tushunishni ta'minlovchi vositalarning bir qismini intellektual interfeysning turli qismlariga bog'lash maqsadga muvofiq bo'lishi mumkin. Bu vositalar yechuvchi tizim bilan umumiy tizim vositalarining hamjihatligini ta'minlashi kerak.

**Tayanch iboralar:** *EHM, yangi informatsion texnologiya, tashqi va ichki xotiralar, dasturiy ta'minot, foydalanuvchi, dasturchi, yaratuvchi, interfeys, dasturiy protsessor, muloqot jarayoni, matematik model, an'anaviy texnologiya, hisoblash texnikasi, intellektual interfeys, bilimlar bazasi, o'rganilayotgan soha, hisoblash tizimi, kompyuter, interpretatsiya, ma'lumotlar bazasi, bajaruvchi tizim, translatsiya vositalari.*



### **Takrorlash uchun savol va topshiriqlar**

1. EHMda masalalarni yechishda yangi texnologiyaning zarurligini asoslang.
2. Yangi texnologiyaning mohiyati nimalardan iborat?
3. Bilimlar bazasi deganda nimani tushunasiz?
4. Ma'lumotlar bazasi deganda nimani tushunasiz?
5. Intellektual interfeys deb nimani tushunasiz?
6. O'rganilayotgan sohaning modeli nima?
7. Intellektual interfeyslarning hisoblash tizimidagi o'rnini bayon qiling.
8. Intellektual interfeysni yaratishda qanday yo'lni tanlash kerak?
9. Yangi texnologiyada hisoblash tizimini tashkil qilishni aytib bering.
10. Yangi texnologiyada axborotni qayta ishlash jarayoniga qanday talablar qo'yiladi?
11. «Inson—mashina» tizimi qanday vazifalarni bajaradi?
12. Hisoblash tizimining tarkibiy qismlarini tushuntiring.
13. Yangi texnologiyada bilimlar bazasi necha bosqichli bo'ladi?
14. Translatsiya vositalari qanday talablarni qanoatlantirishi kerak?



Mazkur bobda kelgusida bayon etiladigan masalalar uchun zarur bo'ladigan dinamik tizimlar harakatining turg'unligi haqidagi umumiy ma'lumot va tushunchalar keltiriladi [46–47].

### 1- §. Lyapunovning turg'unlik haqidagi teoremlarini birinchi yaqinlashish usuli bo'yicha tadqiq etish

Lyapunov teoremlari toyilmagan harakatning turg'unligini tadqiq etish masalasini ba'zi algebraik tenglamalarning ildizlarini tekshirish masalasiga keltiradi. Toyilgan harakatning differensial tenglamalari

$$\frac{dx_s}{dt} = p_{s1}x_1 + p_{s2}x_2 + \dots + p_{sn}x_n + X_s(x_1, \dots, x_n) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (2.1.1)$$

ko'rinishda berilgan bo'lsin, bu yerda  $X_s(x_1, \dots, x_n)$  funksiya

$$|x_i| \leq H \quad (2.1.2)$$

sohada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  larning darajalari bo'yicha boshlang'ich hadining darajasi ikkidan kam bo'lmaydigan qatorga yoyiladi,  $p_{sk}$  — o'zgarmas sonlar. (2.1.1) tenglamalar sistemasining birinchi yaqinlashish tenglamalari sistemasi

$$\frac{dx_s}{dt} = p_{s1}x_1 + p_{s2}x_2 + \dots + p_{sn}x_n \quad (s = \overline{1, n}) \quad (2.1.3)$$

ko'rinishda, (2.1.3) sistemaning xarakteristik tenglamasi esa

$$a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0 \quad (2.1.4)$$

ko'rinishga ega, bu yerda  $a_j$  lar  $p_{sk}$  koeffitsiyentlarning funksiyalari bo'ladi.

Biz Lyapunovning turg'unlik haqidagi teoremlarini isbotsiz keltiramiz. Teoremlarning isbotini [46] kitobning 161–165- betlaridan topish mumkin.

1-teorema. Agar birinchi yaqinlashish tenglamalari sistemasi xarakteristik tenglamasi barcha ildizlarining haqiqiy qismlari manfiy bo'lsa, u holda toyilgan harakatning differensial tenglamalaridagi yuqori darajali  $X_s$  hadlarning qanday bo'lishidan qat'iy nazar, toyilmagan harakat asimptotik turg'un bo'ladi.

2-teorema. Agar xarakteristik tenglamaning ildizlari orasida hech bo'lmaganda bitta haqiqiy qismi musbat ishorali ildiz mavjud bo'lsa, u holda toyilgan harakatning differensial tenglamalaridagi yuqori darajali hadlarning qanday tanlab olinishidan qat'iy nazar, toyilmagan harakat noturg'un bo'ladi.

1 va 2-teoremalarga mos teskari teoremlar ham isbotlangan.

1'-teorema. Agar  $X_s$  funksiyalarning qanday tanlab olinishidan qat'iy nazar, toyilmagan harakat asimptotik turg'un bo'lsa, u holda birinchi yaqinlashish differensial tenglamalar sistemasi xarakteristik tenglamalari ildizlarining barchasida haqiqiy qismlari manfiy bo'ladi.

2'-teorema. Agar  $X_s$  funksiyalarni qanday tanlab olinishidan qat'iy nazar, toyilmagan harakat noturg'un bo'lsa, u holda birinchi yaqinlashish tenglamalar sistemasi xarakteristik tenglamalarining ildizlari orasida hech bo'lmaganda bittasining haqiqiy qismi musbat bo'ladi.

Lyapunovning ikkala teoremasi amaliyot uchun juda ham muhim ahamiyatga ega, chunki bu teoremlar turg'unlik masalalarini qachon birinchi yaqinlashish tenglamalari asosida tadqiq etish mumkinligini ko'rsatadi. Bu keyingi masala esa sof algebraik masalaga, ya'ni o'zgarmas koeffitsiyentli algebraik tenglama ildizlarining xususiyatlarini tadqiq etish masalasiga keltiriladi.

Shuni ham ta'kidlash kerakki, bu teoremlar yordamida biz Lyapunov funksiyasini topish yoki uni tuzish imkoniyati bilan birga, asimptotik turg'unlik sohasini topish va qaysi vaqt oralig'ida ( $T \leq t \leq \tau$ ) tizim asimptotik turg'un yoki noturg'un bo'lishi mumkin degan masalalarni ham hal qilish imkoniyatiga ega bo'lamiz.

Endi xarakteristik tenglama ildizlari orasida haqiqiy qismi musbat ishoralisi bo'lmagan, ayrimlarining haqiqiy qismi nolga teng bo'lganda, turg'unlik masalasi qanday yechilishini ko'raylik. Eslatib o'tamizki, bu hol uchun birinchi yaqinlashish tenglamalarini tadqiq etish natijasida toyilmagan harakat yoki turg'un (ammo asimptotik turg'un emas), yoki noturg'un bo'ladi.

Toyilgan harakatning nohiziqli differensial tenglamalari uchun bu xulosa o'z kuchini saqlaydimi yoki yo'q degan savolga Lyapunovning quyidagi teoremasi javob beradi.

*3- t e o r e m a . Agar birinchi yaqinlashish tenglamalar sistemasi uchun xarakteristik tenglamalar sistemasi haqiqiy qismi musbat ishorali ildizlarga ega bo'lmasdan, ular orasida haqiqiy qismi nolga teng ildizlari bor bo'lsa, u holda toyilgan harakatning differensial tenglamalaridagi funksiyalarni toyilmagan harakat xohishga ko'ra turg'un yoki noturg'un bo'ladigan qilib tanlab olish mumkin.*

Demak, birinchi yaqinlashish tenglamalari bo'yicha turg'un bo'lgan harakat aslida noturg'un bo'lishi mumkin va, aksincha. Bu holda toyilmagan harakatning turg'un yoki noturg'un bo'lishi toyilgan harakat tenglamalaridagi yuqori darajali  $X_s$  hadlarga to'liq bog'liq ekan.

Shunday qilib, toyilgan harakatning differensial tenglamalari (2.1.1) ko'rinishda bo'lganda, turg'unlik masalalarini tadqiq etishni ikki kategoriyaga bo'lish mumkin:

1) nokritik hol, bu yerda turg'unlik masalalari birinchi yaqinlashish tenglamalari orqali yechiladi;

2) kritik hol, bu yerda turg'unlik masalalarini yechish uchun yuqori tartibli  $X_s$  hadlarni jalb etish lozim bo'ladi. Xarakteristik tenglamaning haqiqiy qismi musbat ishorali ildizlari yo'q va haqiqiy qismi nolga teng bo'lgan ildizlari bor bo'lgandagina kritik hol mavjud bo'ladi. Matematika nuqtayi nazaridan kritik holni bir istisno hol sifatida ko'rish mumkin. Ammo mexanika nuqtayi nazaridan bu hollar juda ham muhimdir.

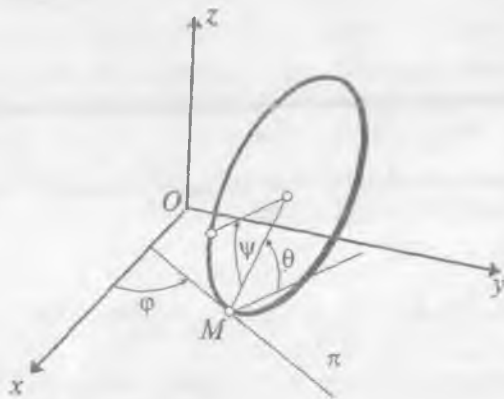
## **2- §. Golonom va nogolonom tizimlar haqida umumiy tushunchalar**

«Golonom tizim» va «nogolonom tizim» atamalarini (tushunchalarini) 1894- yilda G.Gers o'zining vafotidan keyin nashr etilgan mashhur kitobida taklif etgan edi [57].

Ko'p hollarda, tizimning tuzilishi uning ayrim qismlarini ixtiyoriy ravishda harakat qilishiga yo'l bermaydi, ularning harakati va holati qandaydir o'zaro bog'langan bir qator shartlarga bo'ysun-

dirilgan bo'ladi. Bu hollarda mexanikada tizimga bog'lanishlar qo'yilgan deb aytiladi. Bu bog'lanishlarning muayyan ko'rinishi har xil bo'ladi. Tizimdagi ayrim qismlarning mumkin bo'lgan geometrik joylashishini chegaralaydigan bog'lanishlarni *geometrik bog'lanishlar* deb aytamiz. Ayrim bog'lanishlar tizimning kinematik mumkin bo'lgan harakatini, ya'ni tizim ayrim qismlarining tezliklarini chegaralab qo'ydi. Bunday bog'lanishlar *kinematik bog'lanishlar* deb aytiladi. Aniqki, har qanday geometrik bog'lanish biror kinematik bog'lanishni ifodalaydi, ammo aksi bo'lmasligi mumkin, ya'ni tizim ayrim qismlarining mumkin bo'lgan tezliklari orasidagi bog'lanish uning mumkin bo'lgan holatlarini (koordinatalarini) chegaralamasligi mumkin.

Misol sifatida tekislik bo'yicha sirpanmay dumalayotgan diskni ko'rib o'taylik [47]. Koordinata sistemasi  $Oxy$  joylashgan  $\pi$  tekislikda dumalayotgan disk holatini  $x, y, \psi, \varphi, \theta$  umumlashgan koordinatalar bilan aniqlaymiz (2.1- shakl), bu yerda  $x, y$  – diskning tekislik bilan urinish nuqtasi  $M$  ning koordinatalari,  $\psi$  – disk gardishining fiksatsiyalangan (mixlangan) nuqtasidan  $M$  urinish nuqtasigacha bo'lgan burchak (aylanish burchagi),  $\varphi$  –  $Ox$  o'qi bilan diskka  $M$  nuqta orqali o'tkazilgan urinma orasidagi burchak,  $\theta$  – disk tekisligi bilan  $\pi$  tekislik orasidagi burchak (diskning  $\pi$  ga nisbatan og'ish burchagi).



2.1- shakl.

Diskning  $\pi$  tekislik bo'yicha sirpanmay dumalashidan har bir momentda diskning  $\pi$  tekislikka urinadigan nuqtasining tezligi nolga teng bo'lishi kelib chiqadi, ya'ni  $M$  nuqtaning tezligi  $\bar{v} = \bar{\omega} \times \bar{R} = 0$ , bu yerda  $\omega = \dot{\psi}$ ,  $R$  — diskning radiusi. Diskning ixtiyoriy kichik siljishi  $x$ ,  $y$ ,  $\psi$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$  koordinatalarning o'zgarishi bilan tavsiflanadi. Biz ularni  $dx$ ,  $dy$ ,  $d\psi$ ,  $d\varphi$ ,  $d\theta$  bilan belgilaymiz. Radiusi  $R$  ga teng bo'lgan disk sirpanishsiz dumalayotganligi uchun diskning holatini aniqlovchi beshta koordinataning o'zgarishi ixtiyoriy bo'lmaydi va ular doimo ushbu ikkita shartni qanoatlantirishi kerak:

$$\left. \begin{aligned} dx &= R \cos \varphi d\psi, \\ dy &= R \sin \varphi d\psi. \end{aligned} \right\} \quad (2.2.1)$$

Shunday qilib, sirpanishsiz dumalash sharti (2.2.1) tenglamalar sistemasi bilan ifodalanadigan kinematik bog'lanishlardan iborat ekan. (2.2.1) tenglamalarni  $dt$  ga bo'lsak,

$$\dot{x} = R \dot{\psi} \cos \varphi, \quad \dot{y} = R \dot{\psi} \sin \varphi \quad (2.2.2)$$

ni hosil qilamiz. (2.2.2) kinematik bog'lanishlar  $x$ ,  $y$ ,  $\psi$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$  koordinatalarning mumkin bo'lgan qiymatlarini chegaralamaydi.

Demak,

$$f_{\alpha}(q_1, q_2, \dots, q_n, t) = 0 \quad (\alpha = \overline{1, m}) \quad (2.2.3)$$

tenglamalar bilan ifodalanadigan bog'lanishlar *geometrik bog'lanishlar* va

$$f_{\alpha}(q_1, q_2, \dots, q_n; \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n, t) = 0 \quad (\alpha = \overline{1, m}) \quad (2.2.4)$$

tenglamalar bilan ifodalanadigan bog'lanishlar *kinematik bog'lanishlar* bo'ladi, bu yerda  $q_1, q_2, \dots, q_n$  — tizimning umumlashgan koordinatalari,  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$  — umumlashgan tezliklari. (2.2.4) kinematik bog'lanishlar integrallanuvchi va integrallanmaydigan bo'lishi mumkin. Integrallanuvchi kinematik bog'lanishlar aslida geometrik bog'lanishlarning o'zidir.

Integrallanmaydigan kinematik bog'lanishli mexanik tizimlar *nogolonom tizimlar*, geometrik bog'lanishli mexanik tizimlar *golonom tizimlar* deb aytiladi.

Mexanikada uchraydigan nogolonom bog‘lanishlarni, ya’ni integrallanmaydigan kinematik bog‘lanishlarni, odatda, quyidagicha yoziladi (umumlashgan tezliklarga nisbatan chiziqli bog‘langan):

$$A_i(q_1, q_2, \dots, q_n, t) \dot{q}_i + B(q_1, q_2, \dots, q_n, t) = 0 \quad (i = \overline{1, m}). \quad (2.2.5)$$

Bunday bog‘lanishlar *chiziqli nogolonom bog‘lanishlar* deb aytiladi.  $B \equiv 0$  bo‘lganda ular *bir jinsli bog‘lanishlar* deb aytiladi. Agar  $A_i$  va  $B$  larning ifodalariga  $t$  oshkor ko‘rinishida kirmasa, ular  $t$  vaqtga bog‘liq emas deb aytamiz.

$\pi$  tekislik bo‘yicha sirpanmasdan dumalayotgan disk chiziqli bir jinsli, vaqtga bog‘liq bo‘lmagan, integrallanmaydigan kinematik bog‘lanishli nogolonom tizimga misol bo‘la oladi.

### 3- §. Golonom va nogolonom tizimlar harakatining tenglamalari

Nogolonom tizimlar analitik mexanikasini yaratish XIX asrning oxirlarida boshlandi. Hozirgi vaqtda nogolonom tizimlar harakatining turli ko‘rinishdagi tenglamalari mavjud bo‘lib, ularning ayrimlarini keltiramiz.

Dalamber—Lagranj tenglamasi

$$\sum_{k=1}^n \left( \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k \right) \delta q_k = 0 \quad (2.3.1)$$

ko‘rinishda berilgan bo‘lsin, bu yerda  $T$  — tizimning kinetik energiyasi,  $Q_k$  — umumlashgan kuchlar. Tizimda faqat potensial kuchlar mavjud, ya’ni  $Q_k = \frac{\partial U}{\partial q_k}$  bo‘lsa, (2.3.1) ni quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$\sum_{k=1}^n \left( \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} - Q_k \right) \delta q_k = 0, \quad (2.3.2)$$

bu yerda  $L = T + U$  — Lagranj funksiyasi. Shuni ta’kidlaymizki, faqat  $\delta q_k$  variatsiyalar bog‘lanmagan bo‘lganda (bu faqat golonom tizimlar uchun mumkin) (2.3.1) yoki (2.3.2) munosabatlardan bizga ma’lum Lagranj tenglamalarini hosil qilish mumkin:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k \quad (k = \overline{1, n}) \quad (2.3.3)$$

yoki, mos ravishda,

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0 \quad (k = \overline{1, n}). \quad (2.3.4)$$

(2.3.3) yoki (2.3.4) golonom tizimlarning harakat tenglamalaridir.

Nogolonom tizimlar uchun (2.3.1) munosabatdan harakatning Lagranj formasidagi tenglamalarini hosil qilish mumkin emas, chunki istalgan  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatalar uchun  $\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_n$  variatsiyalar bog'langan bo'ladi.

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} \bar{q}_k + a_{i0} = 0 \quad (i = \overline{1, n-m}); \quad (2.3.5)$$

nogolonom bog'lanishlar uchun umumlashgan koordinatalar variatsiyasi  $n - m$  ta

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} \delta q_k = 0 \quad (i = \overline{1, n-m}) \quad (2.3.6)$$

chiziqli bir jinsli tenglamani qanoatlantiradi. (2.3.1) munosabatdan harakatning differensial tenglamalariga o'tish uchun yo aniqmas ko'paytuvchilar usulidan (Lagranj ko'paytuvchilari), yoki bog'langan variatsiyalardan qutulish, ya'ni ularni biror  $m$  ta bog'lanmagan variatsiya orqali ifodalashdan foydalanish kerak. Birinchi holda biz  $n$  ta differensial tenglama sistemasiga kelamiz. Bu sistema izlanayotgan  $q_1, q_2, \dots, q_n$  funksiyalardan tashqari yana  $n - m$  ta noma'lum ko'paytuvchini o'z ichiga oladi. (2.3.5) bilan birgalikda bu tenglamalar  $2n - m$  ta noma'lum uchun  $2n - m$  ta to'liq tenglama sistemasini hosil qiladi. Ikkinchi holda biz  $m$  ta tenglamaga ega bo'lamiz va ular (2.3.5) bilan birgalikda to'liq sistemani tashkil qiladi. Bu differensial tenglamalarni integrallash ko'rilayotgan mexanik tizimning boshlang'ich holatidan boshlanadigan harakatini topishga imkon beradi. Bundan tashqari, birinchi holda bir vaqtning o'zida tizimga qo'yilgan bog'lanishlarning reaksiya kuchlarini ham topamiz.

Endi (2.3.6) tenglamalarning har birini, umuman aytganda, noldan farqli biror  $\lambda_i$  miqdorga ko'paytirib, hosil bo'lgan barcha ifodalarni qo'shamiz. (2.3.1) Dalamber–Lagranj tenglamalariga nolga teng bo'lgan

$$\sum_{i=1}^{n-m} \sum_{k=1}^n \lambda_i a_{ik} \delta q_k \quad (2.3.7)$$

yig'indini qo'shib, (2.3.1) ga ekvivalent

$$\sum_{j=1}^n \left( \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k - \sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik} \right) \delta q_k = 0 \quad (2.3.8)$$

tenglamani hosil qilamiz. Bu tenglamada  $\lambda_i$  Lagranj ko'paytuvchilari yangi qo'shimcha o'zgaruvchilar bo'ladi. (2.3.6) tenglamalar chiziqli bog'lanmagan, ya'ni  $\|a_{ik}\|$  matritsaning rangi  $n - m$  ga teng bo'lganligi uchun uning minorlaridan bittasi noldan farqli bo'ladi. Aniqlik uchun

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1, n-m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-m, 1} & \dots & \dots & a_{n-m, n-m} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (2.3.9)$$

deylik. Umumlashgan koordinatalarning  $\delta q_{n-m+1}, \dots, \delta q_n$  variatsiyalarini ixtiyoriy deb qarash mumkin, chunki (2.3.6) tenglamalar sistemasi bu variatsiyalarning istalgan qiymatlari va qolgan  $\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_{n-m}$  variatsiyalarning aniq qiymatlari uchun bajariladi.

Endi  $\lambda_i$  Lagranj ko'paytuvchilarini shunday tanlab olamizki, (2.3.8) munosabatdagi bog'langan  $\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_{n-m}$  variatsiyalar oldidagi qavs ichida turgan ifodalar nolga teng bo'lsin.  $\lambda_i$  larni bunday tanlash mumkin, chunki ushbu

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k - \sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik} = 0 \quad (k = \overline{1, n-m})$$

$n - m$  ta chiziqli tenglama sistemasiga nisbatan ((2.3.9) munosabatga asosan) yechiluvchidir. Ammo tanlab olingan  $\lambda_i$  lar uchun (2.3.8) tenglama quyidagi ifodaga aylanadi:



$$\sum_{k=n-m+1}^n \left( \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k - \sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik} \right) \delta q_k = 0,$$

bu yerda  $\delta q_{n-m+1}, \dots, \delta q_n$  – bog‘lanmagan variatsiyalardir, shuning uchun barcha qavslar nolga teng bo‘lishi kerak.

Shunday qilib, biz harakatning Lagranj ko‘paytuvchili tenglamasiga keldik:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k + \sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik} \quad (k = \overline{1, n}). \quad (2.3.10)$$

Bu tenglamalar (2.3.5) bog‘lanishlar tenglamalari bilan birgalikda  $2n - m$  ta noma‘lum  $q_k$  va  $\lambda_i$  funksiyalarga nisbatan  $n + (n - m) =$

$= 2n - m$  ta to‘liq tenglama sistemasini tashkil qiladi.  $\sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik}$  ifoda oddiy mexanik ma‘noga ega – bular nogolonom bog‘lanishlarning umumlashgan reaksiya kuchlari. Haqiqatan ham,  $R_k$  – umumlashgan reaksiya kuchlari bo‘lsa, u holda nogolonom tizimning harakati xuddi  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatalar,  $T$  kinetik energiyasi va  $Q_k + R_k$  umumlashgan kuchlari bo‘lgan golonom tizimning harakatidek bo‘ladi, ya‘ni nogolonom tizimning harakat tenglamasini

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k + R_k \quad (k = \overline{1, n})$$

ko‘rinishda yozish mumkin. Bu tenglamalarni (2.3.10) tenglamalar bilan solishtirsak,

$$R_k = \sum_{i=1}^{n-m} \lambda_i a_{ik} \quad (2.3.11)$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

E.T. Uitteker nogolonom tizimlar uchun (2.3.10) ko‘rinishdagi tenglamalarni birinchi bo‘lib Ferrer tuzgan, deb aytadi [61]. E.J. Raus ham shu turdagi tenglamalardan foydalangan [35, 58–60].

1899- yilda P.Appel golonom va nogolonom tizimlar harakat tenglamalarining yangi ko‘rinishini tavsiya etdi [55]. U Lagranj tenglamalaridagi  $T$  kinetik energiyaga o‘xshaydigan yangi  $S$  funksiya

kiritti. Bu funksiyani keyinchalik *tezlanish funksiyasi* deb atadilar. Golonom tizimlarda  $T$  kinetik energiya qanday tizimning dinamikasini tavsiflasi,  $S$  funksiya nogolonom tizim dinamikasini xuddi shunday to'liq tavsiflaydi. O'zining ko'rinishi bo'yicha, Appel tenglamalari garchi sodda bo'lsa ham, muayyan masalalarni qarashda  $S$  funksiyani tuzish  $T$  kinetik energiyani topishga nisbatan og'irroqdir.

Nogolonom tizimga quyidagi chiziqli bog'lanishlar qo'yilgan bo'lsin:

$$\ddot{q}_\alpha = \sum_{i=1}^{n-m} b_{\alpha i}(q_i, t) \dot{q}_i + b_\alpha(q, t) \quad (\alpha = \overline{n-m+1, n}). \quad (2.3.12)$$

Bu tenglama (2.3.5) yoki (2.3.6) ni  $\ddot{q}_\alpha$  ga nisbatan yechish yo'li bilan hosil qilinadi va ularga ekvivalentdir.

Appel tenglamasi

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{q}_i} = Q_i^*, \quad Q_i^* = Q_i + \sum_{\alpha=n-m+1}^n Q_\alpha b_{\alpha i} \quad (i = \overline{1, n-m}) \quad (2.3.13)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda  $S = S(\ddot{q}_i, \dot{q}_i, q_s, t)$  — tezlanish energiyasi. (2.3.13) tenglamalar bog'lanishlarning (2.3.7) tenglamalari bilan birgalikda  $n-m$  ta ikkinchi tartibli tenglama va  $m$  ta birinchi tartibli tenglamaning to'liq sistemasini tashkil qiladi va  $n$  ta noma'lum  $q_s$  o'zgaruvchilarni topishga imkoniyat yaratadi.

S.A. Chaplignin ko'rsatdiki, ko'pgina konservativ nogolonom tizimlarda

$$q_1, q_2, \dots, q_m, q_{m+1}, \dots, q_n$$

umumlashgan koordinatalarni,  $m$  ta birinchi koordinata variatsiyalarini bog'lanmagan deb qabul qilib, shunday tanlab olish mumkin-ki, qolgan  $n-m$  ta  $q_{m+1}, \dots, q_n$  koordinata kinematik integrallanmaydigan

$$\ddot{q}_{m+k} = \sum_{s=1}^m b_{s, m+k} \dot{q}_s \quad (k = \overline{1, n-m}) \quad (2.3.14)$$

bog'lanishlarning  $b_{s, m+k}$  koeffitsiyentlari ifodasiga ham, (2.3.14) bog'lanishlarni hisobga olmay tuzilgan  $L$  Lagranj funksiyasining

ifodasiga ham kirmaydi. Bunday sistemalar Chaplign sistemalari deb ataladi va, shunisi yaxshiki, ular uchun harakatning dinamik tenglamalarini integrallanmaydigan kinematik bog'lanishlardan ajratib olish mumkin.

S.A.Chaplign tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T^*}{\partial \dot{q}_s} - \frac{\partial T^*}{\partial q_s} + \sum_{k=1}^{n-m} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_{m+k}} \left[ \sum_{r=1}^m \left( \frac{\partial b_{r,m+k}}{\partial q_s} - \frac{\partial b_{s,m+k}}{\partial q_r} \right) \dot{q}_r \right] = Q_s, \quad (s = \overline{1, m}). \quad (2.3.15)$$

Bu yerda yulduzcha orqali, ifodasidan (2.3.14) bog'lanish tenglamalaridan foydalanib, bog'langan deb qaralayotgan umumlashgan  $\dot{q}_{m+1}, \dot{q}_{m+2}, \dots, \dot{q}_n$  tezliklar chiqarib tashlangan ifodalarni tushunamiz (masalan,  $T^*$  ning ifodasida  $\dot{q}_{m+1}, \dot{q}_{m+2}, \dots, \dot{q}_n$  umumlashgan tezliklar qatnashmaydi.). Bu ilmiy natijani Chaplign 1895- yili tabiatshunoslar jamiyatida ma'ruza qilgan va mazkur jamiyatning jurnalida 1897- yili nashr ettirgan [52].

1901- yilda P.V. Vorones

$$\dot{q}_{m+y} = a_{yi} \dot{q}_i, \quad (i = \overline{1, m}; y = \overline{1, k}) \quad (2.3.16)$$

integrallanmaydigan kinematik bog'lanishlar bilan bog'langan ushbu nogolonom tizimlarning harakat tenglamalarini tavsifiya etdi [5]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \Theta}{\partial q_i} = \frac{\partial(\Theta+U)}{\partial q_i} + \sum_{y=1}^k \frac{\partial(\Theta+U)}{\partial q_{m+y}} \alpha_{yi} + \sum_{y=1}^k \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_{m+y}} \beta_{ij}^y \dot{q}_i, \quad (2.3.17)$$

bu yerda

$$\beta_{ij}^y = \frac{\partial \alpha_{yi}}{\partial q_j} + \sum_{\mu=1}^k \frac{\partial \alpha_{y\mu}}{\partial q_{m+\mu}} - \frac{\partial \alpha_{y\mu}}{\partial q_i} - \sum_{\mu=1}^k \frac{\partial \alpha_{y\mu}}{\partial q_{m+\mu}} \alpha_{\mu i}, \quad (2.3.18)$$

$$T(t, q_1, \dots, q_{m+k}, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_{m+k}) = Q(t, q_1, \dots, q_{m+k}, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_m),$$

bunda  $T$  ning ifodasidagi  $\dot{q}_{m+y}$  lar o'rniga ifodasini (2.3.16) dan keltirib qo'yganimizda  $\Theta$  funksiya hosil bo'ladi.

Xususiyl holda, agar chiqarib tashlangan umumlashgan tezliklarga mos keluvchi  $q_{m+1}, q_{m+2}, \dots, q_{m+k} = q_n$  umumlashgan koordinatalar kinetik energiya, potensial energiya  $P = -U$  va nogolonom bog'lanishlar ifodalariga kirmasa, u holda (2.3.17) Vorones tengla-

o'rganilar edi. Avtomobil, mototsikl, samolyot shassilari va temir yo'l vagonlariga doir bo'lgan dolzarb turg'unlik masalalari real g'ildirakning dumalash shartlarini va tayanch tekislik tomonidan unga ta'sir etadigan reaksiya kuchlarini o'rganish va tadqiq etish masalasini kun tartibiga qo'ydi.

Neymark va Fufayev g'ildirakning dumalashida unga qo'yiladigan bog'lanishlar (M.V. Keldish tomonidan yaratilgan) ideal bog'lanishlar ekanligini va shunday bog'lanishga ega bo'lgan tizimlarga nogolonom tizimlarning harakat tenglamalarini qo'llash mumkinligini ko'rsatdilar [29]. Ular  $m$  ta shinali g'ildirakka ega bo'lgan ekipajning o'zgarmas tezlik bilan to'g'ri chiziqli harakatining differensial tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega ekanligini aniqladilar:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + R_j, \quad (2.3.20)$$

$$\begin{aligned} \ddot{x}_i + \dot{\xi}_i + V\theta_i + V\varphi_i &= 0, \\ \ddot{\theta}_i + \ddot{\varphi}_i - \alpha_i V \dot{\xi}_i + \beta_i V \dot{\varphi}_i + \gamma_i V \dot{\chi}_i &= 0, \end{aligned} \quad (2.3.21)$$

$(i = 1, m; j = 1, n; m < n),$

bu yerda  $T = T(q, \dot{q}, t)$  – ekipajning kinetik energiyasi,  $Q_j$  – deformatsiyalangan pnevmatikaning reaksiya kuchlari hisobga olinmagan holdagi umumlashgan kuchlar,  $R_j$  – pnevmatikalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan umumlashgan reaksiya kuchlari bo'lib, quyidagiga teng:

$$R_j = \sum_{i=1}^m \left( F_i \frac{\partial x_i}{\partial q_j} + M_{\chi_i} \frac{\partial \chi_i}{\partial q_j} + M_{\theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial q_j} \right), \quad (2.3.22)$$

bunda

$$F_i = a_i \xi_i + \sigma_i N_i \chi_i, \quad M_{\chi_i} = -\sigma_i N_i \xi_i - \rho_i N_i \chi_i, \quad M_{\theta_i} = b_i \varphi_i, \quad (2.3.23)$$

bu yerda:  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  –  $i$  raqamli shining kinematik parametrlari,  $a_i, b_i, \sigma_i, \rho_i$  –  $i$  raqamli shining elastiklik koeffitsiyentlari. Keyinchalik, bu tenglamalar ekipajning egri chiziqli harakatiga tatbiq etildi [32].

(2.3.20) va (2.3.21) tenglamalar sistemasining tartibi  $2(m+n)$  ikki holda kamayadi.

1. Agarda ekipaj yetarlicha katta tezlikda to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan bo'lsa, u holda ekipaj g'ildiraklariga ta'sir etayotgan  $F_i$  reaksiya kuchlari va  $M_{\theta_i}$ ,  $M_{\chi_i}$  momentlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} F_i &= -\frac{a_{1i}}{V} \dot{\theta}_i - a_{2i} \theta_i + \frac{a_{2i}}{V} \dot{x}_i + a_{3i} \chi_i, \\ M_{\theta_i} &= -\frac{b_i}{V} x_i - b_i \theta_i, \\ M_{\chi_i} &= \frac{b_{1i}}{V} \theta_i + b_{2i} \theta_i + \frac{b_{2i}}{V} \dot{x}_i - b_{3i} \chi_i \end{aligned} \quad (2.3.24)$$

hamda harakatning (2.3.20) va (2.3.21) matematik modelidan (2.3.21) tenglamalar tashlab yuboriladi. Natijada ekipajning to'g'ri chiziqli harakati differensial tenglamalarining tartibi  $2n$  ga teng bo'ladi.

2. Agar ekipaj g'ildiraklari  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$  kinematik parametrlarining qiymati yetarlicha katta bo'lsa, u holda (2.3.21) tenglamalar

$$\dot{x}_i + \dot{\xi}_i + V\theta_i + \eta_{1i} V \xi_i - \eta_{2i} V \chi_i = 0 \quad (i = \overline{1, m}) \quad (2.3.25)$$

ko'rinishda bo'ladi va g'ildiraklariga ta'sir etayotgan (2.3.23) reaksiya kuchlari va momentlari quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} F_i &= a_i \xi_i + \sigma_i N_i \chi_i; \quad M_{\theta_i} = \eta_{1i} b_i \xi_i - \eta_{2i} b_i \chi_i; \\ M_{\chi_i} &= -\sigma_i N_i \xi_i - \rho_i N_i \chi_i. \end{aligned} \quad (2.3.26)$$

Bu holda ekipajning to'g'ri chiziqli harakati differensial tenglamalarining tartibi  $2n + m$  ga teng bo'ladi.

#### 4- §. Nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligi

Nogolonom tizimlarga bag'ishlangan ilmiy ishlar ko'p ekanligiga qaramasdan ularning turg'unligiga taalluqli ishlar juda ham ozdir. Nogolonom tizimlarning kichik tebranishlari va turg'unligi

masalalari bilan Y. Uitteker, O. Bottema, M.A. Ayzerman, F.R. Gantmaxer, A.N. Obmorshev, N.A. Fufayev, Y.I. Neymark, V.V. Rummyanov, N.G. Chetayev, I.V. Nikolenko, A.V. Karapetyan, G.N. Knyazev, A.Y. Krasinskiy, I.S. Yemelyanova va boshqalar shug'ullanganlar. Ammo ularning ishlaridagi turg'unlikni tadqiq etish usullari bir-biri bilan mos kelmas edi. Ma'lumki, muvozanat holati atrofida potensial energiya umumlashgan koordinatalarning bir jinsli kvadratik formasi bo'ladi deb faraz qilib, Uitteker chiziqli nogolonom bog'lanishlarni integralladi. Buning natijasida Uitteker nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligini tekshirish masalasini bog'lanmagan umumlashgan koordinatalari nogolonom bog'lanishlar soniga qadar kamaytirilgan nogolonom tizimlar masalasiga aylantirdi [61]. Bottema [56] birinchi bo'lib Uitteker mulohazalarining mantiqqa zidligini payqadi. U aniq misolda nogolonom tizimlar differensial tenglamalarining xarakteristik determinanti umumiy holda nosimmetrik ekanligini va xarakteristik tenglamasi nogolonom bog'lanishlar sonidan kam bo'lmagan nol ildizlarga ega ekanligini ko'rsatdi. Shu sababli Bottema bu yerda turg'unlik nazariyasining kritik holi mavjud deb aytadi. Shuning uchun ham Bottema nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unlik masalasi hozircha ochiq qoladi degan xulosaga keldi, chunki ungacha ixtiyoriy sonda nolinch ildizga ega bo'lgan xarakteristik tenglamali tizimlar uchun turg'unlik shartlari ishlab chiqilmagan edi.

Keyinchalik, A.I. Kuxtenko, A.N. Obmorshev [34], I.V. Nikolenko [33] ishlarida nogolonom tizimlar toyilgan harakatining chiziqlashtirilgan differensial tenglamalari va ularga mos xarakteristik determinantlari keltirilgan va bu determinantlar umumiy holda simmetrik emasligi ko'rsatilgan.

M.A. Ayzerman va F.R. Gantmaxer Bottema tadqiq etgan masalani oxirigacha yechish mumkin ekanligini ko'rsatdilar. Ular bu masalani A.M. Lyapunov va I.G. Malkin to'liq tadqiq etgan turg'unlikning maxsus holiga kelishini ko'rsatdilar. Ular nogolonom tizimlar uchun ushbu teoremani isbot etdilar.

*Teorema. Agar toyilgan harakat xarakteristik tenglamasi-ning, nolga teng bo'lgan ildizlaridan tashqari, nogolonom bog'la-*

*nishlar soniga teng bo'lgan muvozanat holatlari sirti atrofidagi barcha ildizlari chap yarim tekislikda yotsa, u holda tizimning muvozanat holati turg'un (ammo asimptotik turg'un emas) bo'ladi. Shu bilan toyilmagan harakatga yetarli yaqin bo'lgan har qanday toyilgan harakat  $t \rightarrow \infty$  da muvozanat holatlari sirtining biror nuqtasiga intiladi.*

Bu natijaga asoslanib, G.N. Knyazev [15] nogolonom bog'lanishlar sonidan xarakteristik tenglamaning nolga teng bo'lgan ildizlarining soni katta bo'lgan holni faqat kritik hol deb atashni tavsiya etadi. O'zining ishida u xarakteristik tenglamaning nolga teng bo'lgan ildizlari soni nogolonom bog'lanishlar sonidan bittaga ortiq bo'lgan holni tadqiq etdi. A.N. Obmorshev umumiy holda nogolonom tizimlar kichik tebranishlarining muvozanat holati atrofida chiziqlashtirilgan differensial tenglamalarini va Chaplign tizimi uchun statsionar harakatga nisbatan tebranishlar tenglamasini tuzdi. Nolga teng bo'lgan ildizlar masalasi haqida u Bottema nogolonom bog'lanishlarning chiziqlashtirilgan tenglamalarini integrallanmaganligi natijasida xarakteristik tenglamaning nolga teng bo'lgan ildizlarini olgan degan mulohazani bildirdi.

Keltirilgan adabiyotlar ro'yxatidan ko'rinib turibdiki, nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligini tadqiq etishda nafaqat yagona yondashish yo'qligi, balki tadqiq etish usullari ham bir-biriga zid ekanligi ma'lum bo'lyapti. Haqiqatan ham, agar Uitteker chiziqlashtirilgan nogolonom bog'lanishlarni integrallab, to'g'ri ish qilgan bo'lsa, u holda bu ishni qilmagan va natijada nolinch ildizlarga ega bo'lgan Bottema nohaq. Agar Bottema haq bo'lsa, u holda Uitteker nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligini tadqiq etishda prinsipial xatolikka yo'l qo'yan. Ammo u vaqtda nolga teng bo'lgan ildizlar tabiatini tushuntirishda noaniqlik paydo bo'ladi: Bottema, Ayzerman va Gantmaxer nolga teng bo'lgan ildizlarning paydo bo'lishini Lyapunov ma'nosidagi kritik hol bilan bog'layaptilar. Knyazev bu holatni kritik hol deb hisoblamayapti, Obmorshev bo'lsa, nolga teng bo'lgan ildizlarning paydo bo'lishini tushunmaslik sifatida ifodalaydi, agar chiziqlashtirilgan nogolonom bog'lanishlarni integrallaganda, ular paydo bo'lmasdi deb tushuntiradi.

1965–1967- yillar davomida Y.I.Neymark va N.A.Fufayev [29–31] **nogolonom** tizimlar muvozanat holatini tadqiq etish masalasi **golonom** tizimlarning muvozanat holatini tadqiq etish masalasidan butunlay farq qiladigan va o'ziga xos xususiyatga ega bo'lgan masala ekanligini ko'rsatdilar. Nogolonom tizimda muvozanat holati yakkalangan holda bo'lmasligini (golonom tizimda yakkalangan holda bo'ladi) va ularning o'lchami nogolonom bog'lanishlar soniga teng bo'lgan ko'p xillikni tashkil qilishini ko'rsatdilar. Nogolonom tizimning bu xususiyati xarakteristik tenglamada nolga teng bo'lgan ildizlarning paydo bo'lishiga sababdir.

Golonom va nogolonom tizimlarning statsionar harakatini tadqiq etishda xuddi ana shunday holatga duch kelamiz. Biz bu yerda Y.I. Neymark va N.A. Fufayev erishgan ayrim natijalarni bayon etamiz [24–27, 29–32].

**4.1. Kichik tebranishlar tenglamasini tuzish. Koeffitsiyentlar matritsasining xususiyati. Umumiy nazariyani tatbiq etish mumkinligi. Olinadigan natijalarning ma'nosi.** Nogolonom tizimlarning muvozanat holati atrofidagi kichik tebranishlarini o'rganishda kichik tebranishlar nazariyasidagi odatiy yondashishdan foydalanish mumkin. Bu yondashish nogolonom tizimlarga xos bo'lgan xususiyatlarni ochishga imkoniyat yaratadi.

Konfiguratsiyasi  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatalar bilan aniqlanadigan tizimning harakati  $m$  ( $m < n$ ) ta

$$\omega_{ik}(q_1, q_2, \dots, q_n)\dot{q}_k = 0 \quad (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}) \quad (2.4.1)$$

nogolonom bog'lanishga bo'ysungan deb faraz qilamiz. Potensial va  $F$  dissipativ kuchlar ta'sir etayotgan nogolonom tizim harakatini ifodalovchi tenglamalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = -\lambda_i \omega_{ij} - \frac{\partial F}{\partial q_j} \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}), \quad (2.4.2)$$

bu yerda  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  – noma'lum Lagranj ko'paytuvchilari.

(2.4.1) va (2.4.2) tenglamalar  $n + m$  ta  $q_1, q_2, \dots, q_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  noma'lum o'zgaruvchini vaqtning funksiyasi sifatida aniqlashga imkon beradi.  $q_1 = q_2 = \dots = q_n = 0$  nuqta tizimning muvozanat holati deb faraz qilaylik. (2.4.1) va (2.4.2) tenglamalardan ko'rinib turibdiki, muvozanat holatida



$$\frac{\partial V(0, \dots, 0)}{\partial q_j} + \lambda_i \omega_{ij}(0, \dots, 0) = 0 \quad (2.4.3)$$

munosabat bajariladi, bu yerda  $V(q_1, q_2, \dots, q_n)$  – tizimning potentsial energiyasi. (2.4.3) ga asosan, nogolonom tizimlarning muvozanat holatida

$\frac{\partial V}{\partial q_k}$  miqdor, umuman, nolga teng emas (golonom tizimlarda nolga teng). Demak,  $V(q_1, q_2, \dots, q_n)$  funksiyaning muvozanat holati atrofida qatorga yoyilmasida chiziqqli hadlar ham mavjud:

$$V = V(0, \dots, 0) + \sum_{k=1}^n c_k q_k + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} q_i q_j + \dots, \quad (2.4.4)$$

bu yerda

$$c_k = \left( \frac{\partial V}{\partial q_k} \right)_0, \quad c_{ij} = \left( \frac{\partial^2 V}{\partial q_i \partial q_j} \right)_0$$

$T$  va  $F$  funksiyalar  $q_1, \dots, q_n, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n$  larning kichik qiymatlari uchun, xuddi golonom tizimlardagidek, umumlashgan  $\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n$  tezliklarning o'zgarmas koeffitsiyentli kvadratik formasidan iborat:

$$2T = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ik} \dot{q}_i \dot{q}_k, \quad 2F = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n b_{ik} \dot{q}_i \dot{q}_k, \quad (2.4.5)$$

bunda

$$a_{ik} = a_{ki} = \left( \frac{\partial^2 T}{\partial q_i \partial q_k} \right)_0, \quad b_{ik} = b_{ki} = \left( \frac{\partial^2 F}{\partial q_i \partial q_k} \right)_0$$

$\lambda_i \omega_{ij}$  hadlarni chiziqlashtirganimizda

$\lambda_i \omega_{ij} = (\lambda_i^0 + \lambda_i^1)(\omega_{ij}^0 + \omega_{ij}^k q_k + \dots) = \lambda_i^0 \omega_{ij}^0 + \lambda_i^1 \omega_{ij}^k q_k + \lambda_i^1 \omega_{ij}^0 + \dots$   
hosil bo'ladi, bu yerda

$$\omega_{ij}^0 = \omega_{ij}(0, 0, \dots, 0), \quad \omega_{ij}^k = \left( \frac{\partial \omega_{ij}}{\partial q_k} \right)_0, \quad (2.4.6)$$

$\lambda_i^0$  – aniqlamas  $\lambda_i$  ko'paytuvchilar tizimining muvozanat holatidagi qiymatlari.

(2.4.4)–(2.4.6) ifodalarni (2.4.2) ga qo‘yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$a_{jk}\ddot{q}_k + b_{jk}\dot{q}_k + c_{jk}q_k + c_j = -\lambda_i^0\omega_{ij}^0 - \lambda_i^0\omega_{ij}^k q_k - \lambda_i^0\omega_{ij}^0. \quad (2.4.7)$$

(2.4.3) ga asosan  $c_j = -\lambda_i^0\omega_{ij}^0$ . Bu ifodani (2.4.7) ga qo‘ysak,

$$a_{jk}\ddot{q}_k + b_{jk}\dot{q}_k + (c_{jk} + \lambda_i^0\omega_{ij}^k)q_k + \lambda_i^0\omega_{ij}^0 = 0 \quad (2.4.8)$$

kelib chiqadi. Bu tenglamalarga chiziqshastirilgan nogolonom

$$\omega_{ij}^0\dot{q}_k = 0 \quad (2.4.9)$$

bog‘lanishlarni qo‘shish kerak.

(2.4.8) va (2.4.9) tenglamalar nogolonom tizimlarning  $q_1 = q_2 = \dots = q_n = 0$  muvozanat holat atrofidagi kichik tebranishlar tenglamalari deb ataladi. Bular aniqmas  $n + m$  ta  $q_1, q_2, \dots, q_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  o‘zgaruvchilarga nisbatan  $n + m$  ta o‘zgarmas koeffitsiyentli chiziqli differensial tenglamalarni tashkil qiladi. Bu tenglamalarga

$$q_k = c_k e^{pt}, \quad \lambda_i = d_i e^{pt}$$

ko‘rinishdagi yechimlarni qo‘ysak,

$$p^m \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} & \omega_{11}^0 & \omega_{21}^0 & \dots & \omega_{m1}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} & \omega_{1n}^0 & \omega_{2n}^0 & \dots & \omega_{mn}^0 \\ \omega_{11}^0 & \omega_{12}^0 & \dots & \omega_{1n}^0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{m1}^0 & \omega_{m2}^0 & \dots & \omega_{mn}^0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.4.10)$$

xarakteristik tenglamaga kelamiz, bu yerda

$$P_{jk} = a_{jk}p^2 + b_{jk}p + c_{jk} + \lambda_i^0\omega_{ij}^k.$$

(2.4.10) xarakteristik tenglamaning ko‘rinishidan quyidagilar kelib chiqadi:

- 1) xarakteristik tenglamaning kamida  $m$  ta ildizi nolga teng;
- 2) (2.4.10) tenglama koeffitsiyentlarining matritsasi simmetrik emas (golonom tizimlarda simmetrik bo‘ladi).

Xarakteristik tenglamaning Bottema tomonidan birinchi bo'lib aniqlangan bu xususiyatlari nogolonom tizimning o'ziga xos xususiyatlaridandir.

Nogolonom tizimning kichik tebranishlarini (2.4.8) va (2.4.9) chiziqli differensial tenglamalarga asoslanib tadqiq etish golonom tizim chiziqli differensial tenglamalarini tadqiq etishdan deyarli hech farq qilmaydi. Xuddi golonom tizimlardagi singari vaqt bo'yicha o'sadigan yechimlar mavjud bo'lganda tadqiqotning natijalari faqat chekli vaqt oralig'ida to'g'ri bo'ladi.

Bu ma'noda kichik tebranishlar nazariyasining qoidalari nogolonom tizimlarga butunligicha o'tadi. (2.4.8) va (2.4.9) chiziqdash-tirilgan tenglamalarning dastlabki nogolonom tizim bilan aloqasi masalasiga kelganimizda, bu yerda faqat nogolonom tizimga taalluqli o'ziga xos xususiyat borligini ko'ramiz. Bu xususiyat nolga teng bo'lgan ildizlarning mavjudligi va xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari matritsasining simmetrik emasligida namoyon bo'ladi (konservativ tizim bo'lganda). Bu yerda har doimgi kichik tebranishlar nazariyasi pozitsiyasi bilan yondashish turg'unlik masalasiga to'liq javob bermaydi va nolga teng bo'lgan ildizlarning tabiatini ochishga imkoniyat yaratmaydi. Bu masalalar bir-biri bilan chambarchas bog'langanligini ko'ramiz. Nogolonom tizimlar turg'unligi va kichik tebranishlarini batafsil o'rganganimizda faqat nol ildizlarning tabiatini tushunishga erishibgina qolmay, balki nogolonom tizimlarning o'ziga xos yana bitta xususiyati muvozanat holatlari ko'pxilligi va statsionar harakatlarning ko'pxilligi mavjud ekanligini aniqlaymiz.

**4.2. Nogolonom tizimning muvozanat holatlari sirti yaqinidagi kichik tebranishlar tenglamalari. Muvozanat holatlari sirtining turg'unligi.** Harakati

$$\omega_{\alpha\beta}(q_1, \dots, q_n) \dot{q}_\beta = 0, \quad (\alpha = \overline{1, m}, \beta = \overline{1, n}) \quad (2.4.11)$$

nogolonom bog'lanishlarga bo'ysundirilgan  $L = L(q_1, \dots, q_n; \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)$  Lagranj funksiyasi qatnashgan va  $Q_\beta(q_1, \dots, q_n; \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)$ , ( $\beta = \overline{1, n}$ ) umumlashgan kuchlarga ega bo'lgan tizim berilgan bo'lsin. Tizimning harakat tenglamalarini tuzamiz:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_\beta} - \frac{\partial L}{\partial q_\beta} = Q_\beta + \lambda_\alpha \omega_{\alpha\beta}. \quad (2.4.12)$$

(2.4.11) va (2.4.12) tenglamalar sistemasi  $q_1, q_2, \dots, q_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  miqdorlarni boshlang'ich shartlar va vaqtning funksiyalari sifatida aniqlashga imkoniyat yaratadi. (2.4.11) va (2.4.12) tenglamalardan nogolonom tizimning muvozanat holatlarini aniqlovchi tenglamalar sistemasini yozamiz:

$$\frac{\partial L}{\partial q_\beta} + Q_\beta + \lambda_\alpha \omega_{\alpha\beta} = 0, \quad (2.4.13)$$

bu yerda

$$\frac{\partial L}{\partial q_\beta} = \frac{\partial L(q_1, \dots, q_n; 0, \dots, 0)}{\partial q_\beta}, \quad Q_\beta = Q_\beta(q_1, \dots, q_n; 0, \dots, 0),$$

$$\omega_{\alpha\beta} = \omega_{\alpha\beta}(q_1, \dots, q_n).$$

(2.4.13) da tenglamalar soni  $n$ , aniqmas o'zgaruvchilar  $q_1, q_2, \dots, q_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  soni  $n + m$ , ya'ni  $m$  ta miqdor ixtiyoriy qiymat qabul qilishi mumkin. Shu sababli umumiy holda nogolonom tizimning muvozanat holatlari ko'pxilligiga ega bo'lamiz. Muvozanat holatlari ko'pxilligi  $n$  o'lchamli konfiguratsiyalar fazosida  $m$  o'lchamli  $O_m$  sirtini tashkil qiladi.

Haqiqatan ham, (2.4.13) tenglamalar sistemasidan foydalanib va  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatalarni  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  aniqmas Lagranj ko'paytuvchilari orqali ifodalab,  $O_m$  sirtning parametrik tenglamasini topamiz:

$$q_\beta^0 = q_\beta^0(\lambda_1, \dots, \lambda_m) \quad (\beta = \overline{1, n}). \quad (2.4.14)$$

Shuni ta'kidlaymizki, *muayyan masalalarda (2.4.13) tenglamalarning barchasi ham bog'lanmagan bo'lmasligi mumkin. Bu hollarda  $O_m$  ning o'lchami  $m$  dan katta bo'ladi.  $O_m$  sirtning mavjudligi nogolonom tizimning yakkalangan muvozanat holatining turg'unligi haqida gap yuritish mantiqsiz ekanligini bildiradi, chunki nogolonom tizim yakkalangan muvozanat holatga ega emas. Shu sababli nogolonom tizimlarning kichik tebranishlari haqida masala qo'yilishining o'zi o'zgarishi kerak.*

Nogolonom tizimlar kichik tebranishlarini yakkalangan muvozanat holati atrofida o'rganmasdan, balki  $O_m$  sirt atrofida tadqiq etilsa, masala korrekt (to'g'ri) qo'yilgan deb hisoblash lozim. Demak, nogolonom tizim turg'unligi haqidagi masalani faqat  $O_m$  sirtga nisbatan qo'yish kerak. Yakkalangan muvozanat holatiga nisbatan nogolonom tizimlar turg'unligini o'rganish, masalaning nokorrekt qo'yilganini bildiradi.

Yuqorida bayon etilganlarga asoslanib, nogolonom tizimning kichik tebranishlari tenglamalarini  $O_m$  muvozanat holatlari sirti atrofida tuzamiz. (2.4.12) tenglamalardan  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  aniqlas ko'paytuvchilarni chiqarib, nogolonom tizimning differensial normal tenglamalarini hosil qilamiz:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, \dots, x_{2n-m}), \quad (i = \overline{1, 2n-m}), \quad (2.4.15)$$

bu yerda  $x_i$  orqali  $q_1, q_2, \dots, q_n, \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_{n-m}$  fazaviy o'zgaruvchilar belgilangan.

$\Phi(q_1, \dots, q_n, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_{n-m})$  fazaviy fazoda  $O_m$  sirt

$$x_i^0 = x_i^0(u_1, u_2, \dots, u_m)$$

tenglamalar bilan aniqlangan bo'lsin, bu yerda  $u_1, u_2, \dots, u_m$  o'zgaruvchilar  $O_m$  sirtning joriy parametrlari bo'ladi.  $u_1, u_2, \dots, u_m$  o'zgaruvchilar qatori yangi  $v_1, v_2, \dots, v_{2(n-m)}$  o'zgaruvchilarni

$$x_i = x_i^0(u_1, u_2, \dots, u_m) + \gamma_{ij}(u_1, u_2, \dots, u_m)v_j$$

munosabat orqali kiritamiz, bu yerda  $\gamma_{ij}(u_1, u_2, \dots, u_m)v_j$  — joriy  $u_1, u_2, \dots, u_m$  o'zgaruvchilarning biror funksiyalari. Yangi  $u, v$  o'zgaruvchilar orqali (2.4.15) tenglamalarni quyidagicha yozamiz:

$$\frac{du_i}{dt} = G_i(u, v), \quad \frac{dv_j}{dt} = H_j(u, v). \quad (2.4.16)$$

(2.4.16) harakat tenglamalarini  $O_m$  muvozanat holatlari sirti atrofida chiziqshatiramiz. Buning uchun (2.4.16) tenglamalarning o'ng tarafidagi funksiyalarni  $v_1, v_2, \dots, v_{2(n-m)}$  miqdorlarning kichik qiymatlari bo'yicha qatorga yoyib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}\frac{du_i}{dt} &= a_i(u_1, \dots, u_m) + a_{ij}(u_1, \dots, u_m)v_j + O(\|v\|^2), \\ \frac{dv_j}{dt} &= b_j(u_1, \dots, u_m) + b_{jk}(u_1, \dots, u_m)v_k + O(\|v\|^2),\end{aligned}\quad (2.4.17)$$

bu yerda  $\|v\| = (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_{2(n-m)}^2)^{\frac{1}{2}}$ ,  $O(\|v\|^2)$  esa  $\|v\|$  ga nisbatan darajasi ikkidan kam bo'lmagan hadlar.  $O_m$  sirtida  $v_1, v_2, \dots, v_{2(n-m)}, \dot{v}_1, \dot{v}_2, \dots, \dot{v}_{2(n-m)}, \dot{u}_1, \dots, \dot{u}_m$  miqdorlar nolga aylanishi sababli, (2.4.17) tenglamalardagi  $a_i, b_i$  koeffitsiyentlar nolga teng bo'ladi.

Shunday qilib,  $O_m$  sirtning kichik atrofida  $v_1, v_2, \dots, v_{2(n-m)}$  larga nisbatan chiziqshatirilgan (2.2.17) tenglamalar sistemasi

$$\begin{aligned}\frac{du_i}{dt} &= a_{ij}(u_1, \dots, u_m)v_j, \\ \frac{dv_j}{dt} &= b_{jk}(u_1, \dots, u_m)v_k, \quad (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, 2(n-m)})\end{aligned}\quad (2.4.18)$$

ko'rinishga keladi. Hosil qilingan tenglamalar  $O_m$  muvozanat holatlar sirtining kichik atrofidagi nogolonom tizim kichik tebranishlarining tenglamalaridir. (2.4.18) tenglamalar sistemasiga asosan va  $v_1, v_2, \dots, v_{2(n-m)}$  kichik miqdorlar bo'lganligi uchun  $u_1, u_2, \dots, u_m$  vaqtning sekin o'zgaruvchi funksiyalari bo'ladi.

(2.4.18) sistemaning yechimini ketma-ket yaqinlashish usulini qo'llab izlash mumkin. Bu yerda nolinchi yaqinlashishda  $u_i$  ning qiymati sifatida  $u_i = u_i^0$  o'zgarmas miqdorlar olinadi. Bu qiymatlarni (2.4.18) sistemaning o'ng tarafiga qo'yib,  $v_j$  ning taqribiy qiymatlarini topish uchun

$$\frac{dv_j}{dt} = b_{jk}(u_1^0, \dots, u_m^0)v_k \quad (2.4.19)$$

tenglamalarga ega bo'lamiz. (2.4.19) tenglamalarning yechimini topishda

$$\Delta = \det\|\delta_{jk}p - b_{jk}\| = 0 \quad (2.4.20)$$

xarakteristik tenglamaga kelamiz.  $p_1, p_2, \dots, p_{2(n-m)}$  lar (2.4.20) tenglamaning ildizlari bo'lsin va soddalik uchun ularni har xil va noldan farqli deb hisoblaymiz. U holda  $v_j$  uchun yechim

$$v_j = c_k \Delta_j(p_k) e^{p_k t} \quad (2.4.21)$$

ko'rinishda yoziladi, bu yerda  $c_k$  — boshlang'ich shartlardan topiladigan o'zgarmas sonlar,  $\Delta_j(p_k)$  esa  $\Delta$  determinantning minorlari. Topilgan (2.4.21) yechimni (2.4.18) tenglamalar sistemasining birinchi tenglamalar guruhiga qo'yib,  $u_i(t)$  funksiyani aniqlovchi tenglamalarga ega bo'lamiz. Bu tenglamalarni integrallab,

$$u_i = \frac{1}{p_k} c_k \Delta_j(p_k) e^{p_k t} + d_i \quad (2.4.22)$$

yechimni topamiz, bu yerda  $d_i$  — boshlang'ich shartlardan aniqlanadigan ixtiyoriy o'zgarmas sonlar. Keyin (2.4.22) ifodalarni (2.4.18) sistemaning o'ng tarafiga qo'yib, kelgusi yaqinlashishni aniqlaydigan tenglamalarga kelamiz. Bu tenglamalar yana ikki guruhga bo'linadi.  $v_k$  ni aniqlovchi tenglamalar eksponensial koeffitsiyentli  $2(n-m)$  ta chiziqli differensial tenglama sistemasidan iborat bo'ladi. Bu jarayonni davom ettirib, (2.4.18) tizimning istalgan zaruriy aniqlikdagi yechimini topish mumkin.

Agar bizni faqat  $O_m$  sirtning turg'unligi qiziqтира, u holda (2.4.18) tenglamalar sistemasining aniq yechimini topishga zaruriyat qolmaydi. Buning uchun  $v_i(t)$  funksiyaning  $O_m$  ning kichik atrofidagi «xulqi»ni o'rganish kifoyadir. Birinchi yaqinlashishda bu (2.4.20) xarakteristik tenglamaning ildizlari orqali aniqlanadi.

*Agar barcha  $p_k$  ( $k = 1, 2(n-m)$ ) ildizlarning haqiqiy qismlari manfiy bo'lsa, u holda  $v_i(t)$  funksiyalar yo eksponensial so'nishni, yoki kamayuvchi amplitudali tebranish jarayonini ifodalaydi. Shuning uchun  $O_m$  sirtning kichik atrofida bo'lgan tasvirlovchi nuqta  $t \rightarrow \infty$  da  $O_m$  sirtga intiladi. Bu holda  $O_m$  muvozanat holatlari sirtini asimptotik turg'un deb aytamiz. Agar  $p_k$  ildizlar orasida hech bo'lmaganda biror ildizining haqiqiy qismi musbat bo'lsa, u holda  $O_m$  muvozanat holatlari sirti noturg'un bo'ladi.*

Ildizlari  $O_m$  sirtning turg'unligini aniqlaydigan (2.4.20) xarakteristik tenglamani topish uchun  $u_i, v_i$  o'zgaruvchilarga o'tishning hojati yo'q, chunki xarakteristik tenglamalarning nolga teng bo'lgan ildizlarining mohiyatini aniqlash maqsadida yangi o'zgaruvchilarga o'tgan edik. (2.4.20) xarakteristik tenglama (2.4.10) xarakteristik tenglamadan nolga teng bo'lgan ildizlarni

tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinganligini osongina ko'rish mumkin. Nolga teng bo'lgan ildizlar soni, odatda, kamida nogolonom bog'lanishlar soniga teng, ya'ni  $O_m$  sirtning o'lchoviga teng bo'ladi.

*I z o h . Xarakteristik tenglamaning nolga teng bo'lgan ildizlari soni  $O_m$  sirtning o'lchovidan katta bo'lgan holni kritik hol deb qarash kerak.*

(2.4.18) sistemadan ko'rinib turibdiki, xarakteristik tenglamaning nolga teng bo'lgan ildizlari kichik tebranishlar nazariyasining kritik holiga hech qanday bog'liqligi yo'q. Ular  $m$  o'lchamli  $O_m$  sirtning mavjudligiga bog'liqdir. Shuning uchun  $O_m$  sirtning turg'unligini tekshirish uchun nolga teng bo'lgan ildizlarni oddiygina tashlab yuborish kerak. Natijada (2.4.20) xarakteristik tenglama hosil bo'ladi va unga nisbatan turg'unlikni tekshiruvchi barcha kriteriyalarni, masalan, Raus—Gurvis, Mixaylov, Naykvist kriteriyalarini,  $D$ - bo'laklash usulini ishlatish mumkin. Topilgan turg'unlik shartlari  $O_m$  sirtida turg'unlik sohasini ajratishga va turg'unlik sohasining chegarasini dinamik tizim konstruktiv parametrlarining o'zgarishiga qarab o'zgarishini tadqiq etishga sharoit yaratadi.

Shuni ta'kidlaymizki,  $O_m$  sirtning biror  $(u_1^0, \dots, u_m^0)$  nuqtasi atrofida nogolonom tizim harakat tenglamalarini chiziqshtirish jarayoni shu paragrafning 4.1- bandida bayon etilgan chiziqshtirish jarayoni bilan to'liq mos keladi. Ammo bu yerda olinadigan tenglamalarning 4.1- bandida olingan tenglamalardan muhim farqi shundan iboratki,  $u_i^0$  nuqta endi  $O_m$  sirtning istalgan nuqtasi bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham (2.4.18) tenglamalarning  $a_{ij}$  va  $b_{ij}$  koeffitsiyentlardagi  $u_1^0, u_2^0, \dots, u_m^0$  miqdorlarni dinamik tizimning fizik parametrlari qatori qo'shimcha parametrlar deb qarash kerak.

Shunday qilib, olinadigan chiziqshtirilgan tenglamalar muvozanat holatlari sirtining har bir nuqtasi turg'unligini tekshirishga va  $O_m$  sirtida turg'unlik sohasini yasashga imkoniyat yaratadi. 4.1- bandidagi chiziqshtirilgan tenglamalar faqat bitta  $(0, 0, \dots, 0)$  nuqtaning turg'unligini tekshirishga yaraydi.



**4.3. Chaplign chanasining qiya tekislikdagi harakatining turg'unligi [29, 52].** Misol sifatida qattiq jismning qiya tekislikka parallel harakatini ko'ramiz. Jism qiya tekislikka uchta oyoq bilan tayansin. Bu oyoqlardan ikkitasi absolut silliq, uchinchi esa yarim doiraviy tig' bilan ta'minlangan bo'lsin. Buning natijasida uchinchi oyoq tig' tekisligiga perpendikular bo'lgan yo'nalishda harakat qilolmaydi. Jism og'irlik markazi  $C$  ning qiya tekislikdagi proyeksiyasi tig' perpendikular bo'lgan va tig' tekislikka uringan  $K$  nuqtadan o'tuvchi to'g'ri chiziqda yotgan holni ko'rib o'taylik (2.2- shakl). Tizimning umumlashgan koordinatalari sifatida  $K$  nuqtaning  $x, y$  koordinatalarini va jismning qiya tekislikka perpendikular bo'lgan to'g'ri chiziq atrofida aylanish burchagi  $\varphi$  ni olamiz. U holda Lagranj funksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$L = \frac{m}{2} [(\dot{x} + l\dot{\varphi} \cos \varphi)^2 + (\dot{y} + l\dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + k^2\dot{\varphi}^2] - mg \sin \alpha (y - l \cos \varphi),$$

bu yerda  $m$  – jismning massasi,  $k$  – inersiya radiusi,  $\alpha$  – tekislikning qiyalik burchagi,  $l$  – massa markazining qiya tekislikdagi proyeksiyasidan  $K$  nuqttagacha bo'lgan masofa (2.2- shaklga qarang),  $g$  – og'irlik kuchining tezlanishi. Dissipatsiya funksiyasini

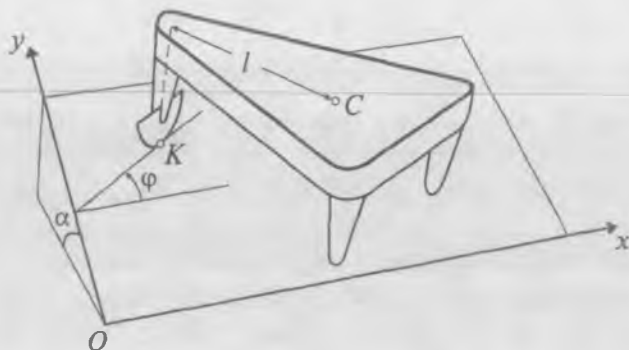
$$F = \frac{m}{2} [h(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + h_1\dot{\varphi}^2]$$

ko'rinishda olamiz, bu yerda  $h \geq 0$ ,  $h_1 \geq 0$  – sirpanish va aylanishga nisbatan dempfer koeffitsiyentlari. Nogolonom bog'lanish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\ddot{y} - \dot{x} \operatorname{tg} \varphi = 0. \quad (2.4.23)$$

Jismning harakat tenglamalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} (\dot{x} + l\dot{\varphi} \cos \varphi) + h\dot{x} + \lambda \operatorname{tg} \varphi &= 0, \\ \frac{d}{dt} (\dot{y} + l\dot{\varphi} \sin \varphi) + h\dot{y} + g \sin \alpha - \lambda &= 0, \\ \frac{d}{dt} [l(\dot{x} \cos \varphi + \dot{y} \sin \varphi) + (l^2 + k^2)\dot{\varphi}] + h_1\dot{\varphi} + g l \sin \alpha \sin \varphi &= 0. \end{aligned} \right\} (2.4.24)$$



2.2- shakl.

(2.4.23) va (2.4.24) harakat tenglamalaridan  $\dot{x} = \dot{y} = \dot{\varphi} = 0$  bo'lganda muvozanat holatining tenglamalari kelib chiqadi:

$$\lambda \operatorname{tg} \varphi = 0, \quad \lambda = g \sin \alpha, \quad \sin \varphi = \theta. \quad (2.4.25)$$

(2.4.25) ga asosan, ko'rilayotgan nogolonom tizimning muvozanat holatlari  $(x, y, \varphi)$  konfiguratsiya fazosida ikkita  $\varphi = 0$  va  $\varphi = \pi$  tekislikni hosil qiladi. Nogolonom bog'lanishlar soni bitta bo'lishiga qaramasdan, (2.4.23) muvozanat holatlari sirti  $O_m$  ning o'lchovi ikkiga teng, ya'ni ikki o'lchovli  $O_2$  sirtga ega bo'lamiz. O'lchov bir birlikka ortganligining sababi (nogolonom bog'lanishlar soniga nisbatan) (2.4.25) tenglamalarning birinchisi bilan uchin-chisi bir-biriga bog'langanligidir.  $x^0, y^0, \varphi^0, \lambda^0$  lar (2.4.25) tenglamalarni qanoatlantiruvchi o'zgaruvchilarning muvozanat qiymatlari,  $\xi, \eta, \zeta, \theta$  esa yetarlicha kichik miqdorlar bo'lsin, u holda

$$x = x^0 + \xi, \quad y = y^0 + \eta, \quad \varphi = \varphi^0 + \zeta, \quad \lambda = \lambda^0 + \theta$$

deb qabul qilib, (2.4.23) va (2.4.24) tenglamalarni  $\xi, \eta, \zeta, \theta$  kichik miqdorlarga nisbatan chiziqshastiramiz:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\eta} &= 0, \\ \ddot{\xi} + h\dot{\xi} \pm l\ddot{\zeta} + \zeta g \sin \alpha &= 0, \\ \ddot{\eta} + h\dot{\eta} - \theta &= 0, \\ \pm l\ddot{\xi} + (l^2 + k^2)\ddot{\zeta} + h_1\dot{\zeta} \pm \zeta g l \sin \alpha &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.4.26)$$

bu yerda yuqori («») belgi  $\varphi = 0$  va quyi («») belgi  $\varphi = \pi$  tekislikka mos ravishda olinadi. Tenglamalarning xarakteristik tenglamasi

$$p^2 \left\{ k^2 p^3 + [h(l^2 + k^2) + h_1] p^2 + h_1 h p \pm h g l \sin \alpha \right\} = 0 \quad (2.4.27)$$

ko'rinishda bo'ladi. Muvozanat holatlari sirti ikki o'lchovli bo'lganligi uchun (2.4.27) xarakteristik tenglama ikkita nolga teng bo'lgan ildizga ega (nazariyada nolga teng bo'lgan ildizlar soni kamida  $O_m$  sirtning o'lchoviga teng bo'lishi kerak degan edik).

$O_2$  sirtning ( $\varphi = 0$  va  $\varphi = \pi$  tekisliklarning) turg'unligi

$$k^2 p^3 + [h(l^2 + k^2) + h_1] p^2 + h_1 h p \pm h g l \sin \alpha = 0 \quad (2.4.28)$$

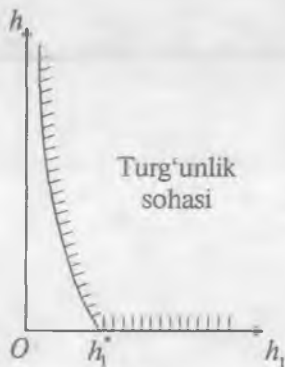
xarakteristik tenglama ildizlarining xarakteri bilan aniqlanadi.  $\varphi = \pi$  tekislik uchun (2.4.28) tenglamaning ozod hadi manfiy ishorali bo'lganligi uchun u doimo noturg'un bo'ladi.  $\varphi = 0$  tekislik Raus-Gurvis kriteriyasiga asosan

$$(l^2 + k^2)h > \frac{k^2 g l \sin \alpha}{h_1} - h_1 \quad (2.4.29)$$

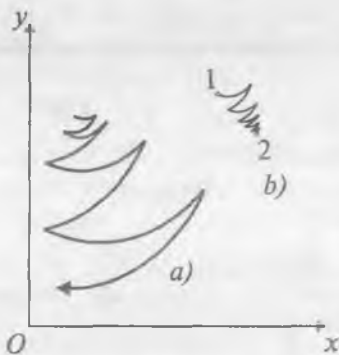
tengsizlik bajarilgandagina turg'un bo'ladi. ( $h$ ;  $h_1$ ) parametrlar tekisligida turg'unlik sohasi va uning chegarasi 2.3- shaklda ko'rsatilgandek bo'ladi, bu yerda  $h_1^*$  miqdor

$$h_1^* = k \sqrt{g l \sin \alpha}$$

tenglik bilan aniqlanadi (2.3- shakl).



2.3- shakl.



2.4- shakl.

Shunday qilib,  $h$  va  $h_1$  parametrlarning qiymatiga bog'liq ravishda,  $\varphi = 0$  tekislik yo butunlay turg'un, yoki butunlay noturg'un bo'ladi. Agar noturg'un bo'lsa, u holda tekislikdan toydirilgan tasvirlovchi nuqta bu tekislikka boshqa qaytib kelmaydi yoki uning atrofida o'suvchi amplituda bilan tebranma harakat qiladi. Oxirgi holda  $K$  nuqtaning trayektoriyasi xuddi 2.4-a shaklda ko'rsatilgandek bo'ladi.

Agar  $\varphi = 0$  tekislik turg'un bo'lsa, u holda  $K$  ning trayektoriyasi 2.4-b shaklda ifodalangandek bo'ladi.

Muvozanat holatlari sirtining asimptotik turg'unligi haqidagi teoreмага asosan (kelgusi paragrafda ko'ramiz) turg'un muvozanat holatlari sirtidan toydirilgan tasvirlovchi nuqta yana shu sirtga, ammo, umuman aytganda, uning boshqa nuqtasiga qaytadi (2.4-b shakl):  $1$  nuqtadan toydirilgan tasvirlovchi nuqta yangi muvozanat holatiga, masalan,  $2$  nuqtaga qaytadi.

(2.4.28) dan ko'rinadiki,  $l = 0$  bo'lganda bu tenglamada bitta nolga teng bo'lgan ildiz paydo bo'ladi. Natijada nolga teng bo'lgan ildizlar soni uchga teng bo'lib, u muvozanat holatlar sirtining o'lchovidan bittaga ortiq bo'ladi. Demak,  $l = 0$  bo'lganda biz kritik holga kelamiz.

Turg'unlikni tadqiq etish uchun harakat tenglamasidagi nochi-zliql hadlarni hisobga olishga to'g'ri keladi ( $l = 0$ ):

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} + h\dot{x} - \lambda \operatorname{tg}\varphi &= 0, & \ddot{y} + h\dot{y} + \lambda + g \sin \alpha &= 0, \\ k^2 \ddot{\varphi} + h_1 \dot{\varphi} &= 0, & \dot{y} - \dot{x} \operatorname{tg}\varphi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.4.30)$$

$h_1 = 0$  bo'lgan holda tenglamalar sistemasini osongina tekshirish mumkin. Bu holni ko'rib o'taylik.

**$h_1 = 0$  bo'lgan hol.** (2.4.30) tenglamalarning uchinchisidan  $\dot{\varphi} = \omega = \text{const}$ , demak,

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

kelib chiqadi, bu yerda  $\varphi_0$  — boshlang'ich burchak. Ikkinchi va to'rtinchi tenglamalardan foydalanib,  $\lambda$  va  $y$  o'lgaruvchilarni chiqaramiz:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \dot{x}[h + \omega \operatorname{tg}(\omega t + \varphi_0)] + \\ + g \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_0) \cos(\omega t + \varphi_0) = 0. \end{aligned} \quad (2.4.31)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$u = \dot{x}, \quad \varphi = \omega t + \varphi_0, \quad a = \frac{h}{\omega}, \quad b = \frac{g \sin \alpha}{\omega}.$$

U holda (2.4.31) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{dU}{d\varphi} + (\alpha + \operatorname{tg}\varphi)U + b \sin \varphi \cos \varphi = 0.$$

Bu tenglamaning yechimi

$$u = ce^{-a\varphi} \cos \varphi + \frac{b}{a^2+1} (\cos^2 \varphi - a \sin \varphi \cos \varphi)$$

ko'rinishga ega, bu yerda  $c$  – boshlang'ich shartlardan topiladigan ixtiyoriy o'zgarmas son. (2.4.30) tenglamalarning oxirgisidan foydalanib,  $x$  o'zgaruvchiga qaytamiz:

$$\left. \begin{aligned} \omega \frac{dx}{dt} &= ce^{-a\varphi} \cos \varphi + \frac{b}{a^2+1} (\cos^2 \varphi - a \sin \varphi \cos \varphi), \\ \omega \frac{dy}{dt} &= ce^{-a\varphi} \sin \varphi + \frac{b}{a^2+1} (\sin \varphi \cos \varphi - a \sin^2 \varphi). \end{aligned} \right\} (2.4.32)$$

Bu tenglamalarni integrallaganimizdan keyin  $K$  nuqta trayektoriya-sining parametrik tenglamasiga kelamiz:

$$\left. \begin{aligned} \omega x &= c_1 + \frac{ce^{-a\varphi}}{a^2+1} (\sin \varphi - a \cos \varphi) + \frac{b}{a^2+1} \left( \frac{\varphi}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\varphi + \frac{a}{4} \cos 2\varphi \right), \\ \omega y &= c_2 - \frac{ce^{-a\varphi}}{a^2+1} (\cos \varphi + a \sin \varphi) - \frac{b}{a^2+1} \left( \frac{a}{2} \varphi + \frac{1}{4} \cos 2\varphi - \frac{a}{4} \sin 2\varphi \right). \end{aligned} \right\} (2.4.33)$$

Boshlang'ich shartlardan  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  o'zgarmas sonlarni topamiz:  $t=0$  bo'lganda  $\varphi = x = y = 0$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_0$ ,  $\dot{\varphi} = \omega$ . Bu miqdorlarni (2.4.32) va (2.4.33) ga qo'yib,

$$\begin{aligned} c &= \dot{x}_0 - \frac{b}{a^2+1}, \quad c_1 = \frac{a}{(a^2+1)^2} [\dot{x}_0(a^2+1) - b] - \frac{ab}{4(a^2+1)}, \\ c_2 &= \frac{1}{(a^2+1)^2} [\dot{x}_0(a^2+1) - b] + \frac{b}{4(a^2+1)} \end{aligned}$$

larni hosil qilamiz.

Agar  $\zeta = x + iy$  kompleks o'zgaruvchi kiritsak, u holda  $K$  nuqtaning harakati ushbu qonunga bo'ysunadi:

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3,$$

bu yerda

$$\zeta_1 = \frac{b(1-ai)}{2(a^2+1)}i, \quad \zeta_2 = \frac{\left(x_0 - \frac{b}{a^2+1}\right)(a+i)}{\omega(a^2+1)} \left[1 - e^{(i\omega-h)t}\right],$$

$$\zeta_3 = \frac{b(i-a)}{4\omega(a^2+1)} \left[1 - e^{2i\omega t}\right].$$

Bu harakatning trayektoriyasini grafik usulda hosil qilish mumkin. Buning uchun  $\zeta_1$ ,  $\zeta_2$  va  $\zeta_3$  vektorlarni qo'shish kerak.

Shunday qilib,  $h_1 = 0$  holatda (2.4.30) tenglamalarni integrallash shuni ko'rsatyaptiki,  $\varphi_0 \neq 0$  bo'lmagan har qanday boshlang'ich shartlarda jism boshlang'ich holatidan istalgan uzoqlikka ketadi. Bu holda jismning harakati quyidagilardan iborat:

- 1) gorizontaal yo'nalish bilan  $\delta = -\arctg \frac{h}{\omega}$  burchak tashkil qiladigan to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarimas tezlikdagi siljish;
- 2)  $\omega$  burchak tezlikli so'nuvchi aylanish;
- 3)  $2\omega$  burchak tezlik bilan aylanish.

Demak,  $h_1 = 0$  holda muvozanat holat doimo noturg'undir.

$h_1 \neq 0$  bo'lgan hol. Bu holda (2.4.30) tenglamalarning uchin-chisidan  $\varphi$  burchakning o'zgarish qonunini topamiz:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\omega k^2}{h_1} \left(1 - e^{-\frac{h_1}{k^2}t}\right),$$

bu yerda  $\varphi_0$ ,  $\omega$  lar —  $\varphi$  va  $\dot{\varphi}$  ning boshlang'ich qiymatlari.

$\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi = \varphi_0 + \frac{\omega k^2}{h_1}$  bo'lganligi uchun  $\varphi$  har qanday qiymatga ega bo'lishi mumkin. Jism faqat  $\varphi = 0$  bo'lgandagina turg'un muvozanat holatda bo'ladi. Demak,  $h_1 \neq 0$  bo'lganda,  $\varphi = 0$  muvozanat holati noturg'undir.

## 5- §. Nogolonom tizimlar muvozanat holatlari sirtining asimptotik turg'unligi haqidagi teorema

Nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligi masalasi  $O_m$  sirdan yetarlicha kichik toyilishga nisbatan tadqiq etilgandagina ma'noga ega bo'lishini aniqlab oldik.  $u_1, u_2, \dots, u_m$  o'zgaruvchilarni vaqtincha parametrlar sifatida qarab,

$$\begin{aligned} \frac{du_i}{dt} &= a_{ij}(u_1, \dots, u_m)v_j, \\ \frac{dv_j}{dt} &= b_{jk}(u_1, \dots, u_m)v_k, \quad (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, 2(n-m)}) \end{aligned} \quad (2.5.1)$$

sistemaning ikkinchi guruh tenglamalarini birinchi guruh tenglamalariga bog'lamasdan qarash tabiiydir. Bu yordamchi sistemaning karakteristik tenglamasi

$$\Delta = \det \|\delta_{jk} p - b_{jk}\| = 0 \quad (2.5.2)$$

ifoda bilan aniqlanadi.  $u_1^0, \dots, u_m^0$  parametrlarning biror  $G$  sohasida

$$\frac{dv_j}{dt} = b_{jk}(u_1^0, \dots, u_m^0)v_k \quad (2.5.3)$$

tenglamalar sistemasining  $v_1 = v_2 = \dots = v_{2(n-m)} = 0$  muvozanat holati asimptotik turg'un bo'lsin, ya'ni

$$\|v\| < M \|v^0\| e^{-\sigma t}, \quad (2.5.4)$$

bu yerda  $\sigma > 0$ ,  $0 < M < \infty$ ,  $v_j^0$  esa  $v_j$  o'zgaruvchilarning boshlang'ich qiymatlari. U holda nogolonom tizim muvozanat holatlari sirtining asimptotik turg'unligi to'g'risida Y.I.Neymark va N.A.Fufayevning quyidagi teoremasi o'rinli bo'ladi [29].

**Teorema.**  $u_1^0, u_2^0, \dots, u_m^0, v_1^0, v_2^0, \dots, v_{2(n-m)}^0$  boshlang'ich qiymatlar shunday tanlab olingan bo'lsinki,  $u_1^0, u_2^0, \dots, u_m^0$  miqdorlar (2.5.3) tenglamalarning  $G$  asimptotik turg'unlik sohasining ichida yotsin,  $v_1^0, v_2^0, \dots, v_{2(n-m)}^0$  qiymatlar yetarlicha kichik bo'lsin. U holda nogolonom tizimning

$$\frac{du_i}{dt} = G_i(u, v), \quad \frac{dv_j}{dt} = H_j(u, v) \quad (2.5.5)$$

harakat tenglamalariga asosan

$$\lim_{t \rightarrow \infty} v_j(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} u_i(t) = u_i^*$$

limit munosabatlar bajariladi, bu yerda  $u_i^* \in O_m$ , ammo, umuman aytganda,  $u_i^* \neq u_i^0$ . Shu bilan birga,  $v_j(t)$  o'zgaruvchilar uchun

$$\|v(t)\| < M \|v^0\| e^{-\sigma t} \quad (2.5.6)$$

baholash o'rinlidir, bu yerda  $0 < \sigma' < \sigma$ ,  $0 < M' < +\infty$ .

Isbot. (2.5.5) tenglamalarni faqat

$$\|u - u^0\| < \delta, \quad \|v\| < \delta(\varepsilon) \quad (2.5.7)$$

tengsizliklar ( $\delta$  – yetarli kichik son) va  $|\Delta a_{ij}| < \varepsilon$  bajarilganda,

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_i}{dt} &= \{a_{ij}(u_1, \dots, u_m) + \Delta a_{ij}\} v_j, \\ \frac{dv_j}{dt} &= \{b_{jk}(u_1, \dots, u_m) + \Delta b_{jk}\} v_k \end{aligned} \right\} \quad (2.5.8)$$

ko'rinishda yozamiz. Agar (2.5.7) munosabatlar  $\delta \leq \delta^*$  uchun bajarilsa, u holda (2.5.8) tenglamalarning yechimi uchun

$$\|v(t)\| < M \|v^0\| e^{-\sigma' t} \quad (2.5.9)$$

ko'rinishdagi baholashni ko'rsatish mumkin. Haqiqatan ham, [2.5.6] asosan (2.5.3) tenglamalar sistemasi uchun shunday aniq musbat ishorali  $v = c_{kj} v_k v_j$  kvadratik forma mavjud bo'ladiki,

$$\alpha \|v\|^2 < v < \beta \|v\|^2 \quad (\alpha, \beta > 0) \quad (2.5.10)$$

munosabat bajariladi va bunda  $b_{jk}$  ning har qanday yetarli kichik o'zgarishlari uchun quyidagi tengsizlik o'rinlidir:

$$\frac{dv}{dt} < -\gamma \|v\|^2 < -\frac{\gamma}{\alpha} v. \quad (2.5.11)$$

(2.5.10) va (2.5.11) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$v < (v)_{t=0} e^{-\frac{\gamma}{\alpha} t}$$



va, demak,

$$\alpha \|v\|^2 < \beta \|v_0\|^2 e^{-\frac{r}{\alpha} t} \quad \text{yoki} \quad \|v\| < \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \|v_0\| e^{-\frac{r}{2\alpha} t}.$$

Shunday qilib, (2.5.9) kabi baholash to'g'ridir. (2.5.9) tengsizlikdan

$$\|u\| < N \|v_0\| e^{-\alpha t}$$

munosabat kelib chiqadi, shuning uchun

$$\|u(t) - u_0\| < \frac{N}{\sigma'} \|v_0\|. \quad (2.5.12)$$

Dastlabki paytda (2.5.7) shart  $\left(\delta = \frac{\delta^*}{2}\right)$  va

$$\|v_0\| < \min\left(\frac{\delta^*}{2M}, \frac{\delta^* \sigma'}{2N}, \frac{\delta^*}{2}\right) \quad (2.5.13)$$

tengsizlik bajarilsin. Yechim vaqtga nisbatan tekis uzluksiz bo'lganligi uchun (2.5.7) shart  $\delta = \delta^*$  uchun biror  $\Delta t_0 > r > 0$  oraliqda bajariladi. Shu  $\Delta t_0$  vaqt oralig'ida (2.5.9) va (2.5.10) baholashlar o'rinli bo'ladi. (2.5.9), (2.5.12) va (2.5.13) ga asosan  $v(t_0)$  miqdor

(2.5.7) tengsizlikni  $\delta = \frac{\delta^*}{2}$  uchun qanoatlantiradi. Bu mulohazani davom ettirib, shunday xulosaga kelamiz: bu tengsizliklar  $\Delta t_0 + \Delta t_1 + \dots + \Delta t_S > (S+1)\tau$  vaqt oralig'ida, ya'ni hamma  $t$  lar uchun ham bajariladi va teorema shu bilan isbot bo'ladi.

Nogolonom tizim muvozanat holatlari sirti  $O_m$  asimptotik turg'un bo'lsin. Tizimga kichik miqdordagi toydiruvchi kuchlar doimo ta'sir etganda,  $O_m$  sirtning asimptotik turg'unligi saqlanadimi yoki u noturg'un bo'ladimi, degan savolga quyidagi teorema javob beradi.

**Teorema.** *Muvozanat holatlar asimptotik turg'unlik sohasi  $G$  da istalgan  $\varepsilon > 0$  uchun shunday  $\delta > 0$  ko'rsatish mumkinki,  $\delta$  dan kichik har qanday doimo ta'sir etuvchi kuchlar  $\mu$  komponenti  $G$  sohada turguncha fazaviy nuqta muvozanat holatlari to'plamining  $\varepsilon$ -atrofidan tashqariga chiqmaydi va hamma vaqt shunday doimiy*

ta'sir etuvchi istalgan kichik kuchlar topiladiki, fazaviy nuqta muvozanat holatlari sirti bo'ylab  $G$  sohada har qanday oldindan berilgan egri chiziq bo'yicha siljiydi.

Bu teoremadan ushbu fikr kelib chiqadi: agar muvozanat holatlari to'plami bog'lamli tarmog'ining hamma nuqtalari asimptotik turg'un bo'lsa, u holda doimo ta'sir etuvchi yetarli kichik to'ydiruvchi kuchlarga nisbatan u turg'un, agar bu bog'lamli tarmoqda noturg'un nuqtalar mavjud bo'lsa, u noturg'un bo'ladi.

Teoremaning isboti [47] ning 242–245- betlarida keltirilgan.

## 6- §. Golonom va nogolonom tizimlar statsionar harakatlarining turg'unligi

*Golonom va nogolonom tizimlarning statsionar harakatlari fazaviy fazoda va konfiguratsiya fazosida biror o'lchovli sirtni tashkil qiladi. Shuning uchun ham statsionar harakatlar turg'unligini tekshirishda nogolonom tizimlar muvozanat holatlarini tadqiq etishdagi a'zoziyatga kelamiz.*

Avval golonom tizimlar statsionar harakatlarini ko'rib o'taylik.

$$L = L(q_1, q_2, \dots, q_m, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_m, \dot{q}_{m+1}, \dots, \dot{q}_n)$$

Lagranj funksiyasiga ega bo'lgan  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatali golonom tizim berilgan bo'lsin, bu yerda  $m < n$ ,  $n$  — umumlashgan koordinatalar soni.  $n - m$  ta oxirgi koordinatalar siklik koordinatalar bo'lsin. Tizimga to'liqmas dissipativ

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m h_{ij}(q_1, \dots, q_m) \dot{q}_i \dot{q}_j$$

kuchlar ta'sir etsin va bu kuchlarning ifodasida siklik tezliklar mavjud bo'lmasin. Bunday tizimning harakat tenglamalari

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} &= - \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_j} \quad (j = \overline{1, m}), \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_{m+k}} &= 0 \quad (k = \overline{1, n-m}) \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.  $\omega_k = \dot{q}_{m+k}$  almashtirish kiritib, (2.6.1) tizimni quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = - \frac{\partial F}{\partial q_j}, \quad \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial L}{\partial \omega_k} = 0. \quad (2.6.2)$$

Bu tenglamalar tasvirlovchi nuqtaning harakatini  $n + m$  o‘lchovli  $\Phi$  fazaviy fazoda ifodalaydi. Fazoning koordinata o‘qlari bo‘yicha  $q_1, \dots, q_m, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_m, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-m}$  miqdorlar yo‘nalgan. Ta’rif bo‘yicha statsionar harakat deb shunday harakatga aytamizki, unda nosiklik (pozitsion) koordinatalar va siklik koordinatalarga mos kelgan tezliklar o‘zgarmas (dastlabki) qiymatni saqlaydi. Demak, statsionar harakatda

$$q_1 = \text{const}, \dots, q_m = \text{const}, \dot{q}_1 = 0, \dots, \dot{q}_m = 0, \\ \omega_1 = \text{const}, \dots, \omega_{n-m} = \text{const}$$

munosabatlarga ega bo‘lamiz, ya’ni statsionar harakat  $\Phi$  fazaviy fazoga muvozanat holati bo‘lib akslanadi. Shunday qilib, statsionar harakatlar turg‘unligi masalasi  $\Phi$  fazaviy fazodagi muvozanat holatlarining turg‘unlik masalasiga aylanadi. Muvozanat tenglamasi

$$\frac{\partial L}{\partial q_j} = 0 \quad (j = \overline{1, m})$$

$n$  ta  $q_1^0, \dots, q_m^0, \omega_1^0, \dots, \omega_{n-m}^0$  noma’lum o‘zgaruvchiga nisbatan  $m$  ta tenglama sistemasini ifodalaydi. Bu yerdan bevosita umumiy holda  $n - m$  o‘lchovli statsionar harakatlar sirtini ( $\Phi$  fazoda  $n - m$  o‘lchovli muvozanat holatlari sirtini) hosil qilamiz. Shuning uchun ham 2- § dagi natijalarga asosan tizimning xarakteristik tenglamasi  $n - m$  ta nol ildizlarga ega bo‘ladi va statsionar harakatlar sirtining turg‘unligini xarakteristik tenglamaning qolgan  $2m$  ta ildizining xarakteri aniqlaydi. Haqiqatan ham,

$$q_i = q_i^0 + \xi_i, \quad \omega_k = \omega_k^0 + \eta_k$$

almashtirishlarni kiritib,  $q_i^0, \omega_k^0$  statsionar qiymatlardan yetarlicha kichik miqdordagi  $\xi_i, \eta_k$  toyilishlarga nisbatan harakat tenglamasini tuzamiz:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} \right)_0 \ddot{\xi}_j + \left( \frac{\partial^2 F}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} - \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} + \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} \right)_0 \dot{\xi}_j - \\ & - \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} \right)_0 \xi_j + \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \omega_k} \right)_0 \dot{\eta}_k - \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \omega_k} \right)_0 \eta_k = 0, \quad (2.6.3) \\ & \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \omega_k} \right)_0 \ddot{\xi}_i + \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \dot{q}_i \partial \omega_k} \right)_0 \dot{\xi}_i + \left( \frac{\partial^2 L}{\partial \omega_i \partial \omega_k} \right)_0 \dot{\eta}_i = 0. \end{aligned}$$

Bu yerdan tizimning xarakteristik tenglamasi  $n - m$  ta nol ildizga ega ekanligi ko'rinib turibdi, qolgan  $2m$  ildizning haqiqiy qismlari manfiy bo'lishining shartlari statsionar harakatlar sirtining asimptotik turg'unlik sohaslarini va asimptotik turg'unlik sohasi chegarasining tizim konstruktiv parametrlarining o'zgarishiga qanday bog'liqligini aniqlab beradi.

Endi nogolonom tizim statsionar harakatining turg'unligini ko'rib o'tamiz. Lagranj funksiyasi va dissipatsiya funksiyasining ifodalari  $q_1, q_2, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatalarning oxirgi  $l$  tasi mavjud bo'lmasin, deb faraz qilamiz. Tizimning Lagranj funksiyasi

$$L = L(q_1, q_2, \dots, q_{n-l}, \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n),$$

bu yerda  $l < n$ ,  $l$  - Lagranj funksiyasi ifodasiga kirmagan koordinatalar soni. Bu koordinatalarni siklik koordinatalar deb ataymiz. Nogolonom bog'lanishlar

$$a_{ij}(q_1, \dots, q_{n-l}) \dot{q}_j = 0 \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}) \quad (2.6.4)$$

munosabatlar bilan ifodalansin, bu yerda  $m < n$ . Dissipatsiya funksiyasi

$$F = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{n-l} \sum_{k=1}^{n-l} h_{sk}(q_1, \dots, q_{n-l}) \dot{q}_s \dot{q}_k \quad (2.6.5)$$

ko'rinishda bo'lsin. Uning ifodasida siklik koordinatalarga mos kelgan tezliklar qatnashmaydi. U holda bunday tizimning harakat tenglamalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = \lambda_i a_{ik} - \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_k} \quad (k = \overline{1, n-l}), \quad (2.6.6)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_{n-l+r}} = \lambda_l a_{i, n-l+r} \quad (r = \overline{1, n-l}). \quad (2.6.7)$$

$\omega_r = \dot{q}_{n-l+r}$  belgilashni kiritib va (2.6.7) dan foydalanib, (2.6.6), (2.6.7) va (2.6.4) harakat tenglamalarini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} + h_{sk}(q_1, \dots, q_{n-l}) \dot{q}_s - \frac{\partial L}{\partial q_k} = \lambda_l a_{ik} \quad (i = \overline{1, m}; s, k = \overline{1, n-l}), \quad (2.6.8)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \omega_r} = \lambda_l a_{i, n-l+r} \quad (r = \overline{1, l}), \quad (2.6.9)$$

$$a_{ik} \dot{q}_k + a_{i, n-l+r} \omega_r = 0 \quad (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n-l}), \quad (2.6.10)$$

bu yerda

$$L = L(q_1, \dots, q_{n-l}, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_{n-l}, \omega_1, \dots, \omega_l).$$

Hosil qilingan tenglamalar ( $n+m$ ) ta tenglama sistemasini tashkil etadi. Bu sistemadan ( $n+m$ ) ta

$$q_1, \dots, q_{n-l}, \omega_1, \dots, \omega_l, \lambda_1, \dots, \lambda_m$$

miqdor vaqtning funksiyasi sifatida topiladi. Statsionar harakatda

$$q_k = q_k^0 = \text{const}, \quad \dot{q}_k = 0, \quad \omega_r = \omega_r^0 = \text{const}.$$

Bularni (2.6.8)–(2.6.10) tenglamalarga qo'yib, nogolonon tizimlarning quyidagi statsionar harakati tenglamalarini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial L}{\partial q_k} + \lambda_l^0 a_{ik} = 0, \quad (2.6.11)$$

$$\lambda_l^0 a_{i, n-l+r} = 0, \quad (2.6.12)$$

$$a_{i, n-l+r} \omega_r^0 = 0 \quad (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n-l}, r = \overline{1, l}). \quad (2.6.13)$$

(2.6.11)–(2.6.13) tenglamalar ( $n+m$ ) ta tenglama sistemasini tashkil qiladi. Bu sistemadan ( $n+m$ ) ta  $q_1^0, \dots, q_{n-l}^0, \omega_1^0, \dots, \omega_l^0, \lambda_1^0, \dots, \lambda_m^0$  miqdorni aniqlaymiz. Agar (2.6.11)–(2.6.13) sistemani tashkil etayotgan tenglamalarning ayrimlari bir-biriga bog'langan

bo'lsa, u holda aniqlanishi lozim bo'lgan miqdorlarning soni tenglamalar sonidan katta bo'ladi. Bu holda, oldingi natijalarga asosan, statsionar harakatlar sirtiga ega bo'lamiz. Ko'rsatish mumkinki, (2.6.11)–(2.6.13) tenglamalar sistemasining hech bo'lmaganda bitta tenglamasi bog'lanmagan emas. Haqiqatan ham, agar (2.6.12) tenglamalarning har birini mos ravishda  $\omega_r^0$  ( $r = \overline{1, l}$ ) ga ko'paytirib, barchasini qo'shsak, u holda (2.6.13) ga asosan aynan nolni hosil qilamiz.

Demak, (2.6.11)–(2.6.13) tenglamalar sistemasining bog'lanmagan (erkin) tenglamalari soni barcha tenglamalar sonidan hech bo'lmaganda bittaga kam bo'ladi. Shuning uchun ham nogolonom tizimlar statsionar harakatlari hech bo'lmaganda bir o'lchamli sirtini tashkil qiladi.

Shunday qilib, nogolonom tizimlar statsionar harakatlari holatini tekshirishda nogolonom tizimlar muvozanat holatlarini tekshirishdagi holatga monand holatga kelamiz. Demak, ikkinchi paragrafda bayon etilgan nazariyani bu yerda ham tatbiq etish mumkin.

**Tayanch iboralar:** *birinchi yaqinlashish usuli, Lyapunovning turg'unlik haqidagi teoremlari, toyilgan harakat, differensial tenglamalar, ildizlar, algebraik tenglama, asimptotik turg'un, toyilmagan harakat, muvozanat holati, golonom, nogolonom bog'lanishlar, geometrik bog'lanishlar, kinematik bog'lanishlar, nogolonom tizim, golonom tizim, disk, harakat tenglamalari, Dalamber–Lagranj tenglamalari, umumlashgan koordinatalar, variatsiyalar, chiziqli tenglamalar, Uitteker, Raus, Appel tenglamalari, kinetik energiya, chiziqli bog'lanishlar, Chaplugin tenglamalari, Vorones tenglamalari, Neymark va Fufayev tenglamalari, muvozanat holatining turg'unligi, statsionar harakatning turg'unligi, muvozanat holatlari sirtining turg'unligi, kichik tebranishlar.*



### Takrorlash uchun savol va topshiriqlar

1. Birinchi yaqinlashish usuli bo'yicha Lyapunovning turg'unlik haqidagi teoremlarini isbotlab bering.
2. Qanday tizimlar golonom va nogolonom tizimlar deb aytiladi? Misollar keltiring.
3. Golonom va nogolonom tizimlar harakatining tenglamalari. Ularning farqi nimadan iborat?

4. Umumlashgan koordinatalar deganda nimani tushunasiz?
  5. Umumlashgan kuchlar deb nimaga aytamiz?
  6. Appel, Vorones va Chaplign tenglamalarini keltirib chiqaring.
  7. G'ildirakli transport mashinalari harakat tenglamalarini keltirib chiqaring.
  8. Shinalarning deformatsiyalanishi natijasida g'ildirakka ta'sir etadigan umumlashgan reaksiya kuchlari qanday parametrlarga bog'liq?
  9. Nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligini tadqiq etish sohasida qaysi olimlar shug'ullanganlar? Ularning ishlarini taqqoslang.
  10. Kichik tebranishlar tenglamasini tuzing. Koeffitsiyentlar matritsasi-ning xususiyati nimadan iborat?
  11. Muvozanat holatlari sirtining turg'unligini tadqiq eting.
  12. Nega nogolonom tizimlarda muvozanat holatlari sirti mavjud?
  13. Chaplign chanasining qiya tekisligidagi harakatining turg'unligini tadqiq eting.
  14. Nogolonom tizimlar muvozanat holatlari sirtining asimptotik turg'unligi haqidagi teoremani isbotlang.
  15. Golonom va nogolonom tizimlar statsionar harakatlarining turg'unligini tadqiq eting.
  16. Nogolonom tizimlar statsionar harakatlari hech bo'lmaganda bir o'lchamli sirtni tashkil etishini isbotlang.
-

Ushbu bobda dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq jarayonini avtomatlashtirishda paydo bo'ladigan vazifalarni amalga oshirish usullari, dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq etishning Raus, Gurvis, Mixaylov, Naykvist kriteriyalariga, *D*-bo'laklash usuliga, umumlashgan Shturm qatoriga hamda birinchi bobda yoritilgan yangi informatsion texnologiyaga asoslangan algoritm va dasturlar bayon etiladi.

### 1- §. Raus—Gurvis muammosi paydo bo'lishining tarixi

Lyapunovning 1- teoremasiga asosan

$$\frac{dx_s}{dt} = \sum_{k=1}^n p_{sk} x_k + X_s(x_1, \dots, x_n) \quad (s = \overline{1, n}) \quad (3.1.1)$$

differential tenglamalar sistemasining muvozanat holati (toyilmagan harakati) asimptotik turg'un bo'lishi uchun

$$\Delta(\lambda) = |\lambda E - A|$$

xarakteristik tenglamaning barcha  $\lambda_s$  ildizlari (ya'ni  $A = \| \| p_{sk} \| \|$  matritsaning barcha xarakteristik sonlari)ning haqiqiy qismi manfiy bo'lishi zarur va yetarli, bu yerda  $X_s$  yoyilmasi kamida ikkinchi darajali hadlar bilan boshlanadigan funksiya.

Shuning uchun ham berilgan algebraik tenglama barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy ishorali bo'lishining zaruriy va yetarli shartlarini topish masalasi mexanik, elektr, avtomatik boshqarish va rostlash sistemalarining turg'unlik masalasini tadqiq etishda muhim ahamiyatga egadir. Bu masalaning muhimligini birinchi bo'lib, XIX asrning ikkinchi yarmida mashinalarni rostlash nazariyasining asoschilari bo'lgan ingliz fizigi, Kembrij universitetining professori D.K. Maksvell (1831—1879) va rus muhandis-matema-



tigi, Peterburg texnologiya institutining professori I.A. Vishnegradskiy (1831–1895) ko'rsatgan edilar [6, 20]. Ular o'zlarining rostlagichlarga (regulatorlarga) bag'ishlagan ishlarida yuqorida aytilgan zaruriy va yetarli shartlarni uchinchi darajali algebraik tenglamalar uchun topdilar va tadqiqotlarida foydalandilar.

1868- yilda Maksvell London matematiklar jamiyati oldiga ana shu zaruriy va yetarli shartlarni yuqori darajali algebraik tenglamalar uchun topish masalasini qo'yadi. Bu masala aslida fransuz matematigi Ermit tomonidan hal etilgan edi, ammo uning natijalari amaliy sohalarda ishlayotgan tadqiqotchilar foydalana oladigan holatga keltirilmagan edi. Shuning uchun ham Ermitning bu ishi keng tarqalmadi.

1875- yilda ingliz mexanigi E.J. Raus [35, 58–60], Shturm teoremasi va Koshi indeksleri nazariyasidan foydalanib, dastlab to'rtinchi va beshinchi darajali algebraik tenglamalar uchun va 1877- yilda ixtiyoriy darajali algebraik tenglamalar uchun o'ng yarim tekislikda ( $\operatorname{Re} z > 0$ ) yotgan ildizlar soni  $k$  ni topish algoritmini yaratdi.  $k = 0$  bo'lganda, bu algoritm turg'unlik kriteriysini beradi.

Bu kriteriy ixtiyoriy darajali xarakteristik tenglama ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishining zaruriy va yetarli shartlarini beradi.

1890- yilda slovak muhandis-tadqiqotchisi, Syurix politexnika instituti professori, gaz va bug' turbinalar nazariyasi asoschisi Aurel Stodola (1859–1942), Maksvell va Raus ishlaridan bexabar holda, algebraik tenglama barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishining zaruriy va yetarli shartlarini topishni Syurix politexnika instituti professori, matematik A. Gurvisdan iltimos qiladi. 1895- yilda A.Gurvis [7] 15 yil oldin Raus tomonidan yechilgan masalaning yechimini, fransuz matematigi Ermitning ishlariga asoslanib, ikkinchi marta berdi. Ammo Gurvis aslida Raus yechimini takrorlamagan. U masalaning yechimini elegant determinant shaklida yozilgan tengsizliklar sifatida berdi. Gurvisning bu kriteriysi Raus kriteriysidan shaklan farq qilsa-da, mazmun jihatidan u bilan mos keladi. Hozirgi vaqtda bu tengsizliklar Raus–Gurvis tengsizliklari yoki Raus–Gurvis kriteriysi deb ataladi.

Ammo Gurvis kriteriysi yaratilgunga qadar, hozirgi zamon turg'unlik nazariyasining asoschisi A.M. Lyapunov o'zining mashhur dissertatsiyasida [19] xarakteristik tenglama barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishi uchun qanday zaruriy va yetarli shartlar bajarilishi kerakligini ko'rsatadigan teoremani isbotladi. Bu shartlar rostlash nazariyasida keng qo'llaniladi.

1914- yilda fransuz matematiklari Lenar va Shipar tomonidan yangi turg'unlik kriteriysi yaratildi [7]. Lenar—Shipar turg'unlik kriteriysida determinant tengsizliklar soni Raus—Gurvis kriteriy-sidagiga nisbatan taxminan ikki marta kam. Shu jihatdan ularning kriteriyasi Raus—Gurvis kriteriysidan ustun turadi.

Avtomatika, radiotexnika, boshqarish va rostlash nazariyalarida paydo bo'lgan yangi turg'unlik masalalarini yechish uchun Naykvist, Mixaylov, Popov kriteriyalari hamda Neymarkning  $D$ - bo'laklash usuli yaratildi [23–25].

## 2- §. EHMda masalani yechish jarayoni

EHMda masalani yechish uchun I bobda bayon etilgan yangi informatsion texnologiyaga asosan quyidagi vazifalarni amalga oshirish lozim bo'ladi:

- a) masalaning qo'yilishi va uning tahlili (formallashtirish);
- b) masalaning matematik modelini aniqlash;
- d) matematik modelni tahlil qilish uchun hisoblash usullarini tanlash;
- e) hisoblash usullarining algoritmini yaratish;
- f) algoritmning dasturini yaratish;
- g) hisoblash eksperimentlarini o'tkazish sxemasini aniqlash;
- h) hisoblash eksperimentlari natijalarini tahlil qilish asosida zaruriy xulosalarni aniqlash.

Dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq qilish masalasini tahlil qilish natijasida uning matematik modeli kelib chiqadi. Ushbu jarayonni quyidagi algoritm asosida amalga oshirish mumkin:

- 1) dinamik tizimning tarkibiy qismlarini aniqlash;
- 2) tizimning  $q_1, \dots, q_n$  umumlashgan koordinatlarini aniqlash;

- 3) tizim tarkibiy qismlari massa markazlarining koordinatalarini umumlashgan koordinatalar orqali ifodalash;
- 4) massa markazlarining tezligini aniqlash;
- 5) oniy burchak tezliklarini aniqlash;
- 6) tarkibiy qismlarning kinetik energiyasini aniqlash;
- 7) dinamik tizimning kinetik energiyasini aniqlash;
- 8) tizimning integrallanmaydigan kinematik tenglamalarini aniqlash (nogolonom tizimlar uchun);
- 9) dinamik tizimga ta'sir etuvchi  $Q_j$  umumlashgan kuchlarni aniqlash (g'ildirakli tizimlar uchun pnevmatikaning deformatsiyalanishi tufayli hosil bo'ladigan  $R_j$  umumlashgan reaksiya kuchlarini topish);
- 10) 7, 9- qadamlar natijalariga ko'ra tizimning

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial q_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + R_j$$

ko'rinishdagi dinamik tenglamalarini aniqlash;

11) 8, 10- qadamlardagi tenglamalarni birlashtirib, tizimning matematik modelini hosil qilish;

12) tamom.

Mazkur paragrafda qo'yilgan vazifalar a), b), d), h) bandlarining bajarilishi V bobda muayyan masalalarni yechish jaryonida namoyish qilinadi, e), f), g) bandlarda ko'rsatilgan vazifalar esa mazkur bobning keyingi paragraflarida yoritiladi.

### **3- §. Differensial tenglamalar sistemasining xarakteristik tenglamasini keltirib chiqarish algoritmi va dasturi**

Dinamik tizimlar harakatining turg'unligini algebraik usullar orqali tadqiq etishni avtomatlashtirish yo'lida, birinchi navbatda, differensial tenglamalar sistemasining xarakteristik tenglamasini hosil qilish masalasini hal qilish kerak. Bu paragrafda dinamik tizimning harakat tenglamasiga asosan xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarini topishning inversiya usuliga asoslangan algoritmini beramiz [43, 50].

Ixtiyoriy dinamik tizimning harakatini ifodalovchi  $n$  ta o'zgar-  
mas koeffitsiyentli chiziqli differensial tenglamalar sistemasi  
quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$A\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = 0, \quad (3.3.1)$$

bu yerda  $A = (a_{ij})_{NXN}$ ,  $B = (b_{ij})_{NXN}$ ,  $C = (c_{ij})_{NXN}$  — koeffitsiyent-  
larning o'zgarmas matritsalarini,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  — dinamik  
tizim umumlashgan koordinatalarining ustun-vektori.

Differensial tenglamaning koeffitsiyentlari  $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \tau, \nu$   
parametrlarga bog'liq bo'lsin, ya'ni

$$a_{ij} = a_{ij}(\alpha, \beta, \gamma, \dots, \tau, \nu),$$

$$b_{ij} = b_{ij}(\alpha, \beta, \gamma, \dots, \tau, \nu),$$

$$c_{ij} = c_{ij}(\alpha, \beta, \gamma, \dots, \tau, \nu).$$

Dinamik tizimning (3.3.1) ko'rinishdagi harakat tenglamasiga  
ko'ra  $A, B, C$  o'zgarmas matritsa koeffitsiyentlarini hosil qilish  
uchun  $CA(N, 3)$  matritsa berilgan bo'lishi kerak. Bu yerda  $CA(N, 3)$   
matritsaning  $C(i, 1), C(i, 2), C(i, 3)$  elementlari mos ravishda  
 $\ddot{x}_i, \dot{x}_i, x_i$  belgilardan iborat.

### **$A, B, C$ matritsalar elementlarini topish algoritmi**

1.  $A = 0; B = 0; C = 0$  {matritsalarini 0 bilan ta'minlash}.
2.  $i = 1$ .
3.  $j = 1$ .
4.  $k = 1$ .
5. Agar  $UR_{i,j} \cap CA(k, 1) \neq 0$  bo'lsa, u holda  $a_{ij} = K2(UR_{ij})$ .
6. Agar  $UR_{i,j} \cap CA(k, 2) \neq 0$  bo'lsa, u holda  $b_{ij} = K1(UR_{ij})$ .
7. Agar  $UR_{i,j} \cap CA(k, 3) \neq 0$  bo'lsa, u holda  $c_{ij} = K0(UR_{ij})$ .
8.  $k = k + 1$ .
9. Agar  $k \leq m$  bo'lsa, u holda 5- qadamga qaytilsin.
10.  $j = j + 1$ .
11. Agar  $j \leq n$  bo'lsa, u holda 4- qadamga qaytilsin.
12.  $i = i + 1$ .

13. Agar  $i \leq n$  bo'lsa, u holda 3- qadamga qaytilsin.

14. Algoritm tugashi.

Bu yerda  $K2(UR_{ij})$ ,  $K1(UR_{ij})$ ,  $K0(UR_{ij})$  lar mos koeffitsiyentlarni ajratib olish amalidir. Muayyan tizimni tadqiq qilish jarayonida  $(\alpha, \beta, \gamma, \dots, \tau, \nu)$  parametrlarning berilgan qiymatlariga asosan  $A, B, C$  matritsa elementlarining qiymatlari hisoblanadi va

$$d_t = \sum_{t=2n-2p-q}^{p+q+r-n} \det[a_{i_1} a_{i_2} \dots a_{i_p} b_{j_1} b_{j_2} \dots b_{j_q} c_{k_1} c_{k_2} \dots c_{k_r}], \quad (A)$$

$$t = \overline{0, 2n}, p = \overline{0, n}, q = \overline{0, n}, r = \overline{0, n},$$

formulaga asosan

$$|A\lambda^2 + B\lambda + C| = 0 \quad (3.3.2)$$

ko'rinishdagi determinant tenglama tuziladi. Bu yerda  $[a_{i_1} a_{i_2} \dots a_{i_p} b_{j_1} b_{j_2} \dots b_{j_q} c_{k_1} c_{k_2} \dots c_{k_r}]$  matritsa bo'lib, uning birinchi, ikkinchi, ...,  $p$ - ustunlari  $A$  matritsaning  $i_1, i_2, \dots, i_p$ - ustunlaridan,  $p+1, p+2, \dots, p+q$ - ustunlari  $B$  matritsaning  $j_1, j_2, \dots, j_q$ - ustunlaridan  $p+q+1, p+q+2, \dots, p+q+r = n$ - ustunlari  $C$  matritsaning  $k_1, k_2, \dots, k_r$ - ustunlaridan iborat bo'ladi. Bu tenglamaning determinantini yoyib chiqsak, xarakteristik tenglama hosil bo'ladi.

### Determinantni yoyish algoritmi

1.  $(1, 2, \dots, n)$  o'rniga qo'yishlar sonini aniqlash.
2. O'rniga qo'yishdagi inversiyalar sonini aniqlash.
3.  $(-1)^k e_{1k_1} e_{2k_2} e_{3k_3} \dots e_{nk_n}$  ko'rinishdagi determinant elementlarining ko'paytmasini topish, bu yerda  $e_{ij}$  - ko'phad,  $k_1, k_2, \dots, k_n$  - o'rin almashtirish,  $k$  - o'rniga qo'yishning inversiya soni.
4. Ko'phadlarni qo'shish.
5. Ko'phadning o'xshash hadlarini guruhlash.
6. Ko'phadni shartli ravishda ixchamlash.

### Xarakteristik tenglamani hosil qilish algoritmi

1. Algoritmning boshi.
2.  $z = 1$ .

3.  $k = 1$ .

4. O'rin almashtirish  $i_k$ - soni topilsin.

5. Agar  $e_{kjk}$  ko'phad 0 ga teng bo'lsa, u holda 3- qadamga qaytilsin, aks holda  $k = k + 1$ .

6. Agar  $k < n + 1$  bo'lsa ( $n$  - dastlabki matritsaning tartibi), u holda 4- qadamga o'tilsin, aks holda  $i_1, i_2, \dots, i_n$  o'rin almashtirishlar topilgan bo'ladi.

7.  $e_{kjk}$  ko'phadlarning birhadlari ko'paytirilsin (hadlar mumkin bo'lgan barcha kombinatsiyalarda olinadi).

8. Hadlar ko'paytmasining natijalari qo'shilsin;

9. Hadlarning o'xshash hadlari guruhkansin.

10.  $i = i + 1$ .

11.  $j = j + 1$ .

12. Agar  $i$ - had  $j$ - had bilan o'xshash bo'lsa, u holda  $i$ - hadning koeffitsiyentiga  $j$ - hadning koeffitsiyenti qo'shilsin va  $j$ - had tashlab yuborilsin.

13. Agar tekshirilayotgan hadlar o'xshash bo'lmasa, u holda  $j = j + 1$ .

14. Agar  $j < k$  bo'lsa, u holda 12- qadamga o'tilsin.

15.  $i = i + 1$ .

16. Agar  $i < k - 1$  bo'lsa, u holda 11- qadamga o'tilsin.

17. Oraliq ko'phad yakuniy ko'phadga birlashtirilsin.

18.  $z = z + 1$ .

19. Agar  $z \leq n!$  bo'lsa, u holda 3- qadamga o'tilsin.

20. Yakuniy ko'phadning o'xshash hadlari guruhkansin.

21. Agar  $i$ - had  $j$ - had bilan o'xshash bo'lsa, u holda  $i$ - hadning koeffitsiyentiga  $j$ - hadning koeffitsiyenti qo'shilsin va  $j$ - had tashlab yuborilsin.

22. Agar tekshirilayotgan hadlar bir xil bo'lmasa, u holda  $j = j + 1$  bo'ladi.

23. Agar  $j < k$  bo'lsa, u holda 21- qadamga o'tilsin.

24. Algoritmning tugashi.

Bayon etilgan algoritm matritsaning elementlari ko'p o'zgaruvchilarga bog'liq ko'phadlar bo'lgan holda ham uning determinantini yoyishga imkon beradi. Shuning uchun ham bu algoritm M.A. Chubarov yaratgan algoritmning umumlashmasi bo'ladi [54].

Shunday qilib, bu algoritm yordamida differensial tenglamalarning xarakteristik tenglamasini avtomatik keltirib chiqarish mumkin. (3.3.1) tenglamalar sistemasining xarakteristik tenglamasi

$$f_0(\lambda) = d_0\lambda^{2n} + d_1\lambda^{2n-1} + \dots + d_{2n-1}\lambda + d_{2n} = 0 \quad (3.3.3)$$

ko'rinishda bo'ladi.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  matritsalar elementlarining qiymatlariga bog'liq ravishda xarakteristik tenglamaning darajasi  $2n$  dan kichik yoki teng va ma'lum sondagi nol ildizga ega bo'lishi mumkin. U holda xarakteristik tenglamaning darajasi nol ildizlar soniga teng songa kamayadi. Shu holatlarni hisobga olganda, xarakteristik tenglamaning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$f(\lambda) = d_0\lambda^m + d_1\lambda^{m-1} + \dots + d_{m-1}\lambda + d_m = 0, \quad (3.3.4)$$

bu yerda  $m \leq 2n$ ,  $d_0 d_m \neq 0$ .

### Xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlarini topish dasturi

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**

$A(ni, ni)$ ,  $B(ni, ni)$ ,  $C(ni, ni)$  – matritsalar elementlarining qiymati;

$ni$  – tenglamalar soni.

**Dasturning natijasi:**

$d(0..m-1)$  – xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari;

$m$  – xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari soni.

Dasturda determinantning qiymatini hisoblash uchun **GAUS1** nomli yordamchi funksiyadan foydalaniladi [42].

### Dastur matni

Programm **KOEF\_HAR\_UR**;

uses crt;

const ni=2; m=2\*ni;

type mas1=array[1..ni] of real;

mas11=array[0..m] of real;

mas2=array[1..n,1..n] of real;

var A,B,C,abc:mas2;

d:mas11;

il,j1:integer;

```

function GAUS1(n:integer):real;
  label ff,pp,qq;
  var i,j,k,l,im,jm:integer;
      d,e:real;
      a:mas2;
      aj:mas1;
  begin
    for i:=1 to n do
      for j:=1 to n do a[i,j]:=abc[i,j];
      d:=1;
      for j:=1 to n-1 do
        begin
          im:=j;
          jm:=j;
          for k:=j to n do aj[k]:=abS(a[j,k]);
          for i:=j to n do
            begin
              e:=abs(a[i,j]);
              for k:=j to n do
                begin
                  if e<abc(a[i,k]) then e:=abs(a[i,k]);
                  if aj[k]<abs(a[i,k]) then aj[k]:=abs(a[i,k]);
                  if abc(a[im,jm])<abs(a[i,k]) then
                    begin
                      im:=i;
                      jm:=k;
                    end;
                end;
              end;
            if e=0 then
              begin
                d:=0;
                goto ff;
              end;
          end;
        end;
      for k:=j to n do if aj[k]=0 then
        begin

```



```

        d:=0;
        goto ff
    end;
if abs(a[im,jm])<1e-19 then
    begin
        d:=0;
        goto ff
    end;
if jm=j then goto pp;
d:=-d;
for l:=j to n do
    begin
        e:=a[l,j];
        a[l,j]:=a[l,jm];
        a[l,jm]:=e;
    end;
pp:if im=j then goto qq;
d:=-d;
for l:=j to n do
    begin
        e:=a[j,l];
        a[j,l]:=a[im,l];
        a[im,l]:=e;
    end;
qq:for i:=j+1 to n do
    for k:=j+1 to n do
        a[i,k]:=a[i,k]-a[i,j]*a[j,k]/a[j,j];
        d:=d*a[j,j];
    end;
d:=d*a[n,n];
ff:gangaus:=d;
end; {GAUS1 ning oxiri}

```

```

procedure koefhar(A,B,C:mas2; ni:integer; var m:integer;
var d:maq11);
label p1,p2,p3;

```

```

var i,j,l:integer;
v:mas1;
begin
  m:=2*ni
  for l:=0 to m do d[l]:=0;
  for l:=1 to n do v[l]:=0;
    for i:=1 to n do
      for j:=1 to n do abc[i,j]:=a[i,j];
        i:=0;
  P1: d[i]:=d[i]+GAUS1(n);
    if i<m then
      begin
        j:=n;
  P2: if v[j]=0 then
      begin
        for l:=1 to n do abc[l,j]:=b[l,j];
          goto P3;
        end;
      if v[j]=1 then
        begin
          for l:=1 to n do abc[l,j]:=c[l,j];
  P3: v[j]:=v[j]+1;
          i:=i+1;
          goto P1;
        end;
      for l:=1 to n do abc[l,j]:=a[l,j];
        i:=i-2;
        v[j]:=0;
        j:=j-1;
        goto P2;
      end;
    end;
end;

BEGIN
clrscr;
for il:=1 to ni do
begin

```

```

        for j1:=1 to ni do
            read(a[i1,j1]);
            writeln
        end;
    for i1:=1 to ni do
        begin
            for j1:=1 to ni do
                read(b[i1,j1]);
                writeln
            end;
        for i1:=1 to ni do
            begin
                for j1:=1 to ni do
                    read(c[i1,j1]);
                    writeln
                end;
            koefhar(a,b,c,ni,m,d);
        for i1:=0 to m do
            {writeln('d[' ,i1,']= ',d[i1]:5:3);}
        end.

```

$A$ ,  $B$ ,  $C$  matritsalar elementlarining qiymatlariga bog‘liq ravishda xarakteristik tenglamaning darajasi  $2n$  dan kichik yoki teng va ma’lum sondagi nol ildizga ega bo‘lishi mumkin. U holda xarakteristik tenglamaning darajasi nol ildizlar soniga teng songa kamayadi.

#### 4- §. Harakatning turg‘unlik sohasini aniqlashning umumiy algoritmi va dasturi

Muayyan dinamik tizimning xarakteristik tenglamasi keltirib chiqarilgandan keyin, harakat turg‘unligini va turg‘unlik sohasining chegarasiga konstruktiv parametrlarning ta’sirini tadqiq etish uchun quyidagi algoritmi (hisoblash eksperimentlarini o‘tkazish sxemasi)ga rioya qilish kerak [43]:

1. Tizim konstruktiv parametrlarining nominal qiymatlarini kiritish.

2. Turg'unlik sohasi va uning chegarasiga ta'sirini o'rganilishi lozim bo'lgan konstruktiv parametrlarni tanlash.

3. 2- qadamda tanlangan parametrlarning o'zgarish chegarasi va qadamini kiritish.

4. Tekisligida turg'unlik sohasini yasash lozim bo'lgan parametrlarni tanlash.

5. 4- qadamda tanlangan parametrlarning o'zgarish chegarasi va qadamini kiritish.

6. 2- qadamda tanlangan parametrlarning qiymatini siklik o'zgartirish.

7. 4- qadamda tanlangan parametrlarning qiymatini siklik o'zgartirish.

8. Xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarini aniqlash.

9. Turg'unlikni tadqiq qilishning biror kriteriysini tanlash.

10. Turg'unlik shartlarini tekshirish.

11. Turg'unlik sohasini yasash.

12. Algoritmning tugashi.

### **Harakatning turg'unlik sohasini aniqlash dasturi**

**Dasturning ishlashi uchun kiritiladigan ma'lumotlar:**

**K** – konstruktiv parametrlar soni, butun o'zgaruvchi;

**x** – turg'unlik tekisligida absissa sifatida qabul qilingan konstruktiv parametr nomeri;

**y** – turg'unlik tekisligida ordinata sifatida qabul qilingan konstruktiv parametr nomeri;

**zita** – turg'unlik sohasi va uning chegarasiga ta'sirini o'rganish lozim bo'lgan konstruktiv parametrlar soni;

**PB(1..K)** – konstruktiv parametrlar qiymatining quyi chegarasi, bir o'lchovli haqiqiy massiv;

**PE(1..K)** – konstruktiv parametrlar qiymatining yuqori chegarasi, bir o'lchovli haqiqiy massiv;

**DP(1..K)** – konstruktiv parametrlar qiymatining o'zgarish qadami, bir o'lchovli haqiqiy massiv;

**PC(zita)** – turg'unlik sohasi va uning chegarasiga ta'sirini o'rganish lozim bo'lgan konstruktiv parametrlarning nomerlari.

Dastur 4 ta amaliy modulga murojaat qiladi:

**mod\_SERV** moduli foydalanuvchilar uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazish muhitini tashkil qilib beradi. Bu muhit yordamida tadqiq qilinadigan masalaning konstruktiv parametrlari soni **K, PB, PE, DP, PC, x, y, zita** ning qiymati, harakat turg'unligini aniqlash kriteriysi, tanlangan parametrlar tekisligida turg'unlik sohasi aniqlanadi;

**mod\_abc** modulida masalaning qo'yilishiga mos differensial tenglamalarning koeffitsiyentlaridan tuzilgan *A, B, C* matritsalar elementlarining qiymatlari, xarakteristik determinant elementlari, xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari aniqlanadi;

**mod\_ust1** – harakatning turg'unligini aniqlashning Shturm (SHTURM), Gurvis (GURV), Raus(RAUS), Lyenar–Shipar (L\_SHIPAR), **mod\_ust2** esa Mixaylov (MIH), *D*- bo'laklash (DRAZB1, DRAZB2), Naykvist (NAIKVIST) kriteriyalariga asoslangan protseduralar modullari.

**mod\_SERV, mod\_abc** modullarining tavsifi IV bobda batafsil bayon qilinadi, **mod\_ust1, mod\_ust2** modullari esa mazkur bobning keyingi paragraflarida tavsiflanadi.

EAVTO modullar kutubxonasining ishlashi natijasida **PC(1), PC(2), ..., PC(zita)** nomerli konstruktiv parametrlar qiymatining har bir o'zgarishi uchun (**x, y**) parametrlar tekisligida turg'unlik sohasi aniqlanadi. Uning ishlash jarayonini namoyish qiladigan misollar V bobda muayyan tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq qilish orqali ko'rsatiladi.

### Dastur matni

```
PROGRAM EAVTO; {$N+}  
uses crt,dos,mod_ust1,mod_ust2,mod_abc,mod_serv;  
const ni=8; mi=2*ni; pi=3.14;  
label P0,P1,P11,P2,P3,P4,P5,P51,P6,P7,P8,P9, P10,  
STAB, UNSTAB, FIN,odoq;  
type mas = array [1..ni,1..ni] of real;  
      mass = array [1..ni] of real;  
var ffff:text;  
      Year,Month,Day,DayOfWeek:word;
```

```

KIRISH:boolean;
i,j,k,l,Lp,k3,k4,x,y,z,mm1,nx,ny,p, q,r,s,t,zita,HS,
H,JH,PRIZM,n,m,kk:integer;
e,f,xb,x1,x2,xe,dx,px,yb,y1,y2,y3,y4,ye,dy,py:real;
kap11,kap12,kap21,n3,n4,n5:real;
AA,a1,a2,AA1,AA2,BB,b1,b2,BB1,BB2,DD,h1,h2,J0,
J1,J11,J2,J3,J4,J5,J6,K1,K2,K21,l0,l1,l2,l3,LL,LL1,
m0,m1,m2, m3,m32,no,NN,n1,n2,r0,VV,W,al1, al2,
be1,be2,ga0,ga0g,ga1,ro,ro1,si,sil,di:real;
a,b,c,abc:mas; PA,PB,DP,PE:array[1..30] of real;
d,ddd:array[0..mi] of real; v:array[1..ni] of integer;
PC:array[1..30] of integer;
ff,f1,f2,f3,f5,f6:text;
fr,fr1,frbz,sm1,sm2,sm3,sm4,sm5:string;
flag1,flag2:boolean;
nn1,nn2,ind:integer;
function GAUS1(n:integer):real;
  label ff,pp,qq;
  var i,j,k,l,im,jm:integer;
      d,e:real;
      a:mas2;
      aj:mas1;
  begin
    for i:=1 to n do
      for j:=1 to n do a[i,j]:=abs[i,j];
      d:=1;
      for j:=1 to n-1 do
        begin
          im:=j;
          jm:=j;
          for k:=j to n do aj[k]:=abs(a[j,k]);
          for i:=j to n do
            begin
              e:=abs(a[i,j]);
              for k:=j to n do
                begin

```

```

        if e<abs(a[i,k]) then e:=abs(a[i,k]);
        if aj[k]<abs(a[i,k]) then aj[k]:=abs(a[i,k]);
        if abs(a[im,jm])<abs(a[i,k]) then
        begin
            im:=i;
            jm:=k;
        end;
    end;
    if e=0 then
    begin
        d:=0;
        goto ff
    end;
end;
for k:=j to n do if aj[k]=0 then
begin
    d:=0;
    goto ff
end;
if abs(a[im,jm])<1e-19 then
begin
    d:=0;
    goto ff
end;
if jm=j then goto pp;
d:=-d;
for l:=j to n do
begin
    e:=a[l,j];
    a[l,j]:=a[l,jm];
    a[l,jm]:=e;
end;
pp:if im=j then goto qq;
d:=-d;
for l:=j to n do
begin

```

```

        e:=a[j,l];
        a[j,l]:=a[im,l];
        a[im,l]:=e;
    end;
    qq:for i:=j+1 to n do
        for k:=j+1 to n do
            a[i,k]:=a[i,k]-a[i,j]*a[j,k]/a[j,j];
            d:=d*a[j,j];
        end;
    end;
    d:=d*a[n,n];
    ff:gangaus:=d;
end; {GAUS1 ning oxiri}

```

```

procedure koefhar(A,B,C:mas2; ni:integer; var m:integer;
                 var d:mas1);

```

```

label p1,p2,p3;
var i,j,l:integer;
v:mas1;
begin
    m:=2*ni
    for l:=0 to m do d[l]:=0;
for l:=1 to n do v[l]:=0;
    for i:=1 to n do
        for j:=1 to n do abc[i,j]:=a[i,j];
        i:=0;
    P1: d[i]:=d[i]+GAUS1(n);
        if i<m then
            begin
                j:=n;
    P2: if v[j]=0 then
                    begin
                        for l:=1 to n do abc[l,j]:=b[l,j];
                        goto P3;
                    end;
                if v[j]=1 then
                    begin

```



```

        for l:=1 to n do abs[l,j]:=c[l,j];
P3:v[j]:=v[j]+1;
    i:=i+1;
    goto P1;
end;
for l:=1 to n do abs[l,j]:=a[l,j];
    i:=i-2;
    v[j]:=0;
    j:=j-1;
    goto P2;
end;
end;
end;

```

**BEGIN**

```

    clrscr;
    writeln('Bu yerda N ',prizm);
    writeln('Natijaviy faylning nomini kiriting');
    readln(fr);
    fr:=fr+'.res';
    assign(f2,fr);
    rewrite(f2);
    writeln('Ma'lumotlar bazasining nomini kiriting');
    readln(frbz);
    frbz:=frbz+'.dat';
    assign(f1,frbz);
    reset(f1);
    readln(f1,HS);
    writeln('Joriy hisob nomerini kiriting');
    readln(JH);
    ClrScr;
KIRISH:=true;
    H:=0;
    while H<JH do
    BEGIN
        P0:H:=H+1;
        i:=0;

```

**{Konstruktiv parametrlarning nominal qiymatini kiritish}**

```
while i<30 do
begin
  i:=i+1;
  read(f1,PB[i],DP[i],PE[i]);
  Param(PB[i],i);
end;
```

**{Tekisligida turg'unlik sohasi aniqlanadigan parametrlarni aniqlash}**

```
readln(f1);
readln(f1,x,y,zita);
z:=0;
```

**{Qiymatlarini ixtiyoriy ravishda o'zgartiradigan parametrlarni tanlash va ularning o'zgarish sohasini kiritish }**

```
while z<zita do
begin
  z:=z+1;
  read(f1,PC[z])
end;
readln(f1);
if KIRISH then
if H<JH then goto P0;
case PRIZM of
14: begin VIV(prizm,sm1);n:=8;m:=2*n; end;
end;
writeln;
writeln(' Dastlabki ma'lumotlar');
writeln(f2);
writeln(f2, 'Dastlabki ma'lumotlar ');
lp:=0;
```

**{Konstruktiv parametrlarning qiymatini chiqarish}**

```
for i:=1 to 30 do
begin
```

```

for z:=1 to zita do
if i=PC[z] then goto P51;
if (i=x) or (i=y) then goto P51;
if lp>60 then
begin
  writeln;
  writeln(f2);
  lp:=0
end;
print(1,i,t);
lp:=lp+t;
P51: end;

```

**{Parametrlar tekisligi o'qlarini chizish, masshtab tanlash}**

```

writeln;
writeln(f2);
writeln;
writeln(f2);
lp:=0;
z:=0;
P6: z:=z+1;
k3:=PC[z];
PA[k3]:=PB[k3]-DP[k3];
P7: PA[k3]:=PA[k3]+DP[k3];
if KIRISH then
begin
  writeln(' Joriy qiymatlarni kiriting: ');
  print(0,k3,t);
  write(': ');
  readln(PA[k3])
end;
param(PA[k3],k3);
if PA[k3]>PE[k3]+DP[k3]/2 then
begin
P8: if z<=1 then goto P9;
z:=z-1;

```

```

        k3:=PC[z];
        goto P7
end;
if lp>60 then
begin
    writeln;
    writeln(f2);
    lp:=0
end;
print(1,k3,t);
writeln;
lp:=lp+t;
if z<zita then goto P6;
KIRISH:=false;
writeln;
writeln(f2);
xb:=PB[x];
dx:=DP[x];
xe:=PE[x];
nx:=trunc((xe-xb+dx/2)/dx);
if nx*dx-xe+xb>=dx/2 then xe:=xb+nx*dx;
yb:=PB[y];
dy:=DP[y];
ye:=PE[y];
ny:=trunc((ye-yb+dy/2)/dy);
if ny*dy-ye+yb>=dy/2 then ye:=yb+ny*dy;
x1:=xb+dx/2;
x2:=xe-dx/2;
y1:=yb-dy/2;
y2:=yb+dy/2;
y3:=ye-dy/2;
y4:=ye+dy/2;
write(' ':14);
write(f2' ':14);
print(-1,y,t);
writeln;
writeln(f2);

```

```

writeln('':15);
writeln(f2,'':15);
write('':15,' ');
write(f2,'':15,' ');
writeln(' Turg'unlik sohasi ');
writeln(f2,' Turg'unlik sohasi-');
writeln('':15,' parametrlar tekisligida');
writeln(f2,'':15,' parametrlar tekisligida');
write('':15,' ');
write(f2,'':15,' ');
if flag2 then
begin
    flag1:=true;
    print(-1,x,t);
    write(' va ');
    write(f2,' va ');
    print(-1,y,t);
    flag1:=false;
    flag2:=false;
    writeln;
    writeln(f2);
end
else
begin
    print(-1,x,t);
    write(' va ');
    write(f2,' va ');
    print(-1,y,t);
    writeln;
    writeln(f2);
end;
py:=ye+dy;

```

**{Parametrlar tekisligining ordinatasini o'zgartirish}**

```

while py>y2 do
begin

```

```

py:=py-dy;
if py<y2 then
begin
  write(yb:14);
  write(f2,yb:14);
end else
if (y3<py) and (py<y4) then
begin
  write(ye:14);
  write(f2,ye:14);
end else
begin
  write(f2,' ':14);
  write(' ':14);
end;
param(py,y);
px:=xb-dx;

```

**{Parametrlar tekisligining absissasini o'zgartirish}**

```

while px<x2 do
begin
  px:=px+dx;
  param(px,x);

```

**{mod\_abc moduliga murojaat qilinib, A, B, C matritsalar elementlarining qiymati aniqlanadi }**

```

MatkoefA(PRIZM,PB,PD,PE,A);
MatkoefB(PRIZM,PB,PD,PE,B);
MatkoefC(PRIZM,PB,PD,PE,C);

```

**{Xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining qiymatini aniqlash}**

```

koefhar(A,B,C, ni,m,d);

```

**{mod\_ust1, mod\_ust2 modullariga murojaat qilinib, turg'unlik shartini tekshirishning biror kriteriysi tanlanadi}**

```
VIBMET(prmet);
case prmet of
1: begin STURM(m,d,ind); t1:=0; end;
2: begin GURV(m,d,ind); t1:=0; end;
3: begin RAUS(m,d,ind,kk);t1:=0; end;
4: begin L_SHIPAR(m,d,ind);t1:=0; end;
5: begin MH(m,d,ind);t1:=0; end;
6: begin DR_1(PRIZM); goto ODOQ1; t1:=1; end;
7: begin DR_2(PRIZM); goto ODOQ1; t1:=1; end;
8: begin NIKVIST(PRIZM); goto ODOQ1; t1:=1; end;
end;
if ind=1 then begin
write(f2,'+');
write('+');
write(f5,'+');
goto fin;
end;
if ind=0 then begin
write(f2,'-');
write('-');
write(f5,'-');
end;
FIN: if py<y2 then
begin
write(f2,'----');
write('----');
print(-1,x,t)
end;
writeln(f2);
writeln(f5);
writeln;
ODOQ1:end;
If t1=1 then goto p9;
write(f2,xb:15);
```

```

write(xb:15);
for i:=1 to nx-1 do
begin
    write(f2,' ');
    write(' ');
end;
writeln(f2,xe:14);
writeln(xe:14);
writeln;
writeln(f2);
writeln(f5);
DATE;
TIME;
Lp:=0;
goto P7;
P9: writeln(' Turg'unlik sohasining o'zgarishi');
writeln(f2,' Turg'unlik sohasining o'zgarishi');
for i:=1 to 70 do
    begin
        write('-');
        write(f2,'-');
    end;
readln;
end;
ODOQ:writeln('    EAVTO dasturining tugashi');
writeln(f2,'    EAVTO dasturining tugashi');
DATE;
TIME;
close(f2); close(f1);
END.

```

### **5- §. Harakat turg'unligini tadqiq etishning umumlashgan Shturm qatoriga asoslangan algoritm va dasturi**

Endi dinamik tizimlar harakat turg'unligini tadqiq etishning umumlashgan Shturm qatoriga asoslangan algoritmini bayon etamiz



[42, 43]. Dinamik tizimning (3.3.4) ko‘rinishdagi xarakteristik tenglamasi aniqlangan bo‘lsin. U holda

$$T_0(\omega) = \operatorname{Re}[f(\omega I)], \quad T_1(\omega) = \operatorname{Im}[f(\omega I)]$$

belgilashlarni kiritamiz, bu yerda  $I$  – mavhum birlik. Yevklid algoritmidan foydalanib,  $T_0$  va  $T_1$  ko‘phadlardan umumlashgan Shturm qatorini tuzamiz:

$$T_0(\omega), T_1(\omega), \dots, T_i(\omega). \quad (3.5.1)$$

Bu qatordagi hadlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} T_0(\omega) &= E_1(\omega) \cdot T_1(\omega) - T_2(\omega), \\ T_1(\omega) &= E_2(\omega) \cdot T_2(\omega) - T_3(\omega), \\ &\dots\dots\dots \\ T_{i-1}(\omega) &= E_i(\omega) \cdot T_i(\omega) - T_{i+1}(\omega), \\ &\dots\dots\dots \\ T_{i-1}(\omega) &= E_i(\omega) \cdot T_i(\omega), \end{aligned}$$

bu yerda  $T_i$  ko‘phad  $T_0$  va  $T_1$  ko‘phadlarning eng katta umumiy bo‘luvchisi,  $T_{i+1}$  ko‘phad  $T_{i-1}$  ni  $T_i$  ga bo‘lish natijasida hosil bo‘lgan qoldiqning teskari ishora bilan olingani,  $E_i$  ko‘phad  $T_{i-1}$  ni  $T_i$  ga bo‘lishdan hosil qilingan bo‘linma.

$f(\lambda) = 0$  tenglamaning haqiqiy qismi manfiy bo‘lgan ildizlari soni  $\sigma$  Shturm teoremasiga asosan quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\sigma = \frac{m+S(+\infty)-S(-\infty)}{2}, \quad (3.5.2)$$

bu yerda  $S(+\infty)$  ifoda  $\omega$  ning katta musbat qiymatlari uchun (3.5.1) qatordagi ishoralar o‘zgarish soni,  $S(-\infty)$  ifoda  $\omega$  ning manfiy va absolut qiymati bo‘yicha katta qiymatlari uchun (3.5.1) qatordagi ishoralar o‘zgarish soni.

$T_0, T_1, \dots, T_i$  ko‘phadlar bo‘lgani uchun  $S(+\infty)$  va  $S(-\infty)$  sonlar ko‘phadlarning yuqori darajali hadi oldidagi koeffitsiyentlarning ishoralari bilan aniqlanadi.

(3.3.1) tizimning harakati turg'un bo'lishi uchun  $\sigma = m$  bo'lishi zarur va yetarli, ya'ni (3.5.2) ga asosan  $m = S(+\infty) - S(-\infty)$  bo'lishi kerak. Bu tenglik quyidagi shartlar bajarilgandagina o'rinli:

- 1)  $S(+\infty) = [m/2]$ ;
- 2)  $S(-\infty) = 0$ ;
- 3)  $l = m$ ;
- 4)  $T_i$  ko'phadning darajasi  $T_{i-1}$  ko'phadning darajasidan barcha  $i = 1, 2, \dots, m$  lar uchun faqat bir birlikka farq qiladi;
- 5) barcha  $i = 1, 2, \dots, m$  lar uchun  $d_0 \cdot d_1 > 0$ .

$\tau$  va  $\nu$  parametrlar tekisligida turg'unlik sohasini yasash talab etilsin. U holda  $\tau$  va  $\nu$  parametrlar tekisligida turg'unlik sohasini yasash algoritmi quyidagicha bo'ladi:

$$G = \{(\tau, \nu) \in E^2 \mid \tau_0 \leq \tau \leq \tau_j, \nu_0 \leq \nu \leq \nu_j\} \in E^2,$$

to'g'ri to'rtburchakda qurilgan

$$S = \{(\tau_i, \nu_i) \in E^2 \mid \tau_i = \tau_0 + (1-0)\Delta\tau, \nu_i = \nu_0 + (1-0)\Delta\nu\}$$

to'ring tugunlari bo'yicha  $\tau$  va  $\nu$  parametrlarning qiymatlarini siklik ravishda o'zgartirib, quyidagi qadamlarni bajaramiz:

1) har bir tugunda  $A, B, C$  matritsalarining elementlarini hisoblaymiz;

2) hisoblangan  $A, B$  va  $C$  matritsalarining elementlari orqali (A) formula (70- betga q.) bo'yicha  $f(\lambda)$  xarakteristik tenglamaning  $d_i$  koeffitsiyentlarini topamiz;

3) barcha  $i = 1, 2, \dots, M$  lar uchun  $d_0 \cdot d_1 > 0$  shartning bajarilishini tekshiramiz;

4)  $T_0$  va  $T_1$  ko'phadlarni tuzamiz;

5) aniqlangan  $T_{i-1}$  va  $T_i$  ko'phadlardan foydalanib, ketma-ket  $T_{i+1}$  ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ) ko'phadlarni topamiz. Bu jarayon davomida har bir  $i$  uchun  $T_i, T_{i+1}$  ko'phadlar darajalarining ayirmasi 1 ga teng yoki teng emasligi va bu ko'phadlarning yuqori darajali hadlari oldidagi koeffitsiyentlarning ishoralari bir-biriga teskarimi yoki yo'qmi ekanligi tekshiriladi. Agar ko'rsatilgan shartlarning birortasi bajarilmasa, u holda  $S$  to'ring mos tugunida „-“ ishorasi bosiladi. Aks holda ko'phad uchun barcha turg'unlik shartlari bajarilgan bo'ladi va  $S$  to'ring bu tugunida „+“ belgisi chop etiladi.

## Umumlashgan Shturm qatoriga asoslangan dastur

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**

$d(0...m)$  – xarakteristik ko‘phad koeffitsiyentlarining qiymatidan iborat  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o‘lchovli massiv;

$m$  – xarakteristik ko‘phadning tartibi;

$ni$  – tizim harakatini ifodalovchi tenglamalar soni.

**Dasturning natijasi:**

$$IND1 = \begin{cases} -, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ +, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

### Dastur matni

```
Uses crt;
Const ni=8;
Type mas11=array[0..2*ni] of real;
Var i: integer;
    IND1:char;
PROCEDURE SHTURM(m:integer;d:mas11;var t:char);
    Label rh,stab,unstsb,p4;
    Var mml,i,s,p:integer;
        function sign(x:real):integer;
            begin
                if x<0 then sign:=-1 else if x=0 then
                    sign:=0 else sign:=1;
            end;
        begin
            mml:=m;
            for i:=0 to m do
                if d[i]=0 then mml:=mml-1 elqe goto P4;
                P4: if mml<>m then
                    begin
                        s:=m-mml;
                        for i:=0 to mml do
                            d[i]:=d[i+q]
                        end;
                    end;
```

```

while d[mm1]=0 do mm1:=mm1-1;
if mm1=0 then goto unstab else
if mm1=1 then
if d[0]*d[1]>0 then goto stab else
goto unstab else
if mm1=2 then
begin
if d[0]*d[1]<=0 then goto unstab;
if d[0]*d[2]<=0 then goto unstab;
goto stab;
end;
s:=sign(d[0]);
for i:=1 to mm1 do
if s*sign(d[i])<=0 then goto unstab;
if mm1 mod 2=1 then i:=mm1-1 else
i:=mm1-2;
while i>=0 do
begin
d[i]:=-d[i];
if i>0 then d[i-1]:=-d[i-1];
i:=i-4;
end;
s:=1;
for p:=mm1 downto 3 do
begin
e:=-d[2]+d[0]*d[3]/d[1];
if e*d[1]>=0 then goto unstab;
f:=d[0];
d[0]:=d[1];
d[1]:=e;
i:=2;
while i<=p-3 do
begin
d[i]:=d[i+1];
d[i+1]:=-d[i+2]+f*d[i+3]/d[0];
i:=i+2;
end;

```

```

        if s>1.5 then
        begin
            s:=1;
            d[p-1]:=d[p];
        end else
        begin
            s:=2;
            d[p-2]:=d[p-1];
            d[p-1]:=-d[p];
        end
    end;
    if d[1]*d[2]<=0 then goto unstab;
stab: t:=1; goto rh;
unstab: t:=0;
rh: end;
BEGIN
    ClrScr;
    Writeln('Xarakteristik tenglamaning tartibini kiriting');
    Readln(m);
    Writeln('Xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlarini kiriting');
    For i:=0 to m do
        Readln(d[i]);
        SHTURM(m+1,d,IND1);
        If IND1='+' then writeln('Tizim turg'un') else
            writeln('Tizim noturg'un');
    End.

```

## 6- §. Harakat turg'unligini aniqlashning Gurvis kriteriysiga asoslangan algoritm va dasturi

Gurvis algoritmi

$$f(\lambda) = d_0\lambda^m + d_1\lambda^{m-1} + \dots + d_{m-1}\lambda + d_m = 0 \quad (3.6.1)$$

ko'rinishdagi xarakteristik tenglama koeffitsiyentlaridan maxsus Gurvis matritsasini tuzishga asoslangan. Gurvis kriteriysiga aso-

san xarakteristik tenglama hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy ishorali bo'lishi uchun (ya'ni tizim harakati asimptotik turg'un bo'lishi uchun)  $d_0 > 0$  bo'lganda Gurvis determinanti va matritsa bosh minorlarining qiymatlari musbat bo'lishi zarur va yetarlidir.

Gurvis matritsasining ko'rinishi quyidagicha:

$$\begin{vmatrix} d_1 & d_3 & d_5 & \dots \\ d_0 & d_2 & d_4 & \dots \\ 0 & d_1 & d_3 & \dots \\ 0 & d_0 & d_2 & \dots \\ 0 & 0 & d_1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} \quad (3.6.2)$$

Gurvis matritsasini tuzish algoritmi xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarini quyidagicha joylashtirishga asoslanadi:

1. 1- satrga toq indeksli koeffitsiyentlar joylashtirilsin.

2. 2- satrga juft indeksli koeffitsiyentlar joylashtirilsin.

3.  $k = 1$ ;  $l = 3$ ;  $r = 4$ .

4.  $l$ - va  $r$ - satrlar birinchi va ikkinchi satrlarni  $k$  ta ustunga surish bilan amalga oshiriladi. Chap va o'ng tomondan bo'sh qolgan joylarga 0 yozilsin.

5.  $k = k + 1$ ;  $l = l + 2$ ;  $r = r + 2$ .

6. Agar  $d_m$  koeffitsiyent oxirgi satrning oxirgi ustuniga kelmagan bo'lsa, u holda 4- qadamga o'tilsin.

7. Algoritmning tugashi.

Demak, Gurvis matritsasi  $m$  ta satr va  $m$  ta ustundan iborat bo'lib, uning bosh diagonalida  $d_0, d_1, \dots, d_m$  elementlar joylashgan bo'ladi.

Matritsa determinanti  $\Delta_m$  ning  $\Delta_k$  ( $k = m - 1, \dots, 1$ ) diagonal minorlari, o'ng tomondan va pastdan ketma-ket 1 ta satr va 1 ta ustun, 2 ta satr va 2 ta ustun va h.k. larni o'chirib hosil qilinadi.  $d_0 > 0$  bo'lganda turg'unlikning zaruriy va yetarli sharti barcha diagonal minorlarning

$$\Delta_1 = d_1 > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} d_1 & d_3 \\ d_0 & d_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \quad \Delta_m = d_m \Delta_{m-1} > 0 \quad (3.6.3)$$

ekanligidan iborat. Agar (3.6.3) shartlar bajarilsa, u holda Viyet teoremasiga asosan

$$d_0 > 0, d_1 > 0, \dots, d_m > 0 \quad (3.6.4)$$

bo'ladi va bu harakat turg'unligining zaruriy sharti hisoblanadi.

Shunday qilib, turg'unlikni Gurvis kriteriysiga asosan aniqlash algoritmi quyidagi ketma-ketlikni tashkil qiladi:

1. Agar  $d_0 > 0, d_1 > 0, \dots, d_m > 0$  bo'lmasa, u holda 5- qadamga o'tilsin.

2. Gurvis matritsasining  $\Delta_m$  determinanti aniqlansin.

3.  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$  minorlar qiymati aniqlansin.

4.  $d_0 > 0, \Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \dots, \Delta_m > 0$  shartlar bajarilsa, u holda „tizim turg'un“ va 6- qadamga o'tilsin.

5. „Tizim noturg'un“.

6. Tamom.

Agar tizimning xarakteristik tenglamasi 1- va 2- tartibli bo'lsa, u holda uning koeffitsiyentlarining musbat bo'lishi tizimning turg'un bo'lishini aniqlaydi.

### Gurvis kriteriysiga asoslangan dastur

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**

$d(0\dots m)$  – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining qiymatidan iborat  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;

$m$  – xarakteristik ko'phadning tartibi.

**Dasturning natijasi:**

$$\text{INDI} = \begin{cases} 0, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ 1, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

**Zaruriy oraliq natijalar:**

$B(N-1, N-1)$  – Gurvis matritsasi determinanti, ikki o'lchovli haqiqiy massiv;

$X(k, k)$  – diagonal minorlar, ikki o'lchovli haqiqiy massiv ( $k = N-1, \dots, 1$ );

$DE$  –  $k$  ta satr va  $k$  ta ustunli determinant qiymati, haqiqiy o'zgaruvchi.

Dasturda determinantning qiymatini hisoblash uchun GAUSI nomli yordamchi funksiyadan foydalaniladi.

### Dastur matni

Procedure GURV(m:integer; d:mas1;var IND:integer);

label met1,met2;

Var i,j,j1,j2,i1,l:integer;

DE:real;

X,B:mas2;

begin {**xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining musbatligini tekshirish**}

IND:=1;

For i:=0 to m do

If d[i]<=0 then goto met1;

{**Gurvis matritsasi determinantini hosil qilish**}

for i:=1 to m+1 do

for j:=1 to m+1 do

B[i,j]:=0;

K1:=trunc((m+1)/2);

For j:=0 to K1 do

Begin

J1:=2\*j; j2:=2\*j+1;

B[1,j+1]:=a[j1];

B[2,j+1]:=a[j2];

End;

i1:=1;

For i:=1 to k1-1 do

Begin

i1:=i1+2;

For j:=k1+1 to m do

B[i1,j-1]:=B[i1-2,j-1];

If i1+1<=m then

For j:=k1+1 to m do

B[i1+1,j-1]:=B[i1-1,j-1];

End;

B[N,N]:=d[m+1];



**{Gurvis determinanti va uning diagonal minorlarining  
ishorasini aniqlash}**

```
for i:=m downto 1 do
  begin
    for j:=1 to i do
      for l:=1 to i do
        x[j,l]:=B[j,l];
      DE:=GAUS1(i,x);
      Writeln(i,'- tartibli minor determinantining
        qiymati = ',DE:8:5);
      If DE<=0 then goto met1;
    end;
    Goto met2;
  Met1: IND:=0;
  Met2:
end;
```

GURV – protsedurasiga murojaat qiluvchi dasturda N, A lar-ning qiymatlari kiritiladi. Shuningdek, mas1 va mas2 turlari quyidagicha aniqlangan bo'lishi kerak:

```
Const gr=10;
Type mas1=array[1..gr] of real;
mas2=array[1..gr,1..gr] of real;
```

Bunda, mas1, mas2 larning o'lchamlarini o'zgartirish uchun gr o'zgarmaning qiymatini o'zgartirish kerak.

Shunday qilib, GURV protsedurasiga murojaat qiluvchi dastur quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

```
Program TURG_GUN_GURV;
Const gr=10;
Type mas1=array[1..gr] of real;
mas2=array[1..gr,1..gr] of real;
var A:mas1;
i,rez,N:integer;
```

**{Bu yerda GAUS1 funksiyasining matni bo'lishi kerak}**

**{Bu yerda GURV protsedurasining matni bo'lishi kerak}**

begin

writeln('m – xarakteristik ko'phadning tartibini  
kiriting(N<=gr)');

readln(m);

writeln('d – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarini  
kiriting');

for i:=0 to m do readln(d[i]);

**{Turg'unlik shartini aniqlash}**

GURV(m,d,Rez);

If Rez=1 then writeln('tizim turg'un') else

writeln('tizim noturg'un');

End.

**M i s o l.** Dinamik tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$\lambda^4 + 2\lambda^3 + 4\lambda^2 + \lambda + 1 = 0.$$

Bu yerda  $d_0 = 1$ ,  $d_1 = 2$ ,  $d_2 = 4$ ,  $d_3 = 1$ ,  $d_4 = 1$ . Bayon etilgan algoritmgga asosan Gurvis determinanti

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \end{vmatrix}$$

ko'rinishda bo'ladi va uning minorlari

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \end{vmatrix}, \Delta_2 = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 4 \end{vmatrix}, \Delta_1 = 2.$$

Yaratilgan dastur orqali kerakli hisoblashlarni o'tkazib,

$$\Delta_1 = 2, \Delta_2 = 7, \Delta_3 = 3, \Delta_4 = 3$$

ekanligini aniqlaymiz. Xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari musbatligi hamda Gurvis determinanti va uning minorlari musbat qiymatga ega bo'lganligi tufayli dinamik tizim harakati turg'un ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

## 7- §. Harakat turg'unligini aniqlashning Raus kriteriysiga asoslangan algoritm va dasturi

Bu algoritm ham Gurvis kriteriysi asosidagi algoritm kabi bo'lib, maxsus Raus matritsasini tahlil qilishga asoslanadi. Raus matritsasining determinanti quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{vmatrix} \bar{d}_{11} = d_0 & \bar{d}_{12} = d_2 & \dots \\ \bar{d}_{21} = d_1 & \bar{d}_{22} = d_3 & \dots \\ \bar{d}_{31} & \bar{d}_{32} & \dots \\ \bar{d}_{41} & \bar{d}_{41} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}.$$

(3.6.1) xarakteristik tenglama koeffitsiyentlaridan Raus matritsasining determinanti quyidagi algoritmga asosan tuziladi:

1.  $k = 1$ .
2.  $\bar{d}_{1k} = d_{2(k-1)}$  (1- satr elementlari).
3.  $\bar{d}_{2k} = d_{2k-1}$  (2- satr elementlari).
4.  $k = k + 1$ .
5. Agar  $k \leq m$  bo'lsa, u holda 3- qadamga o'tilsin.
6.  $i = 3$ .
7.  $l = 1$ .
8.  $r_i = \frac{\bar{d}_{i-2,1}}{\bar{d}_{i-1,1}}$ .
9.  $\bar{d}_{ik} = \bar{d}_{i-2,k+1} - r_i \bar{d}_{i-1,k+1}$  (3, 4, 5, ...,  $m$ - satr elementlari).
10.  $l = l + 1$ .
11. Agar  $l \leq m$  bo'lsa, u holda 9- qadamga o'tilsin.
12.  $i = i + 1$ .
13. Agar  $i \leq m + 2$  bo'lsa, u holda 8- qadamga o'tilsin.
14. Algoritmning tugashi.

Bu matritsa determinantining elementlarini aniqlash jarayonida Raus kriteriysining asosiy shartlari aniqlanadi. Raus kriteriysiga asosan tizim harakati turg'un bo'lishining zaruriy va yetarli shartlari quyidagilardan iborat:

$d_0 > 0$ ,  $d_1 > 0$  bajarilganda,  $r_i > 0$  ( $i = 3, \dots, n + 2$ )larning bajarilishi yoki  $d_0 > 0$ ,  $d_1 > 0$ ,  $\bar{d}_{31} > 0$ , ...,  $\bar{d}_{n+1,1}$  larning bajarilishidan iborat bo'ladi. Agar bu koeffitsiyentlarning birortasi manfiy bo'lsa, u holda tizim harakati noturg'un bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, Raus jadvalining birinchi ustunidagi koeffitsiyentlari ishoralarining o'zgarish soni xarakteristik tenglamaning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soniga teng bo'ladi (Raus va Gurvis kriteriylari [47] kitobda keng yoritilgan).

Demak, tizim harakati turg'unligini aniqlash jarayoni quyidagi amallarni bajarishdan iborat:

1. Raus matritsasini aniqlash.

2.  $i = 3$ ;  $l = 0$ .

3. Agar ( $d_0 > 0$ ) va  $\frac{\bar{d}_{l-2,l}}{d_{l-1,l}}$  bo'lsa, u holda  $l = l + 1$ .

4.  $i = i + 1$ .

5. Agar  $i \leq n + 2$  bo'lsa, u holda 3- qadamga o'tilsin.

6. Agar  $l = n$  bo'lsa, u holda „tizim turg'un“, aks holda „tizim noturg'un“.

7. Tamom.

Yuqorida ta'kidlaganimizdek, Raus matritsasi 1- ustunidagi koeffitsiyentlarning yoki

$$d_0, \Delta_1, \Delta_2/\Delta_1, \Delta_3/\Delta_2, \Delta_4/\Delta_3, \dots$$

qatorda ishoralar o'zgarishi soni xarakteristik tenglamaning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soniga teng bo'ladi.

### Raus kriteriysiga asoslangan dastur

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**

$d(0...m)$  – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining qiymatidan iborat  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;

$m$  – xarakteristik ko'phadning tartibi.

### Dasturning natijalari:

$$IND = \begin{cases} 0, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ 1, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

k – Raus matritsasi determinantining birinchi ustunidagi ishora almashinishlar soni.

### Zaruriy oraliq natijalar:

C(N, M) – Raus matritsasining determinanti, ikki o'lchovli haqiqiy massiv.

### Dastur matni

```
Procedure RAUS(N1:integer; d:mas11; var IND,k:integer);
Label met1,met2;
Var R:mas11;
    C:mas2;
    J,i,N2,M1:integer;
Begin {Raus matritsasining determinantini hosil qilish}
    IND:=1;
    N2:=(N1+1)/2;
    M1:=trunc(N2);
    for i:=1 to m+1 do
        R[i]:=0;
        FOR i:=1 to m+1 do
            For j:=1 to M1 do
                C[i,j]:=0;
        for i:=1 to M1 do
            Begin
                k:=N1-2*(i-1);
                If k>0 then c[1,i]:=d[k];
                k:=N1-2*(i-1)-1;
                If k>0 then c[2,i]:=d[k];
            End;
        for i:=3 to N1 do
            Begin
                R[i]:=c[i-2,1]/c[i-1,1];
```

```

    for j:=1 to M1-1 do
      C[i,j]:=C[i-2,j+1]-R[i]*C[i-1,j+1];
    End;

```

**{RAUS matritsasi determinanti 1-ustun elementlarining musbatligini aniqlash}**

```

    for i:=1 to N1 do
      if c[i,1]<=0 then begin ind:=0; goto met end;
      k:=0;
      goto met1;
      met: k:=0;
      for i:=1 to N1-1 do
        if c[i,1]*c[i+1,i]<=0 then k:=k+1;
      met1:
    end;

```

RAUS protsedurasiga murojaat qiluvchi dasturda N, A larning qiymatlari aniqlanadi. Shuningdek, mas1 va mas2 turlari quyidagicha aniqlangan bo'lishi kerak:

```

Const gr=10;
Type mas1=array[1..gr] of real;
    mas2=array[1..gr,1..gr] of real;

```

Bu yerda mas1, mas2 larning o'lchamlarini o'zgartirish uchun gr o'zgarmasning qiymatini o'zgartirish kerak.

Shunday qilib, RAUS protsedurasiga murojaat qiluvchi dastur quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

```

Program TURG_GUN_RAUS;
    Const gr=10;
    Type mas1=array[0..gr] of real;
        mas2=array[1..gr,1..gr] of real;
    var A:mas1;
        i,rez,N,k:integer;
begin
    writeln('m - xarakteristik ko'phadning tartibini
        kiriting(m<=gr)');

```

```

readln(m);
writeln('d - xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarini
        kiriting');
for i:=0 to m do readln(d[i]);

```

**{Turg'unlik shartini aniqlash}**

```

RAUS(m+1,d,Rez,k);
If Rez=1 then writeln('tizim turg'un') else
    writeln('tizim noturg'un');

```

End.

**Misol.** Dinamik tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

$$\lambda^4 + 16\lambda^3 + 32\lambda^2 + 10\lambda + 5 = 0.$$

Bu yerda  $d_0 = 1$ ,  $d_1 = 16$ ,  $d_2 = 32$ ,  $d_3 = 10$ ,  $d_4 = 5$ . Bayon etilgan algoritmgaga asosan Raus jadvali

$$\begin{vmatrix} 1 & 32 & 5 & 0 \\ 16 & 10 & 0 & 0 \\ 31,4 & 5 & 0 & 0 \\ 7,4 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Raus jadvalidagi birinchi ustun elementlarining ishoralari bir xil (musbat) bo'lganligi uchun qaralayotgan dinamik tizimning harakati turg'un bo'ladi.

## **8- §. Harakat turg'unligini aniqlashning Lyenar—Shipar kriteriysiga asoslangan algoritm va dasturi**

Haqiqiy koeffitsiyentli

$$f(z) = d_0 z^m + d_1 z^{m-1} + d_2 z^{m-2} + \dots + d_m \quad (d_0 > 0)$$

ko'phad berilgan bo'lsin.  $f(z)$  ko'phad barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishining zaruriy va yetarli shartini ifodalovchi Raus—Gurvis kriteriysi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \dots, \Delta_m > 0, \quad (3.8.1)$$

bu yerda

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} d_1 & d_3 & d_5 & \dots \\ d_0 & d_2 & d_4 & \dots \\ 0 & d_1 & d_3 & \dots \\ 0 & d_0 & d_2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & d_m \end{vmatrix} \quad (d_k = 0, k > m)$$

$i$ - tartibli Gurvis determinanti ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).

Agar (3.8.1) shart bajarilsa, u holda  $f(z)$  ko'phadning barcha koeffitsiyentlari musbat ishorali, ya'ni

$$d_1 > 0, \quad d_2 > 0, \quad \dots, \quad d_m > 0 \quad (3.8.2)$$

bo'ladi. (3.8.2) shart, (3.8.1) shartdan farqli o'laroq,  $f(z)$  ko'phad ildizlarining barchasi  $\operatorname{Re} z < 0$  chap yarim tekislikda yotishining zaruriy sharti hisoblanadi.

Ammo (3.8.2) shartning bajarilishi natijasida (3.8.1) shartlar bir-biriga bog'liq bo'lib qoladi. Masalan,  $m = 4$  bo'lganda Raus-Gurvis sharti bitta  $\Delta_3 > 0$  shartga,  $m = 5$  bo'lganda ikkita  $\Delta_2 > 0$ ,  $\Delta_4 > 0$  shartga,  $m = 6$  bo'lganda ikkita  $\Delta_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  shartga keltiriladi. Bu holatni fransuz matematiklari Lyenar va Shipar tadqiq etdilar va 1914- yili Raus-Gurvis kriteriysidan farqli turg'unlik kriteriysini yaratdilar.

#### Lyenar – Shipar kriteriysi.

$$f(z) = d_0 z^m + d_1 z^{m-1} + d_2 z^{m-2} + \dots + d_m \quad (d_0 > 0)$$

haqiqiy ko'phad barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishi uchun ushbu to'rtala shartdan istalgan bittasining bajarilishi zarur va yetarli:

- 1)  $d_m > 0, d_{m-2} > 0, \dots, \Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \dots;$
- 2)  $d_m > 0, d_{m-2} > 0, \dots, \Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \dots;$
- 3)  $d_m > 0, d_{m-1} > 0, d_{m-3} > 0, \dots, \Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \dots;$
- 4)  $d_m > 0, d_{m-1} > 0, d_{m-3} > 0, \dots, \Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \dots$



1), 2), 3) va 4) shartlar Gurvis shartlariga nisbatan ma'lum qulaylikka ega, chunki ularda tengsizliklar qariyb 2 marta kam (Gurvis tengsizliklariga nisbatan).  $\Delta_1 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$ , ... va  $\Delta_2$ ,  $\Delta_4 > 0$ , ... tengsizliklarga nisbatan, amalda  $\Delta_{m-1} > 0$ ,  $\Delta_{m-3} > 0$  ko'rinishdagi tengsizliklardan foydalanish ma'qul, chunki bu tengsizliklarda kichik tartibli determinantlar qatnashadi.

Bu kriteriydan barcha koeffitsiyentlari (hatto, faqat  $d_m$ ,  $d_{m-2}$ , ... lardan bir qismi) musbat bo'lgan

$$f(z) = d_0 z^m + d_1 z^{m-1} + d_2 z^{m-2} + \dots + d_m \quad (d_0 > 0)$$

haqiqiy ko'phad barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lganda Gurvisning (3.8.1) determinant tengsizliklari erkin bo'la olmasligi kelib chiqadi, ya'ni juft tartibli Gurvis determinantlarining musbatligidan toq tartibli Gurvis determinantlarining musbatligi kelib chiqadi va, aksincha.

Lyenar va Shipar 1) shartni maxsus kvadratik formalardan foydalanib topganlar (kriteriyning isboti [20] ning 509–512- betlarida keltirilgan). Ular erishgan ayrim asosiy natijalarni M.G. Kreyn va Y.I. Neymarkning [46] fundamental obzoridan topish mumkin.

Lyenar–Shipar kriteriyidan quyidagi natija kelib chiqadi: *agar*

$$f(z) = d_0 z^m + d_1 z^{m-1} + d_2 z^{m-2} + \dots + d_m$$

*haqiqiy ko'phadning barcha koeffitsiyentlari*

$$d_1 > 0, d_2 > 0, \dots, d_m > 0$$

*shartlarni qanoatlantirsa va  $\Delta_m \neq 0$  bo'lsa, u holda bu ko'phadning  $\text{Re } z > 0$  o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soni k*

$$d_0, \Delta_1, \Delta_2/\Delta_1, \Delta_3/\Delta_2, \Delta_4/\Delta_3, \dots$$

*qatorida ishoralarning o'zgarish soniga teng bo'ladi.*

Demak,  $f(z) = d_0 z^m + d_1 z^{m-1} + d_2 z^{m-2} + \dots + d_m$  ko'phadning barcha ildizlari chap yarim tekislikda yotishi uchun barcha  $d_1 > 0$ ,  $d_2 > 0$ , ...,  $d_m > 0$  bo'lishi hamda juft indeksli yoki toq indeksli diagonal minorlarning musbat bo'lishi zarur va yetarlidir. Bu shartlarning bajarilishini aniqlash quyidagi algoritm orqali ifodalaniadi:

1.  $k = 0, l_1 = 0, l_2 = 0, j = 2; n = m + 1.$
2. Agar  $d_k > 0$  bo'lsa, u holda  $l_1 = l_1 + 1.$
3.  $k = k + 1.$
4. Agar  $k \leq m$  bo'lsa, u holda 2- qadamga o'tilsin.
5.  $\Delta_j$  hisoblansin ( $\Delta_{j-1}$  hisoblansin).
6. Agar  $\Delta_j > 0$  bo'lsa, u holda  $l_1 = l_1 + 1$  (yoki agar  $\Delta_{j-1} > 0$  bo'lsa, u holda  $l_2 = l_2 + 1$ ).
7.  $j = j + 2.$

8. Agar  $j \leq \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$  bo'lsa, u holda 5- qadamga o'tilsin (agar  $j - 1 \leq \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil + 1$  bo'lsa, u holda 5- qadamga o'tilsin.

9. Agar  $(l_1 = m)$  va  $l_2 = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$  ( $l_2 = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil + 1$ ) bo'lsa, u holda „tizim turg'un“, aks holda „tizim noturg'un“.

10. Tamom.

Turg'unlikni aniqlashning bu kriteriysi (algoritmi) bajariladigan amallarni ancha kamaytiradi va shuning uchun nisbatan samarali hisoblanadi.

### **Lyenar–Shipar kriteriysiga asoslangan dastur**

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**  
 $d(0..m)$  – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining qiymatidan iborat  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;  
 $m$  – xarakteristik ko'phadning tartibi.

**Dasturning natijasi:**

$$\text{IND} = \begin{cases} 0, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ 1, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

**Zaruriy oraliq natijalar:**

$B(m,m)$  – Gurvis matritsasi determinanti, 2 o'lchovli haqiqiy massiv;

$X(k,k)$  – diagonal minorlar, 2 o'lchovli haqiqiy massiv ( $k = m, \dots, 1$ );

$DE$  –  $k$  ta satr va  $k$  ta ustunli determinant qiymati, haqiqiy o'zgaruvchi.

Dasturda determinantning qiymatini hisoblash uchun GAUS1 nomli yordamchi funksiyadan foydalaniladi( GAUS1 funksiyasi matni 6- § da keltirilgan).

### Dastur matni

```
Procedure L_SHIPAR(N1:integer; d:mas1;  
var IND:integer);  
label met1,met2;  
Var i,j,j1,j2,i1,l1,l2:integer;  
DE:real;  
X,B:mas2;  
begin {xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining musbatligini  
tekshirish}  
IND:=1; l1:=0;l2:=0;  
For i:=1 to n1 do  
If d[i]<=0 then goto met1 else l1:=l1+1;  
{Gurvis matritsasining determinantini hosil qilish}  
for i:=1 to N1 do  
for j:=1 to N1 do  
B[i,j]:=0;  
K1:=(N1 div 2)+1;  
For j:=1 to K1 do  
Begin  
J1:=2*j; j2:=2*j-1;  
B[1,j]:=a[j1];  
B[2,j]:=a[j2];  
End;  
l1:=1;  
For i:=1 to N1-1 do  
Begin  
l1:=i1+2;  
For j:=k1 to N1-1 do  
B[i1,j]:=B[i1-2,j-1];  
If i1+1<=N1 then  
For j:=k1 to N1-1 do
```

```

                                B[i1+1,j]:=B[i1-1,j-1];
    End;
    B[N1,N1]:=A[N1];
{Gurvis determinanti toq indeksli diagonal minorlarining
ishorasini aniqlash}
    i1:=N1+1;
    for i:=1 to k1 do
        begin i1:=i1-2;
            for j:=1 to i do
                for l:=1 to i do
                    x[j,l]:=B[j,l];
                    if (i mod 2)<>0 then DE:=GAUS1(i,x);
                    If DE<=0 then goto met1;
                End;
            Goto met2;
        Met1: IND:=0;
        Met2:
    end;

```

**L\_SIPAR** protsedurasiga murojaat qiluvchi dasturda m, d lar-ning qiymatlari aniqlanadi. Shuningdek, mas11 va mas2 turlari quyidagicha aniqlangan bo'lishi kerak:

```

Const gr=10;
    Type mas11=array[0..gr] of real;
        mas2=array[1..gr,1..gr] of real;

```

Bunda mas11, mas2 larning o'lchamlarini o'zgartirish uchun gr o'zgarmasning qiymatini o'zgartirish kerak.

Shunday qilib, **L\_SIPAR** protsedurasiga murojaat qiluvchi dastur quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

```

Program TURG_GUN_L_SIPAR;
    Const gr=10;
    Type mas11=array[0..gr] of real;
        mas2=array[1..gr,1..gr] of real;
    var A:mas11;
        i,rez,N:integer;

```

{Bu yerda GAUS1 funksiyasining matni bo'lishi kerak.}

{Bu yerda L\_SIPAR protsedurasining matni bo'lishi kerak.}

Begin

writeln('m – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlari  
sonini kiriting (m<=gr)');

readln(m);

writeln('d – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarini  
kiriting');

for i:=0 to m do readln(d[i]);

{Turg'unlik shartini aniqlash.}

L\_SIPAR(m,d,Rez);

If Rez=1 then writeln('tizim turg'un') else

writeln('tizim noturg'un');

End.

## 9- §. Turg'unlik sohalarini yasash. Y.I. Neymarkning D- bo'laklash usuli

Yuqorida keltirilgan mulohazalardan ma'lumki, chiziqli tizimlar muvozanat holatining turg'unligini tadqiq etish masalasi ko'phad va analitik funksiyalar ildizlarining kompleks o'zgaruvchilar tekisligida qanday joylashishiga bog'liq.

Ko'pgina texnik masalalarda parametrlarning shunday qiymatlarini tanlab olish kerakki, ko'rilayotgan tizimning harakati asimptotik turg'un bo'lsin. Masalan, konstruktiv parametrlarning qanday qiymatlarida kema, samolyot va raketalar oldindan berilgan yo'nalish bo'yicha turg'un harakat qiladi? Turbina va generatorlarning parametrlarini shunday tanlab olish kerakki, ular berilgan ish rejimini turg'un saqlab qolsin va hokazo.

Rus olimi Y.I. Neymark tomonidan ixtiyoriy  $n$ - darajali xarakteristik tenglamalar uchun parametrlar tekisligida turg'unlik sohasini yasash usuli ishlab chiqildi [25]. Ushbu usulni ( $D$ - bo'laklash usuli deb aytiladi) sharhlashga o'tamiz. Faraz qilaylik,

$$F(z; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) \quad (3.9.1)$$

$z$  kompleks o'zgaruvchi va haqiqiy  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  parametrlarning

analitik funksiyasi hamda  $z$  kompleks o'zgaruvchi tekisligida biror  $G$  soha berilgan bo'lsin.  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  parametrlar fazosini  $D(i, j)$  sohalarga bo'laklab chiqamiz, bu yerda  $D(i, j)$  soha  $i$  ta ildizi  $G$  soha ichida va  $j$  ta ildizi  $G$  soha tashqarisida yotgan (3.9.1) funksiyalarga mos keladi.  $i$  va  $j$  o'rnida cheksizlik ham kelishi mumkin. Turg'unlik nazariyasi uchun  $G$  soha sifatida birlik  $|z| \leq 1$  doiraning tashqarisida yotgan soha yoki  $\operatorname{Re} z > 0$  o'ng yarim tekislik olinadigan hollar qiziqish uyg'otadi.

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  parametrlar bo'yicha turg'unlik sohasi  $j$  ning har xil qiymatlariga mos keluvchi  $D(0, j)$  sohalarning birlashmasidan (yig'indisidan) iborat bo'ladi.  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  parametrlar fazosini har xil  $i$  va  $j$  larga mos keluvchi  $D(i, j)$  sohalarga bo'laklash  $G$  sohaga nisbatan bu parametrlar fazosini  $D$ -bo'laklash deb aytiladi.

$G$  soha chiziqdan iborat bo'lishi ham mumkin, masalan, haqiqiy o'q yoki musbat haqiqiy yarim o'q, birinchi holda  $D$ -bo'laklash parametrlar fazosini turli sondagi haqiqiy va kompleks ildizlarga mos keluvchi sohalarga bo'laklaydi.

$D$ -bo'laklashni o'rganish va undan amalda foydalanish uchun quyidagi interpretatsiyadan (talqindan) foydalanamiz:

$$F(z; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) = 0 \quad (3.9.2)$$

munosabat kompleks tekislikning  $z$  nuqtalariga parametrlar fazosining  $\mu(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$  nuqtasini mos qo'yuvchi  $T$  nuqtaviy akslantirishni ifodalasin [68]. Agar  $z$  nuqtaga  $\mu(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$  nuqta mos kelsa, u holda bu parametrlarning ushbu qiymatida (3.9.2) tenglama  $z$  ildizga ega ekanligini bildiradi.

Umumiy holda  $T$  ham va unga teskari bo'lgan  $T^{-1}$  akslantirish ham bir qiymatli bo'lmaydi. Har bir  $z$  nuqtaga  $\mu$  parametrlar fazosida  $(m - 2)$  o'lchovli giperfazo to'g'ri keladi ( $\mu$  fazoning o'lchovidan 2 birlik kam o'lchovli fazo). Parametrlar fazosining har bir  $\mu$  nuqtasiga (bu nuqtaga parametrlarning  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  qiymatlari mos keladi) (3.9.1) analitik funksiyaning barcha  $z_1, z_2, \dots$  ildizlari to'g'ri keladi. Agar  $i$  shu  $G$  sohadagi  $z_1, z_2, \dots$  ildizlarning soni,  $j$  esa  $G$  soha to'ldiruvchisidagi ildizlar soni bo'lsa, u holda

$\mu \in D(i, j)$ . (3.9.1) funksiya  $m$ - darajali ko'phad va  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  uning koeffitsiyentlari bo'lsin, ya'ni

$$F(z; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) = z^m + \mu_1 z^{m-1} + \dots + \mu_m.$$

Har bir  $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$  nuqtaga  $m$  ta  $z_1, z_2, \dots, z_m$  ildiz mos keladi. Ma'lumki,  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  parametrlarni  $z_1, z_2, \dots, z_m$  ildizlarning qiymatlari orqali ifodalash mumkin, chunki

$$\begin{aligned} F(z; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) &= (z - z_1)(z - z_2) \dots (z - z_m) = \\ &= z^m + \mu_1 z^{m-1} + \dots + \mu_m. \end{aligned} \tag{3.9.3}$$

Bu yerdan

$$\begin{aligned} \mu_1 &= z_1 + z_2 + \dots + z_m, \\ \mu_2 &= z_1 z_2 + z_1 z_3 + \dots + z_m z_{m-1}, \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \mu_m &= z_1 z_2 \dots z_m. \end{aligned} \tag{3.9.4}$$

Endi o'ng yarim tekislikda yoki ixtiyoriy  $G$  sohaga nisbatan  $D$ - bo'laklashni ko'rib o'tamiz.  $D(i, j)$  sohaning har bir  $\mu$  nuqtasiga  $m$  ta  $z_1, z_2, \dots, z_m$  nuqta mos keladi, bulardan  $i$  tasi  $G$  sohada va  $j = m - i$  tasi  $G$  sohadan tashqarida yotadi. Xususan,  $D(m, 0)$  sohaning har bir  $\mu$  nuqtasiga  $G$  sohaning  $m$  ta  $z_1, z_2, \dots, z_m$  nuqtasi mos keladi va, aksincha,  $G$  sohaning  $m$  ta ixtiyoriy  $z_1, z_2, \dots, z_m$  nuqtasiga faqat bitta  $\mu$  nuqta mos keladi ( $z_1, z_2, \dots, z_m$  larning har biri  $\mu$  nuqtaga akslanadi). Demak, parametrlar fazosining  $D(m, 0)$  sohasi  $m$  ta  $G$  sohaning topologik ko'paytmasiga topologik ekvivalentdir.

Agar  $G$  soha bog'lanishli bo'lsa, u holda  $D(m, 0)$  soha ham bog'lanishlidir. Agar  $G$  soha bir bog'lanishli bo'lsa, u holda  $D(m, 0)$  soha nafaqat bog'lanishli, balki  $m$ - o'lchovli Yevklid fazosiga o'xshash (gomeomorf) bo'ladi.

Xuddi shunday,  $D(i, j)$  soha  $i$  ta  $G$  soha va uning  $j$  ta to'ldiruvchisining (chegarasiz) topologik ko'paytmasiga topologik ekvivalentdir. Bu yerdan, xususan, birlik doira yoki o'ng yarim tekislikka nisbatan  $D$ - bo'laklash o'tkazilganda barcha  $D(i, j)$  sohalar  $m$ - o'lchovli Yevklid fazosiga o'xshash (gomeomorf) bo'lishi kelib chiqadi.

$\mu$  nuqtaning biror  $D$  sohadan ikkinchi sohaga o'tishi uchun shu  $\mu$  nuqtaga mos keluvchi  $z_1, z_2, \dots, z_m$  ildizlardan bittasi yoki bir nechta  $G$  sohaga uning chegarasini kesib kirishi yoki undan chiqib ketishi kerak. Demak,  $M$  parametrlar fazosida  $D$ - bo'laklashning chegarasi  $\mu$  nuqtalardan iborat. Bu nuqtalar uchun  $G$  sohaning chegarasiga taalluqli biror  $z$  qiymatda

$$z^m + \mu_1 z^{m-1} + \dots + \mu_m = 0 \quad (3.9.5)$$

munosabat o'rinli bo'ladi. Shuning uchun ham  $z$  nuqta kompleks o'zgaruvchi tekisligidagi  $G$  sohaning chegarasi bo'ylab o'zgarganida (3.9.5) tenglamani  $M$  parametrlar fazosidagi  $D$ - bo'laklashning parametrik tenglamasi sifatida qarash mumkin.

Parametrlar fazosi ikki o'lchovli bo'lganda, ya'ni ikki haqiqiy va parametr fazosida yoki bitta  $\mu = \tau + i\nu$  kompleks parametr fazosida (bu parametrlar (3.9.1) funksiya ifodasiga chiziqli ravishda kirganda)  $D$ - bo'laklashni osongina yasash mumkin.

### 10-§. Bir kompleks parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning $D$ - bo'laklash usuliga asoslangan algoritm va dasturi

Ixtiyoriy  $n$ - darajali ko'phad berilgan va uning koeffitsiyentlari  $\mu$  kompleks parametrga chiziqli tarzda bog'langan bo'lsin. Bu holda uni quyidagicha yozish mumkin:

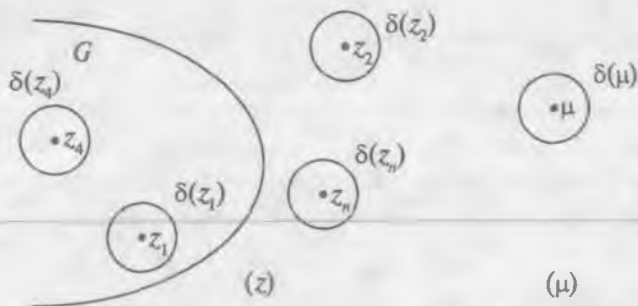
$$P(z) + \mu Q(z). \quad (3.10.1)$$

$\mu$  kompleks parametr tekisligining har bir  $\mu$  nuqtasiga  $G$  sohaning ichida  $s$  ta va bu sohaning tashqarisida  $n - s$  ta ildizi mavjud bo'lgan (3.10.1) ko'phad mos keladi. Shunday qilib,  $\mu$  tekislik  $G$  sohada (3.10.1) ko'phad turli  $s$  sondagi ildizlarga ega bo'lgan  $D(s)$  sohalarga bo'laklanadi. Bir  $D(s)$  sohadan ikkinchi sohaga o'tish uchun (3.10.1) ko'phad ildizlarining bittasi  $G$  sohaning chegarasini kesib o'tishi kerak.  $G$  soha chegarasining parametrik tenglamasini

$$z = \Gamma(\omega) \quad (3.10.2)$$

ko'rinishda yozishga erishdik deb faraz qilaylik, bu yerda  $\omega$  para-





3.1- shakl.

metr biror intervalda o'zgaradi. U holda  $D$ - bo'laklash chegarasining parametrik tenglamasi

$$\mu = -\frac{P(\Gamma(\omega))}{Q(\Gamma(\omega))} \quad (3.10.3)$$

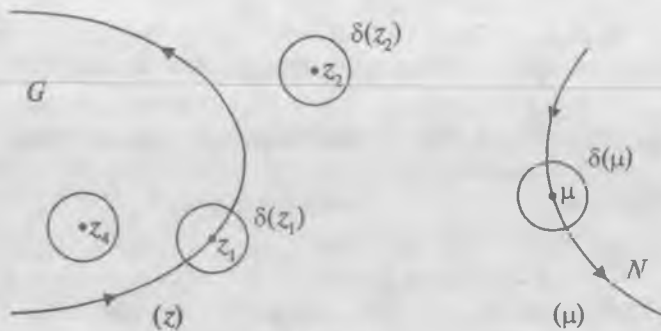
ko'inishda bo'ladi. (3.10.3) egri chiziq  $\mu$  tekislikni bir nechta sohalarga bo'laklaydi. Bu sohalarning har birida (3.10.1) ko'phadning ildizlari soni  $s$  bir xil bo'ladi. Bu sohalarning birorta nuqtasida (3.10.1) ko'phadning ildizlari soni  $s$  ni topish kerak. Agar  $\mu$  tekislikni  $D$ - bo'laklashni,  $z$  kompleks parametr tekisligi  $G$  ni  $\mu$  tekislikka

$$\mu = -\frac{P(z)}{Q(z)} \quad (3.10.4)$$

munosabat orqali  $T$  nuqtaviy akslantirish sifatida qaralsa, u holda  $s$  sonni topish osonlashadi. Bu holda  $D$ - bo'laklashning (3.10.3)  $N$  chegarasi  $G$  soha chegarasini (3.10.4) formula orqali  $\mu$  tekislikka akslantirish natijasida hosil bo'ladi.  $\mu$  nuqtaga  $z$  tekislikda  $n$  ta  $z_1, z_2, \dots, z_n$  ildiz mos keladi. Agar  $\mu \in D(z)$  bo'lsa, u holda bu ildizlarning  $s$  tasi ( $z_1, z_2, \dots, z_n$ )  $G$  sohada va  $n - s$  tasi  $G$  sohadan tashqarida yotadi.

$z_1, z_2, \dots, z_n$  nuqtalarning har biri (3.10.4) formula orqali  $\mu$  nuqtaga akslanadi. Bu holda  $z_1, z_2, \dots, z_n$  nuqtalarning  $\delta(z_1), \delta(z_2), \dots, \delta(z_n)$  atroflari  $\mu$  nuqtaning  $\delta(\mu)$  atrofiga aylanadi (3.1- shakl).

$\mu$  nuqta  $D(s)$  sohalarning biridan ikkinchisiga o'tishi uchun  $z_1, z_2, \dots, z_n$  ildizlarning biri yoki bir nechtasi  $G$  sohaning chegara-



3.2- shakl.

sini kesib o'tishi kerak.  $z_1$  ildiz  $G$  sohaning chegarasida yotgan bo'lsin (3.2- shakl). U holda bu ildizga mos  $\mu$  nuqta  $N$  chegaraning biror bo'lagida yotadi.  $N$  chegaraviy egri chiziqning bu bo'lagi  $z_1$  nuqta yotgan  $G$  sohaning biror bo'lagining aksidir, bu yerda  $\delta(z_1)$  atrof  $\delta(\mu)$  atrofga aylanadi. (3.10.4) akslanish konformlik xususiyatiga ega, ya'ni  $\delta(z_1)$  kichik atrofni  $\delta(\mu)$  atrofga aylinishi uning radial cho'zilishidan va biror burchakka burilishidan iborat bo'ladi.  $G$  soha doimo chap tarafda qolishi sharti bilan  $G$  sohaning chegarasida musbat yo'nalishni tanlab olamiz.  $z$  nuqta  $G$  soha chegarasida musbat yo'nalish bo'yicha harakat qilganda unga mos  $\mu$  nuqta  $N$  chegaraviy egri chiziq bo'yicha harakat qiladi. Uning bu harakat yo'nalishini musbat yo'nalish sifatida qabul qilamiz.  $z_1$  nuqta  $G$  sohaning chegarasini chap tarafdin o'ng tarafga qarab kesib o'tsin. Bu holda akslanishning konformlik xususiyatiga asosan unga mos  $\mu$  nuqta ham  $N$  egri chiziqni chap tarafdin o'ng tarafga qarab kesib o'tadi.  $z_1$  nuqta chegaraviy egri chiziqni chap tarafdin o'ng tarafga kesib o'tganda u  $G$  sohadan chiqib ketadi, ya'ni  $G$  soha ichidagi ildizlar soni bittaga kamayadi. Bu holda  $z_1$  ga mos  $\mu$  nuqta  $D(s)$  sohadan  $D(s-1)$  sohaga o'tadi.

Shunday qilib,  $\mu$  nuqta  $N$  egri chiziqni uning chap tarafdin o'ng tarafga qarab kesib o'tsa,  $s$  son bittaga kamayadi. Demak,  $D(s)$  sohalarni topish uchun  $s$  sonni  $\mu$  kompleks tekislikning istalgan bir nuqtasida topish kifoya. Qolganlarini yuqorida bayon etilgan qoidaga asosan topish mumkin, ya'ni  $D$ - bo'laklashning  $N$  chegarasini  $\mu$  nuqta chap tarafdin o'ng tarafga qarab kesib o'tsa,  $s$  son

bittaga kamayadi va o'ng tomondan chap tomonga qarab kesib o'tsa,  $s$  son bittaga ortadi, degan qoidaga asosan barcha mavjud bo'lgan  $D(s)$  sohalar topiladi. Bu qoidani amalda qo'llash yana ham qulay bo'lishi uchun  $N$  egri chiziqni musbat yo'nalishda aylanib, uni chap tarafdin shtrixlab chiqamiz. Agar  $N$  egri chiziqning ayrim bo'laklarini bir necha marta aylansak,  $u$  holda shuncha marta o'sha bo'lakni shtrixlaymiz.

$N$  egri chiziq bir marta shtrixlangan bo'lsin.  $U$  holda  $N$  egri chiziqni kesib o'tishda  $s$  sonning o'zgarishini quyidagicha ifodalash mumkin:  $N$  egri chiziqni shtrixlangan tarafdin shtrixlanmagan tarafga kesib o'tishda  $s$  son bittaga kamayadi va shtrixlanmagan tarafdin shtrixlangan tarafga o'tishda  $s$  son bittaga ortadi.

Shunday qilib,  $g$  egri chiziq bilan chegaralangan ixtiyoriy  $G$  sohaga nisbatan  $\mu$  ko'phadlar tekisligini  $D$ -bo'laklash uchun quyidagi qoidadan foydalanamiz:

1.  $g$  egri chiziq (3.10.4) munosabat orqali  $\mu$  tekislikka akslantiriladi. Shu tarzda hosil qilingan  $N$  egri chiziqning musbat yo'nalishi topiladi va  $u$  shtrixlanadi.

2.  $N$  egri chiziq  $\mu$  bo'laklagan tekisligining sohalaridan bittasini  $D(s)$  deb faraz qilib, qolgan sohalar shtrixlash qoidasiga asosan topiladi. Eng kichik va eng katta  $s$  songa da'vogar sohalar topiladi.

3.  $\mu$  tekislikda biror ko'phad uchun qo'shimcha mulohazalar yuritib, uning  $G$  soha ichida va undan tashqarida yotgan ildizlari soni topiladi.

$G$  sohaning  $g$  chegarasini  $\mu$  tekislikka akslantirish uchun uning (3.10.2) parametrik tenglamasidan foydalanish qulay. Bu holda  $N$  egri chiziqning parametrik tenglamasi (3.10.3) ko'rinishda bo'ladi. Agar  $G$  soha birlik doira yoki chap yarim tekislik bo'lsa,  $g$  chegaraviy egri chiziq (3.10.2) ko'rinishda yoziladi, bu yerda mos ravishda

$$\Gamma(\omega) = e^{i\omega} \quad (0 \leq \omega \leq 2\pi) \quad \text{va} \quad \Gamma(\omega) = i\omega \quad (-\infty < \omega < +\infty) \quad (3.10.5)$$

bo'lib, uning aksi bo'lgan  $N$  egri chiziq mos ravishda

$$\mu = -\frac{P(e^{i\omega})}{Q(e^{i\omega})} \quad \text{yoki} \quad \mu = -\frac{P(i\omega)}{Q(i\omega)} \quad (3.10.6)$$

ko'rinishda yoziladi, bu yerda haqiqiy parametr  $\omega$  mos ravishda 0 dan  $2\pi$  gacha va  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgaradi. Bu holda  $\omega$  ning o'sishi bilan  $N$  egri chiziqdagi  $\mu$  nuqtaning o'zgarish yo'nalishi musbat yo'nalish bo'ladi.

Biz yuqorida ixtiyoriy  $n$ - darajali ko'phadning koeffitsiyentlari bir kompleks parametr chiziqli tarzda bog'langan hol uchun shu kompleks parametr tekisligida  $D$ - bo'laklashni yasashning umumiy nazariyasini ifodalab berdik. Endi umumiy nazariyani tushunish oson bo'lishi uchun ixtiyoriy  $n$ - darajali

$$a_0(\mu) p^n + a_1(\mu) p^{n-1} + \dots + a_n(\mu) = 0 \quad (3.10.7)$$

xarakteristik tenglamaning  $a_k$  koeffitsiyentlari  $\mu$  kompleks parametrga chiziqli bog'langan hol ( $a_{k(\mu)} = b_k + \mu c_k$ ) uchun  $D$ - bo'laklashni yasashni ko'rib o'taylik.

(3.10.7) xarakteristik tenglama barcha  $p = \alpha + i\beta$  ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'ladigan  $\mu$  parametrning qiymatlar sohasini (agar bu soha mavjud bo'lsa) topish talab etilsin. Bu  $p = \alpha + i\beta$  kompleks o'zgaruvchi tekisligida barcha ildizlar chap yarim tekislikda yotishi kerak, demakdir. (3.10.7) xarakteristik tenglamani

$$P(p) + \mu Q(p) = 0 \quad (3.10.8)$$

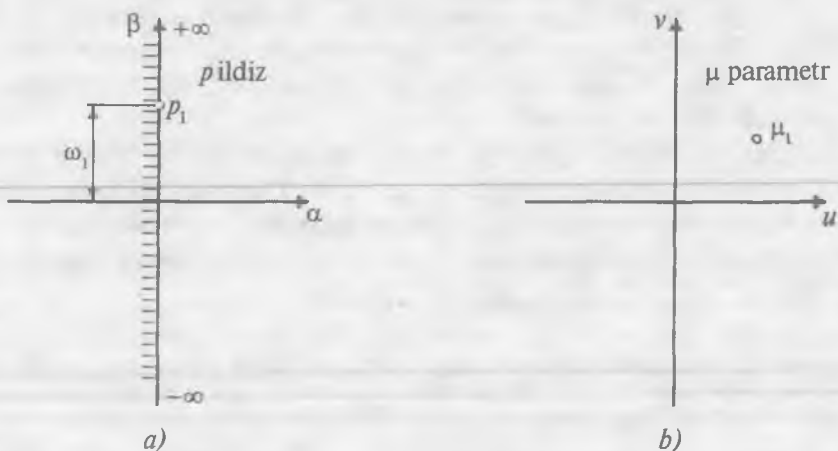
ko'rinishda yozamiz. Bu tenglamadan  $\mu$  parametrni topamiz:

$$\mu = -\frac{P(p)}{Q(p)}. \quad (3.10.9)$$

(3.10.9) munosabat  $\mu$  ni  $p$  ning funksiyasi sifatida aniqlaydi.  $p$  ga har xil qiymat berib,  $\mu$  ning qiymatlarini (haqiqiy yoki kompleks) topishimiz mumkin.

$G$  sohaning shtrixlangan chegarasini (3.3-  $a$  shakl)  $\mu$  kompleks parametr tekisligiga nuqtaviy akslantirish uchun  $p = i\omega$  deb olamiz, bu yerda  $i = \sqrt{-1}$ ,  $\omega$  - haqiqiy son va  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha qiymat qabul qiladi.  $p$  ning bu qiymatini (3.10.9) ga qo'yib,

$$\mu = -\frac{P(i\omega)}{Q(i\omega)} = -\frac{P_1(\omega) + iP_2(\omega)}{Q_1(\omega) + iQ_2(\omega)}$$



3.3- shakl.

ni hosil qilamiz va bu munosabatning o'ng tomonini haqiqiy va mavhum qismlarga ajratamiz:

$$\mu = -\frac{P_1 Q_1 + P_2 Q_2}{Q_1^2 + Q_2^2} + i \frac{P_1 Q_2 - P_2 Q_1}{Q_1^2 + Q_2^2}. \quad (3.10.10)$$

$m = u + iv$  kompleks parametr ekanligini hisobga olsak, (3.10.10) tenglamadan  $D$ - bo'laklashning chegarasi bo'lgan  $N$  negri chiziqning

$$u(\omega) = -\frac{P_1 Q_1 + P_2 Q_2}{Q_1^2 + Q_2^2}, \quad v(\omega) = \frac{P_1 Q_2 - P_2 Q_1}{Q_1^2 + Q_2^2} \quad (3.10.11)$$

parametrik tenglamasini hosil qilamiz. Shunday qilib,  $D$ - bo'laklashning chegarasi  $p$  ildizlar tekisligi  $\beta$  mavhum o'qning  $\mu$  kompleks parametr tekisligidagi aksidir. (3.10.11) munosabatga asosan  $u(\omega) = u(-\omega)$   $\omega$  ga nisbatan juft funksiya va  $v(\omega) = -v(-\omega)$  — toq funksiyaadir.

**Misol.** Ushbu xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin:

$$p^4 + (3 + \mu)p^3 + (2 + \mu)p^2 + (5 + 2\mu)p + 8 = 0. \quad (3.10.12)$$

Bu tenglamadan  $\mu$  ni topamiz:

$$\mu = -\frac{p^4 + 3p^3 + 2p^2 + 5p + 8}{p^3 + p^2 + 2p}. \quad (3.10.12')$$

Bu yerdan

$P(p) = p^4 + 3p^3 + 2p^2 + 5p + 8$  va  $Q(p) = p^3 + p^2 + 2p$ .  
(3.10.12') tenglamada  $p$  o'rniga  $p = i\omega$  ni qo'yib,

$$\mu = -\frac{(\omega^4 - 2\omega^2 + 8) + i(-3\omega^3 + 5\omega)}{-\omega^2 + i(-\omega^3 + 2\omega)} \quad (3.10.13)$$

munosabatni hosil qilamiz, bu yerdan

$$P_1(\omega) = \omega^4 - 2\omega^2 + 8, \quad P_2(\omega) = -3\omega^3 + 5\omega, \\ Q_1(\omega) = -\omega^2, \quad Q_2(\omega) = -\omega^3 + 2\omega.$$

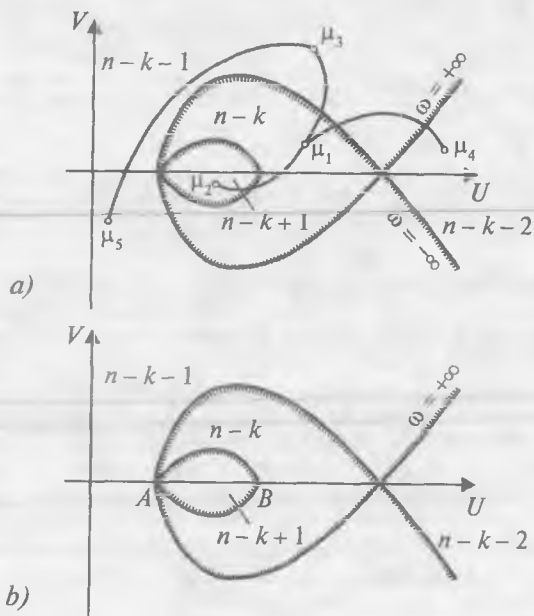
(3.10.13) munosabatni haqiqiy va mavhum qismlarga ajratib,  $D$ - bo'laklashning chegarasi  $N$  egri chiziqning parametrik tenglamasini topamiz:

$$u(\omega) = -\frac{2\omega^6 - 9\omega^4 + 2\omega^2}{\omega^6 - 3\omega^4 + 4\omega^2}, \\ v(\omega) = \frac{-\omega^7 + \omega^5 - 7\omega^3 + 16\omega}{\omega^6 - 3\omega^4 + 4\omega^2}. \quad (3.10.14)$$

Endi umumiy holga qaytaylik.  $p = \alpha + i\beta$  ildizlar tekisligining mavhum o'qida yotgan biror  $p_1$  nuqtani olamiz.  $p$  tekislikning  $p_1$  nuqtasiga  $p_1 = i\omega_1$  koordinata to'g'ri keladi (3.3-  $a$  shakl). (3.10.11) parametrik tenglamaga  $\omega = \omega_1$  qiymatni qo'yib,  $\mu$  tekislikda unga mos kelgan  $\mu_1$  nuqtani yasaymiz (3.3-  $b$  shakl).

Agar  $\omega$  ga  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha qiymatlar bersak, u holda  $\mu$  tekislikda biror egri chiziqni hosil qilamiz. Bu egri chiziq  $p$  ildizlar tekisligi mavhum o'qining  $\mu$  kompleks parametr tekisligidagi aksi bo'ladi. Shunday qilib, topilgan egri chiziq (3.4-  $a$  shaklda ko'rsatilgandek bo'lsin deb faraz qilamiz)  $D$ - bo'laklashning chegarasi deb aytiladi.

$D$ - bo'laklashning chegarasini ( $\omega = -\infty$  ga mos kelgan nuqtadan  $\omega = +\infty$  ga mos kelgan nuqtagacha bo'lgan oraliqni) chap tarafdin shtrixlaymiz (3.4-  $a$  shakl).  $u(\omega)$  juft funksiya va  $v(\omega)$  toq funksiya bo'lganligi uchun  $D$ - bo'laklashning chegarasini yasashda  $\omega$  ni 0 dan  $+\infty$  gacha o'zgartirish yetarli.  $\omega$  ning  $-\infty$  dan 0 gacha bo'lgan qiymatlariga mos chegarani hosil qilish uchun yasalgan chegaraning  $\mu$  tekislikning  $u$  o'qiga nisbatan ko'zgudagi aksini olish kifoyadir.



3.4- shakl.

$D$ - bo'laklash chegarasida yotgan  $\mu$  nuqtalarga  $p$  ildizlar tekisligidagi  $p = i\omega$  nuqtalar, ya'ni xarakteristik tenglamaning sof mavhum ildizlari mos keladi.  $\mu$  tekislikning haqiqiy o'qida ( $D$ - bo'laklash chegarasidan chetda) yotgan  $\mu_1$  nuqtani olamiz va uning qiymatini (3.10.7) xarakteristik tenglamaga qo'yamiz:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (3.10.15)$$

bu yerda  $a_k$  ( $k = \overline{0, n}$ ) koeffitsiyentlar – haqiqiy sonlar. (3.10.15) xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlaridan

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_n \end{vmatrix} \quad (3.10.16)$$

Gurvis determinantini tuzamiz. Ma'lumki,  $p$  ildizlar tekisligining o'ng yarim tekisligida yotgan ildizlar soni

$$a_0, \Delta_1, \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, \dots, \frac{\Delta_n}{\Delta_{n-1}} \quad (3.10.17)$$

qatordagi ishoralar o'zgarish soniga teng, bu yerda  $\Delta_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – Gurvis determinantining bosh minorlari. Shu qoidadan foydalanib,  $\mu_1$  nuqtaga mos (3.10.15) xarakteristik tenglamaning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari sonini topamiz. (3.10.15) tenglamaning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soni  $k$  ga teng deb faraz qilaylik. Avval bir misol qaraylik.

Misol. (3.10.12) xarakteristik tenglamadagi  $\mu = \mu_1$  parametrning qiymati 4 ga teng bo'lsin, ya'ni  $\mu = 4$ . U holda  $\mu = 4$  ni (3.10.12) tenglamaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$p^4 + 7p^3 + 6p^2 + 13p + 8 = 0. \quad (3.10.15')$$

Bu tenglamaning Gurvis determinanti

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 7 & 13 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 8 & 0 \\ 0 & 7 & 13 & 0 \\ 0 & 1 & 6 & 8 \end{vmatrix} \quad (3.10.16')$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerdan

$$a_0 = 1, \Delta_1 = 7, \Delta_2 = 29, \Delta_3 = -15, \Delta_4 = -120$$

ni hosil qilamiz va (3.10.17) qatordagi ishora almashinishlar

$$+, +, +, -, + \quad (3.10.17')$$

ko'rinishda bo'ladi. (3.10.17') qatordagi ishoralar o'zgarish soni 2 ga teng.

Demak,  $\mu$  tekislikning  $\mu_1 = 4$  nuqtasiga mos xarakteristik tenglamaning  $p$  ildizlar tekisligining o'ng yarim tekisligida yotgan ildizlari soni  $k = 2$  ga teng, ya'ni 2 ta ildizining haqiqiy qismi musbat ishorali bo'ladi. Shunday qilib, (3.10.15') xarakteristik tenglamaning 2 ta ildizi chap yarim tekislikda va 2 ta ildizi o'ng yarim tekislikda yotadi, ya'ni 2 ta ildizining haqiqiy qismi manfiy va 2 ta ildizining haqiqiy qismi musbat ishorali bo'ladi (ya'ni  $D(2, 2)$ ).



Endi umumiy holni qarashni davom ettiraylik. O'ng yarim tekislikda yotgan ildizlar soni  $k$  ga teng bo'lgani uchun chap yarim tekislikda yotgan ildizlar soni  $n - k$  ga teng bo'ladi, demak,  $D(n - k, k)$ .  $\mu_1$  nuqtadan  $\mu_2$  nuqtaga o'tish uchun  $D$ -bo'laklash chegarasini shtrixlanmagan tarafdin shtrixlangan tarafga kesib o'tilgani sababli bu nuqtaga mos xarakteristik tenglamaning  $n - k + 1$  ta ildizi chap yarim tekislikda yotadi.  $\mu_1$  dan  $\mu_3$  ga o'tishda chegaraning shtrixlangan tarafdin shtrixlanmagan tarafga qarab kesib o'tiladi, demak, bu nuqtada  $n - k - 1$  ta ildiz chap yarim tekislikda yotganini topamiz.  $\mu_3$  dan  $\mu_5$  nuqtaga o'tishda  $D$ -bo'laklash chegarasi kesilmaydi (bu ildizlar tekisligida biz mavhum o'qni kesib o'tmaymiz degan mulohaza bilan teng kuchlidir). Demak,  $\mu_5$  nuqtada ham chap yarim tekislikda yotgan ildizlar  $n - k - 1$  ta bo'ladi.

Shunday qilib,  $D$ -bo'laklashning chegarasi butun  $\mu$  tekislikni sohalarga bo'laklab tashlaydi. Bu sohalarning har birida xarakteristik tenglamaning ma'lum miqdordagi ildizlari chap yarim tekislikda yotadi. 3.4-shaklda keltirilgan misolda  $D$ -bo'laklash chegarasi  $\mu$  tekislikni 4 ta sohaga bo'laklab tashlagan:  $D(n - k + 1, k - 1)$ ,  $D(n - k, k)$ ,  $D(n - k - 1, k + 1)$ ,  $D(n - k - 2, k + 2)$ . Agar  $k = 1$  bo'lsa,  $D(n - k + 1, k - 1) = D(n, 0)$  soha turg'unlik sohasi bo'ladi va  $\mu$  parametrning  $A < \mu < B$  intervaldagi barcha qiymatlarida (3.10.12) xarakteristik tenglama hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy ishorali bo'ladi, ya'ni barcha ildizlari  $p$  ildizlar tekisligining chap yarim tekisligida yotadi.

### **Bir kompleks parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasash algoritmi**

1. Xarakteristik tenglamaning tadqiq qiluvchi ixtiyoriy  $\mu$  parametri tanlansin.

2. Xarakteristik tenglamaning analitik ko'rinishini ixtiyoriy  $\mu$  parametrga nisbatan guruhlab,  $P(z) + \mu Q(z) = 0$  ko'rinishga keltirilsin.

3. Agar  $Q(z)$  ning tarkibida  $\mu$  parametr ishtirok etgan bo'lsa, boshqa parametrni tanlash uchun 1-qadamga qaytilsin.

4. Xarakteristik tenglamani  $\mu$  parametrga nisbatan analitik yechib,  $\mu = -\frac{P(z)}{Q(z)}$  ni hosil qilinsin.

5. Xarakteristik tenglamada  $z = i\omega$  almashtirishni bajarib,

$$\mu = -\frac{P(i\omega)}{Q(i\omega)} = -\frac{P_1(\omega) + iP_2(\omega)}{Q_1(\omega) + iQ_2(\omega)} \text{ ifoda hosil qilinsin.}$$

6. 5- qadam natijasidagi ifodaning surat va maxrajini  $Q_1(\omega) - iQ_2(\omega)$  ga ko'paytirib,  $\mu = -\frac{P_1Q_1 + P_2Q_2}{Q_1^2 + Q_2^2} + i\frac{P_1Q_2 - P_2Q_1}{Q_1^2 + Q_2^2}$  ifoda hosil qilinsin.

7. 6- qadam natijasidan  $D$ - bo'laklashning  $u(\omega) = -\frac{P_1Q_1 + P_2Q_2}{Q_1^2 + Q_2^2}$ ,

$v(\omega) = \frac{P_1Q_2 - P_2Q_1}{Q_1^2 + Q_2^2}$  ko'rinishdagi parametrik tenglamasi hosil qilinsin.

8.  $\omega$  chastotaning  $\Delta\omega$  o'zgarish qadami tanlansin.

9.  $\omega$  chastotaning WMAX maksimal qiymati tanlansin.

10.  $i = 1$ .

11.  $i = i + 1$ ;  $\omega_i = (i - 1)\Delta\omega$  chastotaning qiymati hisoblansin.

12.  $u(\omega_i)$  va  $v(\omega_i)$  larning qiymati hisoblansin.

13.  $u$  va  $v$  tekisligida  $(u(\omega_i); v(\omega_i))$  va  $(u(\omega_i); -v(\omega_i))$  nuqtalar aks ettirilsin.

14.  $R = u(\omega_i)$ ;  $u$  - haqiqiy o'qdagi ixtiyoriy ( $\mu_1$ ) qiymatni belgilab olamiz.

15. Agar  $\omega_i \leq \text{WMAX}$  bo'lsa,  $u$  holda 11- qadamga qaytilsin.

16. 2- qadamdagi ifodaning qiymatini  $\mu_1 = R$  qiymatda hisoblab,  $a_0z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_{n-1}z + a_n = 0$  ko'rinishga keltirilsin.

17.  $i = 1$  {Gurvis matritsasini hosil qilish}.

18.  $j1 = 2(i - 2)$ ;  $j2 = 2i - 1$ .

19.  $B(1, i) = a(j1)$ ;  $B(2, i) = a(j2)$ .

20.  $i = i + 1$ .

21. Agar  $i \leq \lfloor N/2 \rfloor + 1$  bo'lsa,  $u$  holda 19- qadamga qaytilsin.

22.  $i = 1$ ;  $i1 = 1$ ;

23.  $i1 = i1 + 2$ .

24.  $j = \lfloor N/2 \rfloor + 1$ .

25.  $B(i1, j) = B(i1 - 2, j - 1)$ .

26.  $j = j + 1$ .

27. Agar  $j \leq N - 1$  bo'lsa,  $u$  holda 26- qadamga o'tilsin.

28. Agar  $i1 + 1 > N$  bo'lsa,  $u$  holda 31- qadamga o'tilsin.

29.  $j_1 = \lfloor N/2 \rfloor + 1$ .
30.  $B(i_1 + 1, j_1) = B(i_1 - 1, j_1 - 1)$ .
31.  $j_1 = j_1 + 1$ .
32. Agar  $j_1 \leq N - 1$  bo'lsa, u holda 30- qadamga o'tilsin.
33.  $i = i + 1$ .
34. Agar  $i \leq N - 1$  bo'lsa, u holda 24- qadamga o'tilsin.
35.  $B(N, N) = a(N)$  {Gurvis matritsasini tuzishning oxiri}.
36.  $t = 0$ .
37.  $i_1 = N + 1$  {Gurvis determinantining bosh diagonal minorlarini hisoblash}.
38.  $i = 1$ ;  $k_1 = \lfloor N/2 \rfloor + 1$ .
39.  $i_1 = i_1 - 2$ .
40.  $j = 1$ .
41.  $l = 1$ .
42.  $x(j, l) = B(j, l)$  {minorni aniqlash}.
43.  $t = t + 1$ .
44.  $C(t) = |x(j, l)|$  {minorni hisoblash}.
45.  $l = l + 1$ ;
46. Agar  $l \leq i$  bo'lsa, u holda 42- qadamga qaytilsin.
47.  $j = j + 1$ .
48. Agar  $j \leq i$  bo'lsa, u holda 42- qadamga qaytilsin.
49.  $i = i + 1$ .
50. Agar  $i < k_1$  bo'lsa, u holda 39- qadamga qaytilsin.
51.  $p_1 = 0$ ;  $p_2 = 0$ .
52.  $i = 2$ .
53. Agar  $C(i)/C(i - 1) < 0$  bo'lsa, u holda  $p_1 = p_1 + 1$ .
54. Agar  $C(i)/C(i - 1) > 0$  bo'lsa, u holda  $p_2 = p_2 + 1$ .
55. Agar  $i \leq t$  bo'lsa, 53- qadamga qaytilsin.
56. Agar  $a(0) > 0$  bo'lsa, u holda  $p_1 = p_1 + 1$ , aks holda  $p_2 = p_2 + 1$ .
57. Agar  $C(1) > 0$  bo'lsa, u holda  $p_1 = p_1 + 1$ , aks holda  $p_2 = p_2 + 1$ .
58.  $z_n = |p_1 - p_2|$  {ishora almashinishlar soni}.
59. Algoritmning tugashi.

## Bir kompleks parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasash dasturi

### Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:

$N1$  – xarakteristik ko'phadning tartibi;  
WMAX – chastotaning maksimal qiymati;  
DW – chastotaning o'zgarish qadami;  
EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligi.

### Dasturning natijasi:

$(u, v)$  parametrlar tekisligida  $D$ - bo'laklash  $N$  chegaraviy egri chizig'ining grafigi yasaladi va shtrixlash qoidasiga asosan u shtrixlanadi. Natijada  $(u, v)$  parametrlar tekisligi bir nechta sohalarga bo'linadi. Haqiqiy o'qning ixtiyoriy nuqtasi uchun o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlar soni aniqlanadi.

### Dastur matni

```
{\$M 65500,0,79999}
uses crt,dos,graph,ust_1;
label 11,22,33,44;
label ggg,1,2,3,4;
var um:integer;
{+++++}
procedure grafika; {grafikni initsializatsiyalash}
begin
  clrscr;
  d:=detect;
  initgraph(d,m,'c:\bp\bgi');
  e:=graphresult;
end;

procedure nach; {koordinata tekisligini hosil qilish}
begin
  setbkcolor(black);
  setcolor(11);
  settextstyle(5,0,10);
  assign(f,'bazal.pas');
```

```

reset(f);
  for i:=1 to q do begin
    read(f,o[i]);
    PARAM(o[i],i); end;
close(f);
setcolor(white);
line((getmaxx div 2)-50,0,(getmaxx div 2)-50,getmaxy);
line(getmaxx,(getmaxy div 2)+170,0,(getmaxy div 2)+170);
end;

procedure parabola; {egri chiziqni chizish}
begin
  for j:=0 to 9999 do
  begin
    setcolor (11);
    tau[j]:=trunc((j*j{nu*nu})*(h*h));
    circle(cx+tau[j]-50,cy-j{nu[j]}+170,1);
  end;
end;

procedure prog1; {omega, K2 larning turli qiymatlarida sohani
                 aniqlash}
begin
repeat
  grafika;
  if e<>grok then
    writeln(grapherrormsg(e))
  elqe
  begin
    nach;
    k2:=nachal; um:=0;
    while k2<=konech do begin
      izm_omega;
      nach;
      k2:=nachal+um*shag;
      um:=um+1;
    End;
  end;
end;

```

```

parabola;
until readkey<>#0;
setcolor(white);
clrscr;
closegraph;
end;

procedure prog2; {omega, gama0 larning turli qiymatlarida
                 sohani aniqlash }

begin
repeat
grafika;
    if e<>grok then
        writeln(grapherrormsg(e))
    else
        begin nach;
gama0:=nachal; um:=0;
while gama0<=konech do begin
izm_omega; nach;
gama0:=nachal+um*qhag;
um:=um+1;
End;
end;
parabola;
    until readkey<>#0;
setcolor(white);
clrscr;
closegraph;
end;

procedure prog3; {omega, b larning turli qiymatlarida sohani
                 aniqlash}

begin
repeat
grafika;
    if e<>grok then
        writeln(grapherrormsg(e))

```

```

    else
    begin nach;
b:=nachal;um:=0;
while b<=konech do begin
izm_omega;nach;
b:=nachal+um*shag;
um:=um+1;
End;
end;
parabola;
    until readkey<>#0;
setcolor(white);
clrscr;
closegraph;
end;

procedure prog4; {omega, a larning turli qiymatlarida sohani
                aniqlash}
begin
repeat
grafika;
    if e<>grok then
        writeln(grapherrormsg(e))
    else
        begin nach;
a:=nachal;um:=0;
while a<=konech do begin
izm_omega;nach;
a:=nachal+um*shag;
um:=um+1;
End;
end;
parabola;
    until readkey<>#0;
setcolor(white);
clrscr;
closegraph;
end;

```

```
procedure prog5; {omega, h larning turli qiymatlarida sohani  
aniqlash }
```

```
begin  
repeat  
grafika;  
    if e<>grok then  
        writeln(grapherrormsg(e))  
    else  
        begin nach;  
izm_omega;  
end;  
h:=nachal;  
while h<=konech do begin;  
parabola;  
h:=h+shag;  
END;  
until readkey<>#0;  
setcolor(white);  
clrscr;  
closegraph;  
end;
```

Begin

```
22: init;strok:='Dempferlashning harakat turg'unligiga  
ta'siri';
```

```
Drow_menu;  
repeat  
ch:=readkey;  
if ch=#0 then  
begin  
functionkey:=true;  
ch:=readkey;  
end  
else  
functionkey:=false;  
begin
```



```
if (not functionkey)and(uppercase(ch)=#13)
then begin
if strmenu[crm]='2) grafikni yasash
(D-bo'lish)' then
```

```
BEGIN
clrscr;
writeln('1).k2');
writeln('6).gama0');
writeln('9).b');
writeln('10).a');
writeln('15).h');
writeln('o'zgaradigan parametr nomerini kiriting');
readln(nomer);
writeln('parametrning boshlang'ich qiymatini kiriting');
readln(nachal);
writeln('oxirgi qiymatni kiriting');
readln(konech);
writeln('o'zgarish qadamini kiriting');
readln(shag);
if nomer='1' then prog1;
if nomer='2' then prog2;
if nomer='3' then prog3;
if nomer='4' then prog4;
if nomer='5' then prog5;
goto 22;
end;
if strmenu[crm]='4) ESC – chiqish' then exit;
if strmenu[crm]='3) ildizlar sonini aniqlash' then
writeln('empty');
if strmenu[crm]='1) ma'lumotlar bazasining o'zgarishi' then
ggg: begin
Begin
    initm;
    assign(fff,'baza.pas');
    assign(ffl,'baza.l.pas');
```

```

reset (fff);
for i:=0 to nmenu-1 do begin
    read(fff,a);
    mas[i]:=a; end;
close(fff);
Drow_menum;
repeat
ch:=readkey;
if ch=#0 then
    begin
        functionkey:=true;
        ch:=readkey;
    end
else
    functionkey:=false;
Do_Comandm(ch,functionkey);
until(ch=#27);
clrscr;
rewrite(ff1);
for i:=0 to 1000 do
    writeln(ff1,mas[i]);
close(ff1);
end;
goto 22;
End;
Do_Select (crm); end;
if functionkey then
    case upcase(ch) of
    #72:up;
    #80:Down;
    end;
end;
until(ch=#27);
end.

```

## 11-§. Ikki haqiqiy parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning $D$ - bo'laklash usuliga asoslangan algoritm va dasturi

Ixtiyoriy  $n$ - darajali ko'phadning koeffitsiyentlari  $\tau$  va  $\nu$  haqiqiy parametrlar bilan chiziqli bog'langan bo'lsin, u holda bu ko'phadni

$$\tau P(z) + \nu Q(z) + R(z) \quad (3.11.1)$$

ko'rinishda yozish mumkin.  $\tau$  va  $\nu$  parametrlarning qanday qiymatlarida (agar bunday qiymatlar mavjud bo'lsa) (3.11.1) ko'phadning barcha ildizlari chap yarim tekislikda yotadi, degan savolga javob topishimiz kerak. Bu masalani yechish uchun  $D$ - bo'laklash usulidan foydalanamiz. Xuddi, avvalgi bir parametrli holdagidek,  $z$  ildizlar tekisligining har bir nuqtasiga ( $\tau$ ,  $\nu$ ) parametrlar tekisligining biror nuqtasi mos keladi.

( $\tau$ ,  $\nu$ ) parametrlar tekisligida  $D$ - bo'laklashni o'tkazish uchun  $z$  ildizlar tekisligining mavhum o'qini ( $\tau$ ,  $\nu$ ) parametrlar tekisligiga akslantiramiz. Buning uchun

$$\tau P(z) + \nu Q(z) + R(z) = 0 \quad (3.11.2)$$

tenglamaga  $z = i\omega$  ni ( $-\infty < \omega < +\infty$ ) qo'yamiz, so'ngra haqiqiy va mavhum qismlarga ajratib, mos ravishda nolga tenglashtiramiz:

$$\left. \begin{aligned} \tau P_1(\omega) + \nu Q_1(\omega) + R_1(\omega) &= 0, \\ \tau P_2(\omega) + \nu Q_2(\omega) + R_2(\omega) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.11.3)$$

(3.11.3) munosabatni  $\tau$  va  $\nu$  ga nisbatan yechib,  $D$ - bo'laklashning chegarasi  $N$  ning parametrik tenglamasini topamiz:

$$\tau = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{Q_1 R_2 - Q_2 R_1}{P_1 Q_2 - P_2 Q_1}, \quad \nu = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{P_2 R_1 - P_1 R_2}{P_1 Q_2 - P_2 Q_1}, \quad (3.11.4)$$

bu yerda

$$\Delta = P_1 Q_2 - P_2 Q_1, \quad \Delta_1 = Q_1 R_2 - Q_2 R_1, \quad \Delta_2 = P_2 R_1 - P_1 R_2.$$

Misol. Ushbu

$$(\tau p + 1)(6p + 2) + 3\nu = 0 \quad (3.11.5)$$

ko'phad berilgan bo'lsin. Bu ko'phadni

$$\tau(6p^2 + 2p) + 3v + 6p + 2 = 0 \quad (3.11.6)$$

ko'rinishga keltirish mumkin, bu yerdan

$$P(p) = 6p^2 + 2p, \quad Q(p) = 3, \quad R(p) = 6p + 2.$$

(3.11.6) tenglamaga  $p = i\omega$  ni qo'yib, haqiqiy va mavhum qismlarga ajratamiz:

$$[-6\tau\omega^2 + 3v + 2] + i[2\tau\omega + 6\omega] = 0.$$

Kompleks son nolga teng bo'lishi uchun uning haqiqiy va mavhum qismlari nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$\left. \begin{aligned} -6\tau\omega^2 + 3v + 2 &= 0, \\ 2\tau\omega + 6\omega &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Bu yerdan  $\Delta = -6\omega$ ,  $\Delta_1 = 18\omega$ ,  $\Delta_2 = 4\omega + 36\omega^3$  va  $D$ -bo'laklashning chegarasi  $N$  ning parametrik tenglamasi

$$\tau = -3, \quad v = -\frac{36\omega^2 + 4}{6}$$

ko'rinishda bo'ladi.

(3.11.4) formulalar  $\Delta \neq 0$  dagina to'g'ri bo'ladi.  $\Delta = 0$  da ikki hol: 1) yoki  $\Delta_1 \neq 0$ , yoki  $\Delta_2 \neq 0$ ; 2)  $\Delta_1 = \Delta_2 = 0$  bo'lishi mumkin. 1) hol hech qanday ahamiyatga ega emas, chunki bu holga mos keluvchi  $(\tau, v)$  nuqta cheksiz uzoqlashadi („cheksizlikka ketadi“); 2) hol, aksincha, maxsus hol hisoblanadi, chunki bu holda (3.11.3) tenglamalar bir-biriga chiziqli bog'langan bo'ladi. Bu maxsus holni tug'dirayotgan  $z = i\omega$  nuqtaga endi bitta nuqta emas, balki butun bir to'g'ri chiziq mos keladi, demakdir. Bu to'g'ri chiziq (3.11.3) tenglamalarning istalgan bittasi bilan ifodalanadi va uni maxsus to'g'ri chiziq deb ataymiz.

Agar ko'phadning bosh  $(a_0)$  va ozod hadlari  $(a_n)$   $\tau$  va  $v$  parametrlarga bog'liq bo'lsa, ularni nolga tenglashtirib, mos ravishda,  $\omega = \infty$  va  $\omega = 0$  qiymatlarga mos keluvchi maxsus to'g'ri chiziq'larga ega bo'lamiz:

$$a_0(\tau, v) = 0, \quad (3.11.7)$$

$$a_n(\tau, v) = 0. \quad (3.11.8)$$

Shunday qilib, umumiy holda  $D$ - bo'laklashning chegarasi  $N$  egri chiziqdan va ayrim maxsus to'g'ri chiziqlardan iborat bo'ladi. (3.11.4) formulalar  $D$ - bo'laklashning  $N$  egri chizig'ini aniqlaydi.  $\omega$  musbat yo'nalishda o'zgariganda ( $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha)  $(\tau, \nu)$  nuqta ham  $N$  egri chiziq bo'ylab musbat yo'nalishda harakat qiladi.  $\Delta = \Delta_1 = \Delta_2 = 0$  hol uchun maxsus to'g'ri chiziqlar aniqlanadi.  $\tau(\omega)$  va  $\nu(\omega)$  lar  $\omega$  ga nisbatan juft funksiyalar bo'lganligi tufayli  $\omega$  ning  $(0, +\infty)$  intervaldagi qiymatlari uchun  $D$ - bo'laklashning  $N$  chegarasini yasash kifoya.  $\omega$  ning  $(-\infty, 0)$  intervaldagi qiymatlarida  $(\tau, \nu)$  nuqta  $N$  chegaraning  $\omega = +\infty$  nuqtaga mos kelgan  $(\tau_\infty, \nu_\infty)$  nuqtasidan  $\omega = 0$  nuqtaga mos kelgan  $(\tau_0, \nu_0)$  nuqtasigacha harakat qilib keladi, ya'ni  $N$  chegaraviy egri chiziq bo'ylab  $\omega$  ning  $-\infty < \omega < +\infty$  o'zgarish qiymatlarida  $(\tau, \nu)$  nuqta ikki marta yuradi.

$(\tau, \nu)$  tekislikda  $D$ - bo'laklashning chegaralari o'tkazilgandan keyin shtrixlash qoidasidan foydalanib, ularni shtrixlab chiqish kerak. Shtrixlash qoidasini asoslash uchun  $z_0$  nuqtaning  $\delta(z_0)$  atrofini  $(\tau_0, \nu_0)$  nuqtaning  $\delta(\tau_0, \nu_0)$  atrofiga akslanishini ko'rib o'tamiz. Bu akslanish (3.11.2) yoki (3.11.3) formulalar orqali amalga oshiriladi.  $z = z_0 + \delta z$ ,  $\tau = \tau_0 + \delta \tau$  va  $\nu = \nu_0 + \delta \nu$  bo'lsin,  $z$ ,  $\tau$  va  $\nu$  ning bu qiymatlarini (3.11.2) ga qo'yib va ayrim o'rin almash-tirishlarni o'tkazgandan keyin

$$\begin{aligned} \tau_0 P(z_0 + \delta z) + \nu_0 Q(z_0 + \delta z) + R(z_0 + \delta z) + \\ + \delta \tau P(z_0) + \delta \nu_0 Q(z_0) + \dots = 0 \end{aligned} \quad (3.11.9)$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda ko'p nuqta  $\delta \tau$ ,  $\delta \nu$  va  $\delta z$  larga nisbatan yetarlicha kichik ikkinchi tartibli hadlarni bildiradi va

$$\tau_0 P(z_0) + \nu_0 Q(z_0) + R(z_0) = 0,$$

chunki  $z_0$  nuqta  $(\tau_0; \nu_0)$  nuqtaga akslanadi.  $\delta z$  ni  $\delta \tau$  va  $\delta \nu$  lar bilan bog'lovchi munosabatni birinchi yaqinlashishda quyidagi ko'ri-nishda yozish mumkin:

$$\delta \mu = -\tau_0 P(z_0 + \delta z) - \nu_0 Q(z_0 + \delta z) - R(z_0 + \delta z), \quad (3.11.10)$$

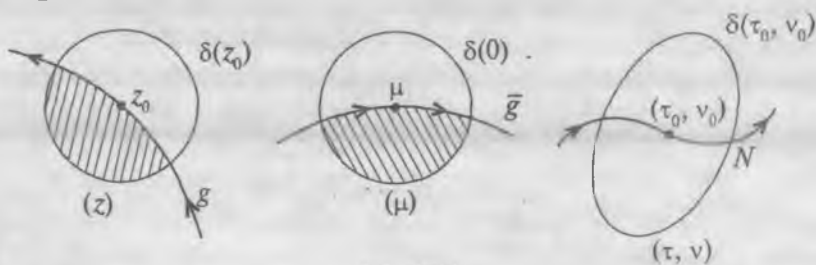
$$P(z_0) \delta \tau + Q(z_0) \delta \nu = \delta \mu. \quad (3.11.11)$$

$\delta(z_0)$  ning atrofini  $(\delta \tau_0, \delta \nu_0)$  ning atrofiga akslantirishni ketma-ket (3.11.10) formula orqali  $\delta(z_0)$  ning atrofini  $\mu$  kompleks o'zga-ruvchining yordamchi tekisligidagi  $\mu = 0$  nuqtaning  $\delta(0)$  atrofiga

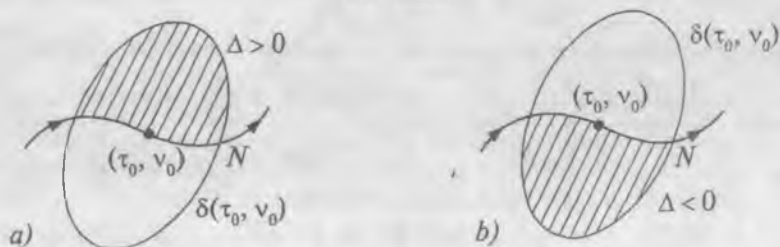
akslantirishdan va (3.11.11) formula orqali  $\delta(0)$  ning atrofini  $\delta(\tau_0, \nu_0)$  ning atrofiga akslantirishdan iborat deb qarash mumkin (3.5- shakl). Birinchi (3.11.10) akslantirish konform bo'ldi. Ikkinchi chiziqli akslantirishni haqiqiy va mavhum qismlarga ajratib yozamiz:

$$\begin{aligned} P_1(z_0)\delta\tau + Q_1(z_0)\delta\nu &= \delta\mu_1, \\ P_2(z_0)\delta\tau + Q_2(z_0)\delta\nu &= \delta\mu_2, \end{aligned} \quad (3.11.12)$$

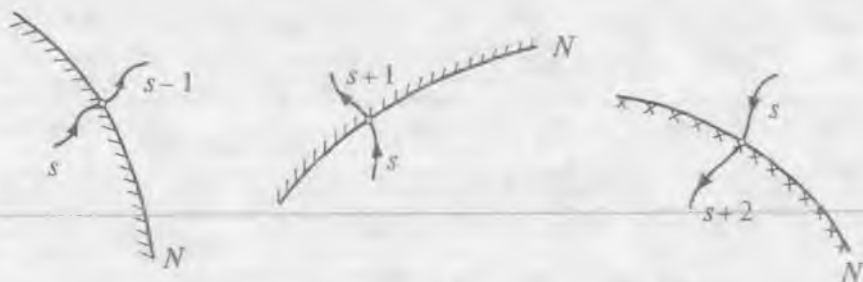
bu yerda  $\delta\mu_1$  va  $\delta\mu_2$  lar  $\delta\mu$  ning haqiqiy va mavhum qismlari,  $P_1$ ,  $Q_1$  va  $P_2$ ,  $Q_2$  — mos ravishda  $P(z_0)$  va  $Q(z_0)$  ning haqiqiy va mavhum qismlari.  $z_0$  nuqta uning atrofini ikki qismga bo'luvchi  $g$  chegarada yotgan bo'lsin deb faraz qilamiz (3.5- shakl). Shu shaklda  $g$  chegarani aylanib o'tishning musbat yo'nalishi ko'rsatilgan.  $\delta(z_0)$  atrof konform ravishda  $\delta(0)$  atrofga almashadi (3.5- shakl). Bu akslanish natijasida  $g$  chegaraning chap tarafi mos ravishda  $\mu$  tekislikdagi  $\bar{g}$  egri chiziqning chap tarafiga o'tadi. Navbatdagi  $\delta(0)$  atrofni  $\delta(\tau_0, \nu_0)$  atrofga chiziqli akslantirishda  $\delta(0)$  atrof siqilishi yoki cho'zilishi mumkin va yana agar (3.9.4) chiziqli almashtirishning  $\Delta$  determinanti manfiy ishorali bo'lsa, u holda ko'zguda akslanish yuz berishi mumkin (3.6- shakl).



3.5- shakl.



3.6- shakl.



3.7- shakl.

Buning ma'nosi quyidagidan iborat: ikkinchi chiziqli akslantirishda agar  $\Delta > 0$  bo'lsa, u holda  $\bar{g}$  egri chiziqning chap tarafi  $N$  chegaraviy egri chiziqning chap tarafiga (3.6- a shakl) va, aksincha, agar  $\Delta < 0$  bo'lsa, u holda  $N$  ning o'ng tarafiga o'tadi (3.6- b shakl).

O'tkazilgan tekshirishlar  $D$ - bo'laklashning  $N$  chegarasini shtrixlash qoidasini aniqlaydi:  $N$  egri chiziqning musbat yo'nalishi bo'ylab aylanib, agar  $\Delta > 0$  bo'lsa, uning chap tarafini va agar  $\Delta < 0$  bo'lsa, uning o'ng tarafini shtrixlash kerak. Bir marta shtrixlangan  $N$  egri chiziqni shtrixlangan tarafiga kesib o'tilganda chap yarim tekislikda yotgan ildizlar soni  $s$  bittaga ortadi va, aksincha, shtrixlanmagan tarafiga o'tilganida  $s$  son bittaga kamayadi (3.7-shakl).

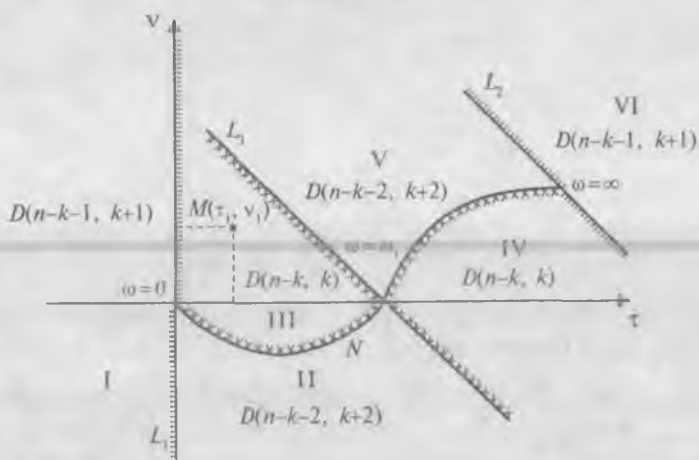
$D$ - bo'laklashning chegarasi,  $N$  egri chiziqdan tashqari,  $L$  maxsus to'g'ri chiziqlardan ham iborat bo'lishi mumkin.  $L$  maxsus to'g'ri chiziqlarni shtrixlash qoidasi  $N$  egri chiziqni shtrixlash qoidasidan farq qiladi, chunki  $L$  da aylanishning musbat yo'nalishi degan tushunchani aniqlash mumkin emas. Buning sababi  $L$  faqat bitta  $z$  nuqtaning obrazi bo'ladi. Shunga qaramasdan, maxsus to'g'ri chiziqlarni shtrixlash qoidasi  $N$  egri chiziqni qay tarzda shtrixlanganligidan kelib chiqadi.

$N$  egri chiziqning shtrixlangan tarafi  $G$  sohaga yondosh bo'lgan egri chiziq tarafining aksi bo'lganligidan  $L$  maxsus chiziqning shtrixlangan tarafi chegaraviy  $z \in g$  nuqtaning  $G$  soha nuqtalaridan iborat yarim atrofining aksidan iborat bo'ladi.

3.8- shaklda  $N$  egri chiziq bilan  $L$  maxsus chiziqning ba'zi o'zaro joylashishlari ko'rsatilgan.  $D$ - bo'laklashning hamma chega-



3.8- shakl.



3.9- shakl.

ralarini yasaganimizdan keyin  $(\tau, \nu)$  tekislik bir nechta sohalarga bo'linadi (3.9- shakl). 3.9- shaklda  $L_1, L_2, L_3$  — maxsus to'g'ri chiziqlar,  $N$  esa  $D$ - bo'laklashning chegaraviy egri chizig'i.

Har bir sohaning nuqtalariga mos kelgan (3.11.2) ko'phadlarining ildizlar tekisligining chap va o'ng yarim tekisliklarida yotgan ildizlari soni bir xil bo'ladi. Bir sohadan ikkinchi bir sohaga o'tganda chap va o'ng yarim tekisliklarida yotgan ildizlar soni o'zgaradi. Biror sohaning qandaydir nuqtasiga mos kelgan (3.11.2) ko'phadning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soni  $k$  ni aniqlaylik. Buning uchun shu sohaning ixtiyoriy  $M(\tau_1, \nu_1)$  nuqtasi  $\tau_1$  va  $\nu_1$  koordinatalarining qiymatini (3.11.2) ga qo'yamiz:

$$\tau_1 P(p) + \nu_1 Q(p) + R(p) = 0. \quad (3.11.13)$$



(3.11.13) ko'phadni ushbu ko'rinishda yozish mumkin:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0, \quad (3.11.14)$$

bu yerda  $a_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) – aniqlangan haqiqiy sonlar. (3.11.12) tenglamaning Gurvis determinanti

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu determinantning bosh minorlaridan

$$a_0, \Delta_1, \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, \frac{\Delta_3}{\Delta_2}, \dots, \frac{\Delta_n}{\Delta_{n-1}} \quad (3.11.15)$$

qatorni tuzamiz. Bu qatordagi ishora o'zgarishlar soni (3.11.13) (yoki (3.11.14)) ko'phadning o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlari soniga teng. O'ng yarim tekislikda yotgan ildizlar soni  $k$  ga teng bo'lsin. U holda  $(\tau, \nu)$  tekislikni  $D$ -bo'laklash 3.9-shaklda ko'rsatilgandek bo'ladi:  $D(n-k-1, k+1)$  – I soha,  $D(n-k-2, k+2)$  – II soha,  $D(n-k, k)$  – III soha,  $D(n-k, k)$  – IV soha,  $D(n-k-2, k+2)$  – V soha va  $D(n-k-1, k+1)$  – VI soha.

Agar  $k=0$  bo'lsa, u holda III va IV sohalar turg'unlik sohalari bo'ladi. Demak,  $\tau$  va  $\nu$  ning bu sohalarda yotgan barcha qiymatlari uchun (3.11.12) xarakteristik tenglama bilan ifodalanadigan hamma dinamik tizimlarning harakati asimptotik turg'un bo'ladi.

Shunday qilib,  $\tau$  va  $\nu$  haqiqiy parametrlar tekisligida turg'unlik sohasini yasash uchun quyidagi qoidadan foydalanish kerak:

$$\tau P(z) + \nu Q(z) + R(z) = 0 \quad (3.11.12')$$

tenglamaga  $z = i\omega$  ni qo'yib, haqiqiy va mavhum qismlarini ajratgandan so'ng, ularni mos ravishda nolga tenglashtiriladi:

$$\left. \begin{aligned} \tau P_1(\omega) + \nu Q_1(\omega) + R_1(\omega) &= 0, \\ \tau P_2(\omega) + \nu Q_2(\omega) + R_2(\omega) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.11.13')$$

2. (3.11.13') tenglamalar sistemasidan  $\tau$  va  $\nu$  topiladi:

$$\tau = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \nu = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (3.11.14')$$

bu yerda

$$\Delta = P_1 Q_2 - P_2 Q_1, \quad \Delta_1 = Q_1 R_2 - Q_2 R_1, \quad \Delta_2 = P_2 R_1 - P_1 R_2.$$

3.  $\Delta \neq 0$  hol uchun  $\omega$  ga 0 dan  $+\infty$  gacha qiymat berib, (3.11.14') ga asosan,  $(\tau, \nu)$  tekislikda  $D$ - bo'laklashning  $N$  chegaraviy egri chizig'i yasaladi.

4.  $\omega = 0$  va  $\omega = \infty$  qiymatlarga mos keluvchi (agar mavjud bo'lsa)  $L_1$  va  $L_2$  maxsus to'g'ri chiziqlarni hamda  $\Delta(\omega_1) = \Delta_1(\omega_1) = \Delta_2(\omega_1) = 0$  hol uchun  $\omega_1$  qiymatiga mos keluvchi  $L_3$  maxsus to'g'ri chiziq  $(\tau, \nu)$  tekislikda yasaladi (3.9- shaklga q.).

5. Shtrixlash qoidasi bo'yicha  $N$  egri chiziqning musbat yo'nalishi bo'yicha aylanganda  $\Delta > 0$  bo'lsa, uning chap tarafi va  $\Delta < 0$  bo'lsa, o'ng tarafi shtrixlanadi.  $N$  egri chiziqning shtrixlanganligiga qarab,  $L_1$ ,  $L_2$  va  $L_3$  maxsus to'g'ri chiziqlar shtrixlab chiqiladi.  $N$  egri chiziq bilan  $L$  maxsus to'g'ri chiziqlarning shtrixlangan taraflari bir-biriga qaragan bo'lishi kerak.

6.  $(\tau, \nu)$  tekislikning istalgan  $M(\tau_1, \nu_1)$  nuqtasining  $\tau_1$  va  $\nu_1$  koordinatalarini (3.11.12') tenglamaga qo'yib, bu tenglamaning Gurvis determinantini tuziladi va (3.11.15) qatordagi ishora o'zgarishlar soni (o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlar soni) aniqlanadi.

7.  $M(\tau_1, \nu_1)$  nuqta yotgan sohadan  $D$ - bo'laklash chegaralarini boshqa sohalarga kesib o'tib,  $(\tau, \nu)$  tekislik  $D$ - bo'laklab chiqiladi.

8. Agar sohalar ichida  $D(n, 0)$  soha ( $n$  - xarakteristik tenglamaning darajasi) mavjud bo'lsa, u holda bu  $D(n, 0)$  soha turg'unlik sohasi bo'ladi.  $\tau$  va  $\nu$  ning turg'unlik sohasidagi barcha qiymatlari uchun dinamik tizimning harakati asimptotik turg'un bo'ladi.

Misol. Ushbu

$$\tau(p^3 + p^2) + \nu(p^2 + p) + 1 = 0 \quad (3.11.12'')$$

ko'phad uchun  $(\tau, \nu)$  haqiqiy parametrlar tekisligini  $D$ - bo'laklash o'tkazish talab etilsin. Uni yuqoridagi algoritm bo'yicha bajaramiz.

1. Algoritmning birinchi qadamiga asosan

$$\left. \begin{aligned} -\omega^2\tau - \omega^2\nu + 1 &= 0, \\ -\omega^3\tau + \omega\nu &= 0. \end{aligned} \right\}$$

2.  $N$  egri chiziqning parametrik tenglamasi:

$$\tau = \frac{1}{\omega^2(1+\omega^2)}, \quad \nu = \frac{1}{1+\omega^2}$$

va  $\Delta = -\omega^3(1 + \omega^2)$ ,  $\Delta_1 = -\omega$ ,  $\Delta_2 = -\omega^3$ .

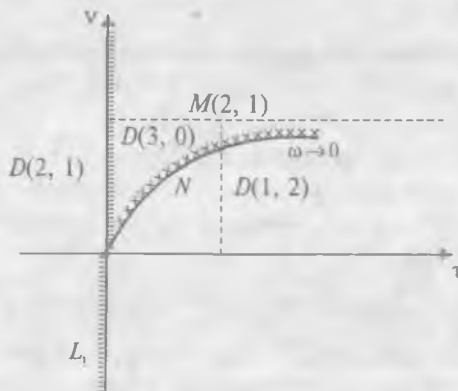
3.  $(\tau, \nu)$  tekislikda  $N$  egri chiziqni yasaymiz.

4.  $\omega = 0$  mos keluvchi  $L_1$  maxsus to'g'ri chiziq mavjud emas,  $\omega = \infty$  mos keluvchi  $L_2$  maxsus to'g'ri chiziq  $\tau = 0$  to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.  $\omega = \omega_1$  mos keluvchi  $L_3$  maxsus to'g'ri chiziq ham mavjud emas.

5.  $\omega$  ning  $-\infty$  dan  $0$  gacha o'zgarishida  $\Delta > 0$  va  $\omega$  ning  $0$  dan  $+\infty$  gacha o'zgarishida  $\Delta < 0$  bo'lganligi uchun  $N$  egri chiziqning musbat yo'nalishi bo'yicha aylanib, uni chap tarafdand ikki marta shtrixlab chiqamiz (3.10- shaklga q.).  $L_2$  ni shunday bir marta shtrixlaymizki, uning shtrixlangan tarafi  $N$  ning shtrixlangan tarafiga qaragan bo'lsin (3.10- shaklga q.).

6.  $(\tau, \nu)$  tekislikda yotgan ixtiyoriy  $M(2, 1)$  nuqtaning  $\tau = 0$  va  $\nu = 1$  koordinatalarini (3.11.12'') ko'phadga qo'yamiz:

$$2p^3 + 3p^2 + p + 1 = 0.$$



3.10- shakl.

Bu tenglamaning Gurvis determinanti

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 1 \end{vmatrix}$$

va (3.11.15) qator

$$2, 3, \frac{1}{3}, 1 \quad (3.11.15')$$

ko'rinishda bo'ladi. (3.11.15') qatorda ishora o'zgarishlar soni 0 ga teng. Demak, bu nuqta uchun ildizlar tekisligining o'ng yarim tekisligida birorta ham ildiz yotmaydi, ya'ni xarakteristik tenglama hamma ildizlarining haqiqiy qismi manfiy.  $M(2, 1)$  nuqta yotgan sohada  $D(3, 0)$  bo'ladi.

7.  $D(3, 0)$  sohadan boshqa sohalarga  $D$ - bo'laklashning chegaralari kesib o'tilganda 3.10- shaklda ko'rsatilgan  $D$ - bo'laklashga kelamiz.

Shunday qilib,  $\tau$  va  $\nu$  ning  $D(3, 0)$  sohadagi barcha qiymatlarida ko'rilayotgan dinamik tizim harakati asimptotik turg'un bo'ladi.

### **Ikki haqiqiy parametr tekisligida $D$ - bo'laklash usuli bilan turg'unlik sohasini yasash algoritmi**

1. Xarakteristik tenglamaning ixtiyoriy  $\tau$  va  $\nu$  parametrlari tanlansin.

2. Xarakteristik tenglamaning analitik ko'rinishini ixtiyoriy  $\tau$  va  $\nu$  parametrlarga nisbatan guruhlab,  $\tau P(z) + \nu Q(z) + R(z)$  ko'rinishga keltirilsin.

3. Agar  $P(z)$  ning tarkibida  $\tau$  parametr ishtirok etgan bo'lsa, boshqa parametrni tanlash uchun 1- qadamga qaytilsin.

4. Agar  $Q(z)$  ning tarkibida  $\nu$  parametr ishtirok etgan bo'lsa, boshqa parametrni tanlash uchun 1- qadamga qaytilsin.

5. 2- qadamda aniqlangan tenglamaga  $z = i\omega$  ni qo'yib, haqiqiy va mavhum qismlarga ajratilsin hamda mos ravishda nolga tenglashtirilsin, ya'ni quyidagi tenglamalar sistemasi hosil qilinsin:

$$\tau P_1(\omega) + \nu Q_1(\omega) + R_1(\omega) = 0,$$

$$\tau P_2(\omega) + \nu Q_2(\omega) + R_2(\omega) = 0.$$

6. 5- qadamdagi tenglamalar sistemasidan

$$D = P_1Q_2 - P_2Q_1,$$

$$D_1 = Q_1R_2 - Q_2R_1,$$

$$D_2 = P_2R_1 - P_1R_2$$

aniqlansin.

7.  $\omega$  chastotaning  $D\omega$  o'zgarish qadami tanlansin.

8.  $\omega$  chastotaning WMAX maksimal qiymati tanlansin.

9.  $\omega = 1$ ;  $L_1 = -1$ ;  $L_2 = -1$ ;  $L_3 = -1$ .

10.  $i = i + 1$ ;  $\omega_i = (i - 1)D\omega$  chastotaning qiymati hisoblansin.

11.  $D$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  ning qiymati hisoblansin.

12. Agar  $D \neq 0$  bo'lsa, u holda  $\tau(\omega_i) = \frac{D_1}{D}$  va  $\nu(\omega_i) = \frac{D_2}{D}$  ni hisoblab,  $(\tau, \nu)$  tekislikda  $(\tau(\omega_i), \nu(\omega_i))$  nuqta aks ettirilsin.

13. Agar  $D(\omega_i) = 0$  va  $D1(\tau_i) = 0$  va  $D2(\omega_i) = 0$  bo'lsa, u holda  $L_3 = \omega_i$ .

14. Agar  $L_3 = -1$  bo'lsa, u holda  $L_2 = \tau(\omega_i)$ .

15. Agar  $L_2 = -1$  va  $L_3 = -1$  bo'lsa, u holda  $M_1 = \tau(\omega_i)$ ;  $M_2 = \nu(\omega_i)$ .

16. Agar  $\omega_i \leq \text{WMAX}$  bo'lsa, u holda 10- qadamga qaytilsin.

17. Agar  $\tau(0) \neq 0$  bo'lsa, u holda  $L_1 = \tau(0)$ , aks holda, agar  $\nu(0) \neq 0$  bo'lsa, u holda  $L_1 = \nu(0)$ .

18. Agar  $L_1 \neq -1$ , yoki  $L_2 \neq -1$ , yoki  $L_3 \neq -1$  bo'lsa, u holda maxsus chiziqlarni  $(\tau, \nu)$  tekislikda aks ettirilsin.

19. Shtrixlash qoidasiga ko'ra hosil qilingan egri chiziq va  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  maxsus chiziqlar shtrixlab chiqilsin.

20.  $M_1$  va  $M_2$  ning qiymatini 2- qadamdagi tenglamaga qo'yib,  $a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0$  ko'rinishdagi tenglama hosil qilinsin.

21.  $i = 1$  {Gurvis matritsasini hosil qilish}.

22.  $j1 = 2(i - 2)$ ;  $j2 = 2i - 1$ .

23.  $B(1, i) = a(j1)$ ;  $B(2, i) = a(j2)$ .

24.  $i = i + 1$ .

25. Agar  $i \leq ]N/2[ + 1$  bo'lsa, u holda 16- qadamga qaytilsin.

26.  $i = 1$ ;  $i1 = 1$ .

27.  $i1 = i1 + 2$ .

28.  $j = ]N/2[ + 1$ .

29.  $B(i1, j) = B(i1 - 2, j - 1)$ .
30.  $j = j + 1$ .
31. Agar  $j \leq N - 1$  bo'lsa, u holda 24- qadamga o'tilsin.
32. Agar  $i1 + 1 > N$  bo'lsa, u holda 29- qadamga o'tilsin.
33.  $j1 = \lfloor N/2 \rfloor + 1$ .
34.  $B(i1 + 1, j1) = B(i1 - 1, j1 - 1)$ .
35.  $j1 = j1 + 1$ .
36. Agar  $j1 \leq N - 1$  bo'lsa, u holda 28-qadamga o'tilsin.
37.  $i = i + 1$ .
38. Agar  $i \leq N - 1$  bo'lsa, u holda 22- qadamga o'tilsin.
39.  $B(N, N) = a(N)$  {Gurvis matritsasini tuzishning oxiri}.
40.  $t = 0$ .
41.  $i1 = N + 1$  {Gurvis determinantining bosh diagonal minorlarini hisoblash}.
42.  $i = 1$ ;  $k1 = \lfloor N/2 \rfloor + 1$ .
43.  $i1 = i1 - 2$ .
44.  $j = 1$ .
45.  $l = 1$ .
46.  $x(j, l) = B(j, l)$  {minorni aniqlash}.
47.  $t = t + 1$ .
48.  $C(t) = |x(j, l)|$  {minorni hisoblash}.
49.  $l = l + 1$ .
50. Agar  $l \leq i$  bo'lsa, u holda 40- qadamga qaytilsin.
51.  $j = j + 1$ .
52. Agar  $j \leq i$  bo'lsa, u holda 40- qadamga qaytilsin.
53.  $i = i + 1$ .
54. Agar  $i \leq k1$  bo'lsa, u holda 37- qadamga qaytilsin.
55.  $p1 = 0$ ;  $p2 = 0$ .
56.  $i = 2$ .
57. Agar  $C(i)/C(i - 1) < 0$  bo'lsa, u holda  $p1 = p1 + 1$ .
58. Agar  $C(i)/C(i - 1) > 0$  bo'lsa, u holda  $p2 = p2 + 1$ .
59. Agar  $i \leq t$  bo'lsa, 51- qadamga qaytish kerak.
60. Agar  $a(0) > 0$  bo'lsa, u holda  $p1 = p1 + 1$ , aks holda  $p2 = p2 + 1$ .
61. Agar  $C(1) > 0$  bo'lsa, u holda  $p1 = p1 + 1$ , aks holda  $p2 = p2 + 1$ .
62.  $zn = |p1 - p2|$  {ishora almashinishlar soni}.
63. Algoritmning tugashi.

## Ikki haqiqiy parametr tekisligida turg'unlik sohasini *D*- bo'laklash usuli bilan yasash dasturi

### Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:

*m* – xarakteristik ko'phadning tartibi;

WMAX – chastotaning maksimal qiymati;

DW – chastotaning o'zgarish qadami;

EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligi.

### Dasturning natijasi:

( $\tau$ ,  $\nu$ ) parametrlar tekisligida *D*- bo'laklashning *N* chegaraviy egri chizig'i va maxsus chiziqlarning grafiklari yasalgan hamda shtrixlash qoidasiga asosan ular shtrixlangan. Natijada ( $\tau$ ,  $\nu$ ) parametrlar tekisligi bir nechta sohalarga bo'linadi. Istalgan bir sohaning ixtiyoriy nuqtasi uchun o'ng yarim tekislikda yotgan ildizlar soni aniqlanadi.

I z o h . Dastur matni avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chizikli harakatining turg'unligini *D*- bo'laklash usuli bilan tadqiq etish jarayoni uchun berilyapti. Bu dinamik tizim harakatining turg'unligini tadqiq etish natijalari VI bobda keltiriladi.

### Dastur matni

```
uses crt,dos,graph;
const q=30;
nmenu=30;
label l1,22,33,44;
label ggg,1,2,3,4;
var f:text;
    m,d,e:integer;
    a1,a2,a3,a4,gama,gama0, mim, sigma,AA,BB,NN,ro,
    k2,j2,l,n,r,a,b,alfa,beta,omega,h, nachal,konech,
    shag:real;
    c:array[0..1000] of real;
    nu,tau:array [1..10000] of integer;
    o:array[1..q]of real;
    mmenu,i,j,mm,cx,cy:integer;
    om{ega},
```

```

delta:real;
vopr,ch:char;
nomer:string[3];
functionkey:boolean;
width,text_color,back_color,select_text_color,
select_back_color,menu_back_color,
screen_back_color,border_back_color,border_color,
wx,wy,ddy,crm:integer;
strok:string[150];
mmas:array[0..9]of real;
fff,ffl:text;
dy:integer;
strmenu:array[0..nmenu-1]of string[40];
strmenu1:array[0..nmenu-1]of string[40];
mas:array[0..nmenu-1]of real;

```

```

Procedure param(x:real;y:integer);

```

```

begin

```

```

  case y of

```

```

    1:k2:=x;{800;}
    2:r:=x;{0.310}
    3:alfa:=x{46};
    4:beta:=x{17};
    5:gama:=x{1.84};
    6:gama0:=x{1.3};
    7:sigma:=x{0.46};
    8:ro:=x{0.19};
    9:b:=x{160};
    10:a:=x{8800};
    11:l:=x{0.088};
    12:mim:=x{3.64};
    13:AA:=x{0.1036};
    14:NN:=x{450};
    15:h:=x{10};

```

```

  end;

```

```

end;

```



```

procedure Nadpism;
begin
  textbackground(blue);
  textcolor(red+blink);
  writeln(' Konstruktiv parametrlarning qiymatini
          kiriting');
  textbackground(red);
  textcolor(blue+blink);
  writeln(' Kiritish uchun ENTER ni bosing');
  textbackground(15);
  writeln(' Boshqarish tugmalari orqali kirish
          mumkin emas');
  textbackground(green);
  writeln(' Chiqish Esc ');
end;

```

```

procedure boxm(x1,y1,x2,y2:integer);
var i,j:integer;
begin
  gotoxy(x1+1,y1);
  for i:=x1+1 to x2-1 do write(#205);
  gotoxy(x1+1,y2);
  for i:=x1+1 to x2-1 do write(#205);
  for i:=y1+1 to y2-1 do
    begin
      gotoxy(x1,i);
      write(#186);
    end;
  for i:=y1+1 to y2-1 do
    begin
      gotoxy(x2,i);
      write(#186);
    end;
  gotoxy(x1,y1);
  write(#201);
  gotoxy(x2,y1);

```

```
write(#187);
gotoxy(x2,y2);
write(#188);
gotoxy(x1,y2);
write(#200);
end;
```

```
procedure Initm;
begin
  text_color:=Black;
  back_color:=LightGray;
  select_text_color:=White;
  select_back_color:=LightRed;
  menu_back_color:=Blue;
  screen_back_color:=LightGray;
  border_back_color:=Blue;
  border_color:=White;
  dy:=2;
  wx:=15;
  wy:=5;
  width:=25;
  crm:=0;
  strmenu[0]:='.K2 ';
  strmenu[1]:=')r ';
  strmenu[2]:=')alfa ';
  strmenu[3]:=')beta ';
  strmenu[4]:=')gama ';
  strmenu[5]:=')gama0 ';
  strmenu[6]:=')sigma';
  strmenu[7]:=')ro ';
  strmenu[8]:=')b ';
  strmenu[9]:=')a ';
  strmenu[10]:=')l ';
  strmenu[11]:=')m ';
  strmenu[12]:=')A ';
  strmenu[13]:=')N ';
```

```

    strmenu[14]:= '15).h ';
    strmenu[15]:= '16).';
    strmenu[16]:= '17).';
    strmenu[17]:= '18).';
    strmenu[18]:= '19).';
    strmenu[19]:= '20).';
    strmenu[20]:= '21).';
    strmenu[21]:= '22).';
    strmenu[22]:= '23).';
    strmenu[23]:= '24).';
    strmenu[24]:= '25).';
    strmenu[25]:= '26).';
    strmenu[26]:= '27).';
    strmenu[27]:= '28).';
    strmenu[28]:= '29).';
    strmenu[29]:= '30).';
  for i:=0 to nmenu-1 do
    strmenu1[i]:=strmenu[i];
end;

Procedure Draw_Menum;
var i,j:integer;
begin
  TextBackGround(screen_back_color);
  ClrScr;
  {Hide_Cursor;}
  Nadpism;
  textColor(border_color);
  TextBackGround(border_back_color);
  boxm(wx-2,wy-2,wx+width,wy+(10-1)*dy+2);
  TextBackGround(menu_back_color);
  i:=wx-1;
  for j:=wy-1 to wy+(10-1)*dy+1 do
    for i:=wx-1 to wx+width-1 do
      begin
        gotoxy(i,j);
        write (' ');
      end;
    end;
end;

```

```

for i:=0 to 10-1 do
  begin
    if i=crm then
      begin
        TextBackGround(select_back_color);
        TextColor(select_text_color);
      end
    else
      begin
        TextBackGround(back_color);
        TextColor(text_color);
      end;
    Gotoxy(wx,wy+i*dy);
    write(strmenu[i]);
    gotoxy(wx+30,wy+i*dy);
    if strmenu[1]='2'.r ' then
      write(mas[i]:5:2);
    if strmenu[1]='12).m ' then
      write(mas[i+10]:5:2);
    if strmenu[1]='22).' then
      write(mas[i+20]:5:2);
    end;
  end;
end;

```

```

procedure new_menum(old,sel:integer);
label 1;
begin
  textBackGround(back_color);
  textcolor(text_color);
  gotoxy(wx,wy+old*dy);
  write(strmenu[old]);
  TextBackGround(select_back_color);
  textColor(select_text_color);
  gotoxy(wx,wy+sel*dy);
  write(strmenu[sel]);
  textcolor(red+blink);
end;

```

```

Procedure Upm;
var i,j, old:integer;
begin
  old:=crm;
  crm:=crm-1;
  if (crm=-1)and(strmenu[0]='1').K2 ' ) then
  begin
    crm:=0; old:=0;
    for i:=0 to 10-1 do
      qtrmenu[i]:=qtrmenu1[i+20];
      clrscr;
      draw_menum;
    end;
    if (crm=-1) and (strmenu[0]='11').1 ' ) then
    begin
      crm:={nmenu-1;}0; old:=0;
      for i:=0 to 10-1 do
        strmenu[i]:=strmenu1[i]; clrscr;
        draw_menum;
      end;
      if (crm=-1) and (strmenu[0]='21').) then
      begin
        crm:={nmenu-1;}0; old:=0;
        for i:=0 to 10-1 do
          strmenu[i]:=strmenu1[i+10]; clrscr;
          draw_menum;
        end ;
        if (crm<>-1) and (strmenu[0]='21').) then
        begin
          for i:=0 to 10-1 do
            strmenu[i]:=strmenu1[i+20]; clrscr;
            draw_menum;
          end ;
          if (crm<>-1) and (strmenu[0]='11').1 ' ) then
          begin
            for i:=0 to 10-1 do

```

```

        strmenu[i]:=strmenu1[i+10]; clrscr;
        draw_menu;
end;
if (crm<>-1) and (strmenu[0]='1').K2 ' ) then
begin
    for i:=0 to 10-1 do
        strmenu[i]:=strmenu1[i]; clrscr;
        draw_menu;
    end;
    new_menum(old,crm);
end;

```

Procedure Dounm;

```
var old:integer;
```

```
begin
```

```
    old:=crm;
```

```
    crm:=crm+1;
```

```
    if (crm=10) and (strmenu[9]='30).') then
```

```
    begin
```

```
        clrscr;
```

```
        crm:=0; for i:=0 to nmenu-1 do
```

```
            strmenu[i]:=strmenu1[i];
```

```
            draw_menu;
```

```
    end;
```

```
    if (crm=10) and (strmenu[9]='20).') then
```

```
    begin
```

```
        clrscr;
```

```
        crm:=0; for i:=0 to nmenu-1 do
```

```
            strmenu[i]:=strmenu1[i+20];
```

```
            draw_menu;
```

```
    end;
```

```
    if (crm=10) and (strmenu[9]='10).a ' ) then
```

```
    begin
```

```
        clrscr;
```

```
        crm:=0; for i:=0 to nmenu-1 do
```

```
            strmenu[i]:=strmenu1[i+10];
```

```

        draw_menum;
    end;
    if (crm<>10) and (strmenu[9]='20.') then
    begin
        clrscr;
        for i:=0 to nmenu-1 do
            strmenu[i]:=strmenu1[i+10];
            draw_menum;
        end;
    if (crm<>10) and (strmenu[9]='10').a ' ) then
    begin
        clrscr;
        for i:=0 to nmenu-1 do
            strmenu[i]:=strmenu1[i];
            draw_menum;
        end;
    if (crm<>10) and (strmenu[9]='30.') then
    begin
        clrscr;
        for i:=0 to nmenu-1 do
            strmenu[i]:=strmenu1[i+20];
            draw_menum;
        end;
    new_menum(old,crm);
end;

procedure Do_Selectm(n:integer);
begin
    textcolor(red); textbackground(red);
    gotoxy(wx+30,wy+crm*dy);
    if strmenu[1]='2).r ' then
        write(mas[i]:5:2);
    if strmenu[1]='12).m ' then
        write(mas[i+10]:5:2);
    if strmenu[1]='22).' then
        write(mas[i+20]:5:2);
    gotoxy(wx+30,wy+crm*dy);

```

```

if strmenu[1]='2).r ' then
begin
  {delline};
  textbackground(15);
  textcolor(1);
  readln(mas[crm]);
end;
if strmenu[1]='12).m ' then
begin
  {delline}
  textbackground(15);
  textcolor(1);
  readln(mas[crm+10]);
end;
if strmenu[1]='22).' then
begin
  {delline}
  textbackground(15);
  textcolor(1);
  readln(mas[crm+20]);
end;
end;

Procedure do_comandm(key:char;functionalkey:boolean);
begin
  if (not functionalkey)and(uppercase(key)=#13)
  then Do_Selectm (crm);
  if functionkey then
  case uppercase(key) of
    #72:upm;
    #80:Dounm;
  end;
end;

procedure vich;
begin
  om:=omega*omega;

```



```

tau[j]:=trunc(((bb+k2)*om*om+a1*om+a2)/(j2*((om-
alfa)*(om-alfa)+beta*beta*om)*om));
nu[j]:=trunc((a3-a4*om)/( (om-alfa)*(om-alfa)+
beta*beta*om));
end;

procedure risov1;
begin
  cx:=getmaxx div 2;
  cy:=getmaxy div 2;
  for j:=1 to 999 do
  begin
    circle(cx+tau[j]-50,cy-nu[j]+170,1);
    r:= j/5;
    delta:=(omega-alfa)*(omega-alfa)+beta*beta*omega ;
    if r=trunc(j/5) then
      begin
        setcolor(4);
        if delta>=0 then
          line(cx+tau[j]-50,cy-nu[j]+170,cx+tau[j]-45,
            cy-nu[j]+155)
        else
          line(cx+tau[j]-50,cy-nu[j]+170,cx+tau[j]-55,
            cy-nu[j]+180);
        setcolor(white);
      end;
    end;
  end;
end;

procedure risov2;
begin
  cx:=getmaxx div 2;
  cy:=getmaxy div 2;
  for j:=1 to 999 do
  begin
    circle(cx+tau[j]-50,cy-nu[j]+170,1);
    r:= j/15;

```

```

writeln(grapherrormsg(e))
else
begin
  setbkcolor(black);
  setcolor(11);
  setttextstyle(5,0,10);
  assign(f,'baza1.pas');
  reset(f);
  for i:=1 to q do begin
    read(f,o[i]);
    PARAM(o[i],i); end;
  close(f);

```

### **{koordinatar sistemasi}**

```

setcolor(white);
line((getmaxx div 2)-50,0,(getmaxx div 2)-50,getmaxy);
line(getmaxx,(getmaxy div 2)+170,0,(getmaxy div 2)+170);
alfa:=nachal;
while alfa<=konech do
begin
  BB:=2*b;
  j2:=2*(AA+mim*I*I);
  n:=2*(a*r+sigma*NN);
  A1:=BETA*beta*k2-2*alfa*(BB+k2)-gama0*beta*(n-
  bb*(alfa*r-gama));
  a2:=alfa*alfa*(bb+k2)+gama0*alfa*beta*n;
  a3:=alfa*beta*bb+gama0*(beta*beta*n-alfa*bb*(alfa*r-
  gama));
  a4:=bb*(beta-gama0*(alfa*r-gama));
  izm_omega;
  alfa:=alfa+shag;
End;
end;

```

**{parabolalar}**

for j:=0 to 9999 do

begin

setcolor (11);

tau[j]:=trunc((j\*j{nu\*nu})/(h\*h));

circle(cx+tau[j]-50,cy-j{nu[j]}+170,1);

end;

until readkey<>#0;

setcolor(white);

clrScr;

closegraph;

end;

procedure prog6; **{omega, gama0 larning har xil qiymatlari  
uchun hisoblash }**

begin

repeat

clrscr;

d:=detect;

initgraph(d,m,'c:\bp\bgi');

e:=graphresult;

if e<>grok then

writeln(grapherrormsg(e))

else

begin

setbkcolor(black);

setcolor(11);

settextstyle(5,0,10);

assign(f,'baza1.pas');

reset(f);

for i:=1 to q do begin

read(f,o[i]);

PARAM(o[i],i); end;

close(f);

### {koordinatalar sistemasi}

```
setcolor(white);
line((getmaxx div 2)-50,0,(getmaxx div 2)-50,getmaxy);
line(getmaxx,(getmaxy div 2)+170,0,(getmaxy div 2)+170);
gama0:=nachal;
while gama0<=konech do
  begin
    BB:=2*b;
    j2:=2*(AA+mim*I*1);
    n:=2*(a*r+sigma*NN);
    A1:=BETA*beta*k2-2*alfa*(BB+k2)-gama0*beta*(n-
    bb*(alfa*r-gama));
    a2:=alfa*alfa*(bb+k2)+gama0*alfa*beta*n;
    a3:=alfa*beta*bb+gama0*(beta*beta*n-alfa*bb*(alfa*r-
    gama));
    a4:=-bb*(beta-gama0*(alfa*r-gama));
    izm_omega;
    gama0:=gama0+shag;
  End;
end;
```

### {parabolalar}

```
for j:=0 to 9999 do
  begin
    setcolor (11);
    tau[j]:=trunc((j*j{nu*nu})/(h*h));
    circle(cx+tau[j]-50,cy-j{nu[j]}+170,1);
  end;
until readkey<>#0;
  setcolor(white);
clrScr;
closegraph;
end;
```

procedure prog9; {omega, b larning har xil qiymatlari uchun hisoblash}

```
begin
  repeat
```

```

clrscr;
d:=detect;
initgraph(d,m,'c:\bp\bgi');
e:=graphresult;
if e<>grok then
    writeln(grapherrormsg(e))
else
    begin
        setbkcolor(black);
        setcolor(11);
        settextstyle(5,0,10);
        assign(f,'baza1.pas');
        reset(f);
        for i:=1 to q do
            begin
                read(f,o[i]);
                PARAM(o[i],i);
            end;
        close(f);
    end;

```

### **{koordinatar sistemasi}**

```

setcolor(white);
line((getmaxx div 2)-50,0,(getmaxx div 2)-50,getmaxy);
line(getmaxx,(getmaxy div 2)+170,0,(getmaxy div 2)+170);
b:=nachal;
while b<=konech do
    begin
        BB:=2*b;
        j2:=2*(AA+mim*1*1);
        n:=2*(a*r+sigma*NN);
        A1:=BETA*beta*k2-2*alfa*(BB+k2)-gama0*beta*(n-
        bb*(alfa*r-gama));
        a2:=alfa*alfa*(bb+k2)+gama0*alfa*beta*n;
        a3:=alfa*beta*bb+gama0*(beta*beta*n-alfa*bb*(alfa*r-
        gama));
        a4:=bb*(beta-gama0*(alfa*r-gama));
        izm_omega;
    end;

```

```

    b:=b+shag;
  End;
end;
{parabolalar}
for j:=0 to 9999 do
  begin
    setcolor (11);
    tau[j]:=trunc((j*j{nu*nu})/(h*h));
    circle(cx+tau[j]-50,cy-j{nu[j]}+170,1);
  end;
until readkey<>#0; setcolor(white);
clrScr;
closegraph;
end;
procedure prog15; {omega, h larning har xil qiymatlari
                  uchun hisoblash}
begin
  repeat
    clrscr;
    d:=detect;
    initgraph(d,m,' ');
    e:=graphresult;
    if e<>grok then
      writeln(grapherrormsg(e))
    else
      begin
        setbkcolor(black);
        setcolor(11);
        settxtstyle(5,0,10);
        assign(f,'baza1.pas');
        reset(f);
        for i:=1 to q do
          begin
            read(f,o[i]);
            PARAM(o[i],i);
          end;
        close(f);
      end;
end;

```

### {koordinatar sistemasi}

```
setcolor(white);
line((getmaxx div 2)-50,0,(getmaxx div 2)-50,getmaxy);
line(getmaxx,(getmaxy div 2)+170,0,(getmaxy div 2)+170);
BB:=2*b;
j2:=2*(AA+mim*1*1);
n:=2*(a*r+sigma*NN);
A1:=BETA*beta*k2-2*alfa*(BB+k2)-gama0*beta*(n-
bb*(alfa*r-gama));
a2:=alfa*alfa*(bb+k2)+gama0*alfa*beta*n;
a3:=alfa*beta*bb+gama0*(beta*beta*n-alfa*bb*(alfa*r-
gama));
a4:=bb*(beta-gama0*(alfa*r-gama));
izm_omega;
end;
```

### {parabolalar}

```
h:=nachal;
while h<=konech do
  begin;
    for j:=0 to 9999 do
      begin
        setcolor (11);
        tau[j]:=trunc((j*j{nu*nu})/(h*h));
        circle(cx+tau[j]-50,cy-j{nu[j]}+170,1);
      end;
      h:=h+shag;
    end,
  until readkey<>#0;
setcolor(white);
clrscr;
closegraph;
end;

procedure Nadpis;
begin
  textcolor(red+blink);
  writeln(strok);
end;
```

```

procedure box(x1,y1,x2,y2:integer);
var i,j:integer;
begin
  gotoxy(x1+1,y1);
  for i:=x1+1 to x2-1 do write (#205);
  gotoxy(x1+1,y2);
  for i:=x1+1 to x2-1 do write (#205);
  for i:=y1+1 to y2-1 do
    begin
      gotoxy(x1,i);
      write(#186);
    end;
  for i:=y1+1 to y2-1 do
    begin
      gotoxy(x2,i);
      write(#186);
    end;
  gotoxy(x1,y1);
  write(#201);
  gotoxy(x2,y1);
  write(#187);
  gotoxy(x2,y2);
  write(#188);
  gotoxy(x1,y2);
  write(#200);
end;

```

```

procedure Init;
begin
  mmenu:=3;
  text_color:=Black;
  back_color:=11;
  select_text_color:=White;
  select_back_color:=LightRed;
  menu_back_color:=green;
  screen_back_color:=11;
  border_back_color:=green;

```



```

border_color:=White;
ddy:=2;
wx:=15;
wy:=5;
width:=45;
crm:=0;
strmenu[0]:= '1) Ma'lumotlar bazasini o'zgartirish ' ;
strmenu[1]:= '2) D-bo'laklash grafigini yasash';
strmenu[2]:= '3) Chiqish ESC ' ;
end;

```

Procedure Drow\_Menu;

```
var i,j:integer;
```

```
begin
```

```
  TextBackGround(screen_back_color);
```

```
  ClrScr;
```

```
  {Hide_Cursor; }
```

```
  Nadpis;
```

```
  textColor(border_color);
```

```
  TextBackGround(border_back_color);
```

```
  box(wx-2,wy-2,wx+width,wy+(mmenu-1)*ddy+2);
```

```
  TextBackGround(menu_back_color);
```

```
  i:=wx-1;
```

```
  for j:=wy-1 to wy+(mmenu-1)*ddy+1 do
```

```
    for i:=wx-1 to wx+width-1 do
```

```
      begin
```

```
        gotoxy(i,j);
```

```
        write (' ');
```

```
      end;
```

```
    for i:=0 to mmenu-1 do
```

```
      begin
```

```
        if i=crm then
```

```
          begin
```

```
            TextBackGround(select_back_color);
```

```
            TextColor(select_text_color);
```

```
          end
```

```

        else
            begin
                TextBackGround(back_color);
                TextColor(text_color);
            end;
        gotoxy(wx,wy+i*ddy);
        write(strmenu[i]);
    end;
end;

```

```

procedure new_menu(old,sel:integer);
label l;
begin
    TextBackGround(select_back_color);
    textcolor(select_text_color);
    gotoxy(wx,wy+sel*ddy);
    write(strmenu[sel]);
    textBackGround(back_color);
    textcolor(text_color);
    gotoxy(wx,wy+old*ddy);
    write(strmenu[old]);
end;

```

```

Procedure Up;
var old:integer;
begin
    old:=crm;
    crm:=crm-1;
    if crm=-1 then crm:=mmenu-1;
    new_menu(old,crm);
end;

```

```

procedure Doun;
var old:integer;
begin
    old:=crm;
    crm:=crm+1;
    if crm=mmenu then crm:=0;
    new_menu(old,crm);
end;

```

```

procedure Do_Select(n:integer);
begin
  gotoxy(60,10);
  TextColor(n);
  write(#3,#1,#2,#3,#1,#2,#3);
end;

```

```

Begin
  22: init;
  strok:=' TIZIMNING HARAKAT TURG'UNLIGIGA
  DEMPFER KOEFFITSIYENTINING TA'SIRI';
  Drow_menu;
  repeat
    ch:=readkey;
    if ch=#0 then
      begin
        functionkey:=true;
        ch:=readkey;
      end
    else
      functionkey:=false;
    begin
      if (not functionkey)and(upcase(ch)=#13) then
        begin
          if strmenu[crm]='2).D-bo'laklash grafigini
          yasash ' then
            begin
              clrscr;
              writeln('1).k2');
              writeln('3).alfa');
              writeln('6).gama0');
              writeln('15).h');
              writeln('o'zgaruvchi parametrning
              tartib nomerini kiriting');
              readln(nomer);
              writeln('parametrning boshlang'ich
              qiymatini kiriting');
              readln(nachal);
            end
          end
        end
      end
    end
  end

```

```

        writeln('oxirgi qiymatini kiriting');
        readln(konech);
        writeln('o'zgarish qadamini kiriting');
        readln(shag);
        if nomer='1' then prog1;
        if nomer='3' then prog3;
        if nomer='6' then prog6;
        if nomer='15' then prog15;
        goto 22;
    end;
    if strmenu[crm]='3) Chiqish ESC ' then exit;
    if strmenu[crm]='1) Ma'lumotlar bazasini o'zgartirish '
    then
        ggg:
begin
    Begin
        initm;
        assign(fff,'baza.pas');
        assign(ffl,'baza1.pas');
        reset (fff);
        for i:=0 to nmenu-1 do
            begin
                read(fff,a);
                mas[i]:=a;
            end;
        close(fff);
        Drow_menum;
    repeat
        ch:=readkey;
        if ch=#0 then
            begin
                functionkey:=true;
                ch:=readkey;
            end
        else
            functionkey:=false;
    Do_Comandm(ch,functionkey);

```

```

until(ch=#27);
clrscr;
rewrite(ff1);
  for i:=0 to 1000 do
    writeln(ff1,mass[i]);
  close(ff1);
end;
goto 22;
End;
Do_Select (crm);
end;
if functionkey then
  case upcase(ch) of
    #72:up;
    #80:Down;
  end;
end;
until(ch=#27);
end.

```

## 12- §. Harakat turg'unligini aniqlashning Mixaylov kriteriysiga asoslangan algoritm va dasturi

Ushbu xarakteristik tenglama berilgan bo'lsin:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (3.12.1)$$

$\lambda$  parametr kiritib, umumiyroq

$$D(p) = \lambda \quad (3.12.2)$$

tenglamalar sinfini qaraymiz. Bu tenglamadan,  $\lambda = 0$  bo'lganda, (3.12.1) kelib chiqadi. (3.12.2) tenglamaga  $p = i\omega$  ni qo'yib,

$$D(i\omega) = u(\omega) + iv(\omega)$$

ko'rinishdagi ko'phadni hosil qilamiz, bu yerda

$$\begin{aligned}
 u(\omega) &= a_n - a_{n-2}\omega^2 + \dots + (-1)^n a_0 \omega^n, \\
 v(\omega) &= a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + \dots + (-1)^{n-1} a_1 \omega^{n-1}.
 \end{aligned}$$

$(u, v)$  tekislikda  $n$  ning turlicha qiymatlari uchun aniqlangan dogodraf *Mixaylov egri chiziqlari* deyiladi.

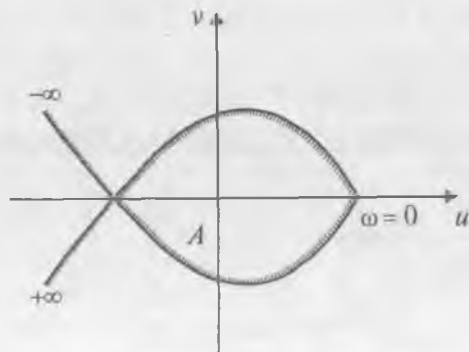
$\lambda$  parametr bo'yicha  $D$ - bo'laklashni o'tkazamiz.  $A$  turg'unlik sohasi bo'lsin (3.11- shakl). Agar  $\lambda = 0$  nuqta  $A$  sohaning ichida yotsa, u holda (3.12.1) xarakteristik tenglama barcha ildizlarining haqiqiy qismi manfiy ishorali bo'ladi.  $N$  egri chiziqni shtrixlamasdan,  $A$  soha turg'unlik sohasi bo'lishi yoki bo'lmasligini aniqlaydigan qoidani ko'rsatish mumkin. Bu qoidani A.V.Mixaylov yaratgan bo'lib, avtomatik regulatorlar nazariyasida ko'p ishlatiladi. Buning uchun  $\lambda = 0$  holni, ya'ni (3.12.1) tenglamani ko'rib o'tamiz. (3.12.1) ning darajasi  $n$  ga teng va  $p_1, p_2, \dots, p_n$  lar uning ildizlari bo'lsin, u holda

$$D(p) = a_0(p - p_1)(p - p_2)\dots(p - p_n). \quad (3.12.3)$$

(3.12.3) munosabatga  $p = i\omega$  ni qo'yamiz:

$$D(i\omega) = a_0(i\omega - p_1)(i\omega - p_2)\dots(i\omega - p_n).$$

Agar  $p$  ildizlar tekisligida  $p_k$  nuqtani belgilab olsak, u holda  $i\omega - p_k$  vektor  $p_k$  nuqtadan mavhum o'qda yotgan  $i\omega$  nuqtaga yo'naltirilgan bo'ladi.  $p_k$  nuqta chap yarim tekislikda yotgan bo'lsin, u holda  $\omega$  ni  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgartirganimizda  $(i\omega - p_k)$  vektorning argumenti  $\pi$  ga ortadi. Shuning uchun, agar barcha  $p_1, p_2, \dots, p_n$  ildizlar chap yarim tekislikda yotsa, u holda  $\omega$  ning  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgarishida  $D(i\omega)$  vektor argumentining orttirmasi (hamma  $(i\omega - p_k)$  vektorlar argumenti orttirmalarining yig'indisiga teng)



3.11- shakl.

$\pi n$  ga teng bo'ladi. Agar  $r$  ta ildiz o'ng yarim tekislikda va  $n - r$  ta ildiz chap yarim tekislikda yotsa, u holda argumentlar orttirmasining yig'indisi  $\pi(n - 2r)$  ga teng bo'ladi.

$\omega$  ni 0 dan  $+\infty$  gacha o'zgartirish bilan kifoyalanamiz, u holda  $D(i\omega)$  xarakteristik vektor argumentining o'zgarishi 2 marta kamayadi ( $\omega$  ning  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgarishiga nisbatan) va turg'un tizim uchun uning qiymati  $\frac{\pi n}{2}$  teng bo'ladi. Shuni qayd qilish kerakki,  $\omega$  ning o'sishi bilan chap yarim tekislikda yotgan barcha  $p_k$  ildizlar uchun hamma  $(i\omega - p_k)$  vektorlarning argumentlari va, demak, turg'un sistema  $D(i\omega)$  xarakteristik vektorining argumenti ham monoton o'sadi (3.12-a rasm).

Shunday qilib,  $A$  turg'unlik sohasi bo'lishi uchun  $D(p) = \lambda$  tenglamani  $\lambda = u + iv$  parametr bo'yicha  $D$ -bo'laklash chegarasi  $\omega = 0$  bo'lganda, koordinata boshidan o'ng tarafda bo'lgan haqiqiy o'qdan boshlanib,  $\omega$  ning  $+\infty$  gacha o'sishi bilan  $D(p)$  ning radiusvektori soat strelkasi yo'nalishiga qarama-qarshi aylanib,  $\pi$  kvadrant orqali o'tishi kerak (3.12-b rasm).

Keltirilgan natijaviy mulohazani Mixaylov kriteriysi sifatida ifodalaymiz.

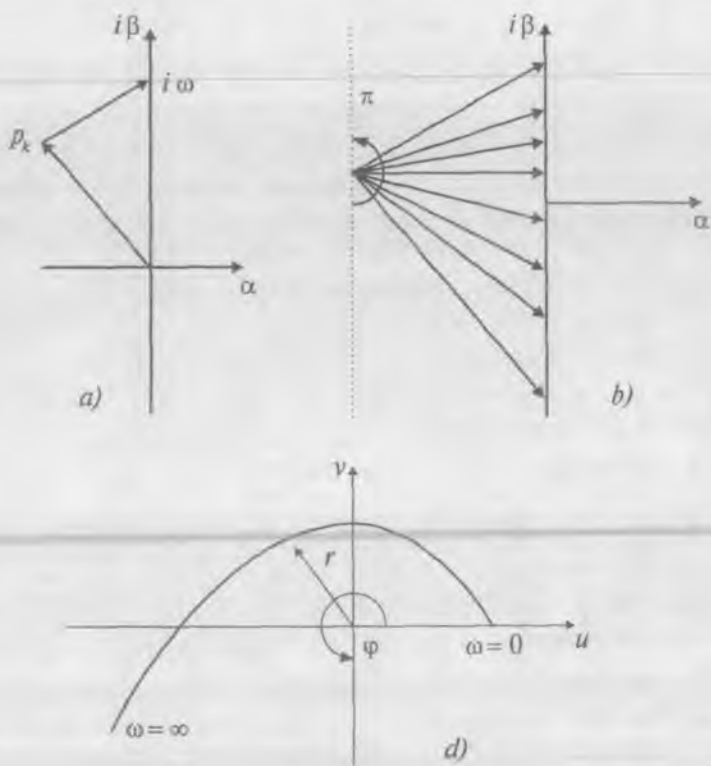
**Mixaylov kriteriysi.** Tizim harakati turg'un bo'lishi uchun: 1) xarakteristik vektorning moduli  $\omega$  ning barcha ( $-\infty < \omega < +\infty$ ) qiymatlarida noldan farqli bo'lishi va 2) bu vektorning argumenti  $\omega = 0$  bo'lganda nolga teng bo'lib,  $\omega$  ning 0 dan  $+\infty$  gacha monoton o'zgarishida u 0 dan  $\frac{\pi n}{2}$  gacha monoton o'sishi zarur va yetarlidir ( $n$  - xarakteristik tenglamaning darajasi).

**Misol.** Xarakteristik tenglamasi  $p^3 + 4p^2 + p + 1 = 0$  bo'lgan dinamik tizimning turg'unligini tekshirish talab etilsin. Buning uchun tenglamada  $p$  ning o'rniga  $i\omega$  qo'yamiz hamda haqiqiy va mavhum qismlarini ajratamiz:

$$D(i\omega) = -4\omega^2 + 1 + i(-\omega^3 + \omega).$$

Bu yerdan

$$\left. \begin{aligned} u(\omega) &= -4\omega^2 + 1, \\ v(\omega) &= -\omega(1 - \omega^2). \end{aligned} \right\} \quad (3.12.4)$$



3.12- shakl.

$(u, v)$  tekislikda  $D(i\omega)$  vektorning godografini (3.12.4) tenglamalar sistemasiga asosan yasaymiz. Bu godograf 3.12-d shaklda keltirilgan.

Shakldan ko'rinib turibdiki,  $\omega = 0$  da godograf haqiqiy  $u$  o'q-ning musbat qismini kesadi va  $\omega$  ning 0 dan  $+\infty$  gacha o'zgarishida uning argumenti  $\varphi = 3\frac{\pi}{2}$  ga teng bo'ladi, ya'ni godograf III kvadrant orqali o'tadi.

Mixaylov kriteriysi dinamik tizim harakati turg'unligini  $D(i\omega)$  vektorning godografini analitik tahlil qilib baholashga asoslangandir.  $D(i\omega)$  vektorning godografi tadqiq qilinayotgan tizim dinamik xususiyatlarining o'zgarishini aniqlaydi.



## Mixaylov kriteriysiga asoslangan algoritmi

1.  $F = 0$ ;  $I = 2$ ;  $P = 0$ ;  $\text{signs} = 1$ ;  $J1 = 1$ ;  $PI = 3.14$ :  $FIS = 0$ .
2. Chastotaning o'zgarish qadami (DW) ni tanlansin.
3. Chastotaning maksimal qiymati (WMAX) ni tanlansin.
4. Argument qiymatini hisoblash aniqligi (EPS) ni tanlansin.
5. Argument orttirmasining quyidagi chegarasi (EPS1) ni tanlansin.
6. Agar  $Jm/2[*2 = m$  bo'lsa,  $r = 0$  aks holda  $r = 1$ .
7.  $P = (I - 1) * DW$  {chastotani o'zgartirish}.
8.  $J = 0$ ;  $u = 0$ ;  $J1 = 0$ .
9. Agar  $P = 0$  bo'lsa,  $u = 0$ ; 10- qadamga o'tilsin.
10.  $u = u + d(m - J - r)(-1)^{J1} * P^J$  { $d(0...m)$  — xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari}.
11.  $J1 = J + 1$ .
12.  $J = J + 2$ ;
13. Agar  $J \leq m - r$  bo'lsa, 10- qadamga o'tilsin { $m + 1$  — xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari soni}.
14.  $J = 1$ ;  $v = 0$ ;  $J1 = 0$ .
15.  $v = v + d(m - J + r)(-1)^{J1} * P^J$ .
16.  $J1 = J1 + 1$ .
17.  $J = J + 2$ .
18. Agar  $J \leq m - r$  bo'lsa, 15- qadamga o'tilsin.
19. Agar  $u \neq 0$  bo'lsa,  $F1 = \arctg(v/u)$ .
20. Agar ( $u = 0$ ) va ( $v > 0$ ) bo'lsa,  $FI = 0.5 * PI$ .
21. Agar ( $u = 0$ ) va ( $v < 0$ ) bo'lsa,  $FI = -0.5 * PI$ .
22.  $\text{signn} = \text{sign}(u * v)$ .
23. Agar ( $\text{signn} = \text{signs}$ ) bo'lsa, 29- qadamga o'tilsin.
24.  $J1 = J1 + 1$ ;
25. Agar  $J1/2[*2 = J1$  bo'lsa,  $DFI = FI + PI - FIS$ , aks holda  $DFI = FI - FIS$ .
26.  $F = F + DFI$ .
27.  $\text{signs} = \text{signn}$ .
28.  $FIS = FI$ ; 30- qadamga o'tilsin.
29.  $DFI = FI - FIS$ ;  $F = F + DFI$ ;  $FIS = FI$ .
30. Agar  $F > (m + 1) * PI * 0.5 + EPS$  bo'lsa,  $IND = 0$ ; 35- qadamga o'tilsin.

31. Agar  $DFI > EPS1$  bo'lsa, 33- qadamga o'tilsin.
32.  $I = I + 1$ ; 6- qadamga o'tilsin.
33. Agar  $|P - (m + 1) * PI * 0.5| \leq EPS$  bo'lsa,  $IND = 1$ ; 35- qadamga o'tilsin.
34.  $IND = 2$ .
35. Agar  $IND = 1$  bo'lsa „tizim turg'un“; 38- qadamga o'tilsin.
36. Agar  $IND = 2$  bo'lsa „tizim noturg'un“; 38- qadamga o'tilsin.
37. „Hisoblash jarayonidagi amallarni bajarish aniqligi noto'g'ri. Shuning uchun DW ning qiymatini kamaytirib, EPS ni oshirish taklif qilinadi“.
38. Algoritm tugashi.

### Mixaylov kriteriysiga asoslangan dastur

#### Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:

$d(0...m)$  – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarining qiymatidan iborat  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;

$m$  – xarakteristik ko'phadning tartibi;

WMAX – chastotaning maksimal qiymati;

DW – chastotaning o'zgarish qadami;

EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligi;

EPS1 – argument orttirmasining quyi chegarasi.

#### Dasturning natijasi:

$$IND = \begin{cases} 0, & \text{nazariy jihatdan mumkin bo'lmagan hol,} \\ 1, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ 2, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

#### Zaruriy oraliq natijalar:

$u(m)$  – Mixaylov godografi haqiqiy qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

$v(m)$  – Mixaylov godografi mavhum qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

FI – argumentning qiymati;

DFI – argument orttirmasining qiymati;

F – argument qiymatining o'zgarishlar soni.

### Dastur matni:

```
Procedure MH(N1:integer; WMAX, DW, EPS, EPS1:real;
             d:masl1, var IND:integer);
label me,mee,met;
const PI=3.1418281828;
var i, sign, j1, r,j, j2,sgns:integer;
    u, v, Fiq, F, FI, DFI, p:real;
Begin
    FIS:=0; F:=0; i:=2; p:=0; signs:=1; j2:=1;
    If (N1 mod 2 )=0 then r:=0 else r:=1;
{chastotani o'zgartirish}
    while (F<=WMAX) do
        begin
            p:=(i-1)*DW;
{godografning haqiqiy qismini hisoblash}
            j:=0; j1:=-1;
            While (j<=N1-r) do
                Begin
                    If F=0 then u:=0 else u:=u+d[N1-j-r]*j1*ln(j*exp(p));
                    j1:=(-1)*j1;
                    j:=j+2
                End;
{godografning mavhum qismini hisoblash}
                j=1; v:=0; j1:=1;
                While (j<=N1-r) do
                    Begin
                        v:=v+d[N1-j]*j1*ln(j*exp(p));
                        j1:=(-1)*j1;
                        j:=j+2
                    end;
{argument qiymatini hisoblash}
                    if u<>0 then FI:=atan(v/u);
                    if (u=0) and (v>0) then FI:=0.5*PI;
                    if (u=0) and (v<0) then FI:=-0.5*PI;
```

```

{argument orttirmasi qiymatini hisoblash}
  if (u*v)<0 then signn:=-1 else if (u*v)=0 then
    signn:=0
  else
    signn:=1;
  if (signn<>signs) then
    begin
      j2:=j2+1;
      if (TRUNC(j2/2)*2)=j2 then
        DFI:=FI+PI-FIS
      else
        DFI:=FI-FIS;
      F:=F*DFI;
      signs:=signn;
      FIS:=FI; goto ME;
    end;
  DFI:=FI-FIS; F:=F+DFI; FIS:=FI;
{turg'unlik indikatori IND ning qiymatini aniqlash}
  ME: if F>(N1*PI*0.5*EPS) then
    begin IND:=0; goto MET end;
  If DFI<EPS1 then goto MEE;
  I:=i+1;
End; {i bo'yicha siklning tugashi}
  MEE: if ABS(F-N1*PI*0.5)<=EPS then begin IND:=1;
goto MET end;
  IND:=2;
  MET: end;

```

**MH** – protseduraning murojaat qiluvchi dasturining matni quyidagi ko‘rinishda bo‘lishi mumkin.

```

Program TurgMH;
const gr=10;
type masl1=array[0..gr] of real;
Var IND, i:integer;
    d: masl;
    WMAX,DW,EPS,EPS1:real;

```

Begin

```
Writeln('Xarakteristik ko'phadning tartibini kiriting');
Readln(m);
Writeln('d – xarakteristik ko'phad koeffitsiyentlarini
        kiriting');
For i:=0 to m do readln(d[i]);
Writeln('WMAX – chastotaning maksimal qiymatini
        kiriting');
Readln(WMAX);
Writeln('DW – chastotaning o'zgarish qadamini
        kiriting');
Readln(DW);
Writeln('EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligini
        kiriting');
Readln(EPS);
Writeln('EPS1 – argument orttirmasining quyi
        chegarasini kiriting');
Readln(EPS1);
MH(m, WMAX, DW, EPS, EPS1, d, IND);
If IND=1 then
    writeln('tizim turg'un')
Else
    if IND=2 then writeln('tizim noturg'un')
Else
    writeln('Nazariy jihatdan mumkin emas, DW ning
            qiymatini kamaytirish yoki EPS aniqligini
            oshirish tavsiya etiladi');
```

End.

### **13- §. Yopiq tizim va ochiq tizim harakatlari orasidagi bog'lanish. Harakat turg'unligini aniqlashning Naykvist kriteriysiga asoslangan algoritm va dasturi**

Statik turg'un tizim noturg'un bo'lishi uchun faqat tashqi manbadan tizimga energiya keltiradigan mexanizm mavjud bo'lishi kerak. Yopiq siklga kiruvchi manfiy ishqalanish kuchi, yo'naltirilgan

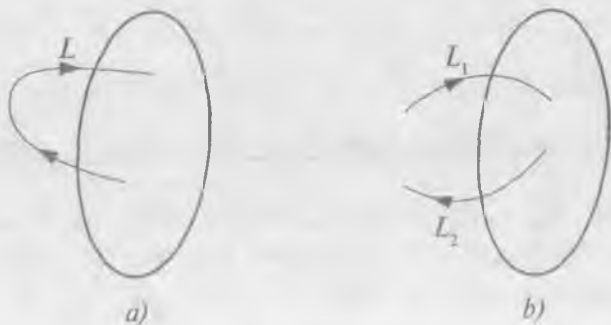
ta'sir etuvchi kuch (bog'lanish) va kechikuvchi yo'naltirilgan bog'lanishlar bunday mexanizmlarga misol bo'la oladi. Ammo energiya keltiruvchi mexanizmning mavjudligi tizimning noturg'un bo'lishini bildirmaydi. Tizim noturg'un bo'lishi uchun unga yetarlicha intensiv tarzda energiya kelishi kerak. Bu, o'z navbatida, koordinatalar va bu koordinatalar bo'yicha ta'sir etadigan yo'naltirilgan kuchlarning o'zgarishi o'rtasida qulay fazaviy munosabat mavjud bo'lishini taqozo qiladi. Bu munosabatlarni ko'rib chiqish uchun tizimda  $L$  yo'naltirilgan bog'lanishni (3.13- a shakl) ajratib, uni uzamiz va natijada  $L_1$  kirish va  $L_2$  chiqishga ega bo'lgan tizimga ega bo'lamiz (3.13- b shakl). Dastlabki tizimni (3.13- a shakl) doimo kirishi chiqishiga teng bo'lgan ochiq tizim deb qarash mumkin. Bu har xil mumkin bo'lgan kirishli ochiq tizimning harakati kirishi chiqishiga teng bo'lgan yopiq tizimning harakatini o'z ichiga oladi, demakdir.

**Chizikli tizimning istalgan harakatini ( $L$  yo'naltirilgan bog'lanish  $x$  miqdorining o'zgarishi ko'zda tutilyapti)**

$$x = e^{zt} \quad (3.13.1)$$

ko'rinishdagi harakatlarning superpozitsiyasi sifatida qarash mumkin. Shuning uchun kirishi  $x = e^{zt}$  bo'lgan ochiq tizimning  $y$  chiqishi nimaga teng bo'lishini ko'raylik. Dastlab umumiyroq masalani qaraymiz.

$x(t)$  – chizikli tizimning ixtiyoriy kirishi,  $y(t)$  – uning chiqishi bo'lsin.  $x(t)$  va  $y(t)$  lar orasida qanday bog'lanish mavjud?



3.13- shakl.

Chiziqli tizimlar keng sinflarining tasvirlanishida nolinch boshlang'ich shartlarda kirishning  $X(p)$  tasviri bilan chiqishning  $Y(p)$  tasviri orasidagi munosabatni

$$Y(p) = K(p) X(p) \quad (3.13.2)$$

ko'rinishda yozish mumkin, bu yerda  $K(p)$  – *uzatish koeffitsiyenti* deb aytiladi. Masalan,  $x(t)$  kirish va  $y(t)$  chiqish orasidagi bog'lanish biror

$$a_m \frac{d^m x}{dt^m} + \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + a_0 x = b_n \frac{d^n y}{dt^n} + \dots + b_0 y \quad (3.13.3)$$

differensial munosabat orqali berilgan bo'lsin. (3.13.3) ga nisbatan Laplas almashtirishini qo'llab,

$$(a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_0) X(p) = (b_n p^n + \dots + b_0) Y(p),$$

yoki

$$Y(p) = K(p) X(p) \quad (3.13.4)$$

ni hosil qilamiz, bu yerda

$$K(p) = \frac{a_m p^m + \dots + a_0}{b_n p^n + \dots + b_0}.$$

Agar  $x(t)$  bilan  $y(t)$  orasidagi bog'lanish

$$a_m x(t + m\tau) + \dots + a_0 x(t) = b_n y(t + n\tau) + \dots + b_0 y(t) \quad (3.13.5)$$

ayirmali differensial tenglama ko'rinishida berilgan bo'lsa, u holda  $z$ - almashtirishni qo'llab,

$$Y(z) = K(z) X(z) \quad (3.13.6)$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda

$$K(z) = \frac{a_m z^m + \dots + a_0}{b_n z^n + \dots + b_0}.$$

Ma'lumki,  $x(t)$  funksiyaning Laplas almashtirishi  $p$  kompleks o'zgaruvchining analitik funksiyasi bo'ladi va quyidagi Laplas integrali bilan aniqlanadi:

$$X(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} x(t) dt \quad (3.13.7)$$

va  $x(t)$ ,  $x(t + \tau)$ ,  $x(t + 2\tau)$ , ... ketma-ketlikning  $z$ - almashtirishi bo'lsa,  $z$  kompleks o'zgaruvchining funksiyasi bo'lib,

$$X(z) = x(t) + x(t + \tau)z^{-1} + x(t + 2\tau)z^{-2} + \dots \quad (3.13.8)$$

ko'rinishda yoziladi. Agar kirishning  $X(p)$  tasviri bilan chiqishning  $Y(p)$  tasviri o'rtasidagi munosabat (3.13.2) bilan ifodalansa, u holda originalda, Laplas almashtirishi uchun

$$y(t) = \int_0^t \psi(t - \tau)x(\tau)d\tau \quad (3.13.9)$$

va  $z$ - almashtirish uchun

$$y(t + j\tau) = \sum_{s=0}^j \psi(j - s)x(t + s\tau) \quad (3.13.10)$$

ko'rinishda yoziladi, bu yerda  $\psi(t)$  va mos ravishda  $\psi(j)$  — javob berish funksiyalari deb ataladi.  $\psi$  javob berish funksiyasi  $K$  uzatish koeffitsiyentining originali bo'ladi.

Bu chekinishdan keyin tizimga  $x = e^{zt}$  ko'rinishdagi kirish ta'sir etganda uning chiqishi nimaga teng bo'lishini ko'raylik.  $e^{zt}$  ning tasviri  $(p - z)^{-1}$  bo'ladi. Shuning uchun chiqishning tasviri  $K(p)(p - z)^{-1}$  ko'rinishda bo'ladi.  $K(p)$  ni ko'phadlar nisbati deb qarab, chiqishning tasvirini oddiy tasvirlarga yoyamiz va unga mos bo'lgan originalni

$$\begin{aligned} K(p)(p - z)^{-1} &= \frac{K(z)}{p - z} + \sum c_k (p - \lambda_k)^{-1} \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow K_z e^{zt} + \sum c_k e^{\lambda_k t} \end{aligned} \quad (3.13.11)$$

ko'rinishda topamiz. Chiqish originalining birinchi hadi majburiy tebranishga mos keladi. Bu tebranish, xuddi tizim kirishiga berilgan ta'sirdek,  $e^{zt}$  qonun bo'yicha harakat qiladi va undan o'zgarma  $K(z)$  ko'paytuvchi bilan farq qiladi. Chiqish originalining qolgan hadlari erkin tebranishlardan iborat. Bu erkin tebranishlarning  $\lambda_1, \lambda_2, \dots$  «chastotalari»  $K(p)$  uzatish koeffitsiyentining ildizlari (qutblari) bo'ladi.  $c_1, c_2, \dots$  koeffitsiyentlar umumiy holda boshlang'ich shartlarga bog'liq. (3.13.11) ifodada ular nolinch boshlang'ich shartlarga to'g'ri keladi. Nolga teng bo'lmagan boshlang'ich shartlarda ularning qiymatlari boshqacha bo'ladi.



Keltirilgan mulohazalardan ko‘rinib turibdiki, chiziqli tizimning chiqishi (toyilgan yoki toyilmagan) (3.13.11) ko‘rinishida ifodalangani va  $c_1, c_2, \dots$  koeffitsiyentlarning qiymati boshlang‘ich shartlarga bog‘liq. Qisman, boshlang‘ich shartlarni shunday tanlab olish mumkin, barcha  $c_1, c_2, \dots$  koeffitsiyentlar nolga teng bo‘lsin, u holda  $e^{zt}$  kirishga ega bo‘lgan tizimning chiqishi  $K(z)e^{zt}$  ga teng bo‘ladi.

Endi dastlab qo‘yilgan masalaga qaytishimiz mumkin: ochiq tizimning (yo‘naltirilgan bog‘lanishi uzilgan tizimning) barcha mumkin bo‘lgan harakatlari bilan dastlabki yopiq tizim harakatlari orasidagi bog‘lanishni aniqlaylik. Bu masalani quyidagicha qo‘yish mumkin: kirish  $x(t)$  va chiqish  $y(t)$  orasidagi bog‘lanishi

$$y(t) = L(x(t), \Sigma) \quad (3.13.12)$$

ko‘rinishda bo‘lgan ochiq tizim mavjud bo‘lsin, bu yerda  $\Sigma$  – boshlang‘ich shartlar. Unga mos bo‘lgan yopiq tizimning harakati ochiq tizimning

$$x(t) = y(t) \quad (3.13.13)$$

holga to‘g‘ri keladigan harakatidan iborat bo‘ladi. Kirish bilan chiqish orasidagi bog‘lanishni aniqlaydigan ochiq tizimning  $L$  operatori bo‘yicha yopiq tizimning harakati haqida nima aytish mumkin? Masalaning bunday qo‘yilishi ham hozir ko‘rilayotgan chiziqli tizimlarga, ham nochiziqli tizimlarga taalluqli, u ham turg‘unlik masalalarini tadqiq etishda, ham boshqa masalalarda, masalan, davriy harakatlarni izlashda ishlatiladi. Bu umumiylikni va qamrab olinadigan masalalarning kengligini ko‘rsatish uchun ta’kidlaymizki, agar  $L$  operatorni funksiyalar fazosini tasvirlovchi sifatida qarasaq, u holda bu tasvir uchun yopiq tizimning harakatlari  $L$  operatorning qo‘zg‘almas nuqtalari bo‘ladi. Shuning uchun ham yopiq va ochiq tizimlar orasidagi bog‘lanishni dinamik tizimlarni operatorli tasvirlashning qo‘zg‘almas nuqta prinsipi deb atash mumkin. Qo‘zg‘almas nuqta prinsipini chiziqli tizimlar turg‘unligini yoki noturg‘unligini tadqiq etishga tatbiq etishning ma’nosi shundan iboratki, bizni yopiq tizimning  $e^{zt}$  ko‘rinishidagi harakatlari qiziqtiradi va shunday ko‘rinishdagi kirishlar uchun tizimning chiqishi

$$K(z)e^{z\tau} + \sum c_k(z, \Sigma)e^{\lambda_k \tau} \quad (3.13.14)$$

ko'rinishda ifodalanadi, bu yerda har bir  $z$  uchun  $\Sigma$  boshlang'ich shartlarni shunday tanlab olish mumkinki,  $c_k(z, \Sigma)$  koeffitsiyentlarning barchasi nolga aylanadi. Ma'lumki, bizni qiziqtirayotgan ko'rinishdagi erkin harakatlar  $z$  ning faqat

$$K(z) = 1 \quad (3.13.15)$$

munosabatni qanoatlantiruvchi qiymatlari uchun mavjud bo'ladi.

Agar (3.13.13) tenglik faqat haqiqiy qismi ( $\text{Re } z$ ) manfiy bo'lgan  $z$  qiymatlar uchun bajarilsa, u holda chiziqli yopiq tizim turg'un bo'ladi va bu tenglik hech bo'lmaganda bitta haqiqiy qismi musbat bo'lgan  $z$  uchun bajarilsa, u holda chiziqli tizim noturg'un bo'ladi. Bu hollarning qaysi biri mavjud bo'lishini Naykvist kriteriysi hal qilib beradi:

$$W = K(z) \quad (3.13.16)$$

formula orqali  $z$  kompleks parametr tekisligini  $W$  tekislikka akslantiramiz. Agar bu akslanish

$$\text{Re } z \geq 0 \quad (3.13.17)$$

yarim tekislikni  $W$  tekislikning  $W=1$  nuqtadan tashqarida yotgan  $D$  sohasiga akslantirsa, u holda tizim turg'un bo'ladi. Aksincha, agar  $W=1$  nuqta  $D$  sohaning ichida yotsa, u holda tizim noturg'un bo'ladi.

$W$  tekislikdagi  $D$  sohaning chegarasi  $z$  tekislikdagi  $\text{Re } z \geq 0$  yarim tekislikning chegarasi bo'lgan mavhum o'qning aksidir. Bu chegaraning tenglamasi

$$W = K(i\omega) \quad (3.13.18)$$

ko'rinishga ega, bu yerda  $-\infty < \omega < +\infty$ ,  $i = \sqrt{-1}$ .

(3.13.18) egri chiziq quyidagi fizik ma'noga ega. Tizim kirishiga chastotasi  $\omega$  bo'lgan garmonik tebranish berilsin, ya'ni  $x = e^{i\omega t}$  bo'lsin, u holda (3.13.13) ga asosan tizimning chiqishida ham ma'lum tarzda tanlab olingan boshlang'ich shartlarda  $K(i\omega)e^{i\omega t}$  miqdorga teng bo'lgan garmonik tebranma harakat paydo bo'ladi. Shuning uchun ham  $K(i\omega)$  chiqish va kirishdagi garmonik qismini

bog'lovchi amplituda – fazaviy chastota xarakteristikasini anglatadi:  $K(i\omega)$  ning moduli chiqish va kirishdagi amplitudalarning nisbatini, argumenti esa chiqish va kirishdagi fazalar orasidagi siljishni bildiradi.

M i s o l. Yuqorida bayon etilgan mulohazalarni oddiy velosiped modelining turg'unligini tekshirishga tatbiq etamiz. Bu oddiy model [47]

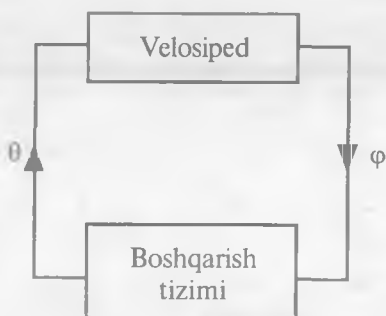
$$J\ddot{\varphi} - Mh\dot{\varphi} = -\frac{MV^2}{a}\theta - \frac{MbV}{a}\dot{\theta}, \quad (3.13.19)$$

$$\theta = \alpha\varphi + \beta\dot{\varphi} \quad (3.13.20)$$

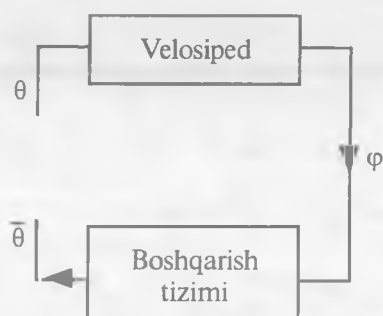
tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda  $\varphi$  – velosiped tekisligi bilan vertikal o'q o'rasidagi burchak (qiyalik burchagi),  $\theta$  – rulning burilish burchagi,  $V$  – velosipedning tezligi,  $\theta$ ,  $\varphi$  – yetarlicha kichik miqdorlar,  $a$ ,  $b$ ,  $M$ ,  $J$ ,  $h$  – velosiped parametrlari.

(3.13.20) ifoda rul boshqarish qonunini ifodalaydi. Velosiped rulni boshqarish qonunini ro'yobga chiqaruvchi boshqarish tizimi bilan birgalikda yopiq tizimni tashkil etadi (3.14-shakl).

Agar 3.15- shaklda ko'rsatilganidek, bog'lanishlardan bittasini uzsak, u holda ochiq tizimning  $\theta$  dan  $\bar{\theta}$  ga uzaytirish koeffitsiyentini (3.13.4) va (3.13.5) tenglamalardan topish mumkin va u



3.14- shakl.



3.15- shakl.

$$K(p) = - \frac{\left( \frac{MV^2}{a} + \frac{MbV}{a} p \right) (\alpha + \beta p)}{Jp^2 - Mh} \quad (3.13.21)$$

ga teng bo'ladi.

Haqiqatan ham, tasvirlashga o'tganimizdan keyin (3.13.19) velosiped harakati tenglamasidan

$$\varphi(p) = - \frac{\left( \frac{MV^2}{a} + \frac{MbV}{a} p \right)}{Jp^2 - Mh} \theta(p) \quad (3.13.22)$$

va (3.13.20) boshqarish qonunidan

$$\bar{\theta}(p) = (\alpha + \beta p) \varphi(p) \quad (3.13.23)$$

kelib chiqadi. (3.13.22) ifodani (3.13.23) ga  $\varphi(p)$  ning o'rniga qo'ysak,  $\theta(p)$  va  $\bar{\theta}(p)$  tasvirlar orasidagi bog'lanishni topamiz:

$$\bar{\theta}(p) = K(p)\theta(p),$$

bu yerda  $K(p)$  (3.13.21) ifodaga teng.

Boshqariladigan velosiped harakati turg'unligi  $W=1$  nuqta  $D$  soha ichida yoki tashqarisida yotishiga bog'liq bo'ladi.  $D$  sohani topish uchun  $z$  tekislikning o'ng yarmini  $W$  tekislikka

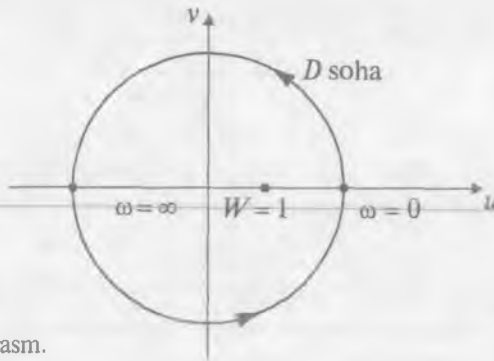
$$W = K(z) \quad (3.13.24)$$

vositasida akslantiramiz.  $z$  tekislik mavhum o'qining aksi  $D$  sohaning chegarasidan iborat. Uni topish uchun (3.13.24) ga  $z = i\omega$  ni qo'yamiz va hosil bo'lgan ifodani haqiqiy va mavhum qismlarga ajratamiz:

$$W = u + iv = + \frac{\alpha \frac{MV^2}{a} - \frac{MbV\beta}{a} \omega^2}{+J\omega^2 + Mh} + i \frac{\frac{MV^2}{a} \beta \omega + \frac{MbV\alpha}{a}}{+J\omega^2 + Mh}$$

Bu yerdan  $W$  tekislikdagi  $D$  soha chegarasining ushbu parametrik tenglamasini topamiz:

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{MV(\alpha V - b\beta\omega)^2}{a(J\omega^2 + Mh)} \\ v &= \frac{MV(\beta V\omega + \alpha b)}{a(J\omega^2 + Mh)} \end{aligned} \right\} \quad (3.13.25)$$



3.16- rasm.

3.16- shaklda  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$  hol uchun  $D$  soha keltirilgan, bu yerda ko'rsatilganicha,  $aV^2 > ah$  bo'lganda tizimning harakati turg'un,  $aV^2 < ah$  da esa noturg'un bo'ladi. Tizim parametrlarining uzluksiz o'zgarishi natijasida  $D$  sohaning chegarasi  $W = 1$  nuqta orqali o'tganda turg'un harakatdan noturg'un harakatga o'tiladi. (3.13.25) parametrik tenglama tizim parametrlari o'zgarishi uning turg'unligiga qanday tarzda ta'sir etishini tadqiq etishga imkoniyat yaratadi.

Naykvist algoritmi bog'lanmagan (uzilgan) zanjirni tahlil qilish asosida bog'langan (ulangan) tizimning turg'unligi to'g'risidagi xulosani aniqlaydi.

Faraz qilaylik, dinamik tizim bog'lanmagan (uzilgan) holda turg'un bo'lsin. Bog'lanmagan (uzilgan) zanjirning uzatish funksiyasi  $W(p)$  bo'lsin. Quyidagi yordamchi funksiyani qaraymiz:

$$W_1(p) = W(p) + 1 = H_z(p)/H_r(p), \quad (3.13.26)$$

bu yerda  $H_z(p)$  va  $H_r(p)$  – mos ravishda bog'langan tizimning hamda bog'lanmagan zanjirning xarakteristik ko'phadlari.

(3.13.26) da  $p = i\omega$  almashtirish bajaramiz. Bog'lanmagan zanjirni turg'un deb faraz qilganimiz uchun Mixaylov kriteriysiga ko'ra  $H_r(i\omega)$  ning argumenti  $0 < \omega < \infty$  bo'lganda  $\pi n/2$  ga o'zgaradi. Bog'langan tizimning turg'un bo'lishi uchun  $H_z(i\omega)$  ning argumenti  $\pi n/2$  ga teng bo'lishi kerak. Shuning uchun turg'unlik shartini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta \arg W_1(i\omega) = \Delta \arg H_z(i\omega) - \Delta \arg H_r(i\omega) = 0.$$

Demak, bog'langan tizimning turg'un bo'lishi uchun  $W_A(i\omega)$  ning godografi koordinata boshini qamrab olmasligi zarur va yetarli.

Bog'lanmagan tizimning amplituda-fazasining chastota xarakteristikasi  $W_A(i\omega)$  ga ko'ra, Naykvist kriteriysi quyidagicha talqin qilinadi: *avtomatik boshqaruv tizimi bog'lanmagan zanjirining turg'unligiga ko'ra, bog'langan tizimning turg'un bo'lishi uchun  $W_A(i\omega)$  ning godografi  $0 < \omega < \infty$  bo'lganda  $(-1, 0)$  nuqtani qamrab olmasligi zarur va yetarlidir.*

Bu kriteriyani, ya'ni godografning  $(-1, 0)$  nuqtani qamrab olmasligi kerak degan shartni algoritmik nuqtayi nazardan ifodalashda muammo tug'ilishi mumkin. Shuning uchun bu muammo quyidagi qoidaga asosan bartaraf qilinadi: agar  $W_A(i\omega)$  ning godografini haqiqiy o'qning  $(-1, 0)$  nuqtasining chap tomonidagi yuqoridan pastga qarab kesib o'tishlari soni quyidan yuqoriga qarab kesib o'tishlar soniga teng bo'lsa, u holda godograf  $(-1, 0)$  nuqtani qamrab olmaydi.

Naykvist kriteriysi bog'lanmagan tizim turg'un degan farazga asosan aniqlangan edi. Endi bog'lanmagan tizim xarakteristik ko'phadi ildizlarining  $m$  ( $m \geq 0$ ) tasi o'ng yarim tekislikda, qolgan  $n - m$  tasi chap yarim tekislikda yotgan umumiy holni ko'ramiz.

Umumiylikka rioya qilgan holda shuni qayd qilish mumkinki, tizimning teskari bog'lanishi manfiydir (agar teskari bog'lanish musbat bo'lsa, bog'lanmagan tizimning uzatish funksiyasini  $k = -1$  ga ko'paytiramiz).

Endi  $m$  ta o'ng ildiz mavjud bo'lganda Naykvistning umumiy kriteriysi quyidagicha bo'ladi: *bog'langan tizim turg'un bo'lishi uchun bog'lanmagan zanjir amplituda-fazasining xarakteristikasi  $0 < \omega < \infty$  bo'lganda  $(-1, 0)$  nuqtani  $m$  marta qamrab olishi (musbat yo'nalish bo'yicha harakatlanganda) zarur va yetarlidir.*

### Naykvist kriteriysiga asoslangan algoritm

1. Bog'langan tizimning uzatish funksiyasi  $W(p)$  hosil qilinsin.
2.  $W_1(p) = W(p) + 1 = H_2(p)/H_1(p)$  yordamchi funksiya aniqlansin.
3. 2-qadamdagi funksiya uchun  $p = i\omega$  almashtirish bajarib, hamda mavhum va haqiqiy qismlarni ajratib,

$$H_z(p) = u_1(\omega) + iv_1(\omega)$$

$$H_r(p) = u_2(\omega) + iv_2(\omega)$$

ifodalar hosil qilinsin.

4.  $F1 = 0$ ;  $F2 = 0$ ;  $I = 2$ ;  $P1 = 0$ ;  $signs1 = 1$ ;  $signs2 = 1$ ;  $J1 = 1$ ;  
 $PI = 3.14$ ;  $FIS1 = 0$ ;  $FIS2 = 0$ .

5. Chastotani o'zgarish qadami DW tanlansin.

6. Chastotaning maksimal qiymati WMAX tanlansin.

7. Argument qiymatini hisoblash aniqligi EPS tanlansin.

8. Argument orttirmasining quyi chegarasi EPS1 tanlansin.

Agar  $JN1/2[*2 = N1$  bo'lsa, u holda  $r = 0$ , aks holda  $r = 1$ .

9.  $P1 = (I - 1) * DW$  {chastotani o'zgartirish}.

10.  $J = 0$ ;  $u1 = 0$ ;  $J1 = 0$ .

11. Agar ( $P1 = 0$ ) va ( $u1 = 0$ ) bo'lsa, u holda 14- qadamga o'tilsin.

12.  $u1 = u1 + d1(N1 - J - r)(-1)^{J1} * P1^{J1}$  {**d1(0..N1) - xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari**}.

13.  $J1 = J1 + 1$ .

14.  $J = J + 2$ .

15. Agar  $J \leq N1 - r$  bo'lsa, u holda 12- qadamga o'tilsin  
**{N1 - xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari soni}**.

16.  $J = 1$ ;  $v1 = 0$ ;  $J1 = 0$ .

17.  $v1 = v1 + d1(N1 - J + r)(-1)^{J1} * P1^{J1}$ .

18.  $J1 = J1 + 1$ .

19.  $J = J + 2$ .

20. Agar  $J \leq N1 - r$  bo'lsa, u holda 17- qadamga o'tilsin.

21. Agar  $u1 \leq 0$  bo'lsa, u holda  $F1 = \arctg(v1/u1)$ .

22. Agar ( $u1 = 0$ ) va ( $v1 > 0$ ) bo'lsa, u holda  $F11 = 0.5 * PI$ .

23. Agar ( $u1 = 0$ ) va ( $v1 < 0$ ) bo'lsa, u holda  $F11 = -0.5 * PI$ .

24.  $signn1 = \text{sign}(u1 * v1)$ .

25. Agar ( $signn1 = signs1$ ) bo'lsa, u holda 31- qadamga o'tilsin.

26.  $J1 = J1 + 1$ .

27. Agar  $J1/2[*2 = J1$  bo'lsa, u holda  $DFI1 = F11 + PI - FIS1$ ,  
 aks holda  $DFI1 = F11 - FIS1$ .

28.  $F1 = F1 + DFI1$ .

29.  $signs1 = signn1$ .

30.  $FIS1 = FI1$ ; 32- qadamga o'tilsin.
31.  $DFI1 = FI1 - FIS1$ ;  $F1 = F1 + DFI1$ ;  $FIS1 = FI1$ .
32. Agar  $FI > N1 * PI * 0.5 + EPS$  bo'lsa, u holda  $IND1 = 0$ ;  
67- qadamga o'tilsin.
33. Agar  $DFI1 > EPS1$  bo'lsa, u holda 35- qadamga o'tilsin.
34.  $I = I + 1$ ; 9- qadamga o'tilsin.
35. Agar  $|P1 - N1 * PI * 0.5| \leq EPS$  bo'lsa, u holda  $INDI = 1$ ;  
65- qadamga o'tilsin;  $I = 2$ ; Agar  $|N2/2|^2 = N2$  bo'lsa, u holda  
 $r = 0$ , aks holda  $r = 1$ .
36.  $P2 = (I - 1) * DW$  {chastotani o'zgartirish}.
37.  $J = 0$ ;  $u2 = 0$ ;  $J1 = 0$ .
38. Agar  $P2 = 0$ ,  $u2 = 0$  bo'lsa, u holda 40- qadamga o'tilsin.
39.  $u2 = u2 + d2(N2 - J - r)(-1)^{J1} * P2^J$  { $d2(0..N2)$  – xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari}.
40.  $J1 = J + 1$ .
41.  $J = J + 2$ .
42. Agar  $J \leq N2 - r$  bo'lsa, u holda 39- qadamga o'tilsin { $N2 -$   
xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari soni}.
43.  $J = 1$ ;  $v2 = 0$ ;  $J1 = 0$ .
44.  $v2 = v1 + d2(N2 - J + r)(-1)^{J1} * P2^J$ .
45.  $J1 = J1 + 1$ .
46.  $J = J + 2$ .
47. Agar  $J \leq N2 - r$  bo'lsa, u holda 44- qadamga o'tilsin.
48. Agar  $u2 \neq 0$  bo'lsa, u holda  $F2 = \arctg(v2/u2)$ .
49. Agar ( $u2 = 0$ ) va ( $v2 > 0$ ) bo'lsa, u holda  $FI2 = 0.5 * PI$ .
50. Agar ( $u2 = 0$ ) va ( $v2 < 0$ ) bo'lsa, u holda  $FI2 = -0.5 * PI$ .
51.  $signn2 = sign2(u2 * v2)$ .
52. Agar ( $signn2 = signs2$ ) bo'lsa, u holda 58- qadamga o'tilsin.
53.  $J1 = J1 + 1$ .
54. Agar  $|J1/2|^2 = J1$  bo'lsa, u holda  $DFI2 = FI2 + PI - FIS2$ ,  
aks holda  $DFI2 = FI2 - FIS2$ .
55.  $F2 = F2 + DFI2$ .
56.  $signs2 = signn2$ .
57.  $FIS2 = FI2$ ; 59- qadamga o'tilsin.
58.  $DFI2 = FI2 - FIS2$ ;  $F2 = F2 + DFI2$ ;  $FIS2 = FI2$ .



59. Agar  $F2 > N2 \cdot \pi \cdot 0.5 + EPS$  bo'lsa, u holda  $IND2 = 0$ ;  
 67- qadamga o'tilsin.
60. Agar  $DFI2 > EPS1$  bo'lsa, u holda 62- qadamga o'tilsin.
61.  $I = I + 1$ ; 36- qadamga o'tilsin.
62. Agar  $|P2 - N2 \cdot \pi \cdot 0.5| \leq EPS$  bo'lsa, u holda  $IND2 = 1$ ;  
 65- qadamga o'tilsin.
63.  $IND2 = 2$ .
64.  $IND1 = 2$ .
65. Agar  $IND1 = 1$  va  $IND2 = 1$  bo'lsa, u holda „tizim turg'un“; 68- qadamga o'tilsin.
66. Agar  $IND1 = 2$  yoki  $IND2 = 2$  bo'lsa, u holda „tizim noturg'un“; 68- qadamga o'tilsin.
67. „Hisoblash jarayonidagi amallarni bajarish aniqligi noto'g'ri. Shuning uchun DW ning qiymatini kamaytirib, EPS ni oshirish taklif qilinadi“.
68. Algoritm tugadi.

### Naykvist kriteriysiga asoslangan dastur

**Dasturning ishlashi uchun qiymatlari kiritiladigan parametrlar:**  
 $d1(0..m1)$  – yopiq tizimning xarakteristik ko'phadining koeffitsiyentlari,  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;  
 $m1$  – xarakteristik ko'phadning tartibi;  
 $d2(0..m2)$  – ochiq tizim xarakteristik ko'phadining koeffitsiyentlari,  $m + 1$  ta elementli haqiqiy bir o'lchovli massiv;  
 $m2$  – xarakteristik ko'phadning tartibi;  
 WMAX – chastotaning maksimal qiymati;  
 DW – chastotaning o'zgarish qadami;  
 EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligi;  
 EPS1 – argument orttirmasining quyi chegarasi.

**Dasturning natijasi:**

$$IND1, IND2 = \begin{cases} 0, & \text{nazariy jihatdan mumkin bo'lmagan hol,} \\ 1, & \text{tizim noturg'un bo'lsa,} \\ 2, & \text{tizim turg'un bo'lsa.} \end{cases}$$

### Zaruriy oraliq natijalar:

$u_1(m_1)$  – ochiq tizim xarakteristik tenglamasi haqiqiy qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

$v_1(m_1)$  – ochiq tizim xarakteristik tenglamasi mavhum qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

$u_2(m_2)$  – yopiq tizim xarakteristik tenglamasi haqiqiy qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

$v_2(m_2)$  – yopiq tizim xarakteristik tenglamasi mavhum qismining qiymati, haqiqiy elementli bir o'lchovli massiv;

FI1, FI2 – argumentlarning qiymati;

DFI1, DFI2 – argumentlar orttirmasining qiymati;

F1, F2 – argumentlar qiymati o'lgarishlarining soni.

### Dastur matni:

```
Procedure NIKVIST(N1,N2:integer; WMAX, DW, EPS,  
                EPS1:real; d1,d2:mas11, var IND1, IND2:integer);
```

```
Label me,mee,met,mel,mee2;
```

```
Const PI=3.1418281828;
```

```
Var i, sign1,sign2, j1, j, j2,signs1,r,signs2:integer;
```

```
u1,v1,u2,v2, Fis1,Fis2, F1,F2, P1,P2,FI1,FI2, DFI1,
```

```
DFI2, p:real;
```

```
Begin
```

```
    FIS1:=0; F1:=0; i:=2; p1:=0; signs1:=1; j2:=0;
```

```
    If (N1 mod 2)+0 then r:=0 else r:=1;
```

```
    {chastotani o'zgartirish}
```

```
    while (F1<=WMAX) do
```

```
        begin
```

```
            p1:=(i-1)*DW;
```

```
    {godografning haqiqiy qismini hisoblash}
```

```
        j:=1; u1:=0; j1:=-1;
```

```
        While (j<=N1-r) do
```

```
            Begin
```

```
                If p1=0 then u1:=0 else u1:=u1+d[N1-j-  
                r]*j1*ln(j*exp(p1));
```

```

j1:=(-1)*j1; j2:=j2+1;
j:=j+2
End;

```

**{godografning mavhum qismini hisoblash}**

```

j=1; v1:=0; j1:=1;
While (j<=N1-j+r) do
  Begin
    v1:=v1+d[N1-j+r]*j1*ln(j*exp(p1));
    j1:=(-1)*j1; j2:=j2+1;
    j:=j+2
  end;

```

**{argument qiymatini hisoblash}**

```

if u1<>0 then FI1:=arctan(v1/u1);
if (u1=0) and (v1>0) then FI1:=0.5*PI;
if (u1=0) and (v1<0) then FI1:=-0.5*PI;

```

**{argument orttirmasi qiymatini hisoblash}**

```

if (u1*v1)<0 then signn1:=-1 else if (u1*v1)=0 then
  signn1:=0
else signn1:=1;
if (signn1<>signs1) then
  begin
    j2:=j2+1;
    if (TRUNC(j2/2)*2)=j2 then DF11:=FI1+PI-
      FIS1
  else
    DF11:=FI1-FIS1;
    F1:=F1*DF11;
    Signs1:=signn1;
    FIS1:=FI1; goto ME;
  End;
DF11:=FI1-FIS1; F1:=F1+DF11; FIS1:=FI1;

```

**{turg'unlik indikatori IND1 ning qiymatini aniqlash}**

ME: if  $F1 > (N1 * PI * 0.5 * EPS)$  then begin  $IND1 := 0$ ;

goto MET end;

If  $DFI1 < EPS1$  then goto MEE;

$i := i + 1$ ;

End; **{i bo'yicha siklning tugashi}**

MEE: if  $ABS(F1 - N1 * PI * 0.5) \leq EPS$  then

begin

$IND1 := 1$ ;

goto MET

end;

$IND1 := 2$ ;

$FIS2 := 0$ ;  $F2 := 0$ ;  $i := 2$ ;  $p2 := 0$ ;  $signs2 := 1$ ;  $j2 := 0$ ;

If  $(N2 \bmod 2) \neq 0$  then  $r := 0$  else  $r := 1$ ;

**{chastotali o'zgartirish}**

while  $(F2 \leq WMAX)$  do

begin

$p2 := (i - 1) * DW$ ;

**{godografning haqiqiy qismini hisoblash}**

$j := 1$ ;  $u2 := 0$ ;  $j1 := -1$ ;

While  $(j \leq N2 - r)$  do

Begin

If  $p2 = 0$  then  $u2 := 0$  else  $u2 := u2 + d[N2 - j - r] * j1 * \ln(j * \exp(p2))$ ;

$j1 := (-1) * j1$ ;  $j2 := j2 + 1$ ;

$j := j + 2$

End;

**{godografning mavhum qismini hisoblash}**

$j = 1$ ;  $v2 := 0$ ;  $j1 := 1$ ;

While  $(j \leq N2 - j + r)$  do

Begin

$v2 := v2 + d[N2 - j + r] * j1 * \ln(j * \exp(p2))$ ;

$j1 := (-1) * j1$ ;  $j2 := j2 + 1$ ;

$j := j + 2$

end;

**{argument qiymatini hisoblash}**

```
if  $u2 \neq 0$  then  $F12 := \arctan(v2/u2)$ ;  
if  $(u2=0)$  and  $(v2>0)$  then  $F12 := 0.5 * \pi$ ;  
if  $(u2=0)$  and  $(v2<0)$  then  $F12 := -0.5 * \pi$ ;
```

**{argument orttirmasi qiymatini hisoblash}**

```
if  $(u2 * v2) < 0$  then  $signn2 := -1$  else if  $(u2 * v2) = 0$  then  
     $signn2 := 0$   
else  $signn2 := 1$ ;  
if  $(signn2 \neq signs2)$  then  
    begin  
         $j2 := j2 + 1$ ;  
        if  $(\text{TRUNC}(j2/2) * 2) = j2$  then  $DFI2 := F12 + \pi - FIS2$   
        else  $DFI2 := F12 - FIS2$ ;  
         $F2 := F2 * DFI2$ ;  
         $Signs2 := signn2$ ;  
         $FIS2 := F12$ ; goto ME1;  
    End;  
 $DFI2 := F12 - FIS2$ ;  $F2 := F2 + DFI2$ ;  $FIS2 := F12$ ;
```

**{turg'unlik indikatori IND2 ning qiymatini aniqlash}**

```
ME1: if  $F2 > (N2 * \pi * 0.5 * \text{EPS})$  then  
    begin  
         $IND2 := 0$ ;  
        goto MET  
    end;  
If  $DFI2 < \text{EPS1}$  then goto MEE1;  
 $i := i + 1$ ;  
End; {i bo'yicha siklning tugashi}  
MEE1: if  $\text{ABS}(F2 - N2 * \pi * 0.5) \leq \text{EPS}$  then  
    begin  
         $IND2 := 1$ ; goto MET  
    end;  
 $IND1 := 2$ ;  
MET: end;
```

NIKVIST protsedurasining murojaat qiluvchi dasturining matni quyidagi ko‘rinishda bo‘lishi mumkin:

```
Program TurgNK;
Const gr=10;
Type mas1=array[0..gr] of real;
Var IND1,IND2, m1,m2,i:integer;
    d1,d2: mas1;
    WMAX,DW,EPS,EPS1:real;
Begin
  Writeln('Ochiq tizim xarakteristik ko‘phadining tartibini
    kiriting');
  Readln(m1);
  Writeln('d1 – xarakteristik ko‘phad koeffitsiyentlarini
    kiriting');
  For i:=0 to m1 do readln(d1[i]);
  Writeln('Yopiq tizim xarakteristik ko‘phadining tartibini
    kiriting');
  Readln(m2);
  Writeln('d2 – xarakteristik ko‘phad koeffitsiyentlarini
    kiriting');
  For i:=0 to m2 do readln(d2[i]);
  Writeln('WMAX – chastotaning maksimal qiymatini
    kiriting');
  Readln(WMAX);
  Writeln('DW – chastotaning o‘zgarish qadamini kiriting');
  Readln(DW);
  Writeln('EPS – argument qiymatini hisoblash aniqligini
    kiriting');
  Readln(EPS);
  Writeln('EPS1 – argument orttiriasining quyi chegarasini
    kiriting');
  Readln(EPS1);
  NIKVIST(m1,m2,WMAX,DW,EPS,EPS1,d1,d2,IND1,IND2);
  If (IND1=1) and (IND2=1) then writeln('tizim turg'un')
  Else if (IND1=2) or (IND2=2) then
```

writeln('tizim noturg'un')

Else writeln('Nazariy jihatdan mumkin emas, DW ning qiymatini kamaytirish yoki EPS aniqligini oshirish tavsiya etiladi');

End.

**Tayanch iboralar:** *Raus–Gurvis muammosi, jarayon, dinamik tizim, xarakteristik tenglama, koeffitsiyentlar, dastur, algoritm, turg'unlik sohasi, Shturm qatori, harakat turg'unligi, Gurvis kriteriyasi, Raus kriteriyasi, Lyenar–Shipar kriteriyasi, Naykvist kriteriyasi, Mixaylov kriteriyasi, D- bo'laklash usuli, yopiq va ochiq tizimlar, bir kompleks parametr tekisligi, ikki haqiqiy parametr tekisligi.*



### Takrorlash uchun savol va topshiriqlar

1. Raus–Gurvis muammosi nimadan iborat?
2. EHMda masalani yechish jarayoni qanday bosqichlardan iborat?
3. Xarakteristik tenglamani qanday keltirib chiqariladi?
4. Xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlarini keltirib chiqarish dasturi.
5. Harakatning turg'unlik sohasini aniqlashning umumiy dasturi.
6. Umumlashgan Shturm qatori qanday tuziladi?
7. Shturm qatoriga asoslangan algoritm.
8. Gurvis va Raus kriteriyalariga asoslangan algoritm.
9. Lyenar–Shipar kriteriyasiga asoslangan dasturning Gurvis kriteriyasiga asoslangan dasturdan farqi.
10. Mixaylov kriteriyasiga asoslangan algoritm.
11. Mixaylov kriteriyasiga asoslangan algoritmning Naykvist kriteriyasiga asoslangan algoritmdan farqi.
12. *D*- bo'laklash usuli.
13. Bir kompleks parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning *D*- bo'laklash usuliga asoslangan algoritmi.
14. Ikki haqiqiy parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning *D*- bo'laklash usuliga asoslangan algoritmi.
15. Yopiq tizim va ochiq tizim harakatlari orasidagi bog'lanish.

**Maple 6** tizimi 2000- yil dekabr oyining oxirida Kanadaning Waterloo universitetida yaratilgan. Bu tizim iqtisodiyot, mexanika, matematika, fizika, muhandislik va h.k. yoʻnalishdagi masalalarni yechishda matematikaning analitik hamda sonli usullarini qoʻllashni amalga oshiradi.

Dinamik tizimlarning tadqiqoti uchun yaratilgan dasturiy taʼminotning baʼzi modullari **Maple 6** tizimida yaratilgan. Shuning uchun **Maple 6** tizimining muloqot muhiti hamda uning asosiy tushunchalari va buyruqlari (komandalari) toʻgʻrisida qisqacha toʻxtalib oʻtamiz.

### 1-§. Maple 6 tizimining asosiy imkoniyatlari va interfeysi

**Maple 6** tizimida quyidagi imkoniyatlar mavjud:

1) biror elektron jadval tizimi (masalan, **MS Excel**)da maʼlumotlarni tahlil qilish uchun koʻnikma hosil qilingan boʻlsa, **Maple 6** tizimida ham juda koʻp matematik va statistik funksiyalar asosida maʼlumotlarni tahlil qilishning grafikli integrallashgan muhiti mavjud;

2) murakkab funksiyalarning 2 oʻlchamli, 3 oʻlchamli fazolarda grafiklarini chizib berishi mumkin;

3) **Maple 6** ning dasturlashtirish tili asosida murakkab matematik, texnik va boshqa sohalaridagi masalalarni yechish mumkin;

4) oʻquv jarayonini tashkil qilishda kerakli mavzularning mashq va masalalar obyektlarining harakatini namoyish qilish uchun animatsion grafik muhit mavjud;

5) talabalar matematik usullarni oʻrganishda juda murakkab hisoblashlarga vaqtlarini sarflamasdan, faqat usullarning mohiyatini, qoʻllanilish sohalarini oʻrganishlari uchun maxsus **Student** paketi mavjud;

6) **Maple 6** tizimi **Windows**, **VMS**, **Unix**, **Linux** kabi operatsion muhitlarda joriy qilingan;



7) **Windows** operatsion tizimidagi **MS Office** ning turdosh tizimlari uchun integrallashgan muhitga ega;

8) barcha bajariladigan ishlari ishchi varaq sifatida tashkil qilinib, muloqot interaktiv rejimda amalga oshiriladi;

9) **C++**, **Fortran** muhitlarida yaratilgan dasturlarga bevosita murojaat qilish mumkin;

10) **Excel 2000** muhitida turib, **Maple 6** ning grafikaga doir paketlariga murojaat qilish mumkin (**Excel** muhitida grafik chizish uchun funksiyaning qiymatlar jadvalini tuzish kerak);

11) ishchi varaqlarni **RTF Word**, **LaTex**, **HTML** formatlariga o'tkazib saqlash mumkin;

12) **Maple 6** muhitida «obyektlar» hosil qilish mumkin;

13) **Maple 6** dasturidagi xatoliklarni bartaraf qilish uchun **Java** imkoniyatlaridan foydalanish mumkin;

14) **Maple 6** vositasida yaratilgan dasturlardan elektron jadval-larga murojaat qilish mumkin.

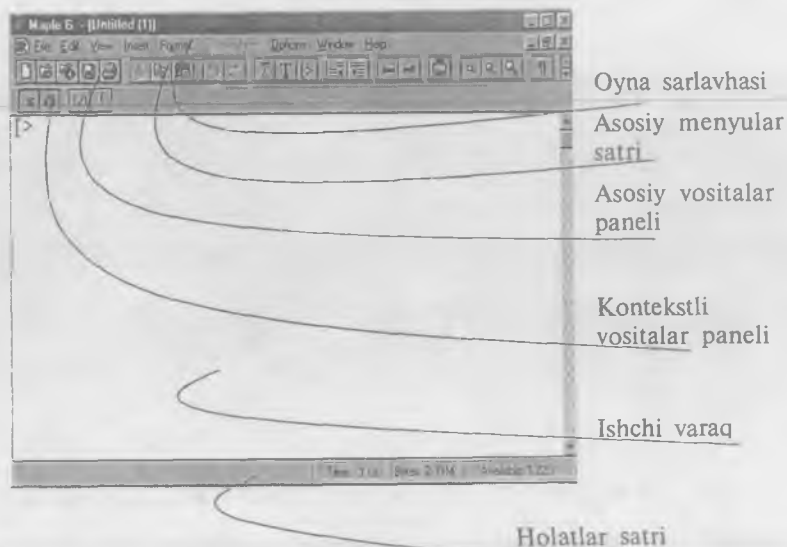
Ixtiyoriy dasturiy tizimdan foydalanish uchun uning foydala-nuvchilar bilan muloqot muhiti (**interfeys**)ni yaxshi bilish kerak.

**Maple 6** tizimining **Windows** operatsion muhitida joriy qilin-gan interfeysi haqida to'xtalaylik. Tizim ishga tushirilgandan keyin 4.1- shaklda ko'rsatilgan interfeys oynasi paydo bo'ladi. Oyna olti qismdan tashkil topgan:

- sarlavha;
- asosiy menyular satri;
- asosiy vosita (instrument)lar paneli;
- kontekstli vositalar paneli;
- ishchi varaqning maydoni;
- holatlar satri.

Sarlavhada **Maple 6** tizimining belgisi va joriy ishchi varaq faylining nomi ko'rsatiladi.

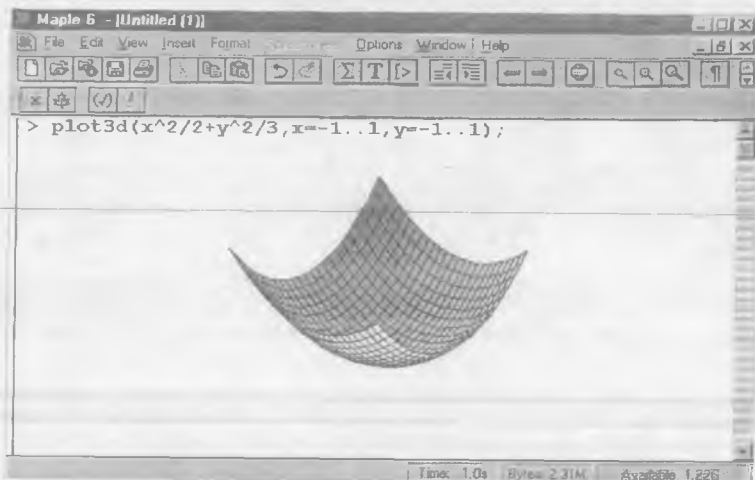
Asosiy menyular satrining holati ishchi varaqqa aks ettirilgan hujjatning mazmuniga qarab o'zgarib turadi. Ishchi varaqda grafik tasvirlangan bo'lsa, u holda asosiy menyular satrining holati 4.2- shaklda tasvirlangan ko'rinishda bo'ladi. Agar ishchi varaqda ma'lumotlar maydoni tasvirlangan bo'lsa, u holda asosiy menyular satri 4.1- shakldagi standart ko'rinishda bo'ladi. «Sichqoncha»



4.1- shakl.

ko'rsatkichini asosiy menyular satrining ixtiyoriy menyusiga keltirib, chap tugmasi bosilsa, menyu faollashib, undagi buyruqlar yoki qismaniy menyular ro'yxatini ko'rish mumkin. Menyular ro'yxatidagi biror buyruqni sichqoncha yoki buyruqning o'ng tomonida ko'rsatilgan tugmalar yordamida bajarish mumkin.

Asosiy menyular satrining pastki qismida amalda tez-tez qo'llanilib turiladigan buyruqlarga biriktirilgan tugmalar ko'rsatilgan asosiy vositalar paneli joylashgan. Bu tugmalar sichqoncha yordamida faollashtirilsa, ularga biriktirilgan buyruqlar bajariladi. Panelning holati ishchi varaqdagi hujjatga bog'liq emas. Bu panelning pastki qismida kontekstli vositalar paneli joylashgan. Kursor ishchi varaqning qanday qismida joylashganligiga va qanday ma'lumotni ko'rsatib turishiga qarab, kontekstli vositalar panelining holati o'zgarib turadi. Panelning besh xil holati mavjud: ikki o'lchamli, uch o'lchamli, animatsiyali grafiklar aks ettirilgan paytdagi holati va kursorni ishchi varaqning ma'lumot kiritish yoki chiqarish maydonida turishiga mos holatlari. Kursor ma'lumotlarni kiritish maydonida turgan bo'lsa, kontekstli menyuning holati buyruqlarni standart **Maple 6** talqinida yoki standart matematik



4.2- shakl.

yo'zuvlar ko'rinishida yozilishiga qarab o'zgaradi. 4.2- shaklda kontekstli menyuning, buyruqlarning standart **Maple 6** talqinida yoziladigan holatiga mos ko'rinishi tasvirlangan.

**Maple 6** ning interfeysida bir nechta oynadagi ishchi varaqlar bilan ishlash va giperlavhalar yordamida ishchi varaqlarning biridan ikkinchisiga o'tish mumkin.

Interfeysning eng pastki qismida tizimning ishchi holatlari satri aks ettirilgan bo'lib, unda joriy faylga va tizimga tegishli ma'lumotlar aks ettiriladi.

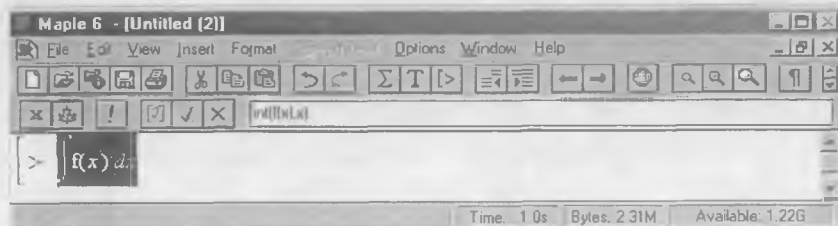
Ish jarayonida ishchi varaqda aks ettirilgan obyektlar (grafik, buyruq natijasini aks ettirish maydonidagi ma'lumot, kiritish maydonidagi buyruq)larga mos kontekstli menyuni hosil qilishi mumkin. Buning uchun sichqoncha ko'rsatkichini kerakli obyektga keltirib, o'ng tugmani bosish kerak. Kontekstli menyuda tanlangan obyektga qo'llaniladigan buyruqlar ko'rsatiladi.

## 2- §. Ishchi varaq to'g'risidagi asosiy ma'lumotlar

**Maple 6** tizimida muloqot interaktiv rejimda amalga oshiriladi. Foydalanuvchi ishchi varaqning kiritish maydoniga kerakli buyruq yoki buyruqlar guruhini kiritib, «**Enter**» tugmasi (klavishi)ni

bosish orqali ularning bajarilishini amalga oshirishi mumkin. Buyruqlar > belgisidan keyin kiritiladi va ularning qizil rangda aks ettirilishi **Maple 6** ning standart talqinida (notatsiyasida) amalga oshirilayotganini bildiradi. Agar bir nechta buyruqni bir guruhga birlashtirish kerak bo'lsa, oxirgi buyruqdan tashqari barcha buyruqlardan keyin «**Shift**»+«**Enter**» juftlik tugmalarini bosish kerak. Oxirgi buyruq kiritilgandan keyin «**Shift**» tugmasini bosish kerak. Buyruqlar guruhi tashkil qilingandan so'ng guruhning ixtiyoriy bir buyrug'idan keyin «**Enter**» tugmasini bosish ularning barchasini bajarilishini ta'minlaydi. Buyruqlar guruhi chap tomonidan umumiy «{» belgisi bilan qamrab olinadi. Agar har bir buyruqni alohida «[» belgisi qamrab olgan bo'lsa, ularning har biri mustaqil bajariladi. Agar buyruq «;» belgisi bilan tugasa, u bajarilgandan keyin albatta natija chiqarish maydonida aks ettiriladi va «:» belgisi bilan tugasa, buyruq bajariladi, lekin natija aks ettirilmaydi.

Ishchi varaqning foydalanuvchi tomonidan ma'lumotlar kiritiladigan qismi *kiritish maydoni* deyiladi. Kiritish maydoniga **Maple 6** ning buyruqlarini, operatorlarini va izohlar uchun matn kiritish mumkin. Yangi ishchi varaq yaratilganda, jimlik qoidasi bo'yicha **Maple 6** ning buyruq va operatorlarini kiritish rejimi o'rnatiladi. Bu rejimning belgisi «>» hisoblanadi. Agar buyruq yoki operator to'g'ri kiritilsa, chiqarish maydonida natija qayd qilinadi, aks holda xatolik sababi ko'rsatiladi. Kiritish maydonida buyruqlarni **Maple 6** talqinida yoki odatdagi matematik yozuv talqinida aks ettirish mumkin. Buning uchun buyruqni kiritishdan oldin, **Insert** menyusidagi «**Standart Math Input**» buyrug'ini bajarish yoki kontekstli vositalar panelidagi ⊗ tugmasini bosish kerak. Natijada ushbu panelda kiritish maydoni paydo bo'ladi (4.3- shakl).



4.3- shakl.

«Enter» tugmasi bosilgandan keyin kiritilayotgan buyruqning yozuvi kontekstli vositalar panelining kiritish maydonida aks ettiriladi, unga mos matematik talqinidagi yozuv esa odatdagi kiritish maydonida aks ettiriladi.  $\otimes$  tugmasi qayta bosilsa, kiritish maydonidagi matematik talqindagi yozuv **Maple 6** talqinidagi buyruqqa o'tadi. Ishchi varaqning kiritish maydoniga bajarilmaydigan oddiy matn kiritilish kerak bo'lsa, asosiy vositalar panelining **T** tugmasini bosish yoki **Insert** menyusining «Text» buyrug'ini bajarish kerak. Kiritilayotgan matnda matematik formulalar bo'lsa, **Insert** menyusidagi «Standart Math» buyrug'ini bajarish yoki asosiy vositalar panelidagi  $\Sigma$  tugmasini bosish zarur. Matnda matematik formulani kiritish jarayoni **Maple 6** ning matematik yozuvlarga mos buyruqlarini matematik talqinda yozishga o'xshash.

Matn tarkibidagi matematik buyruqlarni ixtiyoriy paytda bajarilishini ta'minlash mumkin. Buning uchun matndagi formulani **Insert** menyusidagi «Maple Input» yoki «Standart Math Input» buyruqlaridan foydalanib kiritish kerak. Matndagi buyruqni bajarish uchun **Edit** menyusidagi «Execute» buyrug'ini bajarish yoki kontekstli vositalar panelidagi «!» tugmasini bosish kerak. Matnda yozilgan buyruq qora rangda bo'ladi, **Maple 6** talqinida esa buyruq qizil rangda bo'ladi.

**Kiritish maydoniga kiritilgan buyruq va operatorlarning bajarilishidan** keyingi natijalar chiqarish maydonida aks ettiriladi. Grafiksiz ma'lumotlarni chiqarish maydonida 3 xil formatda aks ettirish mumkin: **Maple 6** talqinidagi buyruqlarni kiritish formatiga o'xshash satr ko'rinishida, matematikada formulalarni ifodalashda qo'llaniladigan belgilar ko'rinishida va noshirlik ishlarida matematik formulalarni terishda ishlatiladigan matematik yozuv talqinida. Buyruq natijalarini matematik talqinda chiqarishni 2 xil variantda amalga oshirish mumkin. Birinchi variantda chiqarilgan natijalarni tahrir qilish mumkin emas, ikkinchi variantda – mumkin. Bu formatda ma'lumotlarni **Option** menyusining **Output Display** qismiy menyusi yordamida amalga oshirsa bo'ladi. Qisman menyusining: «Maple Notation» buyrug'i bajarilsa, natija satr ko'rinishida, «Character Notation» buyrug'i bajarilsa, belgi ko'rinishida,

«Typeset Notation» buyrug'i bajarilganda, tahrir qilinmaydigan matematik yozuv talqinida va «Standart Math Notation» buyrug'i bajarilganda, tahrir qilinadigan ko'rinishda chiqariladi.

Grafiklarni 2 xil rejimda chiqarish mumkin. **Option** menyusining **Plot Display** qismani menyusining «**Inline**» va «**Window**» buyruqlari bajarilsa, grafik mos ravishda ishchi varaqda va alohida oynada yangi ishchi varaqqa chiqariladi. Agar buyruqlar va grafik bir ishchi varaqda chiqarilsa, xotira ko'proq sarflanadi.

### 3- §. Ifodalarni qayta ishlash buyruqlari

O'zgaruvchilar lotin alifbosidagi harflar ketma-ketligi ko'rinishida tuziladi. Katta va kichik harflar bilan yozilgan nomlar farqlanadi. O'zgaruvchilarning nomida raqam va «-» belgi ham qatnashishi mumkin. **Maple 6** tizimida himoyalangan nomlar mavjudki, ularni boshqa maqsadlarda qo'llash kutilmagan oqibatlariga olib kelishi mumkin. O'zgaruvchilarning nomini oraliq (probel) belgisi bilan ajratilgan so'zlar ketma-ketligi tarzida ham ifodalash mumkin, faqat ular qo'shtirnoq ichiga olinishi kerak. Masalan, «**o'niy burchak tezlik**». Son, o'zgaruvchi, funksiya belgilari va **Maple 6** ning boshqa obyektlaridan tuzilgan ketma-ketlik *ifoda* deyiladi. Agar ifodada qiymati noma'lum bo'lgan obyektlar ishtirok etsa, unga *belgilar ifodasi* deyiladi va ular ustida analitik amallar bajariladi. **Maple 6** tizimi asosan aynan shunday ifodalarni qayta ishlash maqsadida tuzilgan. Ifodalar bilan bog'liq asosiy buyruq ta'minlash buyrug'i hisoblanadi. Uning umumiy ko'rinishi quyidagicha:

<o'zgaruvchi>:=<ifoda>;

O'zgaruvchilar qiymatining turi butun (**integer**), kasr (**fraction**), suzuvchan vergul formadagi haqiqiy (**float**) va satr (**string**) bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, analitik amallar bajarish uchun funksiya (**function**), indeksli o'zgaruvchi (**indexed**), to'plam (**set**), ro'yxat (**list**), qator (**series**), ifodalar ketma-ketligi (**exprseq**) va yana ko'pgina murakkab turdagi ma'lumotlar ham mavjud. **Maple 6** tizimining barcha turlari to'g'risida ? **type** buyrug'i yordamida

ma'lumot olish mumkin. Jimlik qoidasi bo'yicha ifodalarning turi «symbol» hisoblanadi. Ixtiyoriy o'zgaruvchi va ifodaning turini >whattype(<o'zgaruvchi nomi>); buyrug'i orqali bilish mumkin. O'zgaruvchiga boshqa turdagi ma'lumot ta'minlansa, uning turi o'zgaradi. **Maple 6** tizimining o'ziga xos jihatlardan biri, uning tarkibida matematikadagi barcha standart va maxsus funksiyalar mavjud. Bu funksiyalarning ro'yxati va ular to'g'risida ma'lumotni ? inifunction buyrug'i yordamida olish mumkin.

**Maple 6** tizimining ixtiyoriy buyrug'iga murojaat qilishning standart ko'rinishi quyidagichadir:

**buyruq(par1, par2, ..., par n); yoki buyruq(par1, par2, ..., par n):**

**buyruq** – qo'llaniladigan funksiya nomi, **par1, par2, ... , par n** lar o'zgaruvchi, ifoda, funksiya bo'lishi mumkin va berilgan ifoda turiga mos bo'lishi kerak. Buyruq ; bilan tugasa, buyruq bajargan natija chiqarish maydoniga yoziladi, : bilan tugasa yozilmaydi.

Ba'zi bir buyruqlarning aktiv hamda passiv formasi mavjud. Buyruq passiv formasining asl maqsadi buyruq mazmunining matematik ifodasini belgilash uchun ishlatishdir. Lekin uning natijasini value(<o'zgaruvchi>) buyrug'i orqali ko'rish mumkin.

**Maple 6** yadrosida mavjud bo'lgan buyruqlarga har doim murojaat qilib, natijani olish mumkin. Yadroda mavjud bo'lmagan buyruqlarni qo'llash uchun ular mavjud bo'lgan paket yoki kutubxonaga murojaat qilish kerak:

**with (<paket nomi>)** – paketga murojaat qilish.

**readlib(<kutubxona nomi>)** – kutubxonaga murojaat qilish.

Ifodani soddalashtirish buyrug'ining nomi **simplify** ko'rinishda bo'ladi. Bu buyruq tarkibida trigonometrik, teskari trigonometrik, logarifmik, eksponensial va boshqa elementar funksiyalar qatnashgan algebraik ifodani soddalashtirish uchun mo'ljallangan. Buyruqning bir necha xil ko'rinishlari mavjud bo'lib, eng soddako'rinishi quyidagichadir:

**simplify(<ifoda>)**

Buyruqning bu ko'rinishi berilgan ifodadagi barcha funksiyalar sinfiga nisbatan soddalashtirish algoritmlarini qo'llaydi. Buyruqning aynan bir funksiyalar sinfiga nisbatan soddalashtirish variantlari:

**simplify/sqrt**, **simplify/exp**, **simplify/in**, **simplify/trig**, **simplify/radical**, **simplify/power** va h.k. lar to'g'risida ma'lumot olish uchun kerakli variantni yozib, kursorni uning ostiga keltirib, **F1** tugmasini bosish kerak. Buyruqni aynan biror soddalashtirish algoritmiga nisbatan qo'llash uchun **simplify(<ifoda>, n1, n2, ...)** ko'rinishda ishlatish kerak. Bunda **n1, n2, ...** soddalashtirish protseduralari: **Ei, GAMMA, RootOf, @, hypergeoxn, ln, polar, power, radical, sqrt, trig** nomlaridan iborat bo'lishi mumkin. Soddalashtirish protseduralari to'g'risida ma'lumotga ega bo'lishi uchun **? simplify[<nom>]** buyrug'ini yozish kerak. Bunda **<nom>** soddalashtirish protsedurasining nomi. Ifodani soddalashtirish jarayonida o'zgaruvchilarning turini yoki aniqlanish sohasini ko'rsatish mumkin. Buning uchun buyruq **simplify(<ifoda>, assume=<xususiyat>)** ko'rinishda bo'lib, xususiyat **complex, real, poqitive, integer, RealRange(a,b)** lardan biri bo'lishi mumkin.

Misol.

```
> f:=ln(exp(x));
```

```
f:=ln(ex)
```

```
> simplify(f);
```

```
ln(ex)
```

```
> simplify(f,ln,assume=real);
```

```
x
```

Soddalashtirishning oddiy buyrug'ida, **Maple 6** ifodadagi o'zgaruvchilarni kompleks sohaga tegishli deb hisoblaydi. Ba'zi ko'p qiymatli funksiyalar ishtirok etgan (masalan, ildizli ifoda) holda uni soddalashtirishda ko'p qiymatlilikini e'tiborga olmaslik uchun **symbolic** parametrini ishlatish zarur.

Misol.

```
> f:=sqrt(x^2);
```

```
f := √x2
```

```
> simplify(f);
```

```
csgn(x)x
```



> **simplify(f,assume=real);**

| x |

> **simplify(f,assume=positive);**

x

> **simplify(f,symbolic);**

x

Ifodalarni foydalanuvchilarning biror qoidasi asosida soddalashtirish kerak bo'lsa, **simplify(<ifoda>, {tenglik1, tenglik2, ...});** ko'rinishdagi buyruqni qo'llanadi.

Biror ifodani nolga teng deb hisoblash lozim bo'lsa, uni { } da yozish kerak.

Misol.

> **g:=a^2+b^2+c;**

$g:=a^2 + b^2 + c$

> **simplify(g,{b^2,a^2+c=1});**

1

Soddalashtirish natijasini ifodada ishtirok etuvchi o'zgaruvchilarning ma'lum bir tartibi bo'yicha qo'llash va aks ettirish mumkin. Buning uchun buyruqda ularning to'plamini { } bilan yoki ro'yxatini [ ] bilan ko'rsatish kerak. To'plam ko'rinishda berilganda oldin ifoda o'zgaruvchilarning darajasiga nisbatan tartiblanadi, keyin soddalashtiriladi. Ro'yxat ko'rinishida berilganda ifoda oldin ro'yxatda birinchi ko'rsatilgan o'zgaruvchi darajasiga nisbatan soddalashtiriladi, keyin bu jarayon qolgan o'zgaruvchilarga nisbatan qo'llaniladi. Bu qoida to'g'risida to'liq ma'lumot olish uchun ?**simplify[siderels]** buyrug'i qo'llanadi.

**Qavslarni ochish buyrug'ining** umumiy ko'rinishi **expand(<ifoda>, <ifoda1>, ..., <ifoda n>)** shaklda bo'ladi. Bu buyruq algebraik ifodalardagi qavslarni ochib, yig'indi ko'rinishiga keltiradi. Xususan, ratsional algebraik ifodaning suratidagi qavslarni ochib chiqib, hosil bo'lgan ko'phadning har bir hadini maxrajga bo'ladi. Buyruqdagi <ifoda> berilgan bo'lib, <ifoda1>, ..., <ifoda n> lar

esa berilgan ifodaning qismlaridir va bu qismaniy ifodalar qatnashgan qavslar ochilmasligi kerakligini bildiradi.

Misol.

> **expand(exp(a+ln(b)));**

$e^a b$

> **expand((x+1)^2\*(y+z),x+1);**

$(x+1)^2 y + (x+1)^2 z$

> **expand((x+1)^2\*(y+z));**

$x^2 y + x^2 z + 2xy + 2xz + y + z$

**Maple 6** tizimida ko'phad o'zgaruvchi miqdor qatnashgan birhadlar yig'indisidir. Birhadning koeffitsiyentlari butun, kasr, suzuvchan vergul shakldagi haqiqiy, kompleks va boshqa o'zgaruvchilar ishtirok etgan algebraik ifoda bo'lishi mumkin. O'zgaruvchilarning darajasi butun musbat bo'lishi kerak. Ko'phadni ko'paytuvchilarga ajratish buyrug'ining sodda ko'rinishi **factor(<ifoda>)** bo'lib, <ifoda> ko'phad ko'rinishidagi ifodadir.

Misol.

> **factor(cos(y)^2-2\*sin(x)\*cos(y)+sin(x)^2);**

$(\cos(y) - \sin(x))^2$

Shuni ta'kidlash kerakki, bu buyruq ko'paytuvchilarga ajratishni koeffitsiyentlarning sonli maydonida amalga oshiradi, ya'ni barcha koeffitsiyentlar butun bo'lsa, ko'paytuvchilardagi koeffitsiyentlar ham butun bo'ladi. Buyruqning **simplify(<ifoda>, <tur>);** ko'rinishi ko'phadni ko'rsatilgan <tur> koeffitsiyentlar maydonida ko'paytuvchilarga ajratadi. Bu yerda <tur> koeffitsiyentlar maydonining turi bo'lib, **real**, **complex** yoki radikallar ro'yxati bo'lishi mumkin.

Misol.

> **factor(x^3+2);** # butun koeffitsiyentlar maydonida

$x^3 + 2$

> **factor(x^3+2.0);** # haqiqiy koeffitsiyentlar maydonida  
(x + 1.259921050)(x^2 - 1.259921050x + 1.587401052)

> **factor(x^3+2,complex);** # kompleks koeffitsiyentlar  
maydonida  
(x + 1.259921050)(x - .6299605249 + 1.091123636I)  
(x - .6299605249 + 1.091123636I)

> **factor(x^3+2,2^(1/3));** # butun koeffitsiyentlar  
maydonida va radikal asosida  
(x^2 - x 2^(1/3) + 2^(2/3))(x + 2^(1/3))

**Bir nechta ifodani birlashtirish buyrug'i combine(<ifoda>)**  
yoki **combine(<ifoda>, <par1>, <par2>, ..., <par n>)** ifodalarning elementlarini funksiyalar sinfining qoidalariga asosan birlashtiradi. Bu yerda <ifoda> – matematik ifoda, <par1>, <par2>, ..., <par n> – opsiyalar birlashtirish qoidalarini ko'rsatadi. Xususan, <par1> sifatida biror funksiya nomi ko'rsatilsa, birlashtirishi ko'rsatilgan funksiya qoidalariga asosan bajariladi yoki <par2> sifatida biror tur nomi ko'rsatilsa, birlashtirish shu turga taalluqli doirada amalga oshirilish kerakligini bildiradi. Parametrlar to'g'risida to'liq ma'lumotni **?combine[opsiya]** buyrug'i yordamida olish mumkin.

Misol.

> **combine(ln(x)+ln(y));**  
ln(xy)

> **combine(4^a\*6^b\*12^c\*5^d,power);**  
4^a6^b12^c5^d

> **combine(4^a\*6^b\*12^c\*5^d,icombo);**  
2^(2a + b + 2c)3^(c + b)5^d

**O'xshash hadlarni ixchamlash buyrug'i**

**collect(<ifoda>,x);**  
**collect(<ifoda>,form,func);**  
**collect(<ifoda>,func);**

ko'rinishlarda bo'ladi.

Misol.

> **g:=int(x^2\*(exp(x) + sin(x)),x);**

**g:=x^2e^x - 2xe^x + 2e^x - x^2cos(x) + 2cos(x) + 2x sin(x)**

> **collect(g,x);**

**(-cos(x) + e^x)x^2 + (-2e^x + 2sin(x))x + 2cos(x) + 2e^x**

> **collect(g,exp(x));**

**(2 + x^2 - 2x)e^x + 2cos(x) + 2x sin(x) - x^2 cos(x)**

> **collect(g,cos(x));**

**(-x^2 + 2)cos(x) + x^2e^x - 2x e^x + 2 e^x + 2x sin(x)**

**form** parametri <ifoda> ko‘rinishdagi o‘zgaruvchiga bog‘liq bo‘lgan holda qo‘llanilib, o‘zgaruvchilar ro‘yxat yoki to‘plam ko‘rinishda berilishi kerak ( $\{x,y,\dots\}$  – ro‘yxat,  $\{x,y,\dots\}$  to‘plam ko‘rinishida berilishi). **form** parametri **recursive** (jimlik qoidasi bo‘yicha) va **distributed** qiymatlarini qabul qilishi mumkin. Parametr **recursive** ko‘rinishida bo‘lsa, oldin ro‘yxatdagi birinchi o‘zgaruvchining darajalariga nisbatan ixchamlash jarayoni bajariladi, keyin esa hosil bo‘lgan ifodaning ikkinchi o‘zgaruvchisining darajasiga nisbatan soddalashtirish amali bajarilish kerakligining tartibini **Maple 6** tizimining o‘zi aniqlaydi va har safar har xil tartibda bo‘lishi mumkin. Parametrning qiymati **distributed** ko‘rinishida bo‘lsa, ro‘yxatda yoki to‘plamda ko‘rsatilgan o‘zgaruvchilar ko‘paytmasining barcha darajalariga nisbatan ixchamlash jarayoni bajariladi. **form** parametri o‘zgaruvchilarning mos darajali hadlar oldidagi koeffitsiyentlariga nisbatan soddalashtirish amalini bajaradigan **simplify()** va **factor()** funksiyalarining nomini ham ko‘rsatishi mumkin.

Misol.

> **f:=a^3\*x-x+a^3+a;**

**f:=a^3x - x + a^3 + a**

> **p:=x\*y-a^2\*x\*y+y\*x^2-a\*y\*x^2+x+a\*x;**

**p:=xy - a^2xy + yx^2 - ayx^2 + x + ax**

> **collect(f,x);**

**(a^3 - 1)x + a^3 + a**

> **collect(f,x,factor);**

$$(a-1)(a^2+a+1)x+a(a^2+1)$$

> **collect(p,[x,y],distributed,factor);**

$$(a+1)x+(1-a)yx^2-(a-1)(a+1)xy$$

> **collect(p,[x,y],recursive,factor);**

$$(1-a)yx^2+(-(a-1)(a+1)y+a+1)x$$

**Kasrni irratsionallikdan qutqarish buyrug'i rationalize(<ifoda>);** ko'rinishda bo'ladi. Bu yerda <ifoda> son yoki algebraik kasrni bildiradi. Agar kasr algebraik bo'lsa, maxraji albatta ko'phad bo'lishi kerak. Bu buyruq algebraik kasrning maxrajida transendent: **sin()**, **exp()**, **ln()** kabi funksiyalar mavjud bo'lganda ham irratsionallikdan qutqazadi. Faqat bu funksiyalarning argumentlaridagi irratsionallikni qutqazmaydi.

Misol.

> **ex1:=2\*(1+2^(1/3))/(2-sqrt(2));**

$$ex1 := 2 \frac{1+2^{(1/3)}}{2-\sqrt{2}}$$

> **rationalize(ex1);**

$$(1+2^{(1/3)})(2+\sqrt{2})$$

> **p:=1/(1+root(sin(1/(1-sqrt(y))),3));**

$$p := \frac{1}{1+\sin\left(\frac{1}{1-\sqrt{y}}\right)^{(1/3)}}$$

> **rationalize(p);**

$$\frac{1-\sin\left(\frac{1}{1-\sqrt{y}}\right)^{(1/3)} + \sin\left(\frac{1}{1-\sqrt{y}}\right)^{(2/3)}}{1+\sin\left(\frac{1}{1-\sqrt{y}}\right)}$$

#### 4- §. Asosiy murakkab turlar haqidagi ma'lumotlar

Ma'lumotlarning «,» belgisi bilan ajratilgan guruhi *ketma-ketlik* deyiladi. Ketma-ketlik tashqi ko'rinishdan ro'yxat, to'plam va massivlarga o'xshasa-da, o'ziga xos mustaqil obyekt hisoblanadi. Ketma-ketlikning asosiy xususiyati shuki, elementlarining tartibi o'zgar olmaydi, unda takrorlanuvchi (bir xil) elementlar ham bo'lishi mumkin. Agar biror ketma-ketlik **Maple 6** funksiyasining parametri sifatida ishlatilsa, funksiya ketma-ketlikning har bir elementiga qo'llaniladi. Masalan,

> **x:=Pi, 2\*Pi, 3\*Pi/2;**

$x := \pi, 2\pi, \frac{3}{2}\pi$

> **sin(x);**

0, 0, -1

Ketma-ketlik ta'minlash operatorining chap tomonida ham, o'ng tomonida ham ishtirok etishi mumkin. Masalan,

> **s2:=1,2,3;**

$s2:=1, 2, 3$

> **f,g,h:=s2;**

$f, g, h:=1, 2, 3$

Ketma-ketlikning har bir elementi o'z indeksiga ega bo'lganligi uchun uning elementini indeks bo'yicha alohida ajratib olish mumkin. Masalan,

> **s:=x,x^2,x^3;**

$s:=x, x^2, x^3$

> **s[2];**

$x^2$

Lekin, indeks bo'yicha ketma-ketlikning elementini o'zgartirish mumkin emas, ya'ni > **s[2]:=y;** bajarilmaydi (mumkin emas).

Ma'lum bir qonuniyat bilan ketma-ketlik hosil qilish kerak bo'lsa,  $\text{seq}(f, i=m..n)$ ;  $\text{seq}(f, i=x)$ ; buyruqlari qo'llaniladi. Bu buyruqdagi  $f$  harfi  $i$  parametrغا bog'liq o'zgaruvchi qatnashgan ifoda bo'lib,  $m$  va  $n$  lar esa uning o'zgarish oralig'i hisoblanadi. Parametrning qiymati o'zgarish oralig'ida 1 qadam bilan o'zgaradi.  $x$  parametr ro'yxat, to'plam, yig'indi, ko'paytma yoki satr bo'lishi mumkin.

Misol.

>  $\text{seq}(\sin(\text{Pi}*i/6), i=0..6)$ ;

$0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\sqrt{3}, 1, \frac{1}{2}\sqrt{3}, \frac{1}{2}, 0$

>  $\text{seq}(x[k], k=3..5)$ ;

$x_3, x_4, x_5$

Ketma-ketlik elementlarini hosil qilishda  $\$$  amalini ham qo'llash mumkin.

Misol.

>  $\$2..5$ ;

2, 3, 4, 5

>  $i^2\$i=2/3..8/3$ ;

$\frac{4}{9}, \frac{25}{9}, \frac{64}{9}$

>  $a[i]\$i=1..3$ ;

$a_1, a_2, a_3$

>  $x\$4$ ;

$x, x, x, x$

**Ro'yxat va to'plam turidagi ma'lumotlar** quyidagilardan iborat. **Ro'yxat** — [ ] qavs ichiga olingan tartiblangan ifodalar ketma-ketligi. **To'plam** — { } qavs ichiga olingan tartiblanmagan ma'lumotlar ketma-ketligi. **To'plam turidagi ma'lumot** matematik talqinidagidek tushuniladi, unda takrorlanuvchi elementlar bo'lmaydi

va to'plam elementlarining tartibini **Maple 6** tizimi belgilaydi. Shuning uchun bir ish seansidagi tartib boshqa ish seansidagi tartibga to'g'ri kelmasligi mumkin. Ro'yxat elementlarining tartibi qat'iy bo'lib, unda takrorlanuvchi elementlar ishtirok etishi mumkin. To'plam va ro'yxatning elementlarini indeks nomeri bo'yicha olish va ro'yxat elementining qiymatini o'zgartirish mumkin. Masalan,

```
> l:=[a,b,c];
```

```
l:=[a,b,c]
```

```
> l[2];
```

```
b
```

```
> l[3]:=3;l;
```

```
l:=3
```

```
[a, b, 3]
```

To'plam elementlarining qiymatini o'zgartirish mumkin emas. Masalan:

```
> s:={a,a,c,c,b,b};
```

```
s:={a, b, c}
```

```
> s[2];
```

```
b
```

```
> s[3]:=3; s; # xato
```

Agar ro'yxat yoki to'plamning bir nechta elementini olish kerak bo'lsa, u holda indeks oraliq'idan foydalanish mumkin. Indekslarning musbat qiymati elementlarni chapdan o'ngga qarab olish kerakligini bildirsa, manfiy qiymati esa elementlarni o'ngdan chapga qarab olish kerakligini bildiradi. Agar ro'yxatdagi elementlar soni noma'lum bo'lib, barcha elementlarni olish kerak bo'lsa, u holda

```
> s[1..-1];
```

ko'rinishda murojaat qilish kerak.



To'plam elementlarini o'zgartirish uchun oldin uni to'plamdan chiqarib tashlash, keyin esa uning o'rniga yangi element kiritish kerak. Masalan,

```
> ({a,b,c} minus {c} union {3});  
{3, a, b}
```

Bu yerda **minus** matematikadagi \ amali bo'lib, **union** esa  $\cup$  amalidir. Ikkita to'plamning kesishmasini **intersect** amali bajaradi. Masalan,

```
> {a,b,c} intersect {b,c,d};  
{b, c}
```

Biror elementning ro'yxat yoki to'plamga tegishliligini **member()** buyrug'i yordamida aniqlash mumkin. Masalan,

```
> s:={x^2,x^(-2),x,1/x};
```

```
s := {x, x^2, 1/x, 1/x^2}
```

```
> member(x^(-1),s);  
true
```

```
> member(x^3,s);  
false
```

**Massiv** — ro'yxatning rivojlantirilgan formasidir. Massivning elementlari ham tartiblangan ketma-ketlikdir. Ammo u oddiy ketma-ketlikdan quyidagi jihatlari bilan farq qiladi:

a) ketma-ketlik indeksining qiymati albatta birdan boshlanib, musbat qiymatlar qabul qilsa, massiv indeksi ixtiyoriy butun son bo'lishi mumkin;

b) ketma-ketlik bir o'lchamli bo'lsa, massiv ko'p o'lchamli bo'lishi mumkin.

Massiv tashkil qilish uchun quyidagi operatorni bajarish kerak:

```
<massiv nomi>:=array(<indeks funksiyasi>,<chegaralar>,<ro'yxat>);
```

<indeks funksiyasi> parametri massivni tashkil qilish formasini bildirib, **symmetric** (simmetrik), **antisymmetric** (teskari simmet-

rik), **sparse** (kesik), **diagonal** (diagonal) va **identity** (birlik) kabi qiymatlar qabul qilishi mumkin (?**indexfen** buyrug'i yordamida to'liq ma'lumot olish mumkin). <**chegaralar**> parametrik massiv indekslarining o'zgarish oralig'i bo'lib, ko'p o'lchamli bo'lganda indekslar oralig'i ketma-ket «,» belgisi bilan ajratilib ko'rsatilishi kerak. <**ro'yxat**> parametri esa massiv elementlari qiymatlarining ro'yxati bo'lib, bu ro'yxatlar massivning o'lchamiga qarab ichma-ich joylashgan bo'ladi. Masalan,

```
> A:=array(1..4,1..4,[[0,1,3,4],[-2,3,0,4],[5,0,2,4],[8,4,5,6]]);
```

$$A := \begin{bmatrix} 0 & 1 & 3 & 4 \\ -2 & 3 & 0 & 4 \\ 5 & 0 & 2 & 4 \\ 8 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$$

Bu parametrlardan <**chegaralar**> yoki <**ro'yxat**> lardan biri bo'lishi shart. Massiv elementlarini ko'rish uchun **print(<massiv nomi>)** buyrug'ini qo'llash ham mumkin.

**Jadval** massivning rivojlangan formasidir. Jadvalning indeksi faqat butun son emas, balki ixtiyoriy nom bo'lishi ham mumkin. Jadval tashkil qilish uchun

```
<jadval nomi>:=table(<indeks funksiyasi>,<par>);
```

buyruqdan foydalansa bo'ladi. <**par**> parametr sifatida ro'yxat yoki <**indeks**>=<**qiymat**> juftligidan iborat to'plam bo'lishi mumkin. Jadval real obyektga taalluqli ma'lumotlar majmuyini o'z nomlari bilan bir butun qilib jamlab yozishga qulaydir. Masalan,

```
> steel:=table([mas=[2*15,kg/m^3],elasticity=[100,MPa]]);
```

```
steel := table ([[mas = [30,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ], elasticity = [100, MPa]]])
```

```
> steel[elasticity];  
[100, MPa]
```

## 5- §. Palitralar bilan ishlash

**Maple 6** tizimida ifodalarni kiritishda undagi ba'zi bir standart matematik belgilar yoki lotin alifbosidan boshqa alifbodagi belgilarni kiritish uchun maxsus oynachada chiqariladigan shablonlardan foydalanish mumkin. Ushbu maxsus oynachadagi shablonlar **palitra** deb ataladi. Tizim 3 xil ko'rinishdagi palitralardan foydalanish imkonini beradi:

1) grek alifbosidagi belgilarning shablони (palitrasi) dan foydalanish uchun **View** opsiyasining **Pallets** qismaniy opsiyasidagi **Symbol Palette** buyrug'idan foydalanish kerak. Bu palitrada shuningdek  $e$ ,  $\infty$ ,  $\pi$  va mavhum I belgilari mavjud;

2) standart matematik ifodalarning palitralaridan foydalanish uchun **View** opsiyasining **Pallets** qismaniy opsiyasidagi **Expression Palette** shaklidan foydalanish kerak;

3) (4x4) o'lchamdan katta bo'lmagan matritsalarini kiritish uchun **View** opsiyasining **Pallets** qismaniy opsiyasidagi **Matrix Palette** buyrug'idan foydalanish kerak.

**View** opsiyasining **Pallets** qismaniy opsiyasidagi **Show All Palettes** buyrug'i bajarilsa, 3 ta palitra paydo bo'ladi, **Hide All Palettes** buyrug'i esa hamma palitrani yopadi.

**Options** menyusining **Palette Size** qismaniy opsiyasidagi **Small** buyrug'i palitraning oynasini kichik o'lchamda, **Large** buyrug'i katta o'lchamda, **Best Choise** (jimlik qoidasi) buyrug'i esa monitor ekranining o'lchamiga nisbatan chiqaradi.

**Maple 6** tizimida kursor yordamida grek alifbosidagi belgilarni kiritish uchun ularning talaffuz nomini ingliz alifbosida yozish kerak. Grek alifbosi palitrasidan foydalanganda, kerakli grekcha harfni sichqoncha ko'rsatkichi bilan bosish kifoya. Masalan, palitradagi  $\alpha$  belgini bosish

### > alpha

yozuvining paydo bo'lishiga olib keladi. Chiqarish maydonidagi ixtiyoriy ifodani belgilab, «sichqoncha» yordamida grek alifbosi palitrasidagi biror belgi faollashtirilsa, chiqarish maydonidagi belgilangan ifoda faollashtirilgan belgi bilan almashtiriladi. Masalan,

> **f:=sin(x);**

f:=sin(x)

belgilanib, grek alifbosi palitrasidagi  $\eta$  belgi faollashtirilsa, kiritish maydonida

> **f:= $\eta$ (x)**

ifoda hosil bo'ladi.

Standart matematik ifodalar palitrasidagi belgilardan foydalanish, ularni qanday talqindagi muhitga qo'llashga bog'liq. Masalan, ushbu palitradagi  $\int$  belgi ma'lumotlarning **Maple 6** talqinidagi kiritish muhitida faollashtirilsa,

> **int(%?,%?);**

buyrug'i paydo bo'ladi, %? shablonlarni belgilab, kerakli ifodalarga almashtirish mumkin.  $\int$  belgi ma'lumotlarning matematik talqinda kiritish muhitida faollashtirilsa,

>  $\int$ ?

ifoda paydo bo'ladi. ? shablanni belgilab, ixtiyoriy ifoda bilan almashtirsa bo'ladi.

## 6- §. Ma'lumotlar almashish va kontekstli menyular

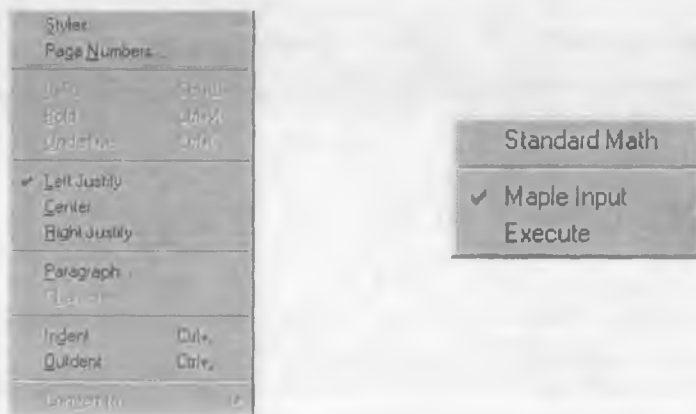
**Maple 6** muhitidan **Windows** operatsion tizimidagi boshqa dasturiy ta'minotlar bilan aloqa qilish uchun ma'lumot almashish buferidan foydalansa bo'ladi. **Maple 6** muhitidagi ishchi varaqning ixtiyoriy qismini yoki butun varag'ini belgilab, uni **Edit** menyusining **Cut** buyrug'i bilan kesib olib va so'ngra **Copy** buyrug'i bilan nusxa olib, ma'lumot almashish buferiga tashlash mumkin. Ma'lumot almashish buferidagi ma'lumot jimlik qoidasi bo'yicha **RTF** formatida saqlanadi, bu esa **Maple 6** muhitida hosil qilingan natijalarni rasm ko'rinishida (matematik talqinda) **MS Word** ning hujjatlariga qo'yish imkonini beradi. **Paste** buyrug'i, aksincha, ma'lumotlar almashish buferidagi ma'lumotni **Maple 6** ishchi varag'iga qo'yadi. Ushbu buyruqlarni **Edit** menyusida ko'rsatilgan tugmalar kombinatsiyasi yordamida ham amalga oshirish mumkin. **Copy as**

**Maple Text** buyrug'i yordamida ishchi varaqni yoki uning qismini **Maple 6** formatida nusxasini olib, maxsus **Text** formatida saqlash mumkin. Ma'lumot almashish buferidagi **Maple Text** formatidagi ma'lumotni **Maple 6** muhitidagi ishchi varaqqa bajariladigan formatda ko'chirish mumkin. Ishchi varaqning o'zida ma'lumotlarni tahrir qilish **MS Word** tizimidagi texnologiyaga o'xshashdir.

Kontekstli menyu **Maple 6** tizimida ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonini tez va qulay bajarish imkonini beradi. Masalan, biror funksiyaning grafigini hosil qilish uchun funksiya ifodasini kiritish maydoniga yozib, sichqoncha ko'rsatkichini funksiya ifodasiga keltirib, o'ng tugmasini bosish kerak. Natijada kiritish maydoniga mos kontekstli menyu paydo bo'ladi va undagi **Execute** buyrug'ini bajarish natijasida chiqarish maydonida funksiya ifodasi hosil bo'ladi.

Chiqarish maydoniga mos kontekstli menyuni faollashtirish uchun undagi ma'lumotni belgilab, sichqonchani o'ng tugmasini bosish kerak, natijada 4.4- shakldagi kontekstli menyu paydo bo'ladi:

Grafikni chizish uchun 4.5- shaklda ko'rsatilgan kontekstli menyudagi **Plots 2D** buyrug'ini bajarsak, ishchi varaqning yangi satrida **smartplot(y)** buyrug'i va alohida ishchi varaqda kiritilgan funksiyaning grafigi paydo bo'ladi. Ushbu grafik maydoniga yana



4.4- shakl.



4.5- shakl.

$y = e^x$  funksiya grafigini qo'shmoqchi bo'lsak, asosiy ishchi varaqning kiritish maydoniga  $y = e^x$  funksiyani kiritib, uni bajarish kerak va chiqarish maydonida hosil bo'lgan ifodani belgilab (sich-qonchanning chap tugmasini bosgan holda), uni grafik maydoniga keltirib qo'yish kerak.

**Maple 6** tizimi yordamida yechilgan biror masalani izohlar va ko'rsatmalar yordamida foydalanuvchiga tushunarli tarzda topshirish uchun, **natijalarni hujjatlashtirish** zarur bo'ladi. Ushbu

jarayonni  $f(x) = \frac{\ln(x)}{x^3}$  funksiyaning aniqmas integralini hisoblash

va uni hujjatlashtirish orqali namoyish qilamiz. Funksiyaning integralini izohlarsiz hisoblash buyruqlari quyidagicha:

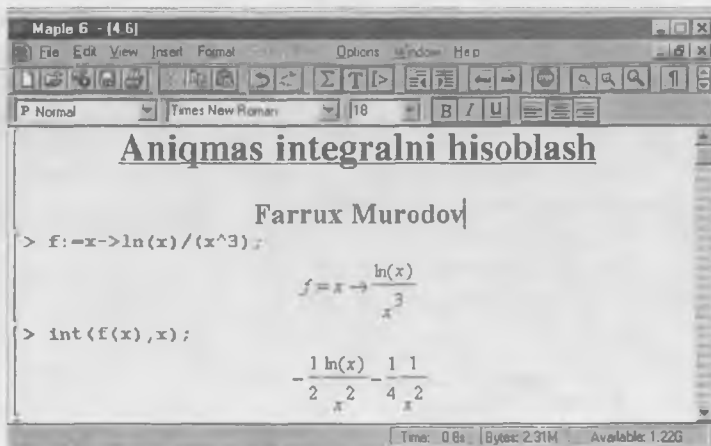
> f:=x->ln(x)/(x^3);

$$f := x \rightarrow \frac{\ln(x)}{x^3}$$

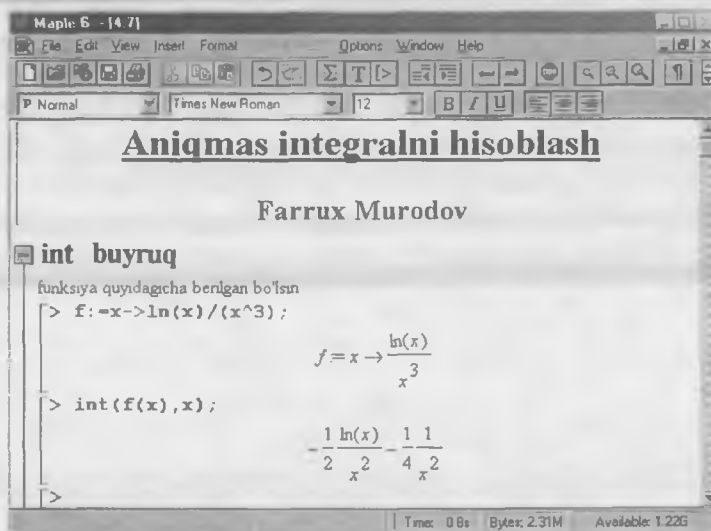
> **int(f(x),x);**

$$-\frac{1}{2} \frac{\ln(x)}{x^2} - \frac{1}{4} \frac{1}{x^2}$$

Bajarilgan ishning sarlavhasi va muallifi to'g'risida ma'lumot kiritish uchun, birinchi buyruqning oldiga kursorni qo'yamiz va **Insert** menyusining **Execution** qismiy menyusidagi **Before Cursor** buyrug'ini bajarimiz. Kiritilayotgan ma'lumot matn bo'lgani uchun, vositalar panelidagi **T** tugmani bosib, matnli ma'lumot kiritish muhitiga o'tamiz. Ushbu muhitda ma'lumotni turli xil stil va shriftlarda kiritish imkoni mavjud. Jimlik qoidasi bo'yicha **Normal** stili joriy qilinadi. Muhitning kontekstli vositalar panelining chap burchagidagi oynachadan kerakli stilni tanlash mumkin (stillar to'g'risida barcha kerakli ma'lumotlarni olish uchun **Format** menyusidagi **Style** buyrug'ini bajarish kerak). **Title** (nom) stilini tanlab, sarlavha matnini kiritamiz. Stillar maydonida **Author** (muallif) stili paydo bo'ladi va muallif nomini kiritamiz. Natijada ishchi varaqning ko'rinishi 4.6- shaklda ko'rsatilganidek bo'ladi. 4.6- shakldagi ikkita hisoblash guruhini birlashtirish uchun ularni belgilab, **Format** opsiyasidagi **Indent** buyrug'ini bajarish kerak. Natijada ishchi varaqda maxsus «-» (yoki «+») va vertikal qavs belgilari yordamida ishchi varaqning belgilangan qismi bir seksiyaga birlashtiriladi (4.7- shakl). «-» belgisi turganda seksiyadagi ma'lumot monitorda ko'rinib turadi. Sichqoncha ko'rsatkichini «-» belgisi ustiga qo'yib, chap tugma bosilsa, «+» belgisi paydo bo'lib, vertikal qavs qoladi, seksiyadagi ma'lumot g'oyib bo'ladi. Seksiyani yana ochish uchun «+» belgisini sichqoncha yordamida «-» belgisiga aylantirish kerak. «-» belgisi yoniga kursorni keltirib, Enter tugmasi bosilsa, matn maydoni hosil bo'ladi. Matn maydoniga seksiya to'g'risida ixtiyoriy ma'lumotni kiritsa bo'ladi (4.7- shakl). Seksianing  $f(x)$  funksiya aniqlangan qismidan keyin, integralni hisoblash uchun qanday buyruq bajarilayotganligini izohlovchi ma'lumot kiritish kerak. Buning uchun kursorni  $f(x)$  funksiya aniqlangan qismning chiqarish maydoniga o'rnatib, asosiy vositalar panelidan avval **|>** tugmasini, keyin **T** tugmasini bosish kerak. Natijada kursor turgan joyda matn maydoni hosil bo'ladi. Ushbu



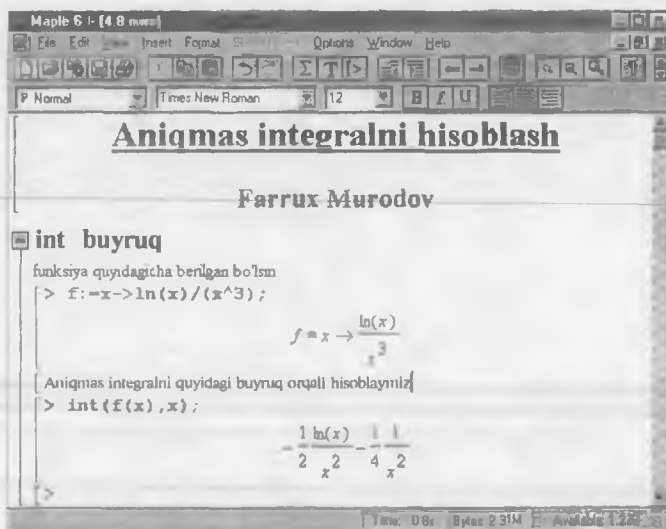
4.6- shakl.



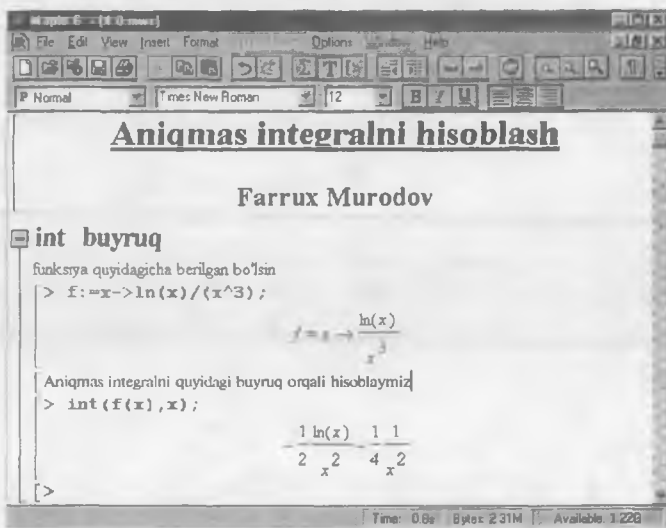
4.7- shakl.

matn maydoniga ixtiyoriy ma'lumotni kiritish mumkin (4.8- shakl). Endi seksiyaning  $f(x)$  funksiya aniqlangan qismini izoh maydoni bilan birlashtirib, funksiyaning berilishini matematik talqinda yozish kerak. Buning uchun avval kiritish maydonining funksiya aniqlan-





4.8- shakl.



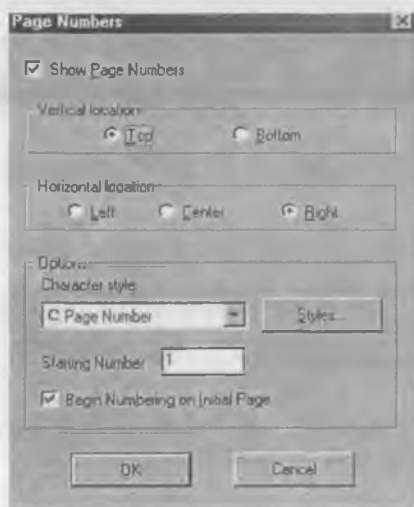
4.9- shakl.

gan qismini o'chirish kerak, so'ngra birinchi izohning oxiriga kursorni keltirib va **Insert** menyusidagi **Standart Math Input** buyrug'ini bajarib, funktsiyani yozish kerak (4.9- rasm). Funktsiya-ning aniqmas integralini tushuntirish yana ham to'liq bo'lishi

uchun uning grafigini ham chizish mumkin. Grafikni integrallash bajarilgan ishchi varaqning o'zida chizish yoki alohida ishchi varaqqa chizib, ularni giperhavola bilan birlashtirish mumkin. Berilgan funksiya aniqmas integralining grafigini ikkinchi usul bilan chizishni keyinchalik ko'rsatamiz.

Endi ishchi varag'imiz tugallangan hujjat ko'rinishida bo'lishi uchun uni sahifalaymiz. Buning uchun **Format** menyusidagi **Page Numbers** buyrug'ini ishga tushiramiz, natijada kichik muloqot oynasi paydo bo'ladi. Ushbu muloqot oynasidagi **Show Page Numbers** ning chap tomonidagi **O** ga sichqoncha ko'rsatkichini qo'yib, chap tugmasini bossak, sahifaning parametrlarini o'rnatish elementlari paydo bo'ladi (4.10- shakl).

Muloqot oynasining **Vertical location** maydonidagi **Top** (yuqori) va **Bottom** (pastdan) ko'rsatkichlari yordamida sahifani nomerlashni vertikal bo'yicha o'rnini tanlash mumkin; **Horizontal location** maydonidagi **Left** (chap tomondan), **Center** (o'rtadan) va **Right** (o'ng tomondan) ko'rsatkichlari yordamida sahifalashni gorizontol bo'yicha o'rnini tanlash mumkin; **Option** maydonidan foydalanib, sahifa nomerining stili (**Character style**) va sahifaning boshlang'ich nomerini (**Starting Number**) ko'rsatish mumkin (4.10- shakl).

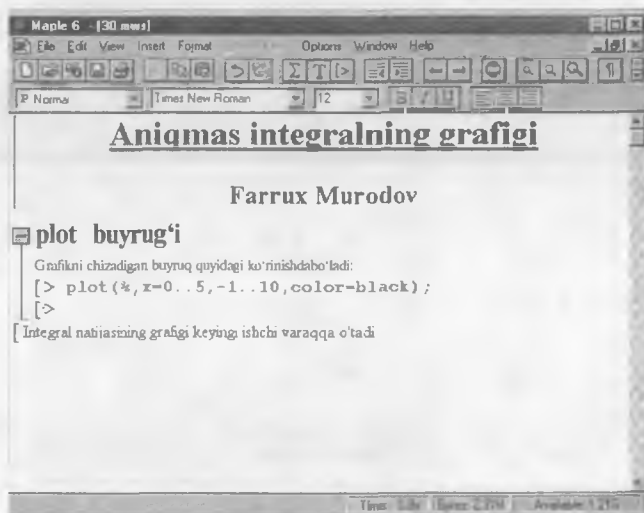


4.10- shakl.

Seksiyadagi ma'lumotlar shriftini o'zgartirmoqchi bo'lsak, **Format** menyusining **Italic** (kursiv), **Bold** (qalin, qora) va **Underline** (tagiga chizilgan) buyruqlaridan foydalanish kerak. Agar ishchi varaqdagi biror seksiyani olib tashlash kerak bo'lsa, uni belgilab, **Format** menyusidagi **Outdent** buyrug'ini bajarish kerak. Hujjatlashtirilgan ishchi varaqni **misol1.mws** nomi bilan saqlaymiz.

Bir nechta ishchi varaq bilan ishlashni ko'rsatish uchun, **misol1.mws** ishchi varag'idagi funksiyaning grafigini alohida hosil qilamiz. Maqsad, **Maple 6** muhitida bir masalaning yechimini bir nechta ishchi varaqlarda tashkil qilib, ularning ishini giperhavolalar bilan muvofiqlashtirish(birlashtirish)ni namoyish qilishdan iborat.

**File** opsiyasining **New** buyrug'i yoki asosiy vositalar panelining tugmasi yordami bilan yangi ishchi varaq ochamiz. Tashkil qilingan ishchi varaqlarni bir oynada gorizontal holatda joylashtirish uchun **Windows** menyusining **Vertical** buyrug'ini bajaramiz. Joriy seansda faol bo'lgan **misol1.mws** varag'i va bo'sh ishchi varaq ekranda yonma-yon paydo bo'ladi. Yangi ishchi varaqda aniqlangan funksiya grafigini chizib, hosil bo'lgan natijani hujjatlashtirish jarayonini takrorlamalik uchun **misol1.mws** ishchi varag'idagi natijalarni yangi ishchi varaqqa ko'chirib va tahrir qilib, 4.11- shaklda ko'rsatilgan holatga keltiramiz.



4.11- shakl.

Yangi ishchi varaqning oxirgi satrida yozilgan izohning «**varaq**» soʻzini belgilab, **Format** menyusidagi **Convert to** qisman menyusning **Hyperlink** buyrugʻini bajarsak, muloqot oynachasi paydo boʻladi. Muloqot oynachasiga «**misol1.mws**» nomini kiritamiz. Natijada yangi ishchi varaqning oxirida yozilgan izohdagi «**varaq**» soʻzining rangi oʻzgaradi va sichqoncha koʻrsatkichini uning ustiga keltirsak, koʻrsatkich barmoq belgisi koʻrinishiga oʻtadi. Bu belgi yangi ishchi varaqdan **misol1.mws** ishchi varaqqa giperhavola oʻrnatilganligini bildiradi. Endi yangi ishchi varaqning funksiya grafisini chizish buyrugʻi (**plot**) turgan joyiga «**zakladka**» (**qoʻymoq**) oʻrnatamiz. Buning uchun kursorni buyruq turgan satrning ixtiyoriy joyiga keltirib, **View** menyusidagi **Bookmarks** qisman menyusning **Edit Bookmark** buyrugʻini bajaramiz. Buyruqni bajarish natijasida paydo boʻlgan muloqot oynachasiga zakladka nomi – «**grafigini**» soʻzini yozamiz. Yangi hujjatni «**Grafik.mws**» nomi bilan saqlaymiz. **misol1.mws** ishchi varaqning «**integrallash buyrugʻi**» seksiyasining oxiridan matn kiritish maydonini hosil qilib (**T** ni bosish kerak), «**Hisoblangan integralni tuzish**» matnini kiritamiz. «**integralni**» soʻzidan keyin kursorni oʻrnatib, **Insert** menyusining **Hyperlink** buyrugʻini bajaramiz. Paydo boʻlgan muloqot oynasining **Link Text** maydoniga «**grafigini**» soʻzini kiritamiz va **WorkSheet** ishchi rejimini oʻrnatamiz. **Browser** tugmasi yordamida «**Grafik.mws**» fayliga murojaat oʻrnatib, **Bookmark** roʻyxatidagi «**grafigini**» punktini tanlaymiz. **OK** tugmasini bosganimizda matnda «**grafigi**» soʻziga giperhavola oʻrnatadi. Sichqoncha koʻrsatkichini «**grafigi**» giperhavolaga keltirib chap tugmasini bosganimizda, «**Grafik.mws**» ishchi varagʻi paydo boʻladi. Bu holda kursor grafik chizish maydonida boʻlib, **Enter** tugmasini bosganimizda, funksiya grafigi paydo boʻladi. «**Varaq**» giperhavolani bosib, yana **misol1.mws** ishchi varaqqa qaytishimiz mumkin. Shuni eʼtirof etishimiz kerakki, **Grafik.mws** ishchi varaqdagi grafikni chizish buyrugʻidagi % belgisi «**oldingi qadamda bajarilgan buyrugʻning natijasiga murojaat**» degan maʼnoni bildiradi. Bu esa **misol1.mws** ishchi varaqdagi funksiya integralini hisoblash buyrugʻining natijasiga muvofiq grafik chizilganini anglatadi. Shuning uchun, giperhavola yordamida **Grafik.mws** ishchi varaqqa murojaat qilishdan oldin, **misol1.mws** ishchi varaqdagi buyruqlar bajarilgan boʻlishi kerak.

## 7-§. Ro'yxat, to'plam va ko'phad elementlari ustida amallarni bajarish buyruqlari

Ba'zan amallarni murakkab turdagi ma'lumotlarning har bir elementi uchun alohida-alohida bajarish kerak bo'ladi. **map()** buyrug'i ana shunday amallardan biridir. Uning ikki xil ko'rinishi mavjud:

a) **map(<funksiya>, <ro'yxat>|<to'plam>[, par2, par3, ..., parN]);**

b) **map(<funksiya>, <par1>, <ro'yxat>|<to'plam>[, par3, ..., parN]);**

Buyruqning a) ko'rinishi birinchi parametri sifatida ko'rsatilgan funksiya yoki to'plamning barcha elementlari uchun qo'llaniladi. Bajariladigan funksiya yoki buyruq uchun qo'shimcha parametrlar ko'rsatish ro'yxati **[, par2, ...]** da ko'rsatiladi. **map2** buyrug'ida ro'yxat va to'plam, birinchi parametr ko'rinishida berilgan funksiyaning ikkinchi parametri sifatida ko'rsatiladi.

Misol.

> **map(int,[x,x^2,x^3],x);**

$$\left[ \frac{1}{2}x^2, \frac{1}{3}x^3, \frac{1}{4}x^4 \right]$$

> **map2(diff,x^y/ln(z),[x,y,z]);**

$$\left[ \frac{x^y y}{x \ln(z)}, \frac{x^y \ln(x)}{\ln(z)}, \frac{x^y}{\ln(z)^2 z} \right]$$

**map** va **map2** buyruqlarini massiv yoki jadval elementlari uchun ham qo'llasa bo'ladi. Agar ro'yxat yoki to'plam o'rnida algebraik ifoda kelsa, u holda **map** va **map2** larda ko'rsatilgan funksiya yoki buyruq algebraik ifodaning barcha hadlari uchun qo'llaniladi.

**add** va **mul** buyruqlari mos ravishda ketma-ketlik elementlarining yig'indisi yoki ko'paytmasini hosil qilib beradi.

Misol.

```
> add(sin(i),i=[x,y,z]);
```

$\sin(x) + \sin(y) + \sin(z)$

```
> mul(sin(i),i=[x,y,z]);
```

$\sin(x) \sin(y) \sin(z)$

**select** buyrug'i ro'yxat yoki to'plam elementlaridan ma'lum talabga javob beradiganlarini tanlab beradi.

Misol.

```
> sq:=x->is(x^2>1);
```

$sq := x \rightarrow \text{is}(1 < x^2)$

Bu yerda **sq** - «agar  $x^2 > 1$  bo'lsa» mantiqiy ifodaning qiymatini aniqlovchi funksiya.

```
> l:=[1,Pi,exp(1),0];
```

$l := [1, \pi, e, 0]$

```
> select(sq,l);
```

$[\pi, e]$

Misoldagi, **select** buyrug'i 1 ro'yxatning 1 dan katta elementlarini ajratib beradi.

**remove** buyrug'i **select** buyrug'iga teskari vazifani bajaradi.

Misol.

```
> remove(sq,l);
```

$[1, 0]$

Ro'yxat yoki to'plam elementlari ustida **select** va **remove** buyruqlarini birgalikda qo'llash mumkin, natijada 2 ta qisman ro'yxat yoki to'plam hosil bo'ladi.

Misol.

```
> selectremove(sq,l);
```

$[\pi, e], [1, 0]$

**select**, **remove** va **selectremove** buyruqlari uchun mantiqiy funksiyani alohida tuzib olmasdan, **is** funksiyasini qo'llab, mantiqiy shartni buyruqlarning uchinchi parametrlari sifatida berish mumkin.

Misol.

```
> select(is,1,RealRange(Open(1),infinity));  
[ $\pi$ , e]
```

Bu yerda **is** «tegishli bo'lsa» funksiyasi sifatida qo'llanilgan, **RealRange(Open(1), infinity)** esa  $(0; \infty)$  oraliqni ifodalaydi.

```
> select(type,1,numeric);  
[1, 0]
```

Bu yerda **type** funksiyasi (buyrug'i) 1 ro'yxatning butun elementlarini ajratib beradi.

**op** buyrug'i esa ikkita ro'yxat elementlarini birlashtirib, yangi ro'yxat tuzib beradi.

Misol.

```
> s1:=[Pi,1]; s2:=[exp(1),0];  
s1:=[ $\pi$ , 1]  
s2:=[e, 0]  
  
> s:=[op(s1),op(s2)];  
s:=[ $\pi$ , 1, e, 0]
```

**zip** buyrug'i ikkita ro'yxat elementlari ustida biror binar amalni qo'llab, yangi ro'yxat hosil qilib beradi. Buyruqning umumiy ko'rinishi quyidagicha:

```
zip(<binar funksiya>, <ro'yxat1>, <ro'yxat2>, [, qiymat]);
```

Buyruqning uchinchi parametri <ro'yxat1> va <ro'yxat2> larning elementlar soni har xil bo'lganda qo'llanilib, [, qiymat] elementlari kam bo'lgan ro'yxat uchun qo'shimcha element sifatida beriladi.

Misol.

> zip((x,y)->x+y,[1,2,3],[4,5,6]);  
[5, 7, 9]

> zip((x,y)->x+y,[1,2,3],[4,5],0);  
[5, 7, 3]

zip buyrug'ini bir xil o'lchamli matritsa va vektorlar uchun ham qo'llasa bo'ladi.

sort buyrug'i ro'yxat va ko'phad elementlarini tartiblab beradi. Ko'phad elementlari o'zgaruvchilarning darajalarini pasayib borishiga nisbatan tartiblanadi. Ro'yxat:

a) sonli elementlardan iborat bo'lsa, qiymatlarning o'sib borish tartibida joylashtiriladi;

b) satrli yoki belgili elementlardan iborat bo'lsa, alifbo tartibida joylashtiriladi;

d) aralash elementlardan iborat bo'lsa, elementlarning xotiradagi adresi bo'yicha tartiblanadi va elementlar tartibi har ish seansida har xil bo'lishi mumkin.

sort buyrug'iga tartiblash qoidasini ko'rsatish ham mumkin. Masalan,

> sort([1/2,3/4,1/7,5/2],(x,y)->evalb(denom(x)<denom(y)));

$\left[\frac{5}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{7}\right]$

Bu yerda  $\left[\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{7}, \frac{5}{2}\right]$  ro'yxat elementlari kasr maxrajining denom() o'sish tartibida joylashtirildi.

> sort([2,4,7,-2,10], '>');  
[10, 7, 4, 2, -2]

Bu misolda berilgan ro'yxat elementlari „>“ qoidaga ko'ra kamayish tartibida joylashtirildi.

coeff buyrug'i ko'phadning o'zgaruvchilar darajasi oldidagi koeffitsiyentini aniqlab beradi. Buyruqning ko'rinishi:

coeff(<ko'phad>, <o'zgaruvchi>^<daraja>);



Misol.

>  $p := z^2 * 5 + a + b + z^2 * (a^2 + b) + x * 6 / 7;$

$$p := 5z^2 + a + b + z^2(a^2 + b) + \frac{6}{7}x$$

> **coeff(p, z^2);**

$$5 + a^2 + b$$

Buyruqning **lcoeff()** va **tcoeff()** ko'rinishlari mos ravishda o'zgaruvchining yuqori va quyi darajalari oldidagi koeffitsiyentini aniqlab beradi. **fcoeffs()** ko'rinishi esa ko'phadning barcha koeffitsiyentlarini (ko'phadda joylashgan tartibda) hosil qilib beradi.

**rhs()** va **lhs()** buyruqlari mos ravishda tenglamaning o'ng va chap qismlarini yoki biror intervalning yuqori va quyi chegarasini ajratib beradi.

Misol.

>  $u := \sin(x) + x^2 = \cos(x) - 1;$

$$u := \sin(x) + x^2 = \cos(x) - 1$$

> **rhs(u);**

$$\cos(x) - 1$$

> **lhs(u);**

$$\sin(x) + x^2$$

**numer()** va **denom()** buyruqlari mos ravishda kasrli ifodaning surat va maxrajini ajratadi.

Misol.

>  $u1 := (\sin(x) + x/y) / (\cos(x) / \sin(x) + 2);$

$$u1 := \frac{\sin(x) + \frac{x}{y}}{\frac{\cos(x)}{\sin(x)} + 2}$$

> **numer(u1);**

$$(\sin(x)y + x)\sin(x)$$

> **denom(u1);**

$y(\cos(x) + 2\sin(x))$

**Maple 6** tizimida ifodalarning tarkibi bir nechta pog'onadagi elementlardan iborat bo'lishi mumkin. Masalan,  $p = a \cdot \sin(\sqrt{x}) - b^2 \cdot \ln(x) - 5$  ifodasining tarkibini ko'raylik:

$a \sin(\sqrt{x})$ ,  $b^2 \ln(x)$ , 5 – birinchi pog'onadagi elementlar;

$a$ ,  $\sin(\sqrt{x})$ ,  $b^2$ ,  $\ln(x)$ , 5 – ikkinchi pog'onadagi elementlar;

$\sqrt{x}$ , 2,  $x$  – uchinchi pog'onadagi elementlar.

$x$  – to'rtinchi pog'onadagi element;

**nops()** buyrug'i ifodaning operandlari sonini aniqlaydi.

Misol.

> **p:=(a\*sin(sqrt(x))-b^2)\*ln(x)-5;**

$p := (a \sin(\sqrt{x}) - b^2) \ln(x) - 5$

> **nops(p);**

2

**op()** buyrug'i ifodalarning operandlarini ajratib beradi.

Misol.

> **op(p);**

$(a \sin(\sqrt{x}) - b^2) \ln(x), -5$

Buyruqning **op(n, <ifoda>)** ko'rinishi **<ifoda> n** operandini aniqlab beradi:

> **op(2,p);**

-5

**whattype()** buyrug'i ifodaning turini aniqlaydi. **?type** buyrug'i yordamida tizimdagi barcha turlar to'g'risida ma'lumot olish mumkin.

Misol.

```
> whattype(p);
```

```
+
```

**has(<ifoda>, <ifoda 1>)** mantiqiy funksiya **<ifoda 1> <ifoda>** ning qismi bo'lsa, **true**, aks holda **false** qiymat qabul qiladi. Agar [**<ifoda 1>, <ifoda 2>, ..., <ifoda n>**] larning birortasi **<ifoda>** ning qismi bo'lsa, **has(<ifoda>, [<ifoda 1>, <ifoda 2>, ..., <ifoda n>])** funksiya ko'rinishining qiymati **true** bo'ladi.

Misol.

```
> has(p,[z,y]); has(p,[z,y,-5]);
```

```
false
```

```
> has(x*exp(cos(x+2)),x+2);
```

```
true
```

```
> select(has,p,sin);
```

```
(a sin( $\sqrt{x}$ ) - b2) ln(x)
```

```
> remove(has,p,sin);
```

```
-5
```

**hastype** buyrug'i, berilgan ifodada ko'rsatilgan turdagi qisman ifoda mavjud bo'lsa, **true** qiymat, aks holda **false** qiymat beradi.

Misol.

```
> hastype(p,'symbol');
```

```
true
```

```
> select(hastype,p,'*');
```

```
(a sin( $\sqrt{x}$ ) - b2) ln(x)
```

Agar ifodadan ko'rsatilgan turdagi qisman ifodani ajratib olish kerak bo'lsa, **indents()** buyrug'i qo'llaniladi.

Misol.

```
> indents(p,'*');
```

```
indents(a sin( $\sqrt{x}$ ) - b2) ln(x) - 5,*
```

**specfunc(type, name)** buyrug'i ifodada **name** parametri bilan berilgan operatorli qisman ifodani ajratib beradi.

Misol.

> **DE:=expand(diff(sin(y(t))\*t^2,t));**

$$DE := \cos(y(t))\left(\frac{\partial}{\partial t} y(t)\right)t^2 + 2 \sin(y(t))t$$

> **select(hastype,DE,specfunc(anything,diff));**

$$\cos(y(t))\left(\frac{\partial}{\partial t} y(t)\right)t^2$$

Ba'zan ifoda funksiya, tenglama va h.k. larni qayta ishlash jarayonida o'zgaruvchilar va qisman ifodalarni boshqa ifodalar yoki o'zgaruvchilar bilan almashtirish ehtiyoji tug'iladi. Bunday almashtirishlarni **subs{}** buyrug'i yordamida amalga oshirish mumkin. Buyruqning umumiy ko'rinishi:

a) **subs(<almashtiriladigan qisman ifoda>=<qisman ifodaning yangi qiymati>, <ifoda>);**

b) **subs(s 1, s 2, ..., s n, <ifoda>)** kabi bo'ladi.

Bu yerda a) ko'rinishdagi buyruq **<ifoda>** dagi barcha **<almashtiriladigan qisman ifoda>** larni **<qisman ifodaning yangi qiymati>** bilan almashtiradi.

Misol.

> **ex:=cos(x)+cos(x)^(1/3);**

$$ex := \cos(x) + \cos(x)^{(1/3)}$$

> **subs(cos(x)=27, ex);**

$$27 + 27^{(1/3)}$$

> **simplify(%);**

30

Buyruqning b) ko'rinishida **s 1: <ifoda 1>=<ya ifoda 1>**, **s 2: <ifoda 2>=<ya ifoda 2>**, ..., **s n: <ifoda n>=<ya ifoda n>** kabi tengliklardir. Agar **<ifoda 1>** **<ifoda>**da mavjud bo'lsa,

<ifoda>dagi barcha <ifoda 1>lar <ya ifoda 1> bilan almashtiriladi. Hosil bo'lgan natijaviy ifodada <ifoda 2> mavjud bo'lsa, barcha <ifoda 2> lar <ya ifoda 2> bilan almashtiriladi va h.k. Agar  $s_1, s_2, \dots, s_n$  lar ro'yxat yoki to'plam ko'rinishida berilsa, almash-tirishlar faqat berilgan ifodaning o'zida bajariladi.

Misol.

> subs(x=y,y=x,[x,y]);

[x, x]

> subs({x=y,y=x},[x,y]);

[y, x]

## 8- §. Ifodani hisoblash buyrug'i

Maple 6 tizimida biror o'zgaruvchining qiymatini hisoblash uchun unga birorta qiymat ta'minlanganligi (berilganligi) tekshiriladi. Agar o'zgaruvchiga biror qiymat ta'minlangan va bu qiymatda noma'lum ishtirok etgan bo'lsa, ushbu noma'lumga ham oldin qiymat ta'minlanganligi tekshiriladi va h.k. Bu jarayon barcha o'zgaruvchilarning qiymati aniqlangunga qadar rekursiv davom etadi.

Misol.

> x:=y;

x:=y

> y:=z;

y:=z

> z:=5;

z:=5

> x;

5

O'zgaruvchining qiymatini hisoblashda, unga ta'minlangan ifodadagi noma'lumlarning qiymatini bosqichma-bosqich aniqlash jarayoni *hisoblash bosqichi* deyiladi. O'zgaruvchilar qiymatini hisoblashning oxirgi bosqichida bajariladigan buyruqning ko'rinishi

quyidagicha: **eval(<o'zgaruvchi>)**; Agar hisoblash **n**- bosqichgacha bajarilish kerak bo'lsa, **eval(<o'zgaruvchi>, n)**; ko'rinishdagi buyruq ishlatiladi.

Misollar:

> **eval(x)**;

5

> **eval(x,1)**;

y

> **eval(x,2)**;

z

> **eval(x,3)**;

5

Ba'zan o'zgaruvchilarga qiymat ta'minlangan bo'lsa ham, ularni parametr sifatida ishlatish maqsadida ta'minlangan qiymatini «inkor» etish maqsadli buyruqning **evaln(<o'zgaruvchi>)** ko'rinishi qo'llaniladi.

Misol.

> **x:=u**;

x:=u

> **x**;

u

> **evaln(x)**;

x

Agar o'zgaruvchining nomi ifodalarda, buyruqlarda yoki funksiyalarda **<o'zgaruvchi>** ko'rinishida ishlatilsa, u **evaln(<o'zgaruvchi>)** buyrug'iga ekvivalent vazifani bajaradi.

Misol.

> **sum(i^2, i=1..1)**;

# xato

> **sum(«i»^2, «i»=1..3)**;

14

Agar  $\langle \text{o'zgaruvchi} \rangle = \text{'ifoda'}$  buyrug'i bajarilsa, unga ta'minlangan oldingi qiymatlar o'chiriladi (o'zgaruvchi tozalanadi).

Misol.

```
> x:=1;
```

```
x:=1
```

```
> x;
```

```
1
```

```
> x:='x';
```

```
x:=x
```

```
> x;
```

```
x
```

```
> y:=1;
```

```
y:=1
```

```
> x:=y+1;
```

```
x:=2
```

```
> x:='y+1';
```

```
x:=y+1
```

**assigned**( $\langle \text{o'zgaruvchi} \rangle$ ) buyrug'i  $\langle \text{o'zgaruvchi} \rangle$ ga oldin qiymat ta'minlangan bo'lsa, **true**, aks holda **false** natijani beradi. Ba'zan ifodalarni unda ishtirok etgan noma'lumlarning biror qiymatida hisoblamoqchi bo'lsak, **eval**( $\langle \text{ifoda} \rangle$ ,  $\langle \text{o'zgaruvchi} \rangle = \langle \text{qiymat} \rangle$ ) ko'rinishidagi buyruqni ishlatish kerak.

Misol.

```
> g:=x^2+x+1;
```

```
g:=x2+x+1
```

```
> eval(g,x=1);
```

```
3
```

```
> g;
```

```
x2+x+1
```

Agar  $g$  ifodaning qiymatini  $\text{eval}()$  buyrug'ini ishlatmasdan,  $x$  o'zgaruvchining oshkor qiymati uchun hisoblasak, uning ifodasi yo'qoladi.

Misol.

>  $g:=x^2+x+1;$

$g:=x^2+x+1$

>  $x:=1;$

$x:=1$

>  $g;$

3

Ifodada ratsional kasrli miqdorlar bo'lsa, natijani o'nli kasr ko'rinishida hosil qilish uchun  $\text{evalf}(\langle \text{ifoda} \rangle); \text{evalf}(\langle \text{ifoda} \rangle, n);$  ko'rinishdagi buyruqlar ishlatiladi, bunda  $n$  parametr ko'rsatilsa, u hisoblashdagi aniqlik darajasini belgilaydi, ko'rsatilmasa, jimlik qoidasiga ko'ra aniqlik 10 xona bo'ladi.

Misol.

>  $\text{evalf}(\text{Pi});$

3.141592654

>  $\text{evalf}(3/4*x^2+1/3*x-\text{sqrt}(2),20);$

-.3308802290397617155

Bu buyruqlarning  $\text{evalb}()$  kompleks ifodalarni hisoblash,  $\text{evalhf}()$  suzuvchan vergul shaklda hisoblash,  $\text{evalm}()$  matritsalarini hisoblash,  $\text{evala}$  har xil turdagi miqdorlar ishtirok etgan ifodalarni hisoblash variantlari ham mavjud. Ushbu buyruqlar to'g'risida  $\text{?eval}$  buyrug'ini bajarib, ma'lumot olish mumkin.

## 9- §. Tenglama va tengsizliklarni yechish buyrug'i

Tenglama tushunchasi Maple 6 tizimida mustaqil  $\text{equation}$  (tenglama) turi sifatidagi ma'lumot bo'lib,  $\langle \text{ifoda 1} \rangle = \langle \text{ifoda 2} \rangle$  ko'rinishida hosil qilinadi. Tenglama ma'lumot sifatida talqin qilinganligi tufayli, uning ustida turli xil amallar bajarish mumkin.



Masalan, chap va o'ng qismlarini ajratib ólib, ular ustida oddiy ifodalar uchun qo'llanilgan barcha buyruqlarni bajarish mumkin.

Misol.

>  $g:=2*x^2+5=x+x^4$ ;

$g:=2x^2 + 5 = x + x^2$

> **whattype(g);**

=

>  $eq1:=\sin(x)+\cos(x)=\cos(x)^2$ ;

$eq1 := \sin(x) + \cos(x) = \cos(x)^2$

>  $eq1-(\cos(x)=\cos(x))$ ;

$\sin(x) = \cos(x)^2 - \cos(x)$

>  $eq1+(\cos(x)=\cos(x))$ ;

$\sin(x) + 2\cos(x) = \cos(x)^2 + \cos(x)$

Ikkita ifodani  $\geq$ ,  $\leq$ ,  $>$ ,  $<$  belgilari bilan birlashtirib, **inequation** (tengsizlik) turini hosil qilish mumkin.

Misol.

>  $f:=x>y$ ;

$f:=y < x$

>  $f-(z>4)$ ;

$y - z < x - 4$

>  $f-(z<4)$ ;

$y - 4 < x - z$

Tenglama va tengsizliklar yoki ularning sistemalarini analitik yechish uchun:

a) **solve(<tenglama>, <o'zgaruvchi>);**

b) **solve({<tenglama 1>, <tenglama 2>, ...}, {<o'zgaruvchi 1>, <o'zgaruvchi 2>, ...});** buyruqlari qo'llaniladi. a) ko'rinishdagi buyruq bitta tenglamani, b) ko'rinishdagi buyruq esa tenglamalar sistemasini yechadi. Bitta tenglamani yechish buyrug'ining natijasi yechim yoki yechimlar ketma-ketligi bo'ladi. Tenglamalar sistemasini yechadigan buyruqning natijasi yechimlar to'plami

ketma-ketligi bo'ladi. Agarda buyruqda o'zgaruvchi (o'zgaruvchilar) ko'rsatilmasa, u holda buyruq tenglamada qatnashgan barcha noma'lumlarga nisbatan yechimlarni beradi. Agarda <tenglama> o'rniga <ifoda> berilsa, u holda u <ifoda>=0 ko'rinishdagi tenglama deb qabul qilinadi.

Misol.

> eq:=x^2-2\*x+y^2=0;

eq:=x<sup>2</sup> - 2x + y<sup>2</sup> = 0

> solve(eq,x);

$1 + \sqrt{1 - y^2}, 1 - \sqrt{1 - y^2}$

> solve({eq},{x});

$\{x = 1 + \sqrt{1 - y^2}\}, \{x = 1 - \sqrt{1 - y^2}\}$

> eq1:=x+y=0;

eq1:=x + y = 0

> solve({eq,eq1},{x,y});

$\{y = 0, x = 0\}, \{x = 1, y = -1\}$

> solve(eq);

$\{y = \sqrt{-x^2 + 2x}, x = x\}, \{y = -\sqrt{-x^2 + 2x}, x = x\}$

Agar buyruq berilgan tenglama (tenglamalar sistemasi)ning yechimini aniqlay olmasa, bo'sh yechim belgisi NULL ni beradi. Umuman, darajasi to'rt dan yuqori bo'lgan tenglamalarning analitik yechimini topish qiyin bo'lganligi tufayli, **Maple 6** tizimi maxsus **RootOf()** funksiyasi yordamida tenglamaning ixtiyoriy yechimini belgilaydi.

Misol.

> eq:=x^5+x^3+1=0;

eq:=x<sup>5</sup> + x<sup>3</sup> + 1 = 0

```
> s:=solve(eq,x);
```

```
s := RootOf(_Z5 + _Z3 + 1, index = 1), RootOf(_Z5 + _Z3 + 1, index = 2),  
RootOf(_Z5 + _Z3 + 1, index = 3), RootOf(_Z5 + _Z3 + 1, index = 4),  
RootOf(_Z5 + _Z3 + 1, index = 5)
```

```
> evalf(s[1]);
```

```
.6366631068+.6647015651I
```

```
> solve(x=cos(x));
```

```
RootOf(_Z - cos(_Z))
```

Oxirgi buyruqning natijasi  $z - \cos(z) = 0$  tenglamaning ixtiyoriy yechimini ifodalaydi.  $_Z$  belgisi **Maple 6** tizimining hosil qilgan o'zgaruvchisi bo'lib,  $x$  ning o'rniga almashtirilgan. **Index** parametri yechimning nomerini ko'rsatadi.

Trigonometrik tenglamalarning yechimi  $[-\pi, \pi]$  oraliqda aniqlanadi. Umumiy yechimni aniqlash uchun buyruqni qo'llashdan oldin, tizimning **\_EnvAllSolution** o'zgaruvchisiga **true** qiymatini ta'minlash kerak.

Misol.

```
> eq:=sin(x)^2+2*sin(x)+1=0;
```

```
eq:=sin(x2) + 2sin(x) + 1 = 0
```

```
> s:=solve(eq,x);
```

```
s := - $\frac{1}{2}\pi$ 
```

```
> _Envallsolution:=true;
```

```
_EnvAllsolution:=true;
```

```
> s:=solve(eq,x);
```

```
s := - $\frac{1}{2}\pi$ 
```

**\_z1** – tizimning maxsus o'zgaruvchisi bo'lib, faqat butun qiymatlar qabul qiladi. Shuningdek, tizimda **\_NN** – musbat butun, **\_B** – ikkilik (0 yoki 1) qiymatlar qabul qiladigan maxsus o'zgaruvchilar mavjud. Tenglamalarni yechishni **eval()** yordamida tekshirish mumkin.

Misol.

```
> eqns:={x+2*y=3, y+1/x=1};
```

$$\text{eqns} := \left\{ x + 2y = 3, y + \frac{1}{x} = 1 \right\}$$

```
> sols:=solve(eqns,{x,y});
```

$$\text{sols} := \left\{ x = -1, y = 2 \right\}, \left\{ x = 2, y = \frac{1}{2} \right\}$$

```
> eval(eqns,sols[1]);
```

$$\{1 = 1, 3 = 3\}$$

```
> eval(eqns,sols[2]);
```

$$\{1 = 1, 3 = 3\}$$

Yechimlarni alohida ajratib ham ko'rsatish mumkin.

Misol.

```
> x1:=eval(x,sols[1]);
```

$$x1:=-1$$

```
> y1:=eval(y,sols[1]);
```

$$y1:=2$$

Tenglamaning yechimlari ko'p bo'lsa, **map()** va **subs()** buyruqlarini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Misol.

```
> map(subs,[sols],eqns);
```

$$\{\{1 = 1, 3 = 3\}, \{1 = 1, 3 = 3\}\}$$

**solve()** buyrug'ini tenglamalar soni noma'lumlar sonidan kam bo'lganda ham qo'llash mumkin, bunda yechimlar parametrik ko'rinishda hosil bo'ladi.

Misol.

```
> eqn1:=x+2*y+3*z+4*t=41;
```

$$\text{eqn1} := x + 2y + 3z + 4t = 41$$

```
> eqn2:=5*x+5*y+4*z+3*t=20;
```

```
eqn2 := 5x + 5y + 4z + 3t = 20
```

```
> sols:=solve({eqn1,eqn2});
```

```
sols := { y = 37 - 11/5 z - 17/5 t, x = -33 + 7/5 z + 14/5 t, z = z, t = t }
```

Bu holda tenglamani qanday noma'lumlarga nisbatan yechish kerakligini ko'rsatish ham mumkin.

Misol.

```
> sols1:=solve({eqn1,eqn2},{y,z});
```

```
sols1 := { y = -11/7 x - 104/7 + t, z = 5/7 x + 165/7 - 2t }
```

Endi yechimni **unapply()** buyrug'i yordamida ikki o'zgaruvchili funksiyaga aylantirib, o'zgaruvchilarning turli qiymatlari uchun xususiy yechimlarni aniqlasa bo'ladi.

Misol.

```
> y1:=unapply(y1,x,t);
```

```
y1:=(x, t)→y1
```

```
> y1(1,1);
```

```
y1
```

```
> z1:=unapply(eval(z,sols1),x,t);
```

```
z1 := (x, t) → 5/7 x + 165/7 - 2t
```

```
> z1(1,1);
```

```
156  
7
```

Tengsizlik yoki tengsizliklar sistemasini yechish uchun buyruqlarning qo'llanilishi ham tenglamalar uchun bo'lganidek amalga oshiriladi. Tengsizlik (tengsizliklar)ning yechimini chiqarish ikki xil bo'lishi mumkin. Agar tengsizlikning (tengsizliklar)ning o'zgaruvchisi {} qavsga olingan bo'lsa, yechim to'plam ko'rinishda beriladi.

Misol.

```
> solve((x+2)/(3-x)>2,{x});
```

$$\left\{ \frac{4}{3} < x, x < 3 \right\}$$

O'zgaruvchi(o'zgaruvchilar) {} qavsga olinmagan bo'lsa, yechim **RealRange()** va **Open()** funksiyalari yordamida chiqariladi.

Misol.

```
> solve((x+2)/(3-x)>2,x);
```

$$\text{RealRange}\left(\text{Open}\left(\frac{4}{3}\right), \text{Open}(3)\right)$$

```
> solve(x^2-5*x+6>=0,x);
```

```
RealRange(-∞, 2), RealRange(3, ∞)
```

Bu yerda **Open(a)** funksiyasi **a** chegaraviy nuqta oraliqqa tegishli emas degan ma'noni, **RealRange()** esa yopiq haqiqiy sonlar oralig'i degan ma'noni anglatadi.

## 10- §. Differensiallash va integrallash buyruqlari

**Maple 6** tizimida bir o'zgaruvchili yoki ko'p o'zgaruvchili analitik ifodalarning oddiy va xususiy hosilalarini hisoblash uchun **diff()** yoki **Diff()** buyruqlari mavjud. **Diff()** differensiallashning passiv buyrug'i hisoblanib, ifodaning hosilasini hisoblamasdan, uni matematik talqindagi yozuvini hosil qilish uchun qo'llaniladi. Bu buyruqning natijasini birorta o'zgaruvchiga ta'minlash mumkin va ehtiyoj tug'ilganda **value()** buyrug'i yordamida qiymatini hisoblash mumkin.

Misol.

```
> t:=Diff((sin(sqrt(x)))^2,x);
```

$$t := \frac{\partial}{\partial x} \sin(\sqrt{x})^2$$

> eval(t);

$$\frac{\partial}{\partial x} \sin(\sqrt{x})^2$$

Diff() buyrug'i differensiallash jarayoni bilan bog'liq ifodaning qanday hosil bo'lganligini namoyish qilishda juda qo'l keladi. Differensiallash buyrug'ining umumiy ko'rinishi quyidagicha:

diff(<ifoda>, <o'zgaruvchi 1>, <o'zgaruvchi 2>, ..., <o'zgaruvchi n>);  
diff(<ifoda>, [<o'zgaruvchi 1>, <o'zgaruvchi 2>, ..., <o'zgaruvchi n>]);

Bu buyruqlar <ifoda>ning <o'zgaruvchi 1>, <o'zgaruvchi 2>, ..., <o'zgaruvchi n> bo'yicha xususiy hosilasini hisoblaydi. Ifodaning yuqori tartibli hosilasini hisoblash uchun \$ amali qo'llaniladi.

M i s o l . t ifodadan x bo'yicha 4- tartibli xususiy hosila oladigan buyruq ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

> diff(t,x\$3);

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2} \cdot \frac{\cos(\sqrt{x})^2}{x^2} + \frac{1}{2} \frac{\sin(\sqrt{x})^2}{x^2} + \frac{3 \sin(\sqrt{x}) \cos(\sqrt{x})}{x^{(5/2)}} + \frac{15}{8} \frac{\cos(\sqrt{x})^2}{x^3} - \\ & -\frac{15}{8} \cdot \frac{\sin(\sqrt{x})^2}{x^3} - \frac{15}{8} \cdot \frac{\sin(\sqrt{x}) \cos(\sqrt{x})}{x^{(7/2)}} \end{aligned}$$

> f:=x^2\*sin(x)+sqrt(y)\*ln(cos(x));

$$f := x^2 \sin(x) + \sqrt{y} \ln(\cos(x))$$

> diff(f,x\$2,y);

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{y}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(x)^2}{\sqrt{y} \cos(x)^2}$$

> g:=Diff(f,y\$2);

$$g := \frac{\partial^2}{\partial y^2} (x^2 \sin(x) + \sqrt{y} \ln(\cos(x)))$$

> **g1:=sqrt(g);**

$$g1 := \sqrt{\frac{\partial^2}{\partial y^2} (x^2 \sin(x) + \sqrt{y} \ln(\cos(x)))}$$

> **value(g1);**

$$\sqrt{-\frac{1}{4} \cdot \frac{\ln(\cos(x))}{y^{(3/2)}}}$$

Ifodalarning ma'lum o'zgaruvchiga nisbatan aniqmas integralini topishni **int (<ifoda>, <o'zgaruvchi>)**; buyrug'i bajaradi. Aniq integralni esa **int(<ifoda>, <o'zgaruvchi>=a..b)**; ko'rinishdagi buyruq hisoblaydi, bu yerda **a** va **b** lar integrallash chegaralari bo'lib, analitik ko'rinishdagi ifoda bo'lishi ham mumkin.

**M I S O L.**

> **f:=a\*x^2\*sin(b\*x);**

$$f := ax^2 \sin(bx)$$

> **int(f,x);**

$$\frac{a(-b^2x^2 \cos(bx) + 2 \cos(bx) + 2bx \sin(bx))}{b^3}$$

> **int(f,x=0..1);**

$$\frac{a(b^2 \cos(b) - 2 \cos(b) - 2b \sin(b) + 2)}{b^3}$$

> **int(f,x=0..a);**

$$\frac{a(b^2 \cos(ba) - 2 \cos(ba) - 2b \sin(ba) + 2)}{b^3}$$

> **Int(f,x=0..Pi)=int(f,x=0..Pi);**

$$\int_0^{\pi} ax^2 \sin(bx) dx = \frac{a(-b^2\pi^2 \cos(b\pi) + 2 \cos(b\pi) + b^2\pi^2 - 2)}{b^3}$$



### 1-§. Dasturiy-instrumental vositaning maqsadi va vazifalari

Dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq qilish bo'yicha 1996–2002- yillar mobaynida Alisher Navoiy nomidagi Samarqand Davlat universitetining «Matematik modellashtirish» kafed-rasi qoshidagi «Matematik modellashtirish va mashinalar dinamikasi» muammoviy laboratoriyasida olib borilgan ilmiy izlanishlar natijasida AVTO dasturiy-instrumental vosita (DIV) yaratildi. DIVning maqsadi dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq yetish jarayonini avtomatlashtirishdan iborat [42–45, 48–50].

DIV yordamida quyidagilar amalga oshirildi:

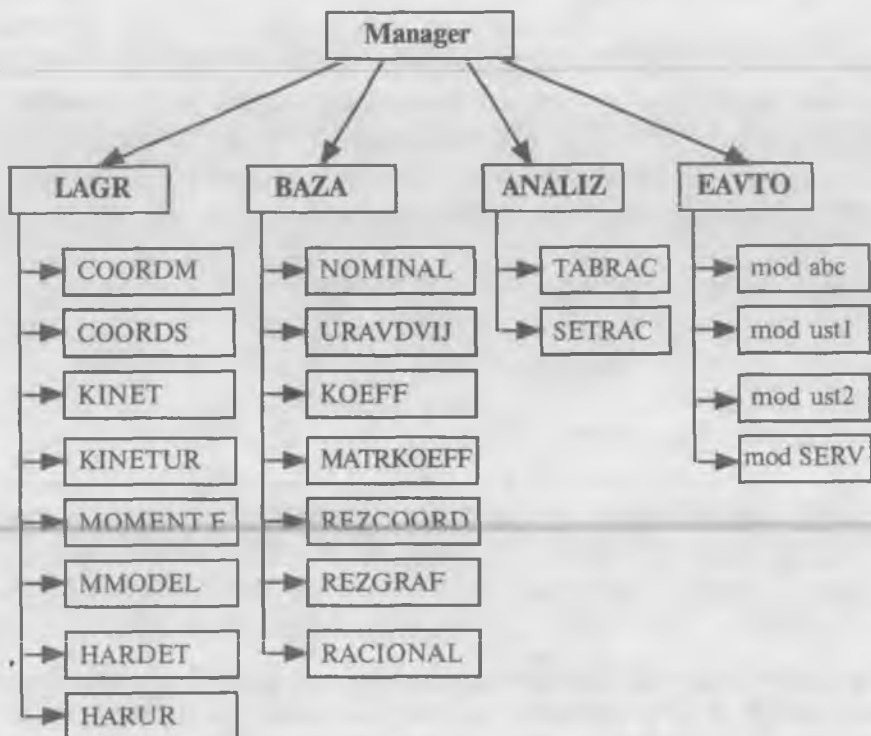
1) foydalanuvchiga muayyan masalaning shartlarini o'zining soha atamalari asosida EHMga kiritishni amalga oshirish uchun muloqot muhiti;

2) qo'yilgan masalaning matematik modelini keltirib chiqarish uchun muloqot muhitidan foydalanib, bilvosita EHMga qisman masalalar ketma-ketligini (3- bobning 2- § iga qarang) kiritish imkoniyati;

3) hosil qilingan matematik modelga asosan xarakteristik determinantni, xarakteristik tenglamani keltirib chiqarish va bu tenglama koeffitsiyentlarining qiymatlarini hisoblash;

4) hisoblash eksperimentini o'tkazish sxemasiga asosan (3- bobning 2- § iga qarang), turg'unlik sohasini qanday parametrlar tekisligida qurishni hamda qanday konstruktiv parametrlarning turg'unlik sohasining chegarasiga ta'sir etishini o'rganish kerakligini, konstruktiv parametrlarning nominal qiymatlar bazasini, tadqiqot uchun turg'unlik kriteriysini, turg'unlik sohasini (grafoanalitik yoki parametrlar tekisligiga shartli belgilarni bosish usulida) aniqlash va natijalar tahlilini izohlash (interval yoki grafik yordamida) usulini tanlash vositasi.

DIV 5 ta moduldan iborat bo'lib, uning funksional sxemasi 5.1- shaklda berilgan.



5.1- shakl.

**ANALIZ, BAZA, LAGR, EAVTO** modullari 3- bobda berilgan dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq qilishning asosiy g'oya va algoritmlarini ifodalovchi amaliy modullar kutubxonalari hisoblanadi. **DIV**ning amaliy modullariga murojaat qilish uchun **MANAGER** moduli yordamida boshqariladigan 5 ta opsiyadan iborat muloqot muhiti (interfeysi) yaratilgan.

## 2- §. Dasturiy-instrumental vositaning integrallashgan muhiti

Yagona inson—mashina tizimi tarkibida foydalanuvchining EHM bilan muloqotini ta'minlaydigan integrallashgan muhit uchun guruh vazifalarni bajarishi nazarda tutilgan:

– foydalanuvchiga, EHMga masalaning yechish dasturini bermasdan, faqat masalaning qo‘yilish shartini so‘rovlar asosida yoki menyularda ko‘rsatilgan vositalarni tanlash asosida berish ta‘minlangan. Bunda masalani bir necha bo‘lakka bo‘lib, yechish imkoniyati saqlanadi, bu esa masalani yechishning bilvosita yo‘lini oldindan ko‘rsatish imkoniyatini beradi;

– foydalanuvchiga o‘zining kasbiy sohasidagi atama va tushunchalarni ishlatib, masalani yechishning operatsion muhitini mustaqil tashkil qilish imkoniyatini beradi;

– foydalanuvchi uchun hisoblash texnikasi (HT) bilan masalani yechish jarayonida almashinayotgan axborotni ifodalashning tabiiy shakllari ta‘minlangan va bu almashinuvda foydalanuvchi muloqot tashkil etishning qulay usullarini tanlashi mumkin;

– foydalanuvchi muloqot qilish shaklini o‘zgartirishi, ya‘ni undagi mumkin bo‘lgan o‘zgarishlar tizimini «menyu» tipidagi muloqot yordamida yoki turli so‘rovlar asosida amalga oshirishi mumkin;

– foydalanuvchilar uchun muloqot jarayonida yo‘l qo‘yiladigan xatoliklarga izohlar olish maqsadida yordam tizimi yaratilgan.

Integrallashgan muhit (IC) 5 ta opsiyadan iborat bo‘lib, uning umumiy ko‘rinishi 5.2- shaklda aks ettirilgan.

«BAZA» – ma‘lumotlar bazasini tashkil qilish va ularni tahrir qilish muhitini yaratadi;



5.2- shakl.

«**ANALIZ**» – hisoblash eksperimenti natijalarini tahlil qilib, konstruktiv parametrlarning ratsional qiymatlari va ratsional turg'unlik sohasini aniqlaydigan modul bilan muloqot qilish muhitini yaratadi;

«**LAGRANG**» – kompyuter algebrasining **Maple 6** tizimi yordami bilan 3- bobning 2- § da ko'rsatilgan algoritm asosida masalaning matematik modelini hosil qiladigan modul bilan muloqot qilish muhitini yaratadi;

«**EAVTO**» – 3- bobning 3–11- § larida ko'rsatilgan algoritm va dasturlar asosida hisoblash eksperimentlarini o'tkazib, muayyan tizimning turg'unlik sohasini aniqlash muhitini yaratadi;

«**HELP**» – **DIV** ning tarkibiy qismlaridan foydalanish uchun yordam tizimini tashkil qiladi.

Opsiyalar yordamida amalga oshiriladigan vazifalar bevosita savol-javoblar tarzidagi muloqot sifatida yoki menyular yordamida namoyish qilinadi. Menyularning bandlari kursorni boshqarish tugmalari, funksional tugmachalar yoki opsiyaning bosh harfi ko'rsatilgan tugmachani bosish orqali faollashtiriladi.

### 3- §. Dasturiy-instrumental vosita ma'lumotlar bazasining tarkibiy qismlari

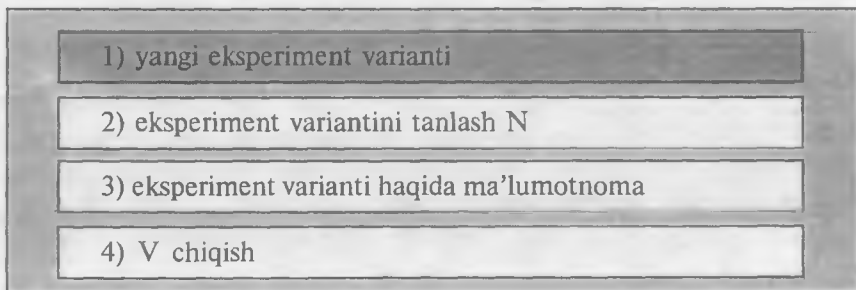
«**BAZA**» opsiyasi ma'lumotlar bazasidagi fayllarni tashkil qilish, ularga murojaat etish va tahrir qilishni amalga oshiruvchi dasturlarning ishini muvofiqlashtiradi va foydalanuvchilarga qulay muhit yaratadi. Ma'lumotlar bazasining tarkibi «**BAZA**» opsiyasi faollashtirilgandan keyin quyidagi bandlardan iborat menyu orqali namoyish qilinadi:

- 1) konstruktiv parametrlarning nominal qiymatlari (eksperiment varianti) – **EVI**;
- 2) o'tish matritsasi – **MP**;
- 3) massa markazlari koordinatalarining umumlashgan koordinatalar orqali ifodasi – **MU**;
- 4) massa markazlarining ilgarilama tezligi ifodasi – **MN**;
- 5) massa markazlariga nisbatan tizim tarkibiy qismlari aylanishining oniy burchak tezliklari ifodasi – **MOB**;
- 6) tizim tarkibiy qismlari kinetik energiyasining ifodasi – **KE**;

- 7) kinematik bog‘lanishlar tenglamalari – **KT**;
- 8) shina deformatsiyalanishi natijasida hosil bo‘ladigan umumlashgan kuchlarning ifodasi – **RJ**;
- 9) tizimga ta‘sir etuvchi tashqi umumlashgan kuchlarning ifodasi – **QJ**;
- 10) tizimning dinamik tenglamalari – **DT**;
- 11) tizimning matematik modeli – **MM**;
- 12) o‘zgarmas koeffitsiyentli **A, B, C** matritsalar ifodasi – **MK**;
- 13) xarakteristik determinantning ifodasi – **ABC**;
- 14) xarakteristik tenglama – **HT**;
- 15) xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining sonli qiymati – **KHU**;
- 16) asosiy nazariy tushunchalar – **KHT**.

Menyudagi kerakli bandni faollashtirib, quyidagilarni aniqlash mumkin:

**EVI** band faollashtirilganda konstruktiv parametrlarning nominal qiymatlari saqlanadigan fayl nomi (foydalanuvchi tomonidan qo‘yiladigan ixtiyoriy nom+eksperiment) so‘raladi. Fayl nomi kiritilgandan so‘ng, ushbu bandlardan iborat menyu paydo bo‘ladi (5.3- shakl):



5.3- shakl.

Bu menyu bandlari yordamida quyidagilarni amalga oshirish mumkin:

1) «yangi eksperiment varianti» bandi, konstruktiv parametrlarning bazada bo‘lmagan qiymatlarini kiritish kerak bo‘lsa, faollashtiriladi. Bu band faollashtirilganda ushbu menyu ekranda ko‘rinadi (5.4- rasm):

Konstruktiv parametrlarning qiymatini tahrirlash			
Enter – saqlash, Ese – chiqishi			
	boshi	qadam	oxirgi
1) g'il. gubch. va torm.bar-nlarining in-iy'a mom-u	0.1036	0.1036	0.1036
2) chap g'il. shinasining yon elastiklik koeff-ti	5000.0	5000.0	40000.0
3) o'ng g'il. shinasining yon elastiklik koeff-ti	10000.0	10000.0	10000.0
4) osma mas.mar.dan g'il.mas.mar.gacha bo'lgan ma-fa	4.2	4.2	4.2
.....	...	...	...

5.4- shakl.

Menyudagi konstruktiv parametrlar ro'yxatini (mos qiymatlari bilan birga) varaqlash (oldinga yoki orqaga) yoki tahrir qilish mumkin. Ushbu menyudan normal ravishda (**Enter** tugmachasi bosilsa) chiqilsa, (**N+1**)- eksperiment varianti hosil bo'ladi. Yangi eksperiment variantini saqlash kerakligi tasdiqlansa, bu variantga taalluqli ma'lumotnoma so'raladi. Ma'lumotnomaga turli alfavitlardagi matnni kiritish lozimligi uchun **Maple 6** muhitiga o'tiladi. **Maple 6** muhitida ma'lumotnoma matni kiritilib, ma'lumotlar bazasidagi (**N+1**)- eksperiment varianti nomiga turdosh nomda saqlanadi (masalan, **F10** 10 eksperiment faylining nomi bo'lsa, **S10** unga mos ma'lumotnoma faylining nomi bo'lishi kerak);

2) «**eksperiment variantini tanlash N**» bandi bazada mavjud eksperiment faylini tanlashdan iborat bo'lib, buning uchun uning nomi va nomeri **N** ni kiritish zarur. Tanlangan eksperiment variantini tahrir qilib, **N**-nomer bo'yicha yoki yangi nomer bilan saqlash mumkin;

3) «**eksperiment varianti haqida ma'lumotnoma**» bandida tekisligida turg'unlik sohasi aniqlanayotgan parametrlarning nomi, turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganilayotgan parametrlarning nomi, hisoblash eksperimentining maqsad va vazifalari to'g'risida ma'lumot beriladi.

Bundan tashqari, quyidagilar namoyish etiladi:

**MP-** band tanlanganda tizim qismlari massa markazlarining koordinatalarini umumlashgan koordinatalar orqali ifodalashda qo'llanilgan koordinatalar sistemalari va ularning biridan ikkinchisiga o'tishni ta'minlaydigan jadvallar;

**MU-** band tanlanganda tizim tarkibiy qismlarining massa markazini umumlashgan koordinatalar orqali ifodalangan ko'rinishi;

**MN-** band tanlanganda tizim massa markazlari tezligining umumlashgan koordinatalar orqali ifodalangan ko'rinishi;

**MOB-** band tanlanganda tizim tarkibiy qismlarining massa markazlariga nisbatan aylanishining oniy burchak tezligining umumlashgan koordinatalar orqali ifodalangan ko'rinishi;

**KE-** band tanlanganda tizim tarkibiy qismlari kinetik energiyasining ifodasi;

**KT-** band tanlanganda tizimning kinematik bog'lanishlar tenglamalari;

**RJ-** band tanlanganda shinning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'lgan umumlashgan kuchlarning ifodasi;

**QJ-** band tanlanganda tizimga ta'sir etuvchi tashqi umumlashgan kuchlarning ifodasi;

**DT-** band tanlanganda tizimning dinamik tenglamalari;

**MM-** band tanlanganda tizimning matematik modeli;

**MK-** band tanlanganda o'zgarmas koeffitsiyentli A, B, C matritsalar ifodasi;

**ABC-** band tanlanganda xarakteristik determinant;

**HT-** band tanlanganda xarakteristik tenglama;

**KHU-** band tanlanganda xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining sonli qiymatlari;

**KHT-** band tanlanganda asosiy nazariy tushunchalar matni.

#### **4- §. Dasturiy-instrumental vositaning ANALIZ moduli**

Dinamik tizimlarning harakatini tadqiq qilishda uning har xil konstruktiv parametrlarining turg'unlik sohasi chegarasiga ta'siri o'rganiladi. Buning uchun esa tadqiq qilinayotgan parametrlarning qiymati tadqiqotchi tomonidan tanlangan qiymatlar sohasida

o'zgartirilib, hisoblash eksperimentlari o'tkaziladi. Hisoblash eksperimentlari natijasi tahlil qilinib, tadqiq qilinayotgan parametrlarning ratsional qiymati va tizimning ratsional turg'unlik sohasi aniqlanadi.

**1- ta'rif.** Agar turg'unlik sohasining chegarasiga ta'siri o'rganilayotgan  $x_i$  parametrning ( $i = 1 \div k$ ,  $k$  – konstruktiv parametrlar soni) biror  $[a, b]$  oraliqdagi ixtiyoriy  $x_i^*$  qiymati uchun tizimning harakati turg'un bo'lsa,  $(\tau, \nu)$  parametrlar tekisligida aniqlangan turg'unlik sohasi *ratsional* deyiladi. Konstruktiv parametrning ratsional turg'unlik sohasiga mos qiymati *ratsional qiymat* deyiladi.

**ANALIZ** moduli hisoblash eksperimenti natijalarini tahlil qilib, konstruktiv parametrlarning ratsional qiymatlarini va ratsional turg'unlik sohasini aniqlaydi. Modul asosiy amallarni bajaradigan **TABRAC**, **SETRAC** protseduralari va **TURBO PASCAL** dasturlash tizimidagi ba'zi standart protseduralardan tashkil topgan.

**TABRAC** protsedurasi **MB** da saqlanadigan turg'unlik sohasining chegarasiga ta'siri o'rganilayotgan parametrlarning har xil qiymatlari uchun  $(\tau, \nu)$  parametrlar tekisligida aniqlangan turg'unlik sohasini tahlil qilib, ratsional turg'unlik sohasiga mos absissa va ordinatalarning chegarasini aniqlaydi.

Protседuraga murojaat **TABRAC(Fn, W1, W2)**; ko'rinishda bo'lib, bunda:

**Fn** – **MB** dagi  $n$ - eksperiment variantiga mos turg'unlik sohalari yozilgan faylning nomi;

**W1** – ratsional turg'unlik sohasining ordinata bo'yicha maksimal qiymati;

**W2** – ratsional turg'unlik sohasining absissa bo'yicha maksimal qiymati.

Protседuraning natijasi **Fn+'O'** nom bilan **MB** ga yoziladi.

**SETRAC** protsedurasi **Optim** protsedurasining natijasiga asosan o'rganilayotgan parametrlarning ratsional qiymatlar sohasini aniqlaydi.

Protседuraga murojaat **SETRAC(Rn, ST, Vmax, Vmin)**; ko'rinishda bo'lib, bunda:

**Rn** – **TABRAC** protsedurasining natijasi;



**ST** – tadqiq qilinayotgan parametrlarning nomlari ( $ST(p+2) - 1$  o'lchamli vektor);

**Vmax** – tadqiq qilinayotgan parametrlar ratsional qiymatlari sohasining yuqori chegarasi;

**Vmin** – tadqiq qilinayotgan parametrlar ratsional qiymatlari sohasining quyi chegarasi.

## 5- §. Dasturiy-instrumental vositaning LAGR moduli

Dinamik tizimlar harakatining turg'unligini tadqiq qilish uchun 3- bobning 1- § ida berilgan algoritmgga asoslangan **LAGR** moduli yordamida muayyan masalaning matematik modelini keltirib chiqarish mumkin.

**LAGR** moduli kompyuter algebrasining **MAPLE 6** muhitida yaratilgan va 8 ta protsedura: **COORDM**, **COORDS**, **KINET**, **KINETUR**, **MOMENTF**, **MMODEL**, **HARDET**, **HARUR** lardan tashkil topgan bo'lib, 3- bobning 2- § ida ko'rsatilgan algoritm asosida masalaning matematik modelini keltirib chiqarishni ta'minlaydi.

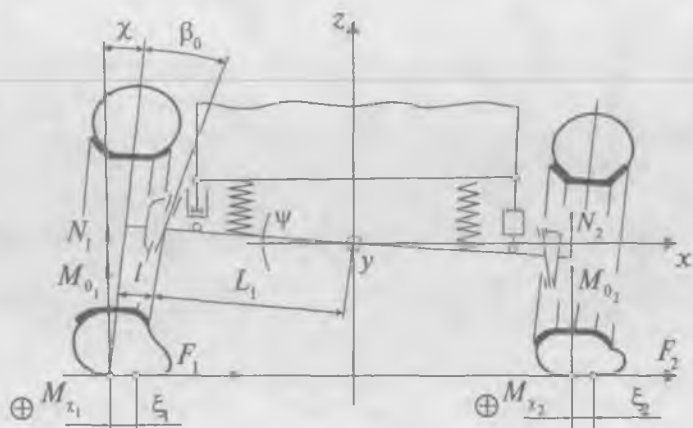
**COORDM** protsedurasi qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas ( $\Sigma_1$ ,  $\Sigma_2$ ,  $\Sigma_3$ ,  $\Sigma_4$ ,  $\Sigma_5$ ) koordinatalar sistemasini kiritib, o'tish matritsalarini yordamida bir koordinata sistemasidan boshqasiga o'tishni amalga oshiradi.

**COORDS** protsedurasi tizimni tashkil qiluvchilarining massa markazlarini umumlashgan koordinatalar orqali ifodalashni amalga oshiradi.

**KINET** protsedurasi tizimni tashkil qiluvchi qismlarining massa markazlariga nisbatan aylanishining oniy burchak tezliklarini, massa markazlarining ilgari lama harakat tezligini, tizimni tashkil qiluvchi qismlarining kinetik energiyasi ifodasini hosil qiladi.

**KINETUR** protsedurasi shinali g'ildirakning sirpanishsiz dumalashining sharti bo'lgan kinematik bog'lanishlar tenglamasini hosil qiladi.

**MOMENTF** protsedurasi shinalarning deformatsiyalanishi tufayli g'ildiraklarga ta'sir etuvchi umumlashgan reaksiya kuchlari va momentlarining ifodasini hosil qiladi.



5.5- shakl.

**MMODEL** protsedurasi tizimning dinamik tenglamalarini hosil qiladi hamda ularni kinematik bog‘lanishlar tenglamasi bilan birlashtirib va tegishli almashtirishlarni bajarib, nisbatan sodda holga keltiradi.

**HARDET** protsedurasi tizimning matematik modeliga asosan o‘zgarmas koeffitsiyentli matritsalarini hamda xarakteristik determinantni hosil qiladi.

**HARUR** protsedurasi tizimning xarakteristik determinantiga asosan uning xarakteristik tenglamasini hosil qiladi. Konstruktiv parametrlarning turli xil qiymatlari uchun xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining son qiymatli ifodasini aniqlaydi.

Endi **LAGR** modulining ishlash jarayonini muayyan masalaning matematik modelini keltirib chiqarish orqali namoyish qilamiz.

Oldingi osma (podveska), boshqariladigan g‘ildiraklar va boshqarish rulidan iborat dinamik tizim (avtomobil) harakatining matematik modelini keltirib chiqarish kerak bo‘lsin (5.5- shakl).

### 5.1. Masalaning shartlari.

1) Oldingi osmaning massa markazi g‘ildiraklarga nisbatan bir xil masofada joylashgan;

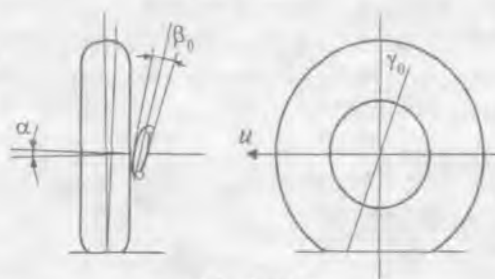
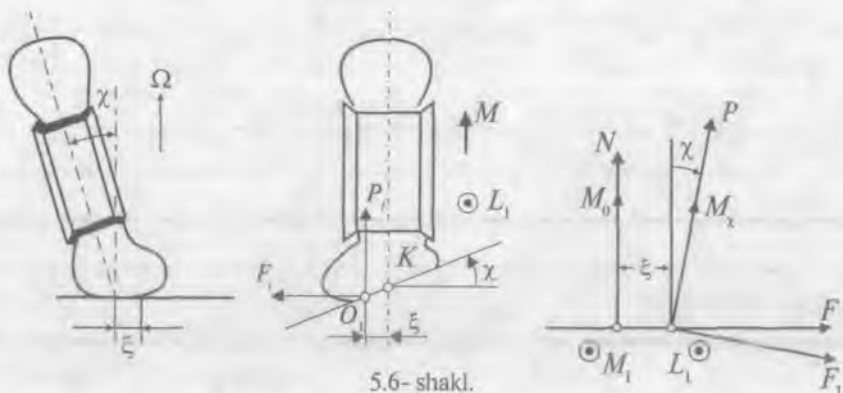
2) g‘ildiraklar dinamik balanslangan, ularning o‘rta tekisligi hamisha parallel;

3) shkvorenlarning o'qlari vertikal tekislikka nisbatan ham yon tekislik, ham ko'ndalang tekisliklar bo'yicha kichik burchak ostida o'rnatilgan. Agar shkvoren o'qining ustki qismi koleya (qarama-qarshi g'ildiraklarning massa markazlari orasidagi masofa)ning ichki tomoniga siljigan bo'lsa, uning ko'ndalang og'ish burchagi  $\beta_0$  musbat hisoblanadi, shkvoren o'qining ustki qismi orqaga siljigan holati uning bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  ning musbat qiymati deb hisoblanadi (5.6- shakl);

4) tizim o'zgarmas  $V$  tezlik bilan tekis yo'lda to'g'ri chiziqli harakat qiladi;

5) g'ildirak tekislikda sirpanishsiz dumalaydi;

6) g'ildirakning shinasasi (pnevmatikasi) elastiklik xususiyatiga ega. Shina avtomobilning harakati davomida deformatsiyalanadi. Bu deformatsiyalardan uchtasi hisobga olinadi:  $\xi$  – yon deformatsiya,  $\varphi$  – burilish burchak deformatsiyasi,  $\chi$  – vertikal o'qqa nisbatan og'ish burchagi (5.7- shaklga qarang);



7) harakat davomida oldingi osmaga bo'lgan  $2N$  vertikal yuklama o'zgaras bo'ladi;

8) avtomobilning kuzovi tebranma harakat qilmaydi, deb hisoblanadi;

9) g'ildiraklar boshqarish rulining mexanizmlari orqali biri-biri bilan qattiq bog'langan, ular bir vaqtda shkvoren o'qlari atrofida bir xil  $\theta$  burchakka buriladi deb hisoblanadi;

10)  $\xi$ ,  $\varphi$ ,  $\chi$  deformatsiyalar miqdori yetarlicha kichik deb hisoblanadi;

11)  $\gamma_0$ ,  $\beta_0$  burchaklarning qiymatlari ham yetarlicha kichik deb qaraladi.

**5.2. Tizimning umumlashgan koordinatalari.** Tizimning holatini uning massa markaziga nisbatan ikki burchak orqali aniqlaymiz:

1)  $\psi$  — oldingi o'qning g'ildiraklar bilan birgalikda tizim massa markazidan o'tadigan bo'ylama o'q atrofidagi burilish burchagi; uning musbat qiymati, avtomobil yurishi bo'yicha qaralganda, o'qning gorizontal holatidan soat strelkasi harakati yo'nalishi bo'yicha burilishi hisoblanadi;

2)  $\theta$  — g'ildiraklarning shkvoren o'qlari atrofidagi burilish burchagi; g'ildiraklarning chapga burilishi bilan  $\theta$  ning musbat yo'nalishi mos keladi; g'ildiraklar o'zaro qattiq bog'langanligi uchun shkvoren o'qlari atrofida bir vaqtning o'zida bir xil  $\theta$  burchakka buriladi.

$\psi$  va  $\theta$  burchaklardan tashqari shinalar deformatsiyalarining parametrlari ham tizimning umumlashgan koordinatalari bo'ladi;

3)  $\xi_1$  — chap g'ildirak shinasining yon deformatsiyasi;

4)  $\xi_2$  — o'ng g'ildirak shinasining yon deformatsiyasi;

5)  $\varphi_1$  — chap g'ildirak shinasining burilish burchak deformatsiyasi;

6)  $\varphi_2$  — o'ng g'ildirak shinasining burilish burchak deformatsiyasi.

Shunday qilib, tizimning holati oltita umumlashgan koordinata bilan aniqlanadi:  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ .

**5.3. Tizimning parametrlari.** Tizimning konstruktiv parametrlarini quyidagicha nomlab chiqamiz:

$m$  — g'ildirak bilan gubchak (stupitsa)ning massasi;

$l$  – shkvoren o‘qining markazidan g‘ildirak markazigacha bo‘lgan masofa;

$L_1$  – osmaning massa markazidan shkvoren o‘qining markazigacha bo‘lgan masofa;

$A$  – g‘ildirak, gubchak va tormoz barabanlarining g‘ildirak diametriga nisbatan inersiya momenti;

$C$  – g‘ildirakning aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti;

$B_1$  – oldingi o‘qning markaziy inersiya momenti;

$r$  – g‘ildirakning dumalanish radiusi;

$\omega$  – g‘ildirak aylanishining burchak tezligi;

$L$  – osmaning massa markazidan g‘ildirakning massa markazigacha bo‘lgan masofa, ya’ni  $L = L_1 + l$ ;

$\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  – chap g‘ildirak shinasining kinematik parametrlari;

$a_1$  – chap g‘ildirak shinasining yon qattqlik koeffitsiyenti;

$b_1$  – chap g‘ildirak shinasining burchak qattqlik koeffitsiyenti;

$\sigma_1, \rho_1$  – chap g‘ildirak shinasining elastiklik koeffitsiyentlari;

$\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$  – o‘ng g‘ildirak shinasining kinematik parametrlari;

$a_2$  – o‘ng g‘ildirak shinasining yon qattqlik koeffitsiyenti;

$b_2$  – o‘ng g‘ildirak shinasining burchak qattqlik koeffitsiyenti;

$\sigma_2, \rho_2$  – o‘ng g‘ildirak shinasining elastiklik koeffitsiyentlari;

$V$  – tizim massa markazining bo‘ylama o‘q b‘o‘yicha tezligi;

$\eta_1$  – chap g‘ildirak shinasining yonga qochish (uvod) koeffitsiyenti;

$\eta_2$  – o‘ng g‘ildirak shinasining yonga qochish (uvod) koeffitsiyenti;

$C_{rs}$  – resorning elastiklik koeffitsiyenti;

$\gamma_0$  – shkvoren o‘qining bo‘ylama og‘ish burchagi;

$C_{sh}$  – shinaning radial elastiklik koeffitsiyenti;

$h_a$  – amortizatorning qovushqoqlik koeffitsiyenti;

$h_{rs}$  – resorning ichki qarshilik koeffitsiyenti;

$h_s$  – boshqarish rulidagi sterjen qurilmasining qovushqoqlik koeffitsiyenti;

$h_{sh}$  – shinaning ichki qarshilik koeffitsiyenti;

$h_1$  –  $\psi$  umumlashgan koordinatasi bo‘yicha qovushqoqlik koeffitsiyenti;

$h_2$  – boshqarish ruli tizimining qovushqoqlik koeffitsiyenti;

$K'_1$  – boshqarish rulidagi sterjen qurilmasining burchak elastiklik koeffitsiyenti;

$K_2$  – boshqarish ruli tizimining elastiklik koeffitsiyenti;

$L_a$  – chap va o'ng amortizatorlar orasidagi masofa;

$L_{rs}$  – chap va o'ng reszorlar orasidagi masofa;

$h_{asi}$  – amortizator ichidagi suyuqlikning qisilishiga qarshilik koeffitsiyenti;

$h_{aom}$  – amortizator ichidagi suyuqlikning kengayishiga qarshilik koeffitsiyenti;

$J_1 = 2(A + mL^2) + B_1$  – tizimning massa markazidan o'tuvchi bo'ylama o'q bo'yicha inersiya momenti;

$J_2 = 2(A + mL^2) - g$  – g'ildirak, gubchak va tormoz barabanlarining shkvoren o'qi bo'yicha inersiya momenti;

$J_3 = 2(A + m_1L)$  – inersiya momenti o'lchovida hisoblanadigan miqdor;

$K_1 = K'_1 + C_{rs}L_{rs}^2/2 + 2C_{sh}L^2$  – umumlashgan  $\psi$  koordinata bo'yicha elastiklik koeffitsiyenti;

$m_1$  – oldingi osmaning massasi;

$h_a = (h_{asi} + h_{aom})L_a^2/2$ ,  $h_1 = 2h_{sh}L^2 + h_{rs}L_{rs}^2/2 + h_a + h_s$ ,  $n = 2(ar + \sigma N)$ ,  $B = 2b$ ,  $n_1 = 2N(\sigma r + \rho)$ ,  $C_0 = 2C/r$ .

**5.4. LAGR modulining COORDM protsedurasi.** Qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas ( $\Sigma$ ,  $\Sigma_1$ ,  $\Sigma_2$ ,  $\Sigma_3$ ,  $\Sigma_4$ ) koordinatalar sistemalarining biridan ikkinchisiga o'tish uchun **COORDM** protsedurasi yordamida o'tish matritsalarini hosil qilinadi. **Maple 6** tizimida matritsalarini hosil qiladigan asosiy buyruqlar ketma-ketligi quyidagilardan iborat:

> with(linalg):

```
AA1:=array([[cos(psi(t)),0,sin(psi(t))],[0,1,0],[-sin(psi(t)),0,cos(psi(t))]]);
```

```
BB1:=array([[cos(psi(t)),0,sin(psi(t))],[0,1,0],[-sin(psi(t)),0,cos(psi(t))]]);
```

```
AA2:=array([[cos(beta0),0,sin(beta0)],[sin(beta0)*sin(gamma0),cos(gamma0),-sin(gamma0)*cos(beta0)],[-sin(beta0)*cos(gamma0),sin(gamma0),cos(beta0)*cos(gamma0)]]);
```

```

BB2:=array([[cos(beta0),0,-sin(beta0)],[-sin(beta0)*sin(gamma0),
cos(gamma0),-sin(gamma0)*cos(beta0)],[sin(beta0)*cos(gamma0),
sin(gamma0),cos(beta0)*cos(gamma0)]]);
for i from 1 to 3 do
  for j from 1 to 3 do
    AA2[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, AA2[i,j]);
    AA2[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, AA2[i,j]);
    AA2[i,j]:=subs(sin(gamma0)=gamma0, AA2[i,j]);
    AA2[i,j]:=subs(cos(gamma0)=1, AA2[i,j]);
    BB2[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, BB2[i,j]);
    BB2[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, BB2[i,j]);
    BB2[i,j]:=subs(sin(gamma0)=gamma0, BB2[i,j]);
    BB2[i,j]:=subs(cos(gamma0)=1, BB2[i,j]);
  od
od:
AA2:=eval(AA2);
BB2:=eval(BB2);
AA3:=array([[cos(theta(t)),-sin(theta(t)),0],[sin(theta(t)),
cos(theta(t)),0],[0,0,1]]);
BB3:=array([[cos(theta(t)),-sin(theta(t)),0],[sin(theta(t)),
cos(theta(t)),0],[0,0,1]]);
AA4:=array([[cos(beta0),0,-sin(beta0)],[0,1,0],[sin(beta0),0,
cos(beta0)]]);
BB4:=array([[cos(beta0),0,sin(beta0)],[0,1,0],[sin(beta0),0,
cos(beta0)]]);
for i from 1 to 3 do
  for j from 1 to 3 do
    AA4[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, AA4[i,j]);
    AA4[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, AA4[i,j]);
    BB4[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, BB4[i,j]);
    BB4[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, BB4[i,j]);
  od
od:
AA4:=eval(AA4);
BB4:=eval(BB4);

```

Natijada ushbu matritsalar hosil bo'ladi:

$$AA1 := \begin{bmatrix} \cos(\psi(t)) & 0 & \sin(\psi(t)) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\psi(t)) & 0 & \cos(\psi(t)) \end{bmatrix}$$

$$BB1 := \begin{bmatrix} \cos(\psi(t)) & 0 & \sin(\psi(t)) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\psi(t)) & 0 & \cos(\psi(t)) \end{bmatrix}$$

$$AA2 := \begin{bmatrix} \cos(\beta_0) & 0 & \sin(\beta_0) \\ \sin(\beta_0) \sin(\gamma_0) & \cos(\gamma_0) & -\sin(\gamma_0) \cos(\beta_0) \\ -\sin(\beta_0) \cos(\gamma_0) & \sin(\gamma_0) & \cos(\beta_0) \cos(\gamma_0) \end{bmatrix}$$

$$BB2 := \begin{bmatrix} \cos(\beta_0) & 0 & -\sin(\beta_0) \\ -\sin(\beta_0) \sin(\gamma_0) & \cos(\gamma_0) & -\sin(\gamma_0) \cos(\beta_0) \\ \sin(\beta_0) \cos(\gamma_0) & \sin(\gamma_0) & \cos(\beta_0) \cos(\gamma_0) \end{bmatrix}$$

$$AA2 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & \beta_0 \\ \beta_0 \gamma_0 & 1 & -\gamma_0 \\ -\beta_0 & \gamma_0 & 1 \end{bmatrix}, \quad BB2 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\beta_0 \\ -\beta_0 \gamma_0 & 1 & -\gamma_0 \\ \beta_0 & \gamma_0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$AA3 := \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & -\sin(\theta(t)) & 0 \\ \sin(\theta(t)) & \cos(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$BB3 := \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & -\sin(\theta(t)) & 0 \\ \sin(\theta(t)) & \cos(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$$AA4 := \begin{bmatrix} \cos(\beta_0) & 0 & -\sin(\beta_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta_0) & 0 & \cos(\beta_0) \end{bmatrix}$$

$$BB4 := \begin{bmatrix} \cos(\beta_0) & 0 & \sin(\beta_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta_0) & 0 & \cos(\beta_0) \end{bmatrix} \quad (5.5.1)$$

Bu yerda AA1, AA2, AA3, AA4 (BB1, BB2, BB3, BB4) matritsalar  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$  koordinatalar sistemasi o'qlari orasidagi burchak kosinuslarini ifodalovchi matritsalaridir. AA2, AA4 (BB2, BB4) matritsalarining so'nggi ko'rinishida  $\beta_0, \gamma_0$  kichik burchaklarni 1- tartib aniqligida hisobga olish uchun  $\sin(\beta_0) = \beta_0$ ,  $\sin(\gamma_0) = \gamma_0$  va  $\cos(\gamma_0) = 1$ ,  $\cos(\beta_0) = 1$  almashtirishlar bajarilgan.

**5.5. LAGR modulining COORDS protsedurasi. COORDS** protsedurasi yordamida tizim tarkibiy qismlari massa markazlari koordinatalarining umumlashgan koordinatalar orqali ifodalari aniqlanadi. Protsecuraning asosiy buyruqlari:

```
AA:=multiply(AA1,AA2,AA3,AA4);
BB:=multiply(BB1,BB2,BB3,BB4);
> for i from 1 to 3 do
  for j from 1 to 3 do
    AA[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, AA[i,j]);
    AA[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, AA[i,j]);
    BB[i,j]:=subs(cos(beta0)=1, BB[i,j]);
    BB[i,j]:=subs(sin(beta0)=beta0, BB[i,j]);
    AA[i,j]:=subs(cos(gamma0)=1, AA[i,j]);
    AA[i,j]:=subs(sin(gamma0)=gamma0, AA[i,j]);
    BB[i,j]:=subs(cos(gamma0)=1, BB[i,j]);
    BB[i,j]:=subs(sin(gamma0)=gamma0, BB[i,j]);
  od
od:
> AA:=eval(AA);
BB:=eval(BB);
```

AA :=

$$\begin{aligned} & [(\cos(\psi(t)) - \sin(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \\ & + \cos(\psi(t))\beta_0 + \sin(\psi(t))\beta_0], \\ & - (\cos(\psi(t)) - \sin(\psi(t))\beta_0) \sin(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \cos(\theta(t)), \\ & - ((\cos(\psi(t)) - \sin(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)))\beta_0 + \\ & + \cos(\psi(t))\beta_0 + \sin(\psi(t))], \\ & [\beta_0\gamma_0 \cos(\theta(t)) + \sin(\theta(t)) - \beta_0\gamma_0, -\beta_0\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \cos(\theta(t)), \\ & - (\beta_0\gamma_0 \cos(\theta(t)) + \sin(\theta(t))\beta_0 - \gamma_0], \\ & [(-\sin(\psi(t)) - \cos(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \\ & + (\cos(\psi(t)) - \sin(\psi(t))\beta_0)\beta_0, \\ & - (-\sin(\psi(t)) - \cos(\psi(t))\beta_0) \sin(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \cos(\theta(t)), \\ & - ((-\sin(\psi(t)) - \cos(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)))\beta_0 + \\ & + \cos(\psi(t)) - \sin(\psi(t))\beta_0]; \end{aligned}$$

BB :=

$$\begin{aligned} & [(\cos(\psi(t)) + \sin(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \\ & + (-\cos(\psi(t))\beta_0 + \sin(\psi(t))\beta_0), \\ & - (\cos(\psi(t)) + \sin(\psi(t))\beta_0) \sin(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \cos(\theta(t)), \\ & ((\cos(\psi(t)) + \sin(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \sin(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)))\beta_0 - \\ & - \cos(\psi(t))\beta_0 + \sin(\psi(t))], \\ & [-\beta_0\gamma_0 \cos(\theta(t)) + \sin(\theta(t)) - \beta_0\gamma_0, \beta_0\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \cos(\theta(t)), \\ & (-\beta_0\gamma_0 \cos(\theta(t)) + \sin(\theta(t))\beta_0 - \gamma_0], \\ & [(-\sin(\psi(t)) + \cos(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)) + \\ & + (\cos(\psi(t)) + \sin(\psi(t))\beta_0)\beta_0, \\ & - (-\sin(\psi(t)) + \cos(\psi(t))\beta_0) \sin(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \cos(\theta(t)), \\ & ((-\sin(\psi(t)) + \cos(\psi(t))\beta_0) \cos(\theta(t)) + \cos(\psi(t))\gamma_0 \sin(\theta(t)))\beta_0 + \\ & + \cos(\psi(t)) + \sin(\psi(t))\beta_0] \end{aligned}$$

```
> x[o](t):=-L1*cos(psi(t));  
x[o](t):=subs(cos(psi(t))=1,x[o](t));  
y[o](t):=0;
```

$z[o](t) := L1 * \sin(\psi(t));$   
 $z[o](t) := \text{subs}(\sin(\psi(t)) = \psi(t), z[o](t));$

$x_0(t) := -L1$

$y_0(t) := 0$

$z_0(t) := L1\psi(t)$

$> x[11](t) := -(L1 + l * \cos(\theta(t))) * \cos(\psi(t)) - l * (\beta_0 - \beta_0 * \cos(\theta(t)) + \gamma_0 * \sin(\theta(t))) * \sin(\psi(t));$

$x[11](t) := \text{subs}(\cos(\psi(t)) = 1, \cos(\theta(t)) = 1, \sin(\psi(t)) = \psi(t), \sin(\theta(t)) = \theta(t), x[11](t));$

$y[11](t) := -l * \sin(\theta(t));$

$y[11](t) := \text{subs}(\sin(\theta(t)) = \theta(t), y[11](t));$

$z[11](t) := (L1 + l * \cos(\theta(t))) * \sin(\psi(t)) - l * (\beta_0 - \beta_0 * \cos(\theta(t)) + \gamma_0 * \sin(\theta(t))) * \cos(\psi(t));$

$z[11](t) := \text{subs}(\cos(\psi(t)) = 1, \cos(\theta(t)) = 1, \sin(\psi(t)) = \psi(t), \sin(\theta(t)) = \theta(t), z[11](t));$

$x[21](t) := \text{subs}(l = -l, L1 = -L1, \beta_0 = -\beta_0, x[11](t));$

$y[21](t) := \text{subs}(l = -l, L1 = -L1, \beta_0 = -\beta_0, y[11](t));$

$z[21](t) := \text{subs}(l = -l, L1 = -L1, \beta_0 = -\beta_0, z[11](t));$

$x_{11}(t) := -L1 - l - l \gamma_0 \theta(t) \psi(t)$

$y_{11}(t) := -l \theta(t)$

$z_{11}(t) := (L1 + l) \psi(t) - l \gamma_0 \theta(t)$

$x_{21}(t) := L1 + l + l \gamma_0 \theta(t) \psi(t)$

$y_{21}(t) := l \theta(t)$

$z_{21}(t) := (-L1 - l) \psi(t) + l \gamma_0 \theta(t)$

$> \text{chi}[1](t) := -AA[3,1]:$

$\text{chi}[1](t) := \text{subs}(\sin(\psi(t)) = \psi(t), \sin(\theta(t)) = \theta(t), \cos(\psi(t)) = 1, \cos(\theta(t)) = 1, \text{chi}[1](t));$

$\text{chi}[1](t) := \text{expand}(\text{chi}[1](t));$

$\text{chi}[1](t) := \text{subs}(\beta_0^2 = 0, \psi(t) * \theta(t) = 0, \text{chi}[1](t));$

$\theta[1](t) := \theta(t);$

$\text{chi}[2](t) := \text{chi}[1](t); \text{chi}(t) := \text{chi}[1](t);$

$$\theta_2(t) := \theta_1(t); \theta(t) := \theta_1(t);$$

$$\begin{aligned} \chi_1(t) &:= \psi(t) - \gamma_0 \theta(t) \\ \theta_1(t) &:= \theta(t) \\ \chi_2(t) &:= \psi(t) - \gamma_0 \theta(t) \\ \chi(t) &:= \psi(t) - \gamma_0 \theta(t) \\ \theta_2(t) &:= \theta(t) \\ \theta(t) &:= \theta(t); \end{aligned} \tag{5.5.2}$$

$$\begin{aligned} x[1](t) &:= x[11](t) - r \cdot \chi[1](t); \\ x[1](t) &:= \text{expand}(x[1](t)); \\ x[1](t) &:= \text{powsubs}(\theta(t) \cdot \psi(t) = 0, x[1](t)); \\ x[2](t) &:= x[21](t) - r \cdot \chi[2](t); \\ x[2](t) &:= \text{subs}(\theta(t) \cdot \psi(t) = 0, x[2](t)); \\ x[2](t) &:= \text{expand}(x[2](t)); \\ x[2](t) &:= \text{powsubs}(\theta(t) \cdot \psi(t) = 0, x[2](t)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1(t) &:= -L_1 - l - r\psi(t) + r\gamma_0 \theta(t) \\ x_2(t) &:= L_1 + l - r\psi(t) + r\gamma_0 \theta(t) \end{aligned} \tag{5.5.3}$$

Bu yerda  $AA = AA_1 * AA_2 * AA_3 * AA_4$ ,  $BB = BB_1 * BB_2 * BB_3 * BB_4$  ko'rinishda aniqlangan  $AA$  va  $BB$  matritsalar, mos ravishda, chap va o'ng g'ildiraklarning massa markazlari uchun aniqlangan va koordinata sistemalarining o'qlari orasidagi burchak kosinuslarini aniqlovchi matritsalaridir,  $x_{11}(t)$ ,  $y_{11}(t)$ ,  $z_{11}(t)$  lar chap g'ildirak massa markazi koordinatalarining umumlashgan koordinatalar orqali ifodalari,  $x_{21}(t)$ ,  $y_{21}(t)$ ,  $z_{21}(t)$  esa o'ng g'ildirak massa markazi koordinatalarining umumlashgan koordinatalar orqali ifodalari bo'lib, ular  $x_{11}(t)$ ,  $y_{11}(t)$ ,  $z_{11}(t)$  ifodalardan  $l$  ni  $-l$  ga,  $L_1$  ni  $-L_1$  ga,  $\beta_0$  ni  $-\beta_0$  ga almashtirish natijasida hosil qilingan. Shuningdek, bu modulda g'ildiraklarning  $\chi_i$ ,  $\theta_i$  burchaklari va  $x_i$  - g'ildirak o'rta tekisligining massa markazidan o'tuvchi eng katta og'ishli to'g'ri chiziqning yo'l tekisligi bilan kesishish nuqtasining absissasi ( $i = 1, 2$ ) aniqlangan.  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  larning ifodasida yetarlicha kichik burchaklar uchun  $\chi_1 = \chi_2 = \psi - \gamma_0 \theta$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$  almashtirishlar bajarilgan.

## 5.6. LAGR modulining KINET protsedurasi.

KINET protsedurasi yordamida tizimni tashkil qiluvchi qismlarning massa markazlari atrofida aylanishining oniy burchak tezliklari, massa markazlarining ilgarilama harakat tezliklari, tizimni tashkil qiluvchi qismlar kinetik energiyalarining ifodalari hosil qilinadi. Protsecuraning asosiy buyruqlari:

```
> V[1] := diff(x[11](t),t)^2+diff(y[11](t),t)^2+diff(z[11](t),t)^2:
V[1]:=expand(V[1]):
V[1]:=subs(gamma0^2=0, V[1]):
V[1]:=collect(V[1],[diff(ψ(t),t)^2,diff(θ(t),t),diff(θ(t),t)^2)];
V[2] :=diff(x[21](t),t)^2+diff(y[21](t),t)^2+diff(z[21](t),t)^2:
V[2]:=expand(V[2]):
V[2]:=subs(gamma0^2=0, V[2]):
V[2]:=collect(V[2],[diff(ψ(t),t)^2,diff(θ(t),t),diff(θ(t),t)^2)];
```

$$\begin{aligned}
 V_1 &:= (2L_1 l + l^2 + L_1^2) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \\
 &+ (-2l^2 \gamma_0 - 2L_1 l \gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + l^2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 \\
 V_2 &:= (2L_1 l + l^2 + L_1^2) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + (-2l^2 \gamma_0 - \\
 &- 2L_1 l \gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + l^2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2
 \end{aligned} \tag{5.5.4}$$

```
> Omega:=Array(1..2,1..3):
Omega[1,1]:=-omega(t)+beta0*diff(θ(t),t)+
diff(ψ(t),t)*θ(t);
Omega[1,2]:=diff(ψ(t),t);
Omega[1,3]:=diff(θ(t),t)-gamma0*diff(ψ(t),t);
Omega[2,1]:=subs(l=-1,L1=-L1,beta0=-beta0,Omega[1,1]);
Omega[2,2]:=subs(l=-1,L1=-L1,beta0=-beta0,Omega[1,2]);
Omega[2,3]:=subs(l=-1,L1=-L1,beta0=-beta0,Omega[1,3]);
```

$$\Omega_{1,1} := -\omega(t) + \beta 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) \theta(t)$$

$$\Omega_{1,2} := \frac{\partial}{\partial t} \psi(t)$$

$$\Omega_{1,3} := \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \gamma 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)$$

$$\Omega_{2,1} := -\omega(t) - \beta 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) \theta(t) \quad (5.5.5)$$

$$\Omega_{2,2} := \frac{\partial}{\partial t} \psi(t)$$

$$\Omega_{2,3} := \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \gamma 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)$$

$$> T[11] := 1/2 * m * V[1];$$

$$T[12] := 1/2 * A * ((\Omega_{1,2})^2 + (\Omega_{1,3})^2) + 1/2 * C * (\Omega_{1,1})^2;$$

$$T[12] := \text{expand}(T[12]);$$

$$T[12] := \text{subs}(\theta(t)^2 = 0, \omega(t)^2 = 0, \beta 0^2 = 0, \gamma 0^2 = 0, T[12]);$$

$$T[12] := \text{powsubs}(\beta 0 * \theta(t) = 0, \text{diff}(\psi(t), t)^2 * \theta(t) = 0, \text{diff}(\theta(t), t)^2 * \psi(t) = 0, T[12]);$$

$$T[1] := T[11] + T[12];$$

$$T[1] := \text{simplify}(T[1]);$$

$$T[1] := \text{collect}(T[1], [\text{diff}(\psi(t), t)^2, \text{diff}(\theta(t), t)^2]);$$

$$T_{11} := \frac{1}{2} m \left( (2L1 l + l^2 + L1^2) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + (-2l^2 \gamma 0 - 2L1 l \gamma 0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + l 2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 \right)$$

$$T_{12} := \frac{1}{2} A \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \frac{1}{2} A \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 - A \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \gamma 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - C \omega(t) \beta 0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - C \omega(t) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) \theta(t)$$

$$\begin{aligned}
T_{21} &:= \frac{1}{2} m \left( (2L\Lambda \Pi + \Pi^2 + L\Gamma^2) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \right. \\
&\quad \left. + (-2\Pi^2 \gamma_0 - 2L\Lambda \Pi \gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + \Pi^2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 \right) \\
T_{22} &:= \frac{1}{2} A \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \frac{1}{2} A \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 - A \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + \\
&\quad + C\omega(t) \beta_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - C\omega(t) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) \theta(t) \\
T_2 &:= \left( \frac{1}{2} m L \Gamma^2 + m L \Pi + \frac{1}{2} m \Pi^2 + \frac{1}{2} A \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \\
&\quad + \left( (-m L \Lambda \Pi \gamma_0 - A \gamma_0 - m \Pi^2 \gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - C\omega(t) \theta(t) \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + \\
&\quad + \left( \frac{1}{2} m \Pi^2 + \frac{1}{2} A \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + C\omega(t) \beta_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_1 := & \left( \frac{1}{2} m L^2 + m L l + \frac{1}{2} m l^2 + \frac{1}{2} A \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 + \\
& + \left( (-m L l \gamma_0 - A \gamma_0 - m l^2 \gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - C \omega(t) \theta(t) \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + \\
& + \left( \frac{1}{2} m l^2 + \frac{1}{2} A \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - C \omega(t) \beta_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)
\end{aligned}$$

```

> T[21] := 1/2*m*V[2];
T[22]:=1/2*A*((Omega[2,2])^2+(Omega[2,3])^2)+1/2*C*
(Omega[2,1])^2;
T[22]:=expand(T[22]);
T[22]:=subs(theta(t)^2=0,omega(t)^2=0,beta0^2=0,gamma0^2=0,
T[22]);
T[22]:=powsubs(beta0*theta(t)=0,diff(psi(t),t)^2*theta(t)=0,
diff(theta(t),t)^2*psi(t)=0,T[22]);
T[2]:=T[21]+T[22];
T[2]:=simplify(T[2]);
T[2]:=collect(T[2],[diff(psi(t),t)^2,diff(theta(t),t)^2]);

```



> T[3]:=1/2\*B[1]\*diff(psi(t),t)^2;

$$T_3 := \frac{1}{2} B_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2$$

> T:=T[1]+T[2]+T[3]:

T:=collect(T,[diff(psi(t),t)^2,diff(theta(t),t)^2]);

$$\begin{aligned} T := & \left( mL^2 + 2mLl + mll^2 + A + \frac{1}{2} B_1 \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + \\ & + \left( (-2mLl\gamma_0 - 2A\gamma_0 - 2mll^2\gamma_0) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \right. \\ & \left. - 2C\omega(t)\theta(t) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right)^2 + (mll^2 + A) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 \right) \end{aligned} \quad (5.5.6)$$

Bu yerda  $V_1$  – chap g'ildirak massa markazi tezligining kvadrati,  $\Omega_{11}, \Omega_{12}, \Omega_{13}$  – chap g'ildirak massa markaziga nisbatan aylanishining oniy burchak tezligi  $\bar{\Omega}_1$  ning  $\Sigma_4$  sistema koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari.  $V_2$  – o'ng g'ildirak massa markazi tezligining kvadrati,  $\Omega_{21}, \Omega_{22}, \Omega_{23}$  – g'ildirak massa markaziga nisbatan aylanishining oniy burchak tezligi  $\bar{\Omega}_2$  ning  $\Sigma_4$  sistema koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari.

$T_1$  – chap g'ildirak kinetik yenergiyasi,  $T_{11}$  – chap g'ildirak massa markazining  $\sqrt{V_1}$  tezlikdagi ilgarilama harakati hamda  $T_{12}$  – chap g'ildirakning o'z massa markaziga nisbatan aylanma harakati kinetik energiyalarining yig'indisi sifatida aniqlanadi.

$T_2$  – o'ng g'ildirak kinetik yenergiyasi,  $T_{21}$  – chap g'ildirak massa markazining  $\sqrt{V_2}$  tezlikdagi ilgarilama harakati hamda  $T_{22}$  – chap g'ildirakning o'z massa markaziga nisbatan aylanma harakati kinetik energiyalarining yig'indisi sifatida aniqlanadi.

$T_3$  – oldingi o'qning kinetik energiyasi,  $T = T_1 + T_2 + T_3$  – tizimning kinetik energiyasi.

Barcha ifodalarda uchinchi va undan yuqori darajali kichik miqdorlar tashlab yuborilgan.

### 5.7. LAGR modulining KINETUR protsedurasi.

KINETUR protsedurasi shinali g'ildirakning sirpanishsiz dumalanishining sharti bo'lgan kinematik bog'lanishlar tenglamasini hosil qiladi. Protsecuraning asosiy buyruqlari:

```
> KT:=array(1..4):
for i from 1 to 2 do
KT[i]:=diff(x[i](t),t)+diff(xi[i](t),t)+VV*theta[i](t)+
VV*phi[i](t)=0;
KT[2+i]:=diff(theta[i](t),t)+diff(phi[i](t),t)-alpha[i](t)*VV*xi[i](t)+
beta[i](t)*VV*phi[i](t)+iota[i](t)*VV*chi[i](t)=0;
od:
KT[3]:=subs(alpha[1](t)=alpha(t),beta[1](t)=beta(t),
iota[1](t)=iota(t),KT[3]):
KT[4]:=subs(alpha[2](t)=alpha(t),beta[2](t)=beta(t),
iota[2](t)=iota(t),KT[4]):
for i from 1 to 4 do
KT[i]:=eval(KT[i]):
od;
```

$$KT_1 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + -r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_1(t) \right) + VV\theta(t) + VV\phi_1(t) = 0$$

$$KT_2 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + -r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_2(t) \right) + VV\theta(t) + VV\phi_2(t) = 0$$

$$KT_3 := \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \phi_1(t) \right) - \alpha(t)VV\xi_1(t) + \beta(t)VV\phi_1(t) + \iota(t)VV(\psi(t) - \gamma_0\theta(t)) = 0$$

$$KT_4 := \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \phi_2(t) \right) - \alpha(t)VV\xi_2(t) + \beta(t)VV\phi_2(t) + \iota(t)VV(\psi(t) - \gamma_0\theta(t)) = 0 \quad (5.5.7)$$

G'ildirak  $V$  o'zgarish tezlik bilan sirpanmasdan to'g'ri chiziqli harakat qilayotganida, uning harakatiga qo'yilgan nogolonom (kinematik) bog'lanishlar hamda  $x_i, \chi_i$ , va  $\theta_i$  ( $i = \overline{1, 2}$ ) larning qiymatlariga asosan tizimning  $KT_1, KT_2, KT_3, KT_4$  kinematik tenglamalari hosil qilinadi. Tenglamalarda  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ ,  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$  almashtirishlar bajarilgan.

### 5.8. LAGR modulining MOMENTF protsedurasi.

MOMENTF protsedurasi yordamida shinalarning deformatsiyalanishi tufayli g'ildiraklarga ta'sir etuvchi umumlashgan reaksiya kuchlari va momentlarining ifodasi hosil qilinadi. Protseduraning asosiy buyruqlari:

```
> q[1]:=psi(t); q[2]:=theta(t); qp1:=diff(q[1],t);
qp2:=diff(q[2],t);
p1:=-r; p2:=gamma0*r; p3:=1; p4:=-gamma0; p5:=0;
```

$$q_1 := \psi(t)$$

$$q_2 := \theta(t)$$

$$qp1 := \frac{\partial}{\partial t} \psi(t)$$

$$qp2 := \frac{\partial}{\partial t} \theta(t)$$

```
> for i from 1 to 2 do
```

$$F[i] := a[i] * xi[i](t) + \sigma[i] * N[i] * \chi[i](t);$$

$$M[\chi[i]] := -\sigma[i] * N[i] * xi[i](t) - \rho[i] * N[i] * \chi[i](t);$$

$$M[\thetaeta[i]] := b[i] * \phi[i](t);$$

```
od;
```

$$F_1 := a_1 \xi_1(t) + \sigma_1 N_1 (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\chi_1} := -\sigma_1 N_1 \xi_1(t) - \rho_1 N_1 (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_1} := b_1 \phi_1(t) \tag{5.5.8}$$

$$F_2 := a_2 \xi_2(t) + \sigma_2 N_2 (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\chi_2} := -\sigma_2 N_2 \xi_2(t) - \rho_2 N_2 (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_2} := b_2 \phi_2(t)$$

```
> R[psi]:=F[1]*p1+M[chi[1]]*p3+M[theta[1]]*p5+F[2]*p1+
M[chi[2]]*p3+M[theta[2]]*p5:
```

```
R[psi]:=expand(R[psi]):
```

```
R[psi]:=subs(a[1]=a, a[2]=a, sigma[1]=sigma, sigma[2]=sigma,
rho[1]=rho, rho[2]=rho, N[1]=N, N[2]=N, R[psi]):
```

```
R[psi]:=collect(R[psi], [psi(t), theta(t), xi[1](t), xi[2](t)]):
```

```
R[psi]:=subs(-r*a-sigma*N=k, R[psi]):
```

R[psi]:=collect(R[psi], k):  
 R[psi]:=subs(k=-r\*a-sigma\*N, R[psi]);

$$R_{\psi} := (\xi_1(t) + \xi_2(t))(-ra - \sigma N) + (-2\rho N - 2r\sigma N)\psi(t) + (2r\sigma N\gamma_0 + 2\rho N\gamma_0)\theta(t)$$

> R[theta]:=F[1]\*p2+M[chi[1]]\*p4+M[theta[1]]\*p3+F[2]\*p2+M[chi[2]]\*p4+M[theta[2]]\*p3:

R[theta]:=expand(R[theta]):

R[theta]:=subs(a[1]=a, a[2]=a, b[1]=b, b[2]=b, sigma[1]=sigma, sigma[2]=sigma, rho[1]=rho, rho[2]=rho, N[1]=N, N[2]=N, R[theta]):

R[theta]:=collect(R[theta], [psi(t), theta(t), xi[1](t), xi[2](t)]):

R[theta]:=subs(gamma0\*sigma\*N+gamma0\*r\*a=k, R[theta]):

R[theta]:=collect(R[theta], [k, b]):

R[theta]:=subs(k=gamma0\*sigma\*N+gamma0\*r\*a, gamma0^2=0, R[theta]):

$$R_{\theta} := (\xi_1(t) + \xi_2(t))(\gamma_0\sigma N + \gamma_0ra) + (\phi_2(t) + \phi_1(t))b + (2r\sigma N\gamma_0 + 2\rho N\gamma_0)\psi(t)$$

> Q[psi]:=-K[1]\*psi(t)-h[1]\*diff(psi(t),t);

Q[theta]:=-K[2]\*theta-h[2]\*diff(theta(t),t);

$$Q_{\psi} := -K_1\psi(t) - h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) \tag{5.5.9}$$

$$Q_{\theta} := -K_2\theta - h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)$$

*m* ta shinali g'ildirakka ega bo'lgan ekipajning o'zgarmas tezlik bilan to'g'ri chiziqli harakatining

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} := Q_j + R_j, \quad j = \overline{1, 2} \tag{5.5.10}$$

Y.I.Neymark va N.A.Fufayev tenglamalariga asosan tizimning dinamik tenglamalari aniqlanadi, bu yerda  $T = T(q, \dot{q}, t)$  – ekipajning kinetik energiyasi,  $Q_j$  – deformatsiyalangan pnevmatikaga ta'sir etadigan reaksiya kuchlari hisobga olinmagan holdagi umumlash-

gan kuchlar,  $R_j$  — shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan umumlashgan reaksiya kuchlari.

Shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan  $R_j$  umumlashgan reaksiya kuchlari

$$R_j = \sum_{i=1}^2 \left( F_i \frac{\partial x_i}{\partial q_i} - M_{x_i} \frac{\partial \chi_i}{\partial q_i} + M_{\theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial q_i} \right) \quad (5.5.11)$$

formulaga asosan aniqlangan, bu yerda

$$F_i = a_i \xi_i + \sigma_i N_i \chi_i, \quad M_{x_i} = -\sigma_i N_i \xi_i - \rho_i N_i \chi_i, \quad M_{\theta_i} = b_i \varphi_i, \quad (i = \overline{1, 2}),$$

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  lar  $i$ - raqamli shinaning kinematik parametrlari,  $a_i, b_i, \sigma_i, \rho_i$  lar esa  $i$ - raqamli shinaning elastiklik koeffitsiyentlari,  $q_1 = \psi, q_2 = \theta$ .

$R_\psi, R_\theta$  umumlashgan kuchlar **Maple 6** tizimi orqali

$$\begin{aligned} R_\psi &= -(ar + \sigma N)(\xi_1 + \xi_2) - 2N(\sigma r + \rho)\psi + 2\gamma_0(\sigma r + \rho)\theta, \\ R_\theta &= b(\varphi_1 + \varphi_2) + \gamma_0(ar + \sigma N)(\xi_1 + \xi_2) + 2\gamma_0 N(\sigma r + \rho)\psi \end{aligned} \quad (5.5.12)$$

ifodalar bilan aniqlangan.

Tizimga ta'sir etuvchi  $Q_j$  umumlashgan kuchlarning ifodalari quyidagicha:

$$Q_\psi = -K_1 \psi - h_1 \dot{\psi}, \quad Q_\theta = -K_2 \theta - h_2 \dot{\theta}, \quad (5.5.13)$$

bu yerda  $K_1 = K'_1 + \frac{1}{2} C_{rs} L_{rs}^2 + 2C_m L^2$  — tizimning  $\psi$  koordinatasi bo'yicha burchak elastiklik koeffitsiyenti,  $K_2$  — tizimning  $\theta$  koordinatasi bo'yicha burchak elastiklik koeffitsiyenti,  $h_1 = 2h_m L^2 + h_{rs} L_{rs}^2 / 2 + (h_{asm} + h_{aot}) L_a^2 / 2 + h_s$  — tizimning  $\psi$  koordinatasi bo'yicha dempfer koeffitsiyenti,  $h_2$  — tizimning  $\theta$  koordinata bo'yicha dempfer koeffitsiyenti,  $K'_1$  — sterjen qurilmasining elastiklik koeffitsiyenti,  $C_m$  — shinaning radial elastiklik koeffitsiyenti,  $L_{rs}$  — chap va o'ng reszorlar orasidagi masofa,  $h_m, h_{rs}, h_a$  — mos ravishda shina, ressor va amortizatorlarning ichki qarshiliklari,  $h_s$  — sterjen qurilmasining ishqalanish koeffitsiyenti. Chap va o'ng g'ildiraklarga ta'sir etayotgan  $N$  vertikal yuklama va ikkala shinaning havo bosimlari bir xil deb faraz qilinib, tenglamalarda  $a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b, \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma, \rho_1 = \rho_2 = \rho$  almashtirishlar bajarilgan.

### 5.9. LAGR modulining MMODEL protsedurasi.

MMODEL protsedurasi, aytib o'tilganidek, tizimning dinamik tenglamalarini hosil qiladi hamda ularni kinematik bog'lanishlar tenglamasi bilan birlashtiradi va kerakli almashtirishlarni bajarib, nisbatan sodda holga keltiradi.

$$\begin{aligned}
 >M[1]:=J[1]*diff(psi(t),t\$2)+h[1]*diff(psi(t),t)+K[1]*psi(t)- \\
 &gamma0*JJ*diff(theta(t),t\$2)-C[0]*VV*diff(theta(t),t)- \\
 &gamma0*n[1]*theta(t)+nn*xi(t): \\
 M[2]:=J[2]*diff(theta(t),t\$2)+h[2]*diff(theta(t),t)+(K[2]+n[1])*theta(t)- \\
 &gamma0*JJ*diff(psi(t),t\$2)+C[0]*VV*diff(psi(t),t)-gamma0* \\
 &n[1]*psi(t)-B*phi(t)-gamma0*nn*xi(t): \\
 M[3]:=diff(xi(t),t)-r*diff(psi(t),t)+gamma0*r*diff(theta(t),t)+ \\
 &VV*theta(t)+VV*phi(t): \\
 M[4]:=diff(theta(t),t)+diff(phi(t),t)-alpha*VV*xi(t)+beta* \\
 &VV*phi(t)+gamma5*VV*psi(t)-gamma0*gamma5*VV*theta(t): \\
 PT1:=M[1]=0; PT2:=M[2]=0; PT3:=M[3]=0; PT4:=M[4]=0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PT1 &:= J_1 \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \psi(t) \right) + h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \psi(t) \right) + K_1(\psi(t) - \\
 &\quad - \gamma_0 JJ \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \theta(t) \right) - C_0 VV \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \theta(t) \right) - y_0 n_1 \theta(t) + \\
 &\quad + nn \xi(t) = 0 \\
 PT2 &:= J_2 \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t^2} \theta(t) \right) + (K_2 + n_1) \theta(t) - \\
 &\quad - \gamma_0 JJ \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + C_0 VV \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - y_0 n_1 \psi(t) - \\
 &\quad - B \phi(t) - y_0 nn \xi(t) = 0 \\
 PT3 &:= \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi(t) \right) - r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \\
 &\quad + VV \theta(t) + VV \phi(t) = 0 \\
 PT4 &:= \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \phi(t) \right) - \alpha VV \xi(t) + \beta VV \phi(t) + \\
 &\quad + \gamma_5 VV \psi(t) - \gamma_0 \gamma_5 VV \theta(t) = 0
 \end{aligned} \tag{5.5.14}$$

Tenglamalarda  $\xi = \frac{1}{2}(\xi_1 + \xi_2)$  va  $\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2)$  hamda  $n = 2(ar + \sigma N)$ ,  $n_1 = 2N(\sigma r + \rho)$ ,  $B = 2b$ ,  $C_0 = \frac{2C}{r}$  almashtirishlar bajarilib, boshqariladigan g'ildiraklar, oldingi osma va boshqaruv nullaridan iborat avtomobil harakatining **matematik modeli** hosil qilingan.

### 5.10. LAGR modulining HARDET protsedurasi.

**HARDET** protsedurasi tizimning matematik modeliga asosan o'zgarmas koeffitsiyentli matsritsalarini va xarakteristik determinantni hosil qiladi. Asosiy buyruqlar:

```
> Uz[1]:=psi(t): Uz[2]:=theta(t): Uz[3]:=xi(t): Uz[4]:=phi(t):
t0=array(1..4): t1=array(1..4): t2=array(1..4):
Ak=array(1..4,1..4): Bk=array(1..4,1..4): Ck=array(1..4,1..4):
for i from 1 to 4 do a0[i]:=Uz[i]: t1[i]:=diff(Uz[i],t):
t2[i]:=diff(Uz[i],t$2): od:
```

```
> for i from 1 to 4 do for j from 1 to 4 do
Ak[i,j]:=select(haq,M[i],t2[j]): Ak[i,j]:=coeff(Ak[i,j],t2[j]): od:
od;
```

```
> for i from 1 to 4 do for j from 1 to 4 do
Bk[i,j]:=subs(t2[j]=0, M[i]):
Bk[i,j]:=coeff(Bk[i,j],t1[j]):
od: od;
```

```
> for i from 1 to 4 do for j from 1 to 4 do
Ck[i,j]:=subs(t2[j]=0, t1[j]=0, M[i]):
Ck[i,j]:=select(has,Ck[i,j],a0[j]):
Ck[i,j]:=coeff(Ck[i,j],a0[j]):
od: od:
Ak1:=Matrix(Ak,1..4,1..4): Bk1:=Matrix(Bk,1..4,1..4):
Ck1:=Matrix(Ck,1..4,1..4):
ABC:=array(1..4,1..4):
for i1 from 1 to 4 do
for j from 1 to 4 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j]:
od
od:
ABCk:=Matrix(ABC,1..4,1..4):
```

$$Ak1 = \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma 0JJ & 0 & 0 \\ -\gamma 0JJ & J_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Bk1 = \begin{bmatrix} h_1 & -C_0VV & 0 & 0 \\ C_0VV & h_2 & 0 & 0 \\ -r & \gamma 0r & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.5.15)$$

$$Ck1 = \begin{bmatrix} K_1 & -\gamma 0n_1 & nn & 0 \\ -\gamma 0n_1 & K_2 + n_1 & -\gamma 0nn & -B \\ 0 & VV & 0 & VV \\ \gamma 5VV & -\gamma 0 \gamma 5VV & -\alpha VV & \beta VV \end{bmatrix}$$

$ABCK =$

$$\begin{bmatrix} J_1\lambda^2 + h_1\lambda + K_1 & -\gamma 0JJ\lambda^2 - C_0VV\lambda - \gamma 0n_1 & nn & 0 \\ -\gamma 0JJ\lambda^2 + C_0VV\lambda - \gamma 0n_1 & J_2\lambda^2 + h_2\lambda + K_2 + n_2 & -\gamma 0nn & -B \\ -r\lambda & \gamma 0r\lambda + VV & \lambda & VV \\ \gamma 5VV & \lambda - \gamma 0 \gamma 5VV & -\alpha VV & \lambda + \beta VV \end{bmatrix} \quad (5.5.16)$$

Bu yerda  $Ak1$ ,  $Bk1$ ,  $Ck1$  lar o'zgarimas koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3- bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

$$ABCK \text{ matritsa } d_t = \sum_{t=2n-2p-q}^{p+q+r=n} \det(a_{j_1} a_{j_2} \dots a_{j_p} b_{j_1} b_{j_2} \dots b_{j_d} c_{k_1} c_{k_2} \dots c_{k_r}),$$

$t = \overline{0, 2n}$ ,  $p = \overline{0, n}$ ,  $q = \overline{0, n}$ ,  $r = \overline{0, n}$  formula orqali aniqlanadi va shu matritsaning determinanti bo'yicha

$$|\lambda^2 + B\lambda + C| = 0$$

ko'rinishdagi determinant tenglama tuziladi.



### 5.11. LAGR modulining HARUR protsedurasi.

HARUR protsedurasi tizimning xarakteristik determinantiga asosan uning xarakteristik tenglamasini hosil qiladi. Konstruktiv parametrlarning turli xil qiymatlari uchun xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlarini sonli ko'rinishda aniqlaydi.

Protseuraning asosiy buyruqlari:

```
> P:=Determinant(ABCk):
d:=array(0..7):
eval(P):
PP:=simplify(P):
P:=subs(gamma0^2=0, gamma0^3=0, PP):
P:=collect(P,{q},recursive);
d[6]:=subs(lambda=0, P): d[6]:=collect(d[6],
{gamma0},recursive);
for i from 5 to 0 by -1 do d[i]:=coeff(P,lambda^(7-i-1)); od:
for i from 5 to 0 by -1 do d[i]:=collect(d[i], gamma0,
recursive);
od;
```

$$\begin{aligned}
 PK:= & (J_1 J_2 - \gamma 0^2 J J^2) \lambda^6 + (J_1 h_2 + h_1 J_2 - \gamma 0^2 J J^2 \beta V V + J_1 J_2 \beta V V) \lambda^5 + \\
 & + (r n n J_2 + h_1 J_2 \beta V V - 2 \gamma 0^2 J J n n r + C_0^2 V V^2 + J_1 n_1 + J_1 h_2 \beta V V + \\
 & + J_1 J_2 V V^2 \alpha + J_1 \gamma 0^2 r n n + J_1 K_2 - \gamma 0^2 J J^2 V V^2 \alpha + J_1 B + K_1 J_2 + h_1 h_2 - \\
 & - 2 \gamma 0^2 J J n_1) \lambda^4 + (h_1 h_2 \beta V V + J_1 K_2 \beta V V + K_1 J_2 \beta V V + J_1 \gamma 0^2 r n n \beta V V - \\
 & - 2 \gamma 0^2 J J n_1 \beta V V + h_1 \gamma 0^2 r n n + K_1 h_2 + h_1 K_2 - J_1 \gamma 0 \gamma 5 V V B + C_0^2 V V^3 \beta + \\
 & + h_1 J_2 V V^2 \alpha + \gamma 5 V V \gamma 0 J J B - 2 \gamma 0^2 J J n n r \beta v v + r n n h_2 + J_1 \gamma 0 r \alpha V V B + \\
 & + J_1 h_2 V V^2 \alpha + r n n J_2 \beta V V - r \gamma 0 J J \alpha V V B + J_1 n_1 \beta V V + h_1 B + h_1 n_1) \lambda^3 + \\
 & + (-\gamma 0^2 n_1^2 + K_1 n_1 - \gamma 0 J J n n \beta V V^2 + K_1 K_2 + K_1 h_2 \beta V V + K_1 J_2 V V^2 \alpha + \\
 & + h_1 h_2 V V^2 \alpha + h_1 K_2 \beta V V + h_1 n_1 \beta V V + K_1 \gamma 0^2 r n n + J_1 \alpha V V^2 B + \\
 & + J_1 K_2 V V^2 \alpha + J_1 n_1 V V^2 \alpha - r C_0 V V^2 \alpha B + J_1 \gamma 0^2 \gamma 5 V V^2 n n - \\
 & - h_1 \gamma 0 \gamma 5 V V B - 2 \gamma 0^2 J J n_1 V V^2 \alpha + h_1 \gamma 0 r \alpha V V B + h_1 \gamma 0^2 r n n \beta V V + \\
 & + r n n h_2 \beta V V + \gamma 5 V V^2 C_0 B + \gamma 5 V V^2 n n J_2 - 2 \gamma 0^2 n_1 n n r -
 \end{aligned}$$

$$d_0 := J^1 J^2$$

(5.5.18)

$$d_1 := J^1 h^2 + h^1 J^2 + J^1 J^2 \beta V$$

$$+ J^1 B + h^1 h^2 + C_2^0 V^2$$

$$d_2 := r m n J^2 + K^1 J^2 + J^1 K^2 + h^1 J^2 \beta V + J^1 J^2 V^2 \alpha + J^1 h^2 \beta V + J^1 h^2$$

$$+ h^1 h^2 + J^1 h^2 V^2 \alpha + J^1 h^2 \beta V + r m n J^2 \beta V + h^1 B + h^1 h^2 \beta V$$

$$+ J^1 K^2 \beta V + r m n h^2 + C_2^0 V^3 \beta + K^1 h^2 + h^1 K^2 + h^1 J^2 V^2 \alpha +$$

$$d_3 := (-r J^1 \alpha V B - J^1 \gamma S V B + \gamma S V J^1 B + J^1 r \alpha V B) \gamma_0 + K^1 J^2 \beta V +$$

$$+ r m n h^2 \beta V + K^1 J^2 V^2 \alpha$$

$$+ J^1 \alpha V^2 B + K^1 K^2 + K^1 h^2 + K^1 B + \gamma S V^2 m n J^2 + h^1 K^2 \beta V +$$

$$+ h^1 h^2 V^2 \alpha + h^1 h^2 \beta V - r C_0 V^2 \alpha B + J^1 h^2 V^2 \alpha + J^1 K^2 V^2 \alpha +$$

$$+ r m n h^2 + C_2^0 V^4 \alpha + \gamma S V^2 C_0 B + K^1 h^2 \beta V + r m n B +$$

$$d_4 := (h^1 r \alpha V B - J^1 m n \beta V^2 + J^1 m n \beta V^2 - h^1 \gamma S V B) \gamma_0 + m n K^2 +$$

$$+ K^1 h^2 V^2 \alpha + r m n h^2 \beta V + h^1 \alpha V^2 B + h^1 h^2 V^2 \alpha + \gamma S V^2 m n h^2$$

$$+ r m n K^2 \beta V + C_0 V^3 n \beta + K^1 K^2 \beta V + K^1 h^2 \beta V + h^1 K^2 V^2 \alpha +$$

$$d_5 := (K^1 r \alpha V B - K^1 \gamma S V B + \gamma S V h^1 B - m^1 \alpha V B + h^1 m n \beta V^2) \gamma_0 +$$

$$+ K^1 K^2 V^2 \alpha + \gamma S V^2 m n B + K^1 h^2 V^2 \alpha + \gamma S V^2 m n h^2$$

$$d_6 := (-h^1 m n \beta V^2 + K^1 m n \beta V^2) \gamma_0 + \gamma S V^2 m n K^2 + K^1 \alpha V^2 B +$$

(5.5.17)

$$+ K^1 h^2 V^2 \alpha + K^1 K^2 V^2 \alpha = 0$$

$$+ K^1 \alpha V^2 B + K^1 \gamma_0^2 \gamma S V^2 m n - \gamma_0^2 h^1 V^2 \alpha + K^1 \gamma_0 m n \beta V^2 +$$

$$+ \gamma S V^2 m n K^2 + \gamma S V^2 m n h^2 + \gamma S V^2 m n B - \gamma_0 h^1 m n \beta V^2 +$$

$$+ K^1 h^2 \beta V + h^1 h^2 V^2 \alpha + \gamma S V \gamma_0 h^1 B) \lambda - 2 \gamma_0^2 h^1 m n V^2 \gamma_5 +$$

$$+ K^1 \gamma_0 \alpha V B + h^1 \gamma_0 m n \beta V^2 + h^1 K^2 V^2 \alpha + h^1 \gamma_0^2 \gamma S V^2 m n +$$

$$- 2 \gamma_0^2 h^1 m n \beta V + K^1 h^2 V^2 \alpha - \gamma_0^2 h^2 \beta V + K^1 \gamma_0^2 m n \beta V +$$

$$+ C_0 V^3 n \beta + h^1 \alpha V^2 B - K^1 \gamma_0 \gamma S V B + \gamma S V^2 m n h^2 + K^1 K^2 \beta V -$$

$$+ C_2^0 V^4 \alpha + K^1 B) \lambda^2 + (-r \gamma_0 h^1 \alpha V B + m n K^2 \beta V + r m n h^2 \beta V +$$

$$- 2 \gamma_0^2 J^1 m n V^2 \gamma_5 + J^1 m n \beta V^2 + m n B + r m n h^2 + m n K^2 +$$

```

> with(linalg):
VZ:=array(1..37,1..4):
VZ:=readdata(«C:\Mening hujjatlarim\Farruh\misoll.txt»,37):
Pi1:=evalf(Pi):
VZ[27,1]:=VZ[27,1]*Pi1/180:
VZ[27,2]:=VZ[27,2]*Pi1/180:
VZ[27,3]:=VZ[27,3]*Pi1/180:
VZ:=convert(VZ,matrix,float):

> VP:=array(1..37):
dr:=array(1..21):
dr[1]:=omega: dr[2]:=sigma: dr[3]:=n[1]: dr[4]:=alpha:
dr[5]:=beta: dr[6]:=gamma5: dr[7]:=a: dr[8]:=b: dr[9]:=rho:
dr[10]:=eta[1]: dr[11]:=eta[2]: dr[12]:=LL: dr[13]:=K[1]:
dr[14]:=nn: dr[15]:=B: dr[16]:=C[0]: dr[17]:=J[1]: dr[18]:=J[2]:
dr[19]:=JJ: dr[20]:=h[8]: dr[21]:=h[1]:
VP[1]:=mm: VP[2]:=ll: VP[3]:=L1: VP[4]:=AA: VP[5]:=CC:
VP[6]:=B1: VP[7]:=r: VP[8]:=h[7]: VP[9]:=alpha1:
VP[10]:=beta1: VP[11]:=gamma1: VP[12]:=a1: VP[13]:=b1:
VP[14]:=sigma1: VP[15]:=rho1: VP[16]:=alpha[2]:
VP[17]:=beta[2]: VP[18]:=gamma[2]: VP[19]:=a[2]:
VP[20]:=b[2]: VP[21]:=sigma[2]: VP[22]:=rho[2]: VP[23]:=VV:
VP[24]:=L[3]: VP[25]:=L[4]: VP[26]:=C[4]: VP[27]:=gamma0:
VP[28]:=C[5]: VP[29]:=m[1]: VP[30]:=h[4]: VP[31]:=h[3]:
VP[32]:=h[5]: VP[33]:=h[6]: VP[34]:=h[2]: VP[35]:=K1[1]:
VP[36]:=K[2]: VP[37]:=N:

> omega:=VV/r: sigma:=sigma1: n[1]:=2*N*(sigma*r+rho):
alpha:=alpha1: beta:=beta1: gamma5:=gamma1: a:=a1: b:=b1:
rho:=rho1: eta[1]:=alpha/beta: eta[2]:=gamma5/beta: LL:=L1+ll:
K[1]:=K1[1]+2*C[4]*L[4]^2+2*C[5]*LL^2:
nn:=2*(a*r+sigma*N): B:=2*b: C[0]:=2*CC/r:
J[1]:=2*(AA+mm*LL^2)+B1: J[2]:=2*(AA+mm*ll^2):
JJ:=2*(AA+mm*LL*ll): h[8]:=(h[7]+h[6])*LL^2:
h[1]:=2*h[5]*LL^2+2*h[4]*L[4]^2+h[8]+h[3]:

> for i from 1 to 37 do
if has(omega,VP[i])=true then omega:=subs(VP[i]=VZ[i,1],

```

```

omega) fi;
if has(a,VP[i])=true then a:=subs(VP[i]=VZ[i,1], a) fi;
if has(b,VP[i])=true then b:=subs(VP[i]=VZ[i,1], b) fi;
if has(alpha,VP[i])=true then alpha:=subs(VP[i]=VZ[i,1],
alpha); fi;
if has(beta,VP[i])=true then beta:=subs(VP[i]=VZ[i,1], beta) fi;
if has(gamma5,VP[i])=true then gamma5:=subs(VP[i]=VZ[i,1],
gamma5) fi;
if has(sigma,VP[i])=true then sigma:=subs(VP[i]=VZ[i,1],
sigma) fi;
if has(eta[1],VP[i])=true then eta[1]:=subs(VP[i]=VZ[i,1],
eta[1]) fi;
if has(eta[2],VP[i])=true then eta[2]:=subs(VP[i]=VZ[i,1],
eta[2]) fi;
if has(rho,VP[i])=true then rho:=subs(VP[i]=VZ[i,1], rho) fi;
if has(n[1],VP[i])=true then n[1]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], n[1]) fi;
if has(K[1],VP[i])=true then K[1]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], K[1]) fi;
if has(nn,VP[i])=true then nn:=subs(VP[i]=VZ[i,1], nn) fi;
if has(LL,VP[i])=true then LL:=subs(VP[i]=VZ[i,1], LL) fi;
if has(B,VP[i])=true then B:=subs(VP[i]=VZ[i,1],B) fi;
if has(C[0],VP[i])=true then C[0]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], C[0]) fi;
if has(J[1],VP[i])=true then J[1]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], J[1]) fi;
if has(J[2],VP[i])=true then J[2]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], J[2]) fi;
if has(JJ,VP[i])=true then JJ:=subs(VP[i]=VZ[i,1], JJ) fi;
if has(h[8],VP[i])=true then h[8]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], h[8]) fi;
if has(h[1],VP[i])=true then h[1]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], h[1]) fi;
od:

```

```

> for i from 1 to 37 do
for j from 0 to 6 do
if has(d[j],VP[i])=true then d[j]:=subs(VP[i]=VZ[i,1], d[j]) fi;
od;
od;
for j from 0 to 6 do
print(d[j]):
od:

```

1.618368621  
868.2267293  
114841.3886  
.1435012193 · 10<sup>8</sup>  
.1284702751 · 10<sup>10</sup>  
.5284524170 · 10<sup>11</sup>  
.3123675260 · 10<sup>13</sup>

Bu yerda  $d[0..n]$  massiv xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari,  $n$  uning tartibi.  $VZ[1..k, 1..3]$  massivga ixtiyoriy «C:\\mening\_hujjatlarim\\Farruh\\misol1.txt»,  $k$  ko'rinishdagi diskriptorda ko'rsatilgan misol1.txt faylidan (ma'lumotlar bazasidan) konstruktiv parametrlarning nominal qiymatlari ko'chiriladi va ularni xarakteristik tenglama koeffitsiyentlaridagi ifodalar o'rniga qo'yib, koeffitsiyentlarning son qiymatli ko'rinishi hosil qilinadi.  $k$  – konstruktiv parametrlar soni,  $VZ[i,1]$ ,  $VZ[i,2]$ ,  $VZ[i,3]$  lar, mos ravishda,  $i$  – konstruktiv parametrning boshlang'ich qiymati, o'zgarish qadami, chegaraviy qiymatidir.

## 6-§. Dasturiy-instrumental vositaning EAVTO modullar kutubxonasi

DIVning EAVTO modullar kutubxonasi **mod\_abc**, **mod\_ust1**, **mod\_ust2** va **mod\_SERV** modullaridan tashkil topgan. Bu modullar yordamida 3- bobning 3–12-§ larida berilgan algoritmlarga asosan dinamik tizimlar harakatining turg'unlik sohasi aniqlanadi va turg'unlik sohasining chegarasiga tizim konstruktiv parametrlarining ta'siri o'rganiladi.

### 6.1. EAVTO modullar kutubxonasining mod\_abc moduli.

**mod\_abc** moduli tizimning harakat tenglamalariga asosan tuzilgan o'zgarmas koeffitsiyentli matritsalar ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  matritsalar, 3- bob 3- § ga qarang) elementlarining sonli qiymatini hisoblaydi.

Matritsalar quyidagi tadqiq usullari yordamida aniqlangan harakat tenglamalari uchun tuzilgan:

- shinalarning egiluvchanlik va deformatsiyalanishi hisobga olingan hol;
- shinalar kinematik parametrlarining yetarlicha katta qiymatlari hisobga olingan hol;
- shinalarning faqat yon deformatsiyasi hisobga olingan hol;
- harakat tezligining yetarlicha katta qiymatlari uchun;
- uvod gipotezasiga asoslangan hol.

Har bir usulni «**umumiy**» va «**oldingi o‘qning blokirovka qilingan holi**,  $\psi = 0$ » rejimidagi tadqiqi o‘rganiladi. Bu modul tarkibidagi protseduralarning tuzilishini tizimning harakat tenglamasi asosida namoyish qilamiz. Yuqorida qayd qilingan tadqiq usullarining matritsalarini hosil qilish protseduralari har bir rejim uchun alohida tuziladi. Agar ularning umumiy nomini **DABC** deb nomlasak, u holda har bir usulga mos protseduralarni tadqiqot rejimlariga mos ravishda **DABCj1** va **DABCj2** ( $j=1..4$ ) deb nomlanadi. Modulda A, B, C matritsalar uchun umumiy bo‘lgan parametrlarning qiymatini aniqlaydigan **DABC1** protsedurasi bo‘lishi kerak.

procedure DABC1;

begin

```

al:=a1;
bet:=bet1;
gam5:=gam1;
omega:=VV/r0;
sig:=sig1;
n1:=2*NN*(qig*r0+ro1);
aal:=a1;
bb1:=b1;
ro:=ro1;
eta1:=al/bet;
eta2:=gam5/bet;
LL1:=L1+ll;
K1:=K11+2*cpc*Lpc*Lpc+2*csh*LL1*LL1;
nk1:=2*(AA+mm*ll*ll);
JJ:=2*(AA+mm*LL1*ll);
BB:=2*bb1;
C0:=2*CC/r0;

```

```

J1:=2*(AA+mm*LL1*LL1)+B1;
J2:=2*(AA+mm*ll*ll);
J3:=2*(AA+mm*LL1*ll);
ha:=(hac+haom)*LL1*LL1;
h1:=2*hsh*LL1*LL1+2*hpc*Lpc*Lpc+ha+hc;
for i:=1 to ni do {n i – umumlashgan koordinatalar soni}
for j:=1 to ni do
begin
    A[i,j]:=0;
    B[i,j]:=0;
    C[i,j]:=0;
end;
End;

```

Birinchi tadqiq usulining «umumiy» rejim uchun keltirilgan harakat tenglamalariga mos o'zgarmas koeffitsiyentli matritsalar elementlarining qiymatini hisoblash protsedurasi quyidagicha bo'ladi:

```

Procedure DABC12;
Var i,j:integer;
Begin
    DABC1; {umumiy parametrlarni hisoblashga murojaat}
    A[1,1]:=J1;
    A[1,2]:=-gam0*JJ;
    A[2,2]:=J2;
    A[2,1]:=-gam0*JJ;
    B[1,1]:=h1;
    B[1,2]:=-C0*VV;
    B[2,2]:=h2;
    B[2,1]:=C0*VV;
    B[3,2]:=gam0*r;
    B[3,1]:=-r;
    B[3,3]:=1;
    B[4,2]:=1;
    B[4,4]:=1;
    C[1,2]:=gam0*n1;

```

```

C[1,1]:=K1;
C[1,3]:=2*(aa1*r0+sig*NN);
C[2,2]:=K2+n1;
C[2,1]:=-gam0*n1;
C[2,3]:=-gam0*2*(aa1*r0+sig*NN);o'
C[2,4]:=-BB;
C[3,2]:=VV;
C[3,4]:=VV;
C[4,2]:=-gam5*gam0*VV;
C[4,1]:=-gam0*VV;
C[4,3]:=-a1*VV;
C[4,4]:=-bet*VV;

```

end;

Har ikkala protseduraning hisoblanuvchi parametrlari global hisoblanib, bosh dasturda tavsiflanishi kerak. Birinchi usulning  $\psi = 0$  rejimga mos **DABC11** protsedurasi **DABC12** protsedurasidagi barcha matsritsalarda  $\psi$  umumlashgan koordinataga mos satr va ustunlarni o'chirib hosil qilinadi. Boshqa tadqiq usullariga mos protseduralar ham **DABC11** va **DABC12** protseduralari kabi tuziladi.

$A$ ,  $B$ ,  $C$  matsritsalarining qiymatiga asosan, **Harur** protsedurasi tizimning harakat tenglamasiga mos xarakteristik tenglama koefitsiyentlarini aniqlaydi. Xarakteristik tenglamaning sonli koefitsiyentlari ma'lum bo'lgandan keyin harakat turg'unligini aniqlashning algebraik usullaridan birini qo'llash mumkin.

## 6.2. EAVTO modullar kutubxonasining mod\_ust1 moduli.

**mod\_ust1** moduli harakatning turg'unligini tekshirishning algebraik usullari algoritmiga asosan tuzilgan **SHTURM**, **GURV**, **RAUS**, **L\_SHIPAR** protseduralaridan tashkil topgan va ularning tavsifi hamda qo'llanilishi to'g'risidagi tafsilotlar 3-bobning 3-5-§ larida berilgan. Ushbu protseduralar turg'unlik sohasini tanlangan  $\tau$  va  $\nu$  parametrlarning

$$G = \{(\tau, \nu) \in E^2 \mid \tau_0 \leq \tau \leq \tau_j; \nu_0 \leq \nu \leq \nu_j\}$$

tekisligida quradi. Sohani qurishda  $G$  to'rtburchakning har bir



$$S = \{(\tau_i, v_j) \in G \mid \tau_i = \tau_0 + (i - 0) \cdot d\tau, i = 0 \div [\tau_j - \tau_0]/d\tau; \\ v_j = v_0 + (j - 0) \cdot dv, j = 0 \div [v_j - v_0]/dv\}$$

tuguniga turg'un holda «+», noturg'un holda «-» belgisi bosiladi.

Agar xarakteristik tenglama koeffitsiyentlarining analitik ko'ri-nishi aniqlangan bo'lsa, tanlangan  $\tau$  va  $v$  parametrlar tekisligida chizilgan grafikni analitik tahlil qilish asosida turg'unlik sohasini aniqlaydigan usullar qo'llaniladi.

### 6.3. EAVTO modullar kutubxonasi mod\_ust2 moduli.

**mod\_ust2** moduli xarakteristik tenglamaning tanlangan  $\tau$  va  $v$  parametrlar (xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari  $\tau$  va  $v$  parametrlar bilan chizilgan bog'langan bo'lishi kerak) tekisligida chizilgan grafiginini analitik tahlil qilish asosida harakat turg'unligini aniqlaydigan algoritmlarga binoan tuzilgan **MH, D1, D2, NIKVIST** protseduralaridan tashkil topgan. Bu protseduralarning tafsiloti va qo'llanilishi 3- bobning 9-11-§ larida batafsil berilgan.

### 6.4. EAVTO modullar kutubxonasi mod\_SERV moduli.

**mod\_SERV** moduli TURBO PASCAL ning muhitida joriy qilingan protsedura va funksiyalar majmuyidan iborat. Bu protsedura va funksiyalar ma'lumotlarni tekshirish, interfeys muhitini hosil qilish, klaviatura tugmalaridan foydalanish, sichqoncha bilan ishlash, menyular hosil qilish, uzilishlarni boshqarish maqsadida qo'llanilib, ularning tafsiloti [51] da keltirilgan.

## 7- §. Dasturiy-instrumental vositaning MANAJER moduli

**MANAJER** modulining asosiy vazifalaridan biri – interfeys muhiti yordamida 3- bobning 2- § ida bayon qilingan algoritm asosida hisoblash eksperimentlari o'tkazishni tashkil qilib, eksperiment mobaynida kompyuter va foydalanuvchi o'rtasidagi muloqotni tashkil qilishdan iborat.

Hisoblash eksperimentlarini o'tkazish sxemasini amalga oshirish mobaynida quyidagi ketma-ketlikdagi muloqot tashkil qilinadi:

1) turg'unlik sohasini tadqiqot qilish usulini tanlash 5.8- shaklda ko'rsatilgan menyular yordamida amalga oshiriladi.

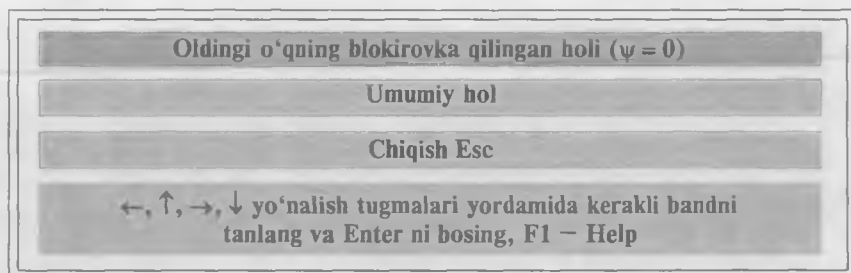
Shinalarning elastikligi va deformatsiyalanishi hisobga olingan hol (Model 1)
Shinalar kinematik parametrlarining yetarlicha katta qiymatlari hisobga olingan hol (Model 2)
Shinalarning faqat yon deformatsiyasi hisobga olingan hol (Model 3)
Harakat tezligining qiymati yetarlicha katta bo'lgan hol (Model 4)
Uvod gipotezasiga asoslangan hol (Model 5, Model 6)
Dvigatel-regulator (Model 7)
Chiqish Esc
←, ↑, →, ↓ yo'nalish tugmalari yordamida kerakli modelni tanlang va Enter ni bosing

5.8- shakl.

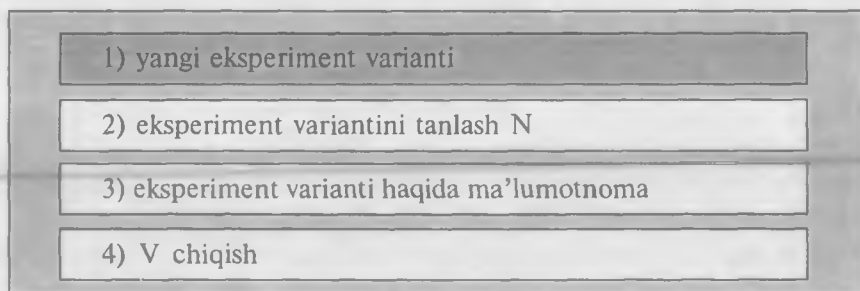
Buning uchun menyuning pastki qismidagi ko'rsatmadan foydalanish kerak. Agar tadqiqot «**shinalarning elastikligi va deformatsiyalanishi hisobga olingan hol**» usuliga asosan olib borilishi kerak bo'lsa, menyuning mos bandi tanlanadi. Menyudan tadqiq usuli tanlanganda **Param1** parametrining boshlang'ich belgisi (tadqiqot usuli nomeri) aniqlanadi;

2) tadqiqot rejimini tanlash menyusi (5.9- shakl) yordamida harakat rejimi tanlanadi. Tizimning tadqiqoti «**umumiy hol**» uchun olib borilayotganligidan menyudagi ko'rsatma asosida ushbu rejim tanlanadi. Natijada, **Param1** parametrining ikkinchi belgisi (harakat rejimining nomeri) aniqlanadi va birinchi belgi bilan birgalikda «**12**» satrni tashkil qiladi. **Param1** ning qiymatiga binoan, tadqiqot usuli va rejimiga mos dasturlarga murojaat tashkil qilinadi (**mod\_abc** modulining **DABC12** protsedurasiga);

3) hisoblash eksperimentini o'tkazish uchun konstruktiv parametrlarning nominal qiymati, tekisligida turg'unlik sohasi quriladigan parametrlar, turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganilayotgan parametrlar tanlanishi kerak. Bu vazifalarni amalga oshirish uchun 5.10- shakldagi menyu paydo bo'ladi.



5.9- shakl.



5.10- shakl.

Bu menyudan foydalanib, ma'lumotlar bazasidan tayyor eksperiment variantini tanlash mumkin (menyuning ikkinchi bandi). Eksperiment variantlari ma'lumotlar bazasiga (\*.dat tipdagi faylga) quyidagi tartib bo'yicha joylashgan bo'ladi:

$$\begin{array}{l}
 PB_1 \quad DP_1 \quad PE_1 \\
 PB_2 \quad DP_2 \quad PE_2 \\
 \dots \dots \dots \\
 PB_k \quad DP_k \quad PE_k \\
 x \quad y \quad t \\
 N_1 \quad N_2 \quad \dots \quad N_t
 \end{array}$$

Bu yerda  $PB_i$ ,  $PE_i$  lar  $i$ - konstruktiv parametrlarning, mos ravishda, boshlang'ich va oxirgi qiymatlari,  $DP_i$  esa o'zgarish qadami.

Konstruktiv parametrlarning qiymatlarini kiritgandan keyin yangi satrdan tekisligida turg'unlik sohasi quriladigan  $\tau$  va  $\nu$  para-

metrlarning nomerlari  $KP_1, KP_2$  hamda turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan parametrlarning soni  $t$  yoziladi. Misolimizda tizimning konstruktiv parametrlari quyidagicha nomerlangan:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= m, P_2 = l, P_3 = L_{11}, P_4 = A, P_5 = C, P_6 = B, P_7 = r, P_8 = h_{asj}, \\
 P_9 &= \alpha_1, P_{10} = \beta_1, P_{11} = \gamma_1, P_{12} = a_1, P_{13} = b_1, P_{14} = \sigma_1, P_{15} = \rho_1, \\
 P_{16} &= \alpha_2, P_{17} = \beta_2, P_{18} = \gamma_2, P_{19} = a_2, P_{20} = b_2, P_{21} = \sigma_2, P_{22} = V, \\
 P_{23} &= \rho_2, P_{24} = L_a, P_{25} = L_{rs}, P_{26} = C_{rs}, P_{27} = \gamma_0, P_{28} = C_{sh}, P_{29} = m_1, \\
 P_{30} &= h_{rs}, P_{31} = h_s, P_{32} = h_{sh}, P_{33} = h_{aom}, P_{34} = h_2, P_{35} = K'_1, P_{36} = K_2, \\
 P_{37} &= N.
 \end{aligned}$$

Menyuning ikkinchi bandi tanlansa, mazkur variantga mos faylning nomi so'raladi (eksperimentlar varianti to'g'risida ma'lumotnomani MB dan ko'rish mumkin). Agar foydalanuvchi fayl nomini bilmasa, bu menyuning uchinchi bandi orqali ma'lumot olishi mumkin. Menyuning birinchi bandini tanlab, yangi eksperiment variantini hosil qilish mumkin, buning uchun 5.11- shakldagi menyuning kerakli satrlarini o'zgartirish kerak.

Konstruktiv parametrlarning qiymatini tahrirlash			
Enter – saqlash, Esc – chiqish			
	boshl	qadam	oxirgi
1) g'il., gubch. va torn.bar-nlarining in-iy-a mom-ti	0.1036	0.1036	0.1036
2) chap g'il. shinasining yon elastiklik koeff-ti	5000.0	5000.0	40000.0
3) o'ng g'il. shinasining yon elastiklik koeff-ti	10000.0	10000.0	10000.0
4) osma.mas.mar.dan g'il.mas.mar.gacha bo'lgan ma-fa	4.2	4.2	4.2
.....			

5.11- shakl.

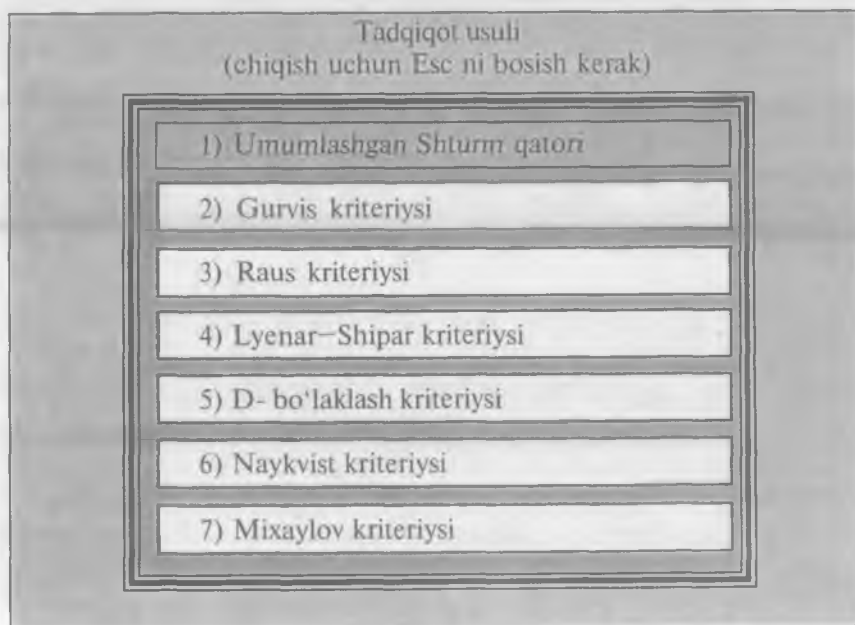
Agar  $(\gamma_0, h_2)$  tekislikda turg'unlik sohasi quriladigan bo'lsa,  $KP_1 = 27$  va  $KP_2 = 34$ , turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan parametrlar soni 2 ta bo'lsa,  $t = 2$  bo'lishi kerak. Oxirgi satrda

turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan  $t$  ta parametrning nomerlari  $N_1, N_2, \dots, N_t$  kiritiladi.

Bu menyudan foydalanish mazkur bobning 3- § ida to'liq tushuntirilgan edi;

4) konstruktiv parametrlarning qiymati aniqlanib, xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari hisoblangandan so'ng, turg'unlik sohasini qurish usuli tanlanadi (5.12- shakldagi menyu yordamida). Turg'unlik sohasini algebraik usullar yordamida qurish kerak bo'lsa, menyuning 1-4- bandlaridan biri, grafikli ko'rinishda quriladigan bo'lsa, 5-7- bandlaridan biri tanlanadi.

Hisoblash eksperimentlarining natijalari, ya'ni tanlangan  $(\tau, \nu)$  parametrlar tekisligida aniqlangan turg'unlik sohasi, tashqi ta'sir etuvchi parametrlar bo'lmasa ( $t=0$ ), bitta shakldan iborat bo'ladi. Agar turg'unlik sohasiga  $p_i$  va  $p_j$  parametrlarning ta'siri o'rganiladigan bo'lsa,  $S_i \cdot S_j$  ta shakl bo'ladi ( $S_i$  va  $S_j$  lar, mos ravishda,  $p_i, p_j$  parametrlar qiymatining o'zgarish soni).



5.12- shakl.

Bu bobda yaratilgan dasturiy-instrumental vosita (DIV)ning muayyan mexanik tizimlar harakatining turg'unligini tekshirishga tadqiq etilishini ko'rib chiqamiz. Muayyan mexanik tizim sifatida avval avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari, oldingi osma (oldingi o'q, resor, amortizator) va boshqarish ruli mexanizmlaridan iborat tebranuvchi murakkab tizimni, so'ngra markazdan qochma regulator (rostlagich) bilan dvigateldan iborat yana bir tizimni olamiz.

Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini shinaning elastikligi va deformatsiyalanishini hisobga olgan holda (Model 1), ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi (Model 2), uvod nazariyasi (Model 3), birinchi umumlashgan uvod nazariyasi (Model 4), uvod gipotezalari (Model 5, Model 6) asosida tadqiq etamiz.

Mexanik tizim harakatining matematik modeli masalada qo'yilgan shartlarga bog'liqligi va turg'unlik masalasini turli usullar bilan tadqiq etish mumkinligini hamda harakat turg'unligiga tizim konstruktiv parametrlarining qanday ta'sir etishini 1-5- § larda ko'rib chiqamiz.

### **1- §. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakati turg'unligining shinaning elastikligi va deformatsiyalanishini hisobga olingan holdagi matematik modeli**

Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari oldingi osma (oldingi o'q, resor, amortizator) va boshqarish ruli mexanizmlari bilan birgalikda tebranuvchi murakkab tizimni tashkil qiladi.

Amaliyot ko'rsatadiki, hatto tekis yo'lda to'g'ri chiziqli harakat qilayotgan avtomobilning tezligi ma'lum bir kritik qiymatdan ortganidan keyin yo'l tarafidan tasodifiy ravishda ta'sir etadigan

kuch vositasida (oldingi osmaning ayrim konstruksiyalarida) boshqariladigan g'ildiraklar tebranishining amplitudasi monoton ravishda o'sadi. Natijada, tizimda turg'un avtotebnanma harakat hosil bo'ladi. O'z-o'zidan paydo bo'ladigan bu harakat (ilmiy adabiyotlarda «shimmi» deb aytiladi) g'ildiraklarning shkvoren o'qi atrofidagi tebranishlari va oldingi osmaning g'ildiraklar bilan birgalikda avtomobilning bo'ylama o'qi atrofidagi aylanishidan iboratdir. Boshqariladigan g'ildiraklarning bunday tebranma harakati shinalar, oldingi osma hamda boshqarish ruli qismlarining muddatidan oldin yeyilishi va ishdan chiqishiga, hatto butun avtomobilning boshqaruvi izdan chiqishiga, ya'ni boshqarish ruliga bo'ysunmay qolishiga sabab bo'ladi. Bundan tashqari, bu tebranma harakat tufayli avtomobil dvigatelining ma'lum miqdordagi qo'shimcha energiyasi sarf bo'ladi va, demak, qo'shimcha yonilg'i sarflanadi.

Shuning uchun ham avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari harakatining turg'unligini nazariy jihatdan tadqiq etish muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

### **1.1. Tizimning shinaning elastikligi va deformatsiyalanishini hisobga olingan holdagi matematik modeli (Model 1).**

Oldingi osma, boshqariladigan g'ildiraklar va boshqarish rulidan iborat tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini va harakat turg'unligiga tizim konstruktiv parametrlarining ta'sirini tadqiq etish masalasini ko'rib chiqaylik.

Masalaning shartlari, tizimning umumlashgan koordinatalari va parametrlari 5-bobning 5-§ ida keltirilgan. Shu paragrafda tizimning chap va o'ng g'ildiraklari massa markazlarining koordinatalari,  $OZ$  o'qi hamda chap va o'ng g'ildiraklarning o'rta tekisligi o'rtasidagi  $\chi_i$  ( $i = 1, 2$ ) burchak,  $OY$  o'qi bilan g'ildirak o'rta tekisligining yo'ldagi izi orasidagi  $\theta_i$  ( $i = 1, 2$ ) burchak, g'ildirak o'rta tekisligining massa markazidan o'tuvchi eng katta og'ishli to'g'ri chiziqning  $OXY$  yo'l tekisligi bilan kesishish nuqtasining  $x_i$  ( $i = 1, 2$ ) absissasi, chap g'ildirak massa markazining  $V_1$  tezligi, o'ng g'ildirak massa markazining  $V_2$  tezligi, chap g'ildirak massa

markazi aylanishining  $\bar{\Omega}_1$  oniy burchak tezligi, o'ng g'ildirak massa markazi aylanishining  $\bar{\Omega}_2$  oniy burchak tezligi, tizimning kinematik tenglamalari, chap g'ildirakning  $T_1$  kinetik energiyasi, o'ng g'ildirakning  $T_2$  kinetik energiyasi, oldingi osmaning  $T_3$  kinetik energiyasi, tizimning  $T = T_1 + T_2 + T_3$  kinetik energiyasi, tizimning harakatiga ta'sir etadigan  $Q_j$  va  $R_j$  umumlashgan kuchlar, tizimning M.V.Keldish nazariyasiga (shinaning elastikligi va deformatsiyalanishi hisobga olingan hol) asoslangan dinamik tenglamalari hamda matematik modeli, matematik modelga asosan tuzilgan o'zgarmas koeffitsiyentli  $A, B, C$  matritsalar, matritsalarining xarakteristik determinantlari, differensial tenglamalar sistemasining xarakteristik tenglamasi va bu tenglama koeffitsiyentlarining ifodalari dasturiy-instrumental vosita (DIV)ning LAGR moduli orqali avtomatik ravishda topilgan (151–170- betlarga qarang).

Tizimning matematik modeli ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned}
 DT1 &:= J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - \\
 &\quad - C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \gamma_0 n_1 \theta(t) + n n \xi(t) = 0 \\
 DT2 &:= J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + (K_2 + n_1) \theta(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \\
 &\quad + C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - \gamma_0 n_1 \psi(t) - B \phi(t) - \gamma_0 n n \xi(t) = 0 \\
 KT1 &:= \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi(t) \right) - r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r y_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + V V \phi(t) = 0 \quad (6.1.1) \\
 KT2 &:= \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \phi(t) \right) - \alpha V V \xi(t) + \beta V V \phi(t) + \gamma_5 V V \psi(t) - \\
 &\quad - \gamma_0 \gamma_5 V V \theta(t) = 0
 \end{aligned}$$

**1.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi.** DIVning LAGR modulining HARDET protsedurasi tizimning (6.1.1) matematik modeliga asosan



$$Ak1 := \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma 0JJ & 0 & 0 \\ -\gamma 0JJ & J_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Bk1 := \begin{bmatrix} h_1 & -C_0VV & 0 & 0 \\ C_0VV & h_2 & 0 & 0 \\ -r & \gamma 0r & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1.2)$$

$$Ck1 := \begin{bmatrix} K_1 & -\gamma 0n_1 & nn & 0 \\ -\gamma 0n_1 & K_2 + n_1 & -\gamma 0nn & -B \\ 0 & VV & 0 & VV \\ \gamma 5VV & -\gamma 0\gamma 5VV & -\alpha VV & \beta VV \end{bmatrix}$$

o'zgarma koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning

$ABCK :=$

$$= \begin{bmatrix} J_1\lambda^2 + h_1\lambda + K_1 & -\gamma 0JJ\lambda^2 - C_0VV\lambda - \gamma 0n_1 & nn & 0 \\ -\gamma 0JJ\lambda^2 + C_0VV\lambda - \gamma 0n_1 & J_2\lambda^2 + h_2\lambda + K_2 + n_1 & -\gamma 0nn & -B \\ -r\lambda & \gamma 0r\lambda + VV & \lambda & VV \\ \gamma 5VV & l - \gamma 0\gamma 5VV & -\alpha VV & \lambda + \beta VV \end{bmatrix} \quad (6.1.3)$$

xarakteristik determinantini hosil qiladi. Bu yerda  $Ak1$ ,  $Bk1$ ,  $Ck1$  o'zgarma koeffitsiyentli matrisalar bo'lib, 3- bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil bo'ladi.

**LAGR** modulining **HARUR** protsedurasi (5- bobning 5- § iga qarang) tizimning xarakteristik determinantiga asosan uning

$$P := \gamma 5VV^2 nnK_2 + K_1 J_2 \lambda^3 VV - \gamma 0n_1 nn \beta VV^2 - r\lambda^3 \gamma 0JJ \alpha VVB - \\ - r\lambda \gamma 0n_1 \alpha VVB + r\lambda^4 nn J_2 + r\lambda^3 nn h_2 + r\lambda^4 nn K_2 + r\lambda^2 nn n_1 + \\ + C_0VV^3 \lambda nn \beta + C_0^2VV^3 \lambda^3 \beta + C_0^2VV^4 \lambda^2 \alpha - \gamma 0JJ \lambda^2 nn \beta VV^2 - \\ - K_1 \gamma 0\gamma 5VV \lambda B + K_1 n_1 \lambda BVV + K_1 \gamma 0r \lambda \alpha VVB + K_1 h_2 \lambda^2 \beta VV +$$

$$\begin{aligned}
& + K_1 h_2 \lambda VV^2 \alpha + K_1 K_2 VV^2 \alpha + K_1 K_2 \lambda \beta VV + K_1 \gamma 0 n n \beta VV^2 + \\
& + K_1 h_2 \lambda^3 - h_1 \lambda^2 \gamma 0 \gamma 5 VVB + K_1 J_2 \lambda^4 + h_1 \lambda \alpha VV^2 B + \\
& + h_1 \lambda^2 \gamma 0 r \alpha VVB + h_1 \lambda K_2 VV^2 \alpha + h_1 \lambda^2 n_1 \beta VV + h_1 \lambda n_1 VV^2 \alpha + \\
& + h_1 \lambda \gamma 0 n n \beta VV^2 + J_1 \lambda^6 J_2 + J_1 \lambda^5 h_2 + J_1 \lambda^4 K_2 + J_1 \lambda^2 \gamma 0 n n \beta VV^2 - \\
& - J_1 \lambda^3 \gamma 0 \gamma 5 VVB + h_1 \lambda^4 J_2 \beta VV + h_1 \lambda^3 J_2 VV^2 \alpha + J_1 \lambda^2 n_1 VV^2 \alpha + \\
& + J_1 \lambda^3 \gamma 0 r \alpha VVB + J_1 \lambda^4 J_2 VV^2 \alpha + J_1 \lambda^4 h_2 \beta VV + J_1 \lambda^3 h_2 VV^2 \alpha + \\
& + J_1 \lambda^3 K_2 \beta VV + J_1 \lambda^2 K_2 VV^2 \alpha + J_1 h^4 n_1 + J_1 \lambda^4 B + h_1 \lambda^5 J_2 + (6.1.4) \\
& + J_1 \lambda^5 J_2 \beta VV + J_1 \lambda^3 n_1 \beta VV + J_1 \lambda^2 \alpha VV^2 B + h_1 \lambda^4 h_2 + h_1 \lambda^3 n_1 + \\
& + h_1 \lambda^3 B + K_1 K_2 \lambda^2 + K_1 n_1 \lambda^2 + K_1 \lambda^2 B + C_0^2 VV^2 \lambda^4 + h_1 \lambda^3 K_2 + \\
& + K_1 n_1 VV^2 \alpha + K_1 \alpha VV^2 B + \gamma 5 VV^2 n n J_2 \lambda^2 + \gamma 5 VV^2 n n h_2 \lambda + \\
& + \gamma 5 VV^2 n n h_2 \lambda + \gamma 5 VV^2 n n n_1 + \gamma 5 VV^2 n n B + \gamma 5 VV \gamma 0 J J \lambda^3 B + \\
& + \gamma 5 VV^2 C_0 \lambda^2 B + \gamma 5 VV \gamma 0 n_1 \lambda B + r \lambda^2 n n h_2 \beta VV + r \lambda n n K_2 \beta VV + \\
& + r \lambda^2 n n B + r \lambda^3 n n J_2 \beta VV + r \lambda n n h_1 \beta VV + h_1 \lambda^3 h_2 \beta VV + \\
& + h_1 \lambda^2 h_2 VV^2 \alpha + h_1 \lambda^2 K_2 \beta VV - r \lambda^2 C_0 VV^2 \alpha B + K_1 J_2 \lambda^2 VV^2 \alpha
\end{aligned}$$

xarakteristik tenglamasini va xarakteristik tenglamaning quyidagi koeffitsiyentlarini aniqlaydi:

$$\begin{aligned}
d_6 & := (-n_1 n n \beta VV^2 + K_1 n n \beta VV^2) \gamma 0 + \gamma 5 VV^2 n n K_2 + K_1 \alpha VV^2 B + \\
& + K_1 K_2 VV^2 \alpha + \gamma 5 VV^2 n n B + K_1 n_1 VV^2 \alpha + \gamma 5 VV^2 n n n_1 \\
d_5 & := (K_1 r \alpha VVB - K_1 \gamma 5 VVB + \gamma 5 VV n_1 B - r n_1 \alpha VVB + h_1 n n \beta VV^2) \gamma 0 + \\
& + r n n K_2 \beta VV + C_0 VV^3 n n \beta + K_1 K_2 \beta VV + K_1 n_1 \beta VV + h_1 K_2 VV^2 \alpha + \\
& + K_1 h_2 VV^2 \alpha + r n n n_1 \beta VV + h_1 \alpha VV^2 B + h_1 n_1 VV^2 \alpha + \gamma 5 VV^2 n n h_2 \\
d_4 & := (h_1 r \alpha VVB - J J n n \beta VV^2 + J_1 n n \beta VV^2 - h_1 \gamma 5 VVB) \gamma 0 + r n n K_2 + \\
& + r n n n_1 + C_0^2 VV^4 \alpha + \gamma 5 VV^2 C_0 B + K_1 h_2 \beta VV + r n n B + h_1 h_2 VV^2 \alpha + \\
& + h_1 n_1 \beta VV - r C_0 VV^2 \alpha B + J_1 n_1 VV^2 \alpha + J_1 K_2 VV^2 \alpha + J_1 \alpha VV^2 B + \\
& + K_1 K_2 + K_1 n_1 + K_1 B + \gamma 5 VV^2 n n J_2 + h_1 K_2 \beta VV + K_1 J_2 VV^2 \alpha
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_3 &:= (-rJJ\alpha VVB - J_1\gamma 5VV\beta + \gamma 5VVJJ B + J_1r\alpha VVB)\gamma 0 + K_1J_2\beta VV + \\
&+ J_1K_2\beta VV + rnnh_2 + C_0^2VV^3\beta + K_1h_2 + h_1K_2 + h_1J_2VV^2\alpha + \\
&+ h_1n_1 + J_1h_2VV^2\alpha + J_1n_1\beta VV + rnnJ_2\beta VV + h_1B + h_1h_2\beta VV \\
d_2 &:= rnnJ_2 + K_1J_2 + J_1K_2 + h_1J_2\beta VV + J_1J_2VV^2\alpha + J_1h_2\beta VV + \\
&+ J_1n_1 + J_1B + h_1h_2 + C_0^2VV^2 \\
d_1 &:= J_1h_2 + h_1J_2 + J_1J_2\beta VV \\
d_0 &:= J_1J_2
\end{aligned} \tag{6.1.5}$$

**1.3. Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini umumlashgan Shturm qatori usuli va Gurvis kriteriysi asosida tadqiq etish.** Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligi DIVning EAVTO modullar kutubxonasi orqali tadqiq etiladi. Harakatning turg'unligini umumlashgan Shturm qatori usuli (SHTURM), Gurvis (GURV), Raus (RAUS), Lyenar-Shipar (L\_SHIPAR), Mixaylov (MH), Naykvist (NIKVIST) kriteriyolari hamda bir kompleks parametr tekisligida *D*- bo'laklash (D1), ikki haqiqiy parametr tekisligida *D*- bo'laklash (D2) usullariga asosan tadqiq etish mumkin.

Qaralayotgan tizim harakatining turg'unligini umumlashgan Shturm qatori usuli yordamida tadqiq etishni ko'rsatamiz.

Endi tadqiqot jarayonini amalga oshirish mobaynida DIV ning MANAJER moduli vositasida muloqot muhiti paydo bo'ladi (5.2- shaklga qarang).

Hisoblash eksperimentini o'tkazish uchun konstruktiv parametrlarning nominal qiymatini ma'lumotlar bazasiga kiritish hamda tekisligida turg'unlik sohasi quriladigan va turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganilayotgan parametrlar tadqiqotchi tomonidan tanlanishi kerak. Bu vazifalarni amalga oshirish uchun 5.2- shakldagi menyuning BAZA tugmasini faollashtirsak, 6.1- shakldagi menyu paydo bo'ladi.

Agar ma'lumotlar bazasiga konstruktiv parametrlarning tadqiqotga mos qiymatlari kiritilgan bo'lsa, menyuning ikkinchi bandini tanlab, tayyor eksperiment variantini olish yoki menyuning birinchi bandini tanlab, yangi eksperiment variantini hosil qilish mumkin.

1) yangi eksperiment varianti
2) eksperiment variantini tanlash N
3) eksperiment varianti haqida ma'lumotnoma
4) V chiqish

6.1- shakl.

Eksperiment variantlari ma'lumotlar bazasida (**\*.dat** kengaytmali faylga) quyidagi tartib bo'yicha joylashgan bo'lishi kerak:

$$\begin{array}{ccc}
 PB_1 & DP_1 & PE_1 \\
 PB_2 & DP_2 & PE_2 \\
 \dots & \dots & \dots \\
 PB_k & DP_k & PE_k \\
 x & y & t \\
 N_1 & N_2 & \dots N_t
 \end{array}$$

Bu yerda  $PB_i$ ,  $PE_i$  lar  $i$ - konstruktiv parametrning mos ravishda boshlang'ich va oxirgi qiymatlari,  $DP_i$  esa o'zgarish qadamidir.

Konstruktiv parametrlarning qiymatlaridan keyin yangi satrdan tekisligida turg'unlik sohasi quriladigan  $\tau$  va  $\nu$  parametrlarning  $x$ ,  $y$  nomerlari hamda turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan parametrlarning soni  $t$  yoziladi. Tadqiq etilayotgan tizim uchun konstruktiv parametrlari quyidagicha nomerlangan:

$$\begin{array}{l}
 P_1 = m, P_2 = l, P_3 = L_{11}, P_4 = A, P_5 = C, P_6 = B, P_7 = r, P_8 = h_{asj}, \\
 P_9 = \alpha_1, P_{10} = \beta_1, P_{11} = \gamma_1, P_{12} = a_1, P_{13} = b_1, P_{14} = \sigma_1, P_{15} = \rho_1, \\
 P_{16} = \alpha_2, P_{17} = \beta_2, P_{18} = \gamma_2, P_{19} = a_2, P_{20} = b_2, P_{21} = \sigma_2, P_{22} = V, \\
 P_{23} = \rho_2, P_{24} = L_a, P_{25} = L_{is}, P_{26} = C_{is}, P_{27} = \gamma_0, P_{28} = C_{sh}, P_{29} = m_1, P_{30} = h_{is}, \\
 P_{31} = h_s, P_{32} = h_{sh}, P_{33} = h_{aom}, P_{34} = h_2, P_{35} = K'_1, P_{36} = K_2, P_{37} = N.
 \end{array}$$

Tadqiqotchi  $\tau$  va  $\nu$  parametrlar sifatida tizimning 37 ta parametridan ixtiyoriy ikkitasini hamda  $N_1, N_2, \dots, N_t$  o'rniga  $\tau$  va  $\nu$  dan tashqari ixtiyoriy parametrlarni tanlashi mumkin.

Ma'lumotlar bazasida **exper.dat** faylida konstruktiv parametrlarning qiymatlari quyidagi ko'rinishda yozilgan bo'ladi (1- jadval):

1- jadval

3.64 3.64 3.64	0.46 0.46 0.46	-2 -2 -2
0.142 0.142 0.142	0.19 0.19 0.19	10500 10500 10500
0.647 0.647 0.647	46.0 46.0 46.0	3.64 3.64 3.64
0.1036 0.1036 0.1036	17.0 17.0 17.0	3.8 3.8 3.8
0.1236 0.1236 0.1236	1.84 1.84 1.84	2 2 2
2.0 2.0 2.0	8800 8800 8800	76 76 76
0.31 0.31 0.31	160 160 160	2 2 2
0.65 0.65 0.65	0.46 0.46 0.46	2 2 2
46.0 46.0 46.0	0.19 0.19 0.19	2250 2250 2250
17.0 17.0 17.0	10 10 10	800 800 800
1.84 1.84 1.84	0.9 0.9 0.9	450 450 450
8800 8800 8800	0.88 0.88 0.88	4 18 2
160 160 160	6150 6150 6150	23 27

Ushbu ma'lumotlardan foydalanib, avtomobilning tezligi  $V = 10 \div 60$  m/s (5 m/s qadam bilan o'zgarganda), boshqarish rul mexanizmi qovushqoqlik (dempfer) koeffitsiyenti  $h_2 = 0 \div 8$  kg · s/rad (0,5 kg · s/rad qadam bilan o'zgarganda) va shkoren bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0 = -6 \div 6$  grad (1 grad qadam bilan o'zgarganda) bo'lgandagi qiymatlariga mos eksperiment variantini hosil qilamiz. Buning uchun 6.1- shakldagi menyuning ikkinchi bandini tanlab, so'ralgan fayl nomi uchun **exper.dat** ni kiritamiz. Eksperimentlar varianti to'g'risida ma'lumotnomani MB dan ko'rsa bo'ladi. Agar foydalanuvchi fayl nomini bilmasa, ushbu menyuning uchinchi bandi orqali ma'lumot olishi mumkin.

( $V, h_2$ ) tekislikda  $\gamma_0$  ning berilgan qiymatlari uchun turg'unlik sohalarini aniqlash jarayoniga mos keladigan tizim konstruktiv parametrlarining qiymatlarini hosil qilish uchun 6.2- shakldagi menyuning 23- satridagi 10 10 10 qiymatlarni 10 10 60 ga, 27- satridagi -2 -2 -2 qiymatlarni -6 1 6 ga, 34- satridagi 2 2 2 qiymatlarni 0 0.5 8 ga, 38- satridagi 4 18 2 qiymatlarni 23 34 1 ga va 39- satridagi 23 27 qiymatlarni 27 ga almashtiramiz.

Konstruktiv parametrlarning qiymatini tahrirlash			
Enter – saqlash, Esc – chiqish			
	boshi	qadam	oxirgi
1) g'il, gubeh va torm bar-nlarning in-lya mom-zi	0.1036	0.1036	0.1036
2) chap g'il, shinasining yon elastiklik koef-fi	5000.0	5000.0	40000.0
3) o'ng g'il, shinasining yon elastiklik koef-fi	10000.0	10000.0	10000.0
4) osma mas mar'dan g'il.mas.mar.gacha bo'lgan ma-fa	4.2	4.2	4.2
.....	.....	.....	.....

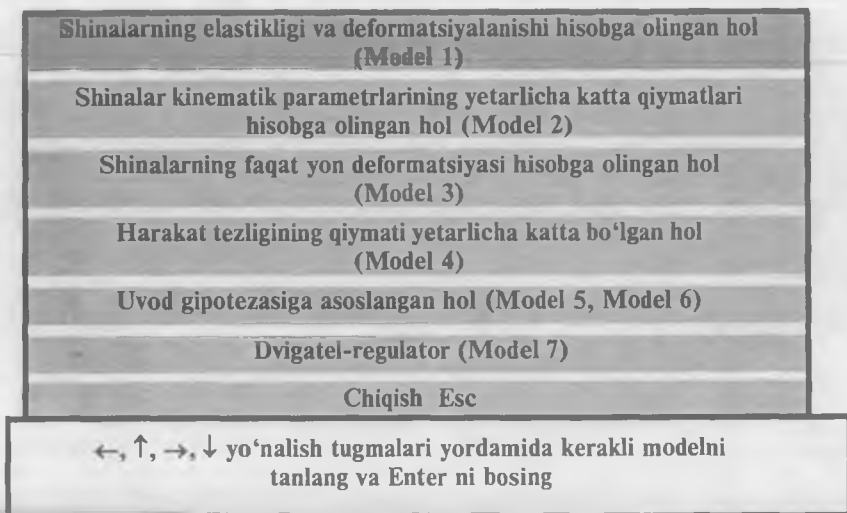
6.2- shakl.

Konstruktiv parametrlarning hosil qilingan yangi qiymatlarini ma'lumotlar bazasining **exper1.dat** faylda 1- jadval ko'rinishida saqlaymiz. Ushbu ma'lumotlarning 38- satridagi 23 34 lar turg'unlik sohasi ( $V, h_2$ ) tekislikda qurilishini, 1 esa turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan parametrlar soni bitta ekanligini bildiradi. 39- satrdagi 27 esa turg'unlik sohasiga ta'siri o'rganiladigan parametr sifatida shkvoren bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  tanlanganligini bildiradi.

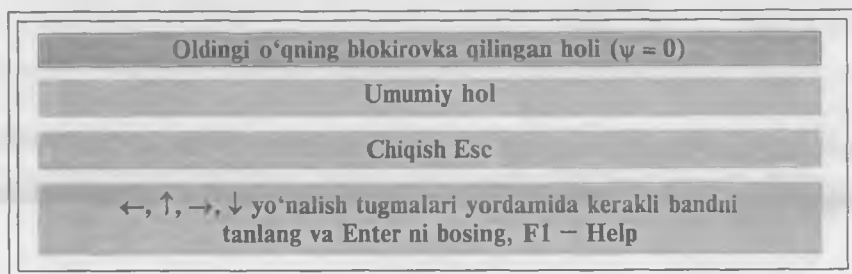
Muloqot muhiti yordamida 3- bobning 2- § ida bayon qilingan algoritm asosida hisoblash eksperimentlarini o'tkazish uchun **EAVTO** tugmasini bosganimizda, tadqiqot modelini tanlash imkoniyatini beradigan 6.3- shakl ko'rinishidagi menyu paydo bo'ladi.

Tizim harakatining turg'unligini shinalarning elastikligi va deformatsiyalanishi hisobga olinadigan hol uchun tadqiq etaylik. Buning uchun 6.3- shakldagi menyuning pastki qismidagi ko'rsatmadan foydalanib, «**shinalarning elastikligi va deformatsiyalanishi hisobga olingan hol (Model 1)**» bandini tanlaymiz. Menyudan harakatning matematik modeli tanlanganda **Param1** parametrning boshlang'ich belgisi (model nomeri) aniqlanadi.

Harakat rejimini tanlash uchun 6.4- shaklda ko'rsatilgan menyudagi «**Umumiy hol**» bandini tanlaylik. Natijada **Param1**



6.3- shakl.



6.4- shakl.

parametrning ikkinchi belgisi (harakat rejimining nomeri) aniqlanadi va birinchi belgi bilan birgalikda «12» satrni tashkil qiladi. **Param1** ning qiymatiga binoan harakatning matematik modeli va harakat rejimiga mos dasturlarga (**mod\_abc** modulining **DABC12** protsedurasiga) murojaat tashkil qilinadi.

Konstruktiv parametrlarning qiymati aniqlanib, xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari (**KOEFF\_HAR\_UR** protsedurasi vositasida) hisoblangandan so'ng, harakat turg'unligini tadqiq etish usuli tanlanadi (6.5- shakldagi menyu yordamida). Turg'unlik

Tadqiqot usuli  
(chiqish uchun Esc ni bosish kerak)

1) Umumlashgan Shturm qatori

2) Gurvis kriteriysi

3) Raus kriteriysi

4) Lyenar–Shipar kriteriysi

5) D- bo'laklash kriteriysi

6) Naykvist kriteriysi

7) Mixaylov kriteriysi

6.5- shakl.

sohasini algebraik usullar yordamida qurish kerak bo'lsa, menyuning 1–4- bandlaridan biri, grafikli ko'rinishda quriladigan bo'lsa, 5–7- bandlardan biri tanlanadi.

Menyuning 1- bandini tanlab,  $V$ ,  $h_2$ ,  $\gamma_0$  parametrlar uchun tizim harakatining turg'unlik sohaslarini umumlashgan Shturm qatori usuli asosida (**mod\_ust1** modulining **SHTURM** protsedurasi vositasida) aniqlaymiz.

Umumiy holda hisoblash eksperimentlarining natijalari, ya'ni tanlangan ( $V$ ,  $h_2$ ) parametrlar tekisligida aniqlangan turg'unlik sohasiga ta'sir etuvchi  $\gamma_0$  parametrning har bir qiymati uchun quyidagicha bo'ladi:

### EAVTO moduli

Harakatning turg'unlik sohasini umumlashgan Shturm qatori usuli asosida qurishni avtomatlashtirish.



Harakatning M.V.Keldish nazariyasi asosidagi matematik modeli.

Tizimning umumlashgan koordinatalari:

$\psi, \theta, \kappa, \varphi$

Umumiy holda

Sanoq nomeri  $H = 1$

Boshlang'ich ma'lumotlar:

$m = 3.6400 \text{ kG/m.s.s; } l = 0.142 \text{ m; } L1 = 0.647 \text{ m; } A = 0.104 \text{ kG.m.s.s; } C = 0.124 \text{ kG.m.s.s; } B1 = 2.000 \text{ kG.m.s.s; } r = 0.310 \text{ m; } \text{ hac} = 0.650 \text{ m; } a11 = 46.000 \text{ 1/m/m; } \text{ bet1} = 17.0000 \text{ 1/m; } \text{ gam1} = 1.8401/\text{m; } a1 = 8800.0 \text{ kG/m; } b1 = 160.0 \text{ kGm/rad.; } \text{ sig1} = 0.460; \text{ ro1} = 0.190 \text{ m; } a2 = 46.000 \text{ 1/m/m.; } \text{ bet2} = 17.000 \text{ 1/m; } \text{ gam2} = 1.84 \text{ 1/m; } a2 = 8800.000 \text{ kG/m; } b2 = 160.000 \text{ kGm/rad; } \text{ sig2} = 0.460; \text{ ro2} = 0.19 \text{ m; } La = 0.900 \text{ m; } Lpc = 0.880 \text{ m; } Cpc = 6150.000 \text{ kG.m.s.s; } Csh = 10500.00 \text{ kG.m.s.s.; } m1 = 3.64 \text{ kG.m.s.s; } hpc = 3.80 \text{ kG.m.s/rad; } hc = 2.00 \text{ kG.m.s/rad; } \text{ hsh} = 76.00 \text{ kG.m.s/rad; } \text{ haom} = 2.00 \text{ kG.m.s/rad; } K11 = 2250.00 \text{ kG.m/rad; } K2 = 800.00 \text{ kG.m/rad; } N = 450.00 \text{ kG;}$

Natijada hisoblash eksperimentlari natijalari ekranda 6.6- shakl ko'rinishida hosil bo'ladi, ularning tahlilidan quyidagi natijalarga ega bo'lamiz:

1) tizim harakatining turg'unligiga boshqarish ruli qovush-qoqlik koeffitsiyenti  $h_2$  ning ta'siri yetarlicha katta. Tizim harakati barcha tezliklarda turg'un bo'lishi uchun kerak bo'lgan minimal qovushqoqlik koeffitsiyenti  $h_{2min}$  ning miqdori shkvooren o'qining bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  ning miqdoriga bog'liq. Bu funksional bog'lanish 2- jadvalda keltirilgan.

2-jadval

$\gamma_0, \text{ grad}$	-6	-4	-2	0	2	4	6
$h_{2min}, \text{ kg} \cdot \text{ m} \cdot \text{ s}$	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5

2) turg'unlik sohasiga tizim harakati tezligi  $V$  ning ham ta'siri bor. Harakat tezligi  $V$  ning o'sishi bilan noturg'un harakat turg'un harakatga aylanishi mumkin. Masalan,  $\gamma_0 = -6$  grad va  $h_2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{ m} \cdot \text{ s}$

gamma0 = 6.0 grad;

h2

V va h2 parametrlar

tekisligida turg'unlik

sohasi

8.0E+00

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

0.00E+00

1.00E+01

6.0E+01

V

b)

gamma0 = -6.0 grad;

h2

| V va h2 parametrlar  
| tekisligida turg'unlik  
| sohasi

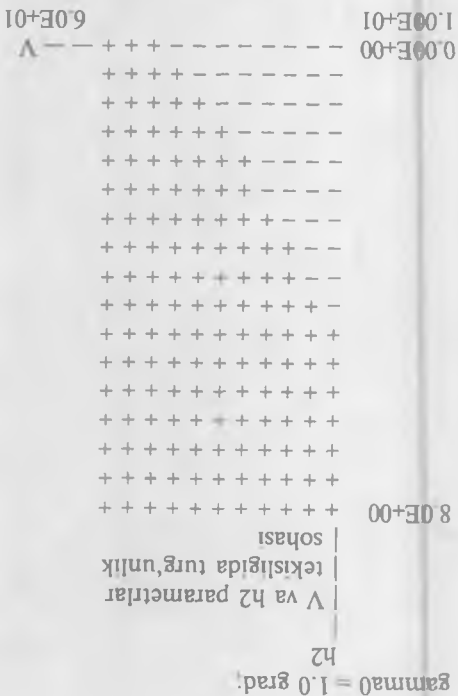
8.0E+00



6.0E+01

a)

e)

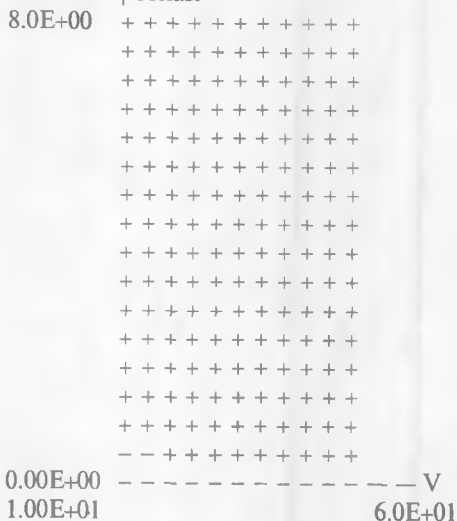




$\text{gamma0} = -6.0 \text{ grad};$

$h2$

V va  $h2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

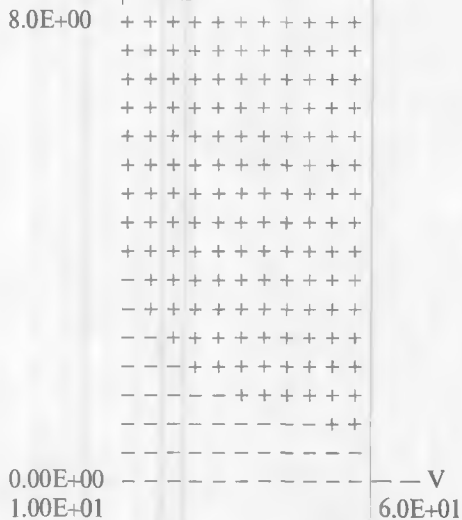


a)

$\gamma_0 = 6.0$  grad;

$h_2$

V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

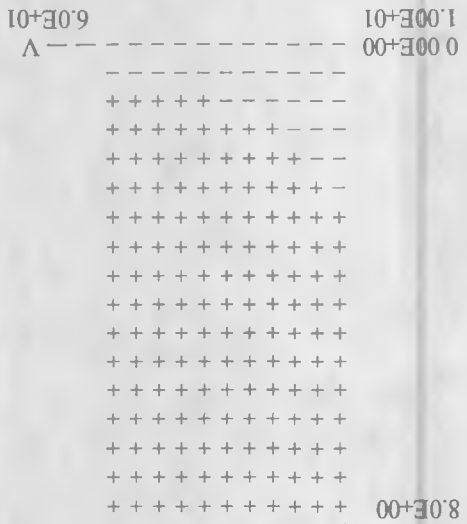


b)

gamma0 = 1.0 grad;

h2

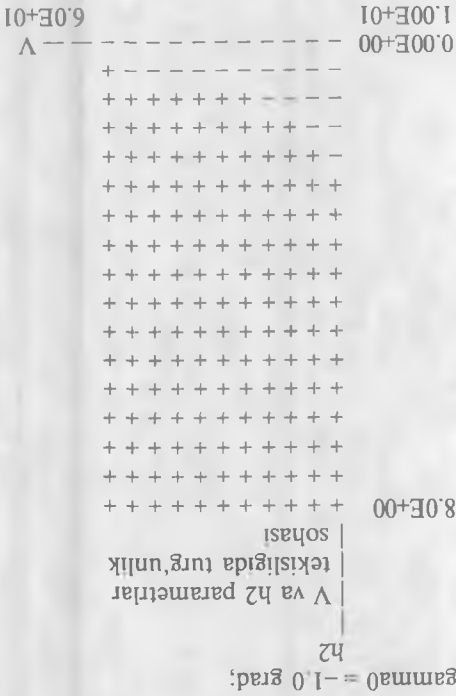
V va h2 parametrlar  
 | tekisligida turg'unlik  
 | sohasi



e)



d)



20 ~ H.T.To'rayev va b.

bo'lganda, tizimning harakati faqatgina  $V > 25$  m/s dan boshlab turg'unlashadi. Tezlikning bu qiymati  $\gamma_0$  burchakning qiymatiga bog'liq va  $\gamma_0$  qiymatining o'sishi bilan  $V$  ning qiymati kamayadi;

3) harakat turg'unligiga eng katta ta'sir etadigan parametrlaridan biri shkvoren o'qining bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  dir.  $\gamma_0$  burchak qiymatining o'sishi bilan asimptotik turg'unlik sohasi kamayadi;

4) qaralayotgan tizim harakatini har doim  $h_2$  va  $\gamma_0$  parametrlarning qiymatlarini tanlash usuli bilan turg'un qilish mumkin.

Oldingi o'q (osmaning) avtomobil bo'ylama o'qi atrofidagi tebranishining olingan natijalarga ta'sirini o'rganish uchun  $\psi = 0$  holni ko'rib o'tamiz. Bu holni tadqiq etish uchun 6.5- shakldagi menyuning 2- bandi tanlanadi, ya'ni tizim harakatining turg'unligini Gurvis kriteriysi asosida (**mod\_ust1** modulining **GURV** protsedurasi yordamida) tadqiq etamiz.

Bu hol uchun hisoblash eksperimentlarining natijalari quyidagicha bo'ladi:

### EAVTO moduli

Harakatning turg'unlik sohasini umumlashgan Shturm qatori usuli asosida qurishni avtomatlashtirish.

Harakatning M.V.Keldish nazariyasi asosidagi matematik modeli.

Tizimning umumlashgan koordinatalari:

psi, tetta, kci, fi

Oldingi o'q blokirovka qilingan holda (psi = 0)

Sanoq nomeri  $H = 1$

Boshlang'ich ma'lumotlar:

$m = 3.6400$  kG/m.s.s;  $l = 0.142$  m;  $L1 = 0.647$  m;  $A = 0.104$  kG.m.s.s;  $C = 0.124$  kG.m.s.s;  $B1 = 2.000$  kG.m.s.s;  $r = 0.310$  m;  $hac = 0.650$  m;  $al1 = 46.000$  1/m/m;  $bet1 = 17.0000$  1/m;  $gam1 = 1.8401$ /m;  $a1 = 8800.0$  kG/m;  $b1 = 160.0$  kGm/rad.;  $sig1 = 0.460$ ;  $ro1 = 0.190$  m;  $al2 = 46.000$  1/m/m;  $bet2 = 17.000$  1/m;  $gam2 = 1.84$  1/m;  $a2 = 8800.000$  kG/m;  $b2 = 160.000$  kGm/rad.;  $sig2 = 0.460$ ;  $ro2 = 0.19$  m;  $La = 0.900$  m;  $Lpc = 0.880$  m;

$C_{pc} = 6150.000 \text{ kGm.s.s.}$ ;  $C_{sh} = 10500.00 \text{ kGm.s.s.}$ ;  $m_1 = 3.64 \text{ kG/m.s.s.}$ ;  $h_{pc} = 3.80 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_c = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_{sh} = 76.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_{aom} = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $K_{11} = 2250.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $K_2 = 800.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $N = 450.00 \text{ kG}$ .

Ekranda hosil bo'ladigan hisoblash eksperimentlariga asosan (6.7- shaklga q.) 2- jadval quyidagi ko'rinishga keladi:

3- jadval

$\gamma_0$ , grad	-6	-4	-2	0	2	4	6
$h_{2min}$ , kg · m · s	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,0

2- va 3- jadvallarni solishtirganimizda, tizim harakati barcha tezliklarda turg'un bo'lishi uchun yetarli bo'lgan minimal qovush-qoqlik koeffitsiyenti  $h_{2min}$  ning miqdori shkvoren o'qi bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  ning ikkala jadvaldagi bir xil qiymatlarida turlicha ekanligini ko'ramiz, ya'ni uning qiymati  $\psi = 0$  holda  $\psi \neq 0$  holdagiga nisbatan ancha kam bo'ladi. Demak, tizimning harakatiga oldingi osmaning avtomobil bo'ylama o'qi atrofidagi tebranma harakatining ta'siri yetarlicha katta bo'ladi.

Umumiy hol uchun olingan natijalar (1-4- natijalarga qarang) bu holda ham sifat jihatdan o'z kuchida qoladi.

## 2-§. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosida tadqiq etish

Ekipaj g'ildiraklarining  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$  kinematik parametrlarining qiymati yetarlicha katta bo'lgan holda tizimning (6.1.1) matematik modeli soddalashadi. Bu holda tizimga ta'sir etayotgan  $R_i$  umumlashgan reaksiya kuchlari va g'ildiraklarning sirpanishsiz dumalanish shartlarini (kinematik tenglamalarni) Y.I.Neymark va N.A.Fufayevning ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasiga asosan topish kerak bo'ladi [40].

Kelgusi bandlarda tizimning matematik modeli masalaning shartlariga qanchalik bog'liq ekanligi qarab chiqiladi. Buning uchun

qo'yilgan masalaning ayrim shartlarini o'zgartirib, tizimning yangi matematik modellarini keltirib chiqarish usulini ko'rsatamiz.

**2.1. Tizimning ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosidagi matematik modeli (Model 2).** Ekipaj g'ildiraklari  $\alpha, \beta, \gamma$ , kinematik parametrlarining qiymatlari yetarlicha katta bo'lsin [40]. U holda 5- bobning 5- § ida masalaga qo'yilgan shartlarning oltinchisi o'zgaradi. Bu holda avtomobilning harakati davomida shinalar deformatsiyalaridan faqat yon deformatsiya  $\xi$  va vertikal o'qqa nisbatan og'ish burchagi  $\chi$  hisobga olinadi, burilish burchagi deformatsiyasi  $\varphi$  esa shinalar yon deformatsiyasi  $\xi$  va  $\chi$  burchak bilan quyidagi chiziqli bog'lanishda bo'ladi:

$$\varphi = \frac{\alpha}{\beta} \xi - \frac{\gamma}{\beta} \chi. \quad (6.2.1)$$

Qolgan barcha shartlar o'z kuchida qoladi. Shuning uchun ham quyidagi g'ildirakli transport mashinalarining harakat tenglamalari sistemasi [40]

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial q_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + R_j, \quad (6.2.2)$$

$$\dot{x}_i + \dot{\xi}_i + V\theta_i + V\varphi_i = 0;$$

$$\dot{\theta}_i + \dot{\varphi}_i - \alpha_i V \dot{\xi}_i + b_i V \varphi_i + \gamma_i V \dot{\chi}_i = 0; \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; m < n) \quad (6.2.3)$$

ifodasidagi  $T$  kinetik energiya va  $Q_j$  umumlashgan kuchlarning qiymati o'zgarmaydi. Ular, avvalgidek, mos ravishda, (5.5.6) va (5.5.9) formulalar orqali aniqlanadi:

$$T = \frac{1}{2} (J_1 \dot{\psi}^2 + J_2 \dot{\theta}^2) - \gamma_0 J \dot{\psi} \dot{\theta} - 2\omega C \theta \dot{\psi}, \quad (6.2.4)$$

$$Q_\psi = -K_1 \psi - h_1 \dot{\psi}, \quad Q_\theta = -K_2 \theta - h_2 \dot{\theta}. \quad (6.2.5)$$

Bu holda ham shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan umumlashgan reaksiya kuchlari  $R_j$

$$R_j = \sum_{i=1}^m \left( F_i \frac{\partial x_i}{\partial q_j} + M_{\chi_i} \frac{\partial \chi_i}{\partial q_j} + M_{\theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial q_j} \right) \quad (6.2.6)$$

((5.5.11) formula) bilan aniqlanadi. (6.2.6) formula ifodasidagi  $F_i$ ,  $M_{x_i}$ ,  $M_{\theta_i}$  larning qiymati ko'rilayotgan holda ushbu ifodalar orqali aniqlanadi [40,41].

> for i from 1 to 2 do

$F[i]:=a[i]*xi[i](t)+sigma[i]*N[i]*chi[i](t);$

$M[chi[i]]:=-sigma[i]*N[i]*xi[i](t)-rho[i]*N[i]*chi[i](t);$

$M[theta[i]]:=eta[1,i](t)*b[i]*xi[i](t)-eta[2,i](t)*b[i]*chi[i](t);$

od;

$$F_1 := a_1 \xi_1(t) + \sigma_1 N_1(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{x_1} := -\sigma_1 N_1 \xi_1(t) - \rho_1 N_1(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_1} := \eta_{1,1}(t) b_1 \xi_1(t) - \eta_{2,1}(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$F_2 := a_2 \xi_2(t) + \sigma_2 N_2(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t)) \quad (6.2.7)$$

$$M_{x_2} := -\sigma_2 N_2 \xi_2(t) - \rho_2 N_2(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_2} := \eta_{1,2}(t) b_2 \xi_2(t) - \eta_{2,2}(\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

5- bobdagi (5.5.8) formulani (6.2.7) formula bilan solishtirganimizda, faqatgina stabillashtiruvchi  $M_{\theta_i}$  ( $i=1, 2$ ) momentlarning ifodasi bir-biridan farq qilishi ma'lum bo'lib qoladi. Bu 6- shartning o'zgarishi tufayli (6.2.1) munosabat hosil bo'lganining natijasidir. 5- bobdagi (5.5.2), (5.5.3) munosabatlar va (6.2.7) munosabatdan foydalanib, (6.2.6) formula orqali shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan  $R_v$ ,  $R_\theta$  umumlashgan reaksiya kuchlarining quyidagi qiymatlarini topamiz:

$R[\psi]:=F[1]*p1+M[chi[1]]*p3+M[theta[1]]*p5+F[2]*p1+M[chi[2]]*p3+M[theta[2]]*p5:$

$R[\psi]:=expand(R[\psi]):$

$R[pq1]:=subs(a[1]=a, a[2]=a, sigma[1]=sigma, sigma[2]=sigma, rho[1]=rho, rho[2]=rho, N[1]=N, N[2]=N, R[\psi]):$

$R[\psi]:=collect(R[\psi], [\psi(t), theta(t), xi[1](t), xi[2](t)]):$

$R[\psi]:=subs(-r*a-sigma*N=k, R[\psi]):$

$R[\psi]:=collect(R[\psi], k):$

$R[\psi]:=subs(k=-r*a-sigma*N, R[\psi]):$

```

R[theta]:=F[1]*p2+M[chi[1]]*p3+M[theta[1]]*p3+F[2]*p2+
M[chi[2]]*pNT+M[theta[2]]*p3:
R[theta]:=expand(R[theta]):
R[theta]:=subs(a[1]=a, a[2]=a, b[1]=b, b[2]=b,sigma[1]=sigma,
sigma[2]=sigma, rho[1]=rho, rho[2]=rho, N[1]=N, N[2]=N,
R[theta]):
R[theta]:=collect(R[theta], [psi(t), theta(t), xi[1](t), xi[2](t)]):
R[theta]:=subs(gamma0*sigma*N+gamma0*r*a=k, R[theta]):
R[theta]:=collect(R[theta], [k, b]):
R[theta]:=subs(k=gamma0*sigma*N+gamma0*r*a,
gamma0^2=0, R[theta]):

```

$$\begin{aligned}
R_v &:= (\xi_1(t) + \xi_1(t))(-ra - \sigma N) + (-2\rho N - 2r\sigma N)\psi(t) + \\
&\quad + (2r\sigma N\gamma_0 + 2\rho N\gamma_0)\theta(t) \\
R_\theta &:= ((-\eta_{2,1}(t) - \eta_{2,2}(t))\psi(t) + (\eta_{2,1}(t)\gamma_0 + \eta_{2,2}(t)\gamma_0)\theta(t) + \quad (6.2.8) \\
&\quad + \eta_{1,1}(t)\xi_1(t))b + (2r\sigma N\gamma_0 + 2\rho N\gamma_0)\psi(t) + (\gamma_0\sigma N + \\
&\quad + \gamma_0ra)\xi_1(t) + (\gamma_0\sigma N + \gamma_0ra)\xi_2(t)
\end{aligned}$$

(6.2.4), (6.2.5) va (6.2.8) ifodalarni (6.2.2) tenglamalar sistema-siga qo'yib,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  kinematik parametrlarning qiymati yetarlicha katta bo'lgan hol uchun tizim harakatining dinamik tenglamalarini topamiz:

```

> M[1]:=J[1]*diff(psi(t),t$2)+h[1]*diff(psi(t),t)+K[1]*psi(t)-
gamma0*JJ*diff(theta(t),t$2)-C[0]*VV*diff(theta(t),t)-
gamma0*n[1]*theta(t)+nn*xi(t):
M[2]:=J[2]*diff(theta(t),t$2)+h[2]*diff(theta(t),t)+(K[2]+n[1]-
gamma0*b*eta[2](t))*theta(t)-gamma0*JJ*diff(psi(t),t$2)+
C[0]*VV*diff(psi(t),t)+(B*eta[2](t)-gamma0*n[1])*psi(t)+
(B*eta[2](t)-gamma0*n[1])*psi(t)(B*eta[1](t)+gamma0*nn)*xi(t):
M[3]:=diff(xi(t),t)-r*diff(psi(t),t)+gamma0*r*diff(theta(t),t)+
VV*(1+gamma0*eta[2](t))*theta(t)+VV*eta[1](t)*xi(t)-
eta[2](t)*VV*psi(t):
DT1:=M[1]=0; DT2:=M[2]=0; KT1:=M[3]=0;

```

$$DT1 := J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - \\ - C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \gamma_0 n_1 \theta(t) + n n \xi(t) = 0 \quad (6.2.9)$$

$$DT2 := J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + (K_2 + n_1 - \gamma_0 b \eta_2(t)) \theta(t) - \\ - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + 2(B\eta_2(t) - \gamma_0 n_1) \psi(t) - \\ - (B\eta_1(t) + \gamma_0 n n) \xi(t) = 0$$

Ko'rilayotgan holda (6.2.1) munosabat tufayli (6.2.3) kinematik tenglamalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\ddot{x}_i + \dot{\xi}_i + V\theta_i + \eta_{1i} V\xi_i - \eta_{2i} V\chi_i = 0, \quad (6.2.10)$$

bu yerda uvod koeffitsiyentlari

$$\eta_{1i} = \frac{\alpha_i}{\beta_i}, \quad \eta_{2i} = \frac{\gamma_i}{\beta_i} \quad (i = \overline{1,2}) \quad (6.2.11)$$

formulalar orqali aniqlanadi.

5- bobdagi (5.5.2), (5.5.3) ifodalarni (6.2.10) dagi  $x_p$ ,  $\theta_i$  va  $\chi_i$  laming o'miga qo'yib, tizimning quyidagi kinematik tenglamalarini topamiz:

```
> KT:=array(1..2):
for i from 1 to 2 do
KT[i]:=diff(x[i](t),t)+diff(xi[i](t),t)+VV*theta[i](t)+VV*phi[i](t)=0;
od:
for i from 1 to 2 do
KT[i]:=eval(KT[i]):
od;
```

$$KT1 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_1(t) \right) + VV\theta(t) + \\ + VV(\eta_{1,1}(t)\xi_1(t) - \eta_{2,1}(t)\psi(t) - \gamma_0\theta(t)) = 0 \quad (6.2.12)$$

$$KT2 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_2(t) \right) + VV\theta(t) + \\ + VV(\eta_{1,2}(t)\xi_2(t) - \eta_{2,2}(t)(\psi(t) - \gamma_0\theta(t))) = 0$$

Y.I.Neymark va N.A.Fufayevning ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasiga asosan hosil qilingan (6.2.12) kinematik tenglamalar (6.2.9) dinamik tenglamalar bilan birgalikda ko'riylotgan tizimning matematik modelini hosil qiladi.

Agar bu yerda ham  $\xi = \frac{1}{2}(\xi_1 + \xi_2)$  o'zgaruvchi hamda

$$n = 2(ar + \sigma N), n_1 = 2N(\sigma r + \rho), B = 2b, C_0 = \frac{2C}{r}$$

parametrlarni kiritsak, u holda boshqariladigan g'ildiraklar, oldingi osma va boshqaruv rulidan iborat tizim harakatining **matematik modeli (Model 2)** ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} >M[1]:=J[1]*diff(psi(t),t\$2)+h[1]*diff(psi(t),t)+K[1]*psi(t)- \\ &gamma0*JJ*diff(theta(t),t\$2)-C[0]*VV*diff(theta(t),t)- \\ &gamma0*n[1]*theta(t)+nn*xi(t); \\ M[2]:=J[2]*diff(theta(t),t\$2)+h[2]*diff(theta(t),t)+(K[2]+n[1]- \\ &gamma0*b*eta[2](t))*theta(t)-gamma0*JJ*diff(psi(t),t\$2)+ \\ &C[0]*VV*diff(psi(t),t)+(B*eta[2](t)-gamma0*n[1])*psi(t)+ \\ &(B*eta[2](t)-gamma0*n[1])*psi(t)-(B*eta[1](t)+gamma0*nn)*xi(t); \\ M[3]:=-diff(xi(t),t)-r*diff(psi(t),t)+gamma0*r*diff(theta(t),t)+ \\ &VV*(1+gamma0*eta[2](t))*theta(t)+VV*eta[1](t)*xi(t)- \\ &eta[2](t)*VV*psi(t); \\ DT1:=M[1]=0; DT2:=M[2]=0; KT1:=M[3]=0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DT1 := & J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \gamma_0 JJ \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - \\ & - C_0 VV \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \gamma_0 n_1 \theta(t) + nn \xi(t) = 0 \end{aligned} \quad (6.2.13)$$

$$\begin{aligned} DT2 := & J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + (K_2 + n_1 - \gamma_0 b \eta_2(t)) \theta(t) - \\ & - \gamma_0 JJ \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + C_0 VV \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + 2(B \eta_2(t) - \gamma_0 n_1) \psi(t) - \\ & - (B \eta_1(t) + \gamma_0 nn) \xi(t) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KT1 := & \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi(t) \right) - r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r \gamma \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + VV(1 + \gamma_0 \eta_2(t)) \theta(t) + \\ & + VV \eta_1(t) \xi(t) - \eta_2(t) VV \psi(t) = 0 \end{aligned}$$



**2.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi. DIV LAGR** modulining **HARDET** protsedurasi tizimning (6.2.13) matematik modeliga asosan:

> NT:=3:

Uz[1]:=psi(t): Uz[2]:=theta(t): Uz[3]:=xi(t): t0=array(1..NT):

t1=array(1..NT): t2=array(1..NT):

Ak=array(1..NT,1..NT): Bk=array(1..NT,1..NT):

Ck=array(1..NT,1..NT):

for i from 1 to NT do a0[i]:=Uz[i]: t1[i]:=diff(Uz[i],t):

t2[i]:=diff(Uz[i],t\$2): od:

> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do

Ak[i,j]:=select(haq,M[i],t2[j]): Ak[i,j]:=coeff(Ak[i,j],t2[j]): od;

od;

> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do

Bk[i,j]:=subs(t2[j]=0, M[i]):

Bk[i,j]:=coeff(Bk[i,j],t1[j]):

od; od;

> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do

Ck[i,j]:=subs(t2[j]=0, t1[j]=0, M[i]):

Ck[i,j]:=select(has,Ck[i,j],a0[j]):

Ck[i,j]:=coeff(Ck[i,j],a0[j]):

od; od;

Ak1:=Matrix(Ak,1..NT,1..NT): Bk1:=Matrix(Bk,1..NT,1..NT):

Ck1:=Matrix(Ck,1..NT,1..NT):

ABC:=array(1..NT,1..NT):

for il from 1 to NT do

for j from 1 to NT do

ABC[il,j]:=Ak[il,j]\*lambda^2+Bk[il,j]\*lambda+Ck[il,j]:

od

od;

ABCk:=Matrix(ABC,1..NT,1..NT):

$$Ak1 := \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma 0JJ & 0 \\ -\gamma 0JJ & J_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Bk1 := \begin{bmatrix} h_1 & -C_0VV & 0 \\ -C_0VV & h_2 & 0 \\ -r & \gamma 0r & 1 \end{bmatrix}$$

$$Ck1 := \begin{bmatrix} K_1 & -\gamma 0n_1 & nn \\ 2B\eta_2(t) - 2\gamma 0n_1 & K_2 + n_1 - \gamma 0b\eta_2(t) & -B\eta_1(t) - \gamma 0nn \\ -\eta_2(t)VV & VV(1 + \gamma 0\eta_2(t)) & VV\eta_1(t) \end{bmatrix} \quad (6.2.14)$$

o'zgarma koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning ushbu xarakteristik determinantini hosil qiladi:

```
> with(LinearAlgebra):
ABC:=array(1..NT,1..NT):
for il from 1 to NT do
for j from 1 to NT do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od
od;
ABCK:=Matrix(ABC,1..NT,1..NT);
```

$$ABCK := [J_1\lambda^2 + h_1\lambda + K_1, -\gamma 0JJ\lambda^2 - C_0VV\lambda - \gamma 0n_1, nn] \times$$

$$\times [-\gamma 0JJ\lambda^2 + C_0VV\lambda + 2B\eta_2(t) - 2\gamma 0n_1, \quad (6.2.15)$$

$$J_2\lambda^2 + h_2\lambda + K_2 + n_1 - \gamma 0b\eta_2(t), -B\eta_1(t) - \gamma 0nn] \times$$

$$\times [-r\lambda - \eta_2(t)VV, \gamma 0r\lambda + VV(1 + \gamma 0\eta_2(t)), \lambda + VV\eta_1(t)].$$

Bu yerda  $Ak1$ ,  $Bk1$ ,  $Ck1$  o'zgarma koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3-bobning 3-§ ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

**LAGR** modulining **HARUR** protsedurasi tizimning (6.2.15) xarakteristik determinantiga asosan uning

```
> P:=Determinant(ABCK):
d:=array(0..7):
eval(P):
PP:=simplify(P):
PP:=subs(gamma0^2=0, gamma0^3=0, PP):
PP:=collect(PP, {lambda}, recursive);
```

```

d[5]:=subs(lambda=0, PP): d[5]:=collect(d[5], {gamma0},
recursive);
for i from 4 to 0 by -1 do d[i]:=coeff(PP,lambda^(6-i-1)); od:
for i from 4 to 0 by -1 do d[i]:=collect(d[i], gamma0, recursive);
od;

```

$$\begin{aligned}
PP := & J_1 \lambda^5 J_2 + (h_1 J_2 + J_1 J_2 V V \eta_1(t) + J_1 h_1) \lambda^4 + \\
& + (J_1 h_2 V V \eta_1(t) + r n n J_2 + K_1 J_2 + C_0^2 V V^2 + J_1 n_1 + \\
& + h_1 h_2 + 2 B \eta_2(t) \gamma 0 J J - r \gamma 0 J J B \eta_1(t) + h_1 J_2 V V \eta_1(t) - \\
& - J_1 \gamma 0 b \eta_2(t) + J_1 B \eta_1(t) \gamma 0 r + J_1 K_2) \lambda^3 + \\
& + (K_1 h_2 + J_1 n_1 V V \eta_1(t) - J_1 \gamma 0 b \eta_2(t) V V \eta_1(t) + h_1 h_2 V V \eta_1(t) + \\
& + 2 B \eta_2(t) C_0 V V + J_1 \gamma 0 n n V V - h_1 \gamma 0 b \eta_2(t) - r C_0 V V B \eta_1(t) + \\
& + B \eta_2(t) \gamma 0 J J V V \eta_1(t) + h_1 n_1 + C_0^2 V V^3 \eta_1(t) + h_1 K_2 - \\
& - \gamma 0 J J n n V V + \eta_2(t) V V n n J_2 + h_1 B \eta_1(t) \gamma 0 r + K_1 J_2 V V \eta_1(t) - \\
& - C_0 V V \gamma 0 n_1 + r n n h_2 + J_1 K_2 V V \eta_1(t) + J_1 B \eta_1(t) V V + \\
& + J_1 B \eta_1(t) V V \gamma 0 \eta_2(t)) \lambda^2 + (K_1 K_2 + h_1 B \eta_1(t) V V \gamma 0 \eta_2(t) + \\
& + h_1 \gamma 0 n n V V + C_0 V V^2 n n + \eta_2(t) V V n n h_2 - h_1 \gamma 0 b \eta_2(t) V V \eta_1(t) + \\
& + 2 B \eta_2(t) n n \gamma 0 r + r n n K_2 + K_1 n_1 + h_1 K_2 V V \eta_1(t) + \\
& + K_1 B \eta_1(t) \gamma 0 r + h_1 n_1 V V \eta_1(t) - r n n \gamma 0 b \eta_2(t) - C_0 V V^2 \gamma 0 n_1 \eta_1(t) + \\
& - r \gamma 0 n_1 B \eta_1(t) + 2 B \eta_2(t) \gamma 0 n_1 + r n n n_1 + h_1 B \eta_1(t) V V + \\
& + K_1 h_2 V V \eta_1(t) + B \eta_2(t) C_0 V V^2 \eta_1(t) - K_1 \gamma 0 b \eta_2(t)) \lambda + \\
& + K_1 B \eta_1(t) V V + \eta_2(t) V V n n n_1 + \eta_2(t) V V n n K_2 + \quad (6.2.16) \\
& + K_1 n_1 V V \eta_1(t) + K_1 K_2 V V \eta_1(t) + K_1 \gamma 0 n n V V + \\
& + 2 B \eta_2(t)^2 n n V V \gamma 0 - \eta_2(t)^2 V V n n \gamma 0 b - 2 \gamma 0 n_1 n n V V + \\
& + B \eta_2(t) \gamma 0 n_1 V V \eta_1(t) + 2 B \eta_2(t) n n V V + K_1 B \eta_1(t) V V \gamma 0 \eta_2(t) - \\
& - K_1 \gamma 0 b \eta_2(t) V V \eta_1(t)
\end{aligned}$$

xarakteristik tenglamasini va xarakteristik tenglamaning quyidagi koeffitsiyentlarini hosil qiladi:

$$\begin{aligned}
d_5 &:= (K_1 n n V V - \eta_2(t)^2 V V n n b - 2 n_1 n n V V + B \eta_2(t) n_1 V V \eta_1(t) + \\
&\quad + 2 B \eta_2(t)^2 n n V V + K_1 B \eta_1(t) V V \eta_2(t) - K_1 b \eta_2(t) V V \eta_1(t)) \gamma 0 + \\
&\quad + K_1 B \eta_1(t) V V + \eta_2(t) V V n n n_1 + \eta_2(t) V V n n K_2 + K_1 n_1 V V \eta_1(t) + \\
&\quad + K_1 K_2 V V \eta_1(t) + 2 B \eta_2(t) n n V V; \\
d_4 &:= (K_1 n n r + h_1 n n V V \eta_2(t) - 3 r n n n_1 - 2 n_1^2) \gamma 0^2 + (-h_1 b \eta_2(t) V V \eta_1(t) + \\
&\quad + 2 B \eta_2(t) n_1 + K_1 B \eta_1(t) r - r n_1 B \eta_1(t) - C_0 V V^2 n_1 \eta_1(t) - \\
&\quad - r n n b \eta_2(t) + h_1 B \eta_1(t) V V \eta_2(t) - K_1 b \eta_2(t) + h_1 n n V V + \\
&\quad + 2 B \eta_2(t) n n r) \gamma 0 + K_1 K_2 + r n n K_2 + B \eta_2(t) C_0 V V^2 \eta_1(t) + \\
&\quad + K_1 n_1 + h_1 K_2 V V \eta_2(t) + K_1 h_2 V V \eta_1(t) + r n n n_1 + h_1 n_1 V V \eta_1(t) + \\
&\quad + C_0 V V^2 n n + \eta_2(t) V V n n h_2 + h_1 B \eta_1(t) V V \quad (6.2.17) \\
d_3 &:= (-3 J J n_1 V V \eta_1(t) + h_1 n n r + J_1 n n V V \eta_2(t) - 2 J J n n V V \eta_2(t)) \gamma 0^2 + \\
&\quad + (h_1 B \eta_1(t) r - J J n n V V + C_0 V V n_1 + B \eta_2(t) J J V V \eta_1(t) + \\
&\quad + J_1 B \eta_1(t) V V \eta_2(t) - J_1 b \eta_2(t) V V \eta_1(t) - h_1 b \eta_2(t) + J_1 n n V V) \gamma 0 + \\
&\quad + h_1 K_2 + K_1 h_2 + K_1 J_2 V V \eta_1(t) + C_0^2 V V^3 \eta_1(t) + h_1 h_2 V V \eta_1(t) + \\
&\quad + J_1 n_1 V V \eta_1(t) + 2 B \eta_2(t) C_0 V V + r n n h_2 + h_1 n_1 + J_1 K_2 V V \eta_1(t) - \\
&\quad - r C_0 V V B \eta_1(t) + \eta_2(t) V V n n J_2 + J_1 B \eta_1(t) V V \\
d_2 &:= (J_1 n n r - 2 J J n n r - 3 J J n_1) \gamma 0^2 + (J_1 B \eta_1(t) r + 2 B \eta_2(t) J J - \\
&\quad - J_1 b \eta_2(t) - r J J B \eta_1(t)) \gamma 0 + h_1 J_2 V V \eta_1(t) + C_0^2 V V^2 + \\
&\quad + J_1 n_1 + K_1 J_2 + J_1 K_2 + J_1 h_2 V V \eta_1(t) + h_1 h_2 + r n n J_2 \\
d_1 &:= J_1 h_2 + h_1 J_2 + J_1 J_2 V V \eta_1(t) - \gamma 0^2 J J^2 V V \eta_1(t) \\
d_0 &:= J_1 J_2 - \gamma 0^2 J J^2
\end{aligned}$$

Bu holda tizim to'g'ri chizikli harakati differensial tenglamalar sistemasining tartibi 5 ga teng bo'ladi. (6.2.13) tenglamalar sistemasi besh o'lchamli  $(\psi, \dot{\psi}, \theta, \dot{\theta}, \xi)$  fazoda tasvirlovchi nuqtaning harakatini ifodalaydi. Tizimning statsionar harakati  $(\psi, \dot{\psi}, \theta, \dot{\theta}, \xi)$  fazoning koordinata boshida yotuvchi muvozanat holatiga mos keladi.

**2.3. Tizim to'g'ri chizikli harakatining turg'unligini Raus kriteriysi asosida tadqiq etish.** Tizim to'g'ri chizikli harakatining

turg'unligini **DIV**ning **EAVTO** moduli orqali tadqiq etish jarayoni 1- § ning 3- bandida bayon etilgan tartibda amalga oshiriladi. Tadqiqot modellari, rejimlari hamda usullarini qiyoslash maqsadida konstruktiv parametrlarning ma'lumotlar bazasidagi 1- jadvalda aks ettirilgan qiymatlari uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazishni ko'ramiz. Qaralayotgan model (Model 2) uchun tadqiqot rejimi sifatida «**Umumiy hol**», tadqiqot usuli sifatida Raus kriteriyasidan foydalanish lozim bo'lsin.

Buning uchun **AVTO DIV**ning **MANAGER** moduli yarata-digan 5.2- shakl ko'rinishdagi muhitdan foydalanib quyidagi muloqot jarayonini amalga oshiramiz:

- 5.2- shakldagi menyudan **EAVTO** tugmasini faollashtiramiz;
- 6.1- shakldagi menyuning 2- bandini tanlab, **exper.dat** fayl nomini kiritamiz;
- 6.3- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;
- 6.4- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;
- 6.5- shakldagi menyuning 3- bandini tanlaymiz.

Natijada ( $V, h_2$ ) parametrlar tekisligida  $\gamma_0$  ning har bir qiymati uchun tizim harakatining turg'unlik sohalari Raus kriteriyasi asosida (**mod\_ust1** modulining **RAUS** protsedurasi yordamida) aniqlanadi. Misol sifatida  $\gamma_0$  burchakning to'rtta qiymati uchun turg'unlik sohaslarini quyida keltiramiz:

### **EAVTO moduli**

Harakat turg'unlik sohasini Raus kriteriyasi asosida yasash  
Harakatning ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi  
asosidagi matematik modeli

Tizimning umumlashgan koordinatalari:

psi, tetta, kci

Umumiy holda:

Sanoq nomeri  $H = 1$

Boshlang'ich ma'lumotlar:

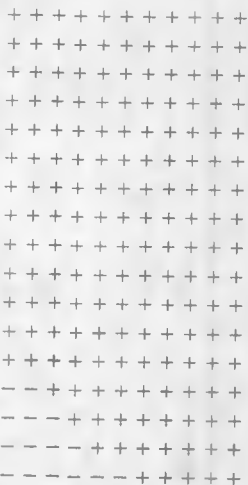
$m = 3.6400 \text{ kG/m.s.s; } l = 0.142 \text{ m; } L1 = 0.647 \text{ m; } A = 0.104 \text{ kG.m.s.s; } C = 0.124 \text{ kG.m.s.s; } B1 = 2.000 \text{ kG.m.s.s; } r = 0.310 \text{ m; } hac = 0.650 \text{ m; } a11 = 46.000 \text{ 1/m/m; } bet1 = 17.0000 \text{ 1/m; } gam1 = 1.840 \text{ 1/m; } a1 = 8800.0 \text{ kG/m; } b1 = 160.0 \text{ kGm/rad; } sig1 = 0.460; ro1 = 0.190 \text{ m; } a12 = 46.000 \text{ 1/m/m; } bet2 = 17.000 \text{ 1/m; } gam2 = 1.84 \text{ 1/m; } a2 = 8800.000 \text{ kG/m; } b2 = 160.000 \text{ kGm/rad; } sig2 = 0.460;$

$\gamma_0 = -6.0$  grad;

$h_2$

V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.00E+00

1.00E+01

— — V  
6.0E+01

a)

$\gamma_0 = 6.0 \text{ grad};$

$h_2$

|

| V va  $h_2$  parametrlar

| tekisligida turg'unlik

| sohasi

$8.0E+00$

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

+ + + + + + + + + + +

- + + + + + + + + + +

- - + + + + + + + + +

- - + + + + + + + + +

- - - + + + + + + + +

- - - - + + + + + + +

- - - - - + + + + + +

- - - - - - + + + + +

- - - - - - - + + + +

$0.00E+00$

$1.00E+01$

- - - - - - - - + + +

— V

$6.0E+01$

b)

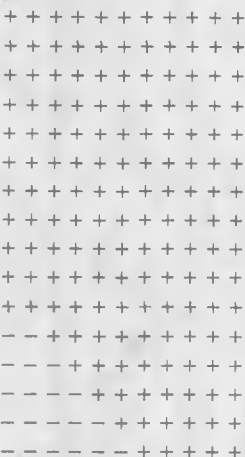
gamma0 = -1.0 grad;

h2

|

| V va h2 parametrlar  
| tekisligida turg'unlik  
| sohasi

8.0E+00



0.00E+00

1.00E+01

— — V

6.0E+01

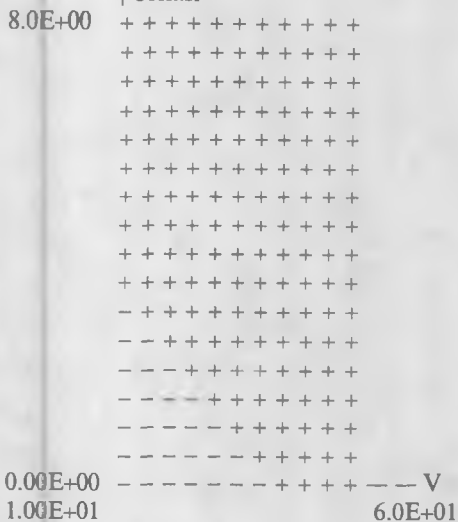
d)



gamma0 = 1.0 grad;

h2

V va h2 parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi



e)

6.8- shakl.

$ro_2 = 0.19 \text{ m}$ ;  $La = 0.900 \text{ m}$ ;  $L_{pc} = 0.880 \text{ m}$ ;  $C_{pc} = 6150.000 \text{ kGm.s.s}$ ;  $C_{sh} = 10500.00 \text{ kGm.s.s}$ ;  $m_1 = 3.64 \text{ kG/m.s.s}$ ;  $h_{pc} = 3.80 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_c = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_{sh} = 76.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $h_{aom} = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $K_{11} = 2250.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $K_2 = 800.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $N = 450.00 \text{ kG}$ .

Natijada 6.8- shaklda keltirilgan hisoblash eksperimentlari natijalari hosil bo'ladi va ularning tahlilidan quyidagi natijalarga ega bo'lamiz:

1) tizim harakatining turg'unligiga boshqarish ruli qovushqoqlik koeffitsiyenti  $h_2$  ning ta'siri yetarlicha katta. Tizim harakati barcha tezliklarda turg'un bo'lishi uchun kerak bo'lgan minimal qovushqoqlik koeffitsiyenti  $h_{2min}$  ning miqdori shkvoren o'qining bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  ning miqdoriga bog'liq. Bu funksional bog'lanish 4- jadvalda keltirilgan.

4- jadval

|                         |     |    |     |   |     |     |   |
|-------------------------|-----|----|-----|---|-----|-----|---|
| $\gamma_0$ , grad       | -6  | -4 | -2  | 0 | 2   | 4   | 6 |
| $h_{2min}$ , kg · m · s | 2,0 | 3  | 3,5 | 4 | 4,0 | 4,5 | 5 |

2) turg'unlik sohasiga tizim harakati tezligi  $V$  ning ham ta'siri bor. Harakat tezligi  $V$  ning o'sishi bilan noturg'un harakat turg'un harakatga aylanishi mumkin. 5- jadvalda  $\gamma_0 = -1$  grad bo'lganda  $h_2$  ning har xil qiymatlari uchun harakatni turg'unlashtiradigan  $V_t$  tezliklarning qiymatlari keltirilgan.

5- jadval

|                    |    |     |    |     |    |     |                |
|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----------------|
| $h_2$ , kg · m · s | 0  | 0,5 | 1  | 1,5 | 2  | 2,5 | 3              |
| $V_t$ , m/s        | 45 | 40  | 35 | 30  | 25 | 20  | Hamma tezlikda |

$V_t$  tezlikning qiymati  $\gamma_0$  burchakning qiymatiga bog'liq va  $\gamma_0$  qiymatining o'sishi bilan  $V_t$  ning qiymati o'sadi;

3) harakat turg'unligiga eng katta ta'sir etadigan parametrlaridan biri shkvoren o'qining bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  dir.  $\gamma_0$  burchak qiymatining o'sishi bilan asimptotik turg'unlik sohasi kamayadi.

Model 1 uchun olingan hisoblash eksperimentlarining natijalarini Model 2 uchun olingan natijalar bilan taqqo'slaganimizda (2- jadval bilan 4- jadvalni solishtiring) natijalar 5–10% aniqlikda bir xilligi ko'rinayпти. Demak, tizim harakatining turg'unligini tadqiq etishda Model 2 dan foydalanish kifoya. Bu natija muhandis-konstruktorlar uchun ancha qulaylik yaratadi.

( $V, h_2$ ) tekislikda 187 ta tugunda turg'unlik shartlarini tekshirishga to'g'ri keladi. Model 1 uchun turg'unlik shartlarini tekshirishda 0,33 sekund va Model 2 uchun 0,11 sekund vaqt sarflanadi. Ikkinchidan, Model 1 da tadqiqot o'tkazish uchun  $\alpha, \beta, \gamma$  kinematik parametrlarning har birini alohida eksperiment yo'li bilan aniqlashga to'g'ri keladi. Model 2 da bo'lsa,  $\alpha, \beta, \gamma$  kinematik parametrlarning faqatgina  $\frac{\alpha}{\beta}, \frac{\gamma}{\beta}$  nisbatlarini aniqlash kifoya. Bu oxirgi eksperimentni o'tkazish ham ancha qulay.

### 3- §. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini uvod nazariyasi asosida tadqiq etish

**3.1. Tizimning uvod nazariyasi asosidagi matematik modeli (Model 3).** I. Rokar o'zining uvod nazariyasida shinaning faqat  $\xi$ - yon deformatsiyani hisobga olgan. Shuning uchun uvod nazariyasiga, asosan, tizimning matematik modelini keltirib chiqarish jarayonida shinaning 6- shartdagi  $\xi, \chi, \varphi$  deformatsiyalaridan faqatgina  $\xi$ - yon deformatsiyani hisobga olamiz (ya'ni  $\chi, \varphi$  deformatsiyalarni  $\chi = \varphi = 0$  deb faraz qilamiz), u holda tizimning kinematik tenglamalarini topish uchun (6.2.12) tenglamalarga  $\eta_2 = 0$  ni qo'yish kifoya:

$$KT_1 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_1(t) \right) + VV\theta(t) + VV\eta_1(t)\xi_1(t) = 0 \quad (6.3.1)$$

$$KT_2 := -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r\gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi_2(t) \right) + VV\theta(t) + VV\eta_2(t)\xi_2(t) = 0$$

Shinaning  $\chi$  va  $\varphi$  deformatsiyalarini hisobga olmaganimizda  $\sigma = \rho = b = 0$  bo'ladi. Shuning uchun tizimning (6.2.13) tenglamalar sistemasiga  $\sigma = \rho = b = 0$  ni qo'yib, ko'rilayotgan hol uchun tizimning dinamik tenglamalarini topamiz:

$$DT1 := J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + r_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + n n \xi(t) = 0 \quad (6.3.2)$$

$$DT2 := J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + K_2 \theta(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - \gamma_0 n n \xi(t) = 0$$

Agar  $\xi = \frac{1}{2} (\xi_1 + \xi_2)$  o'zgaruvchi va  $n' = 2ar$  hamda  $C_0 = \frac{2C}{r}$  parametrlarni kiritsak, u holda (6.3.1) va (6.3.2) tenglamalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

> eta[2](t):=0:

M[1]:=J[1]\*diff(psi(t),t\$2)+h[1]\*diff(psi(t),t)+K[1]\*psi(t)-gamma0\*JJ\*diff(theta(t),t\$2)-C[0]\*VV\*diff(theta(t),t)-gamma0\*n[1]\*theta(t)+nn\*xi(t):

M[2]:=J[2]\*diff(theta(t),t\$2)+h[2]\*diff(theta(t),t)+(K[2]+n[1]-gamma0\*b\*eta[2](t))\*theta(t)-gamma0\*JJ\*diff(psi(t),t\$2)+C[0]\*VV\*diff(psi(t),t)+(B\*eta[2](t)-gamma0\*n[1])\*psi(t)+(B\*eta[2](t)-gamma0\*n[1])\*psi(t)-(B\*eta[1](t)+gamma0\*nn)\*xi(t):

M[3]:=diff(xi(t),t)-r\*diff(psi(t),t)+gamma0\*r\*diff(theta(t),t)+VV\*(1+gamma0\*eta[2](t))\*theta(t)+VV\*eta[1](t)\*xi(t)-eta[2](t)\*VV\*psi(t):

M[1]:=subs(sigma=0, rho=0, b=0, B=0, n[1]=0, M[1]):

M[2]:=subs(sigma=0, rho=0, b=0, B=0, n[1]=0, M[2]):

M[3]:=subs(sigma=0, rho=0, b=0, B=0, n[1]=0, M[3]):

DT1:=M[1]=0; DT2:=M[2]=0; KT1:=M[3];

$$\begin{aligned}
 DT1 &:= J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + h_1 \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - \\
 &\quad - C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + n n \xi(t) = 0 \\
 DT2 &:= J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + K_2 \theta(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \\
 &\quad + C_0 V V \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - \gamma_0 n n \xi(t) = 0 \\
 KT1 &:= \left( \frac{\partial}{\partial t} \xi(t) \right) - r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + V V \theta(t) + \\
 &\quad + V V \eta_1 \xi(t)
 \end{aligned} \tag{6.3.3}$$

(6.3.3) munosabatlar tizimning I. Rokarning uvod nazariyasiga asosan hosil qilingan **matematik modeli (Model 3)** bo'ladi. Bu model (6.2.13) modelga nisbatan sodda bo'lsa ham fazaviy fazoning o'lchami beshligicha qoladi.

**3.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi. DIVning LAGR modulining HARDET protsedurasi tizimning (6.3.3) matematik modeliga asosan**

```

> NT:=3;
Uz[1]:=psi(t); Uz[2]:=theta(t); Uz[3]:=xi(t); t0=array(1..NT);
t1=array(1..NT); t2=array(1..NT);
Ak=array(1..NT,1..NT); Bk=array(1..NT,1..NT);
Ck=array(1..NT,1..NT);
for i from 1 to NT do a0[i]:=Uz[i]; t1[i]:=diff(Uz[i],t);
t2[i]:=diff(Uz[i],t$2); od;
/> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do
Ak[i,j]:=select(has,M[i],t2[j]); Ak[i,j]:=coeff(Ak[i,j],t2[j]); od;
od;
> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do
Bk[i,j]:=subs(t2[j]=0, M[i]);
Bk[i,j]:=coeff(Bk[i,j],t1[j]);
od; od;

```

```

> for i from 1 to NT do for j from 1 to NT do
Ck[i,j]:=subs(t2[j]=0, t1[j]=0, M[i]);
Ck[i,j]:=select(has,Ck[i,j],a0[j]);
Ck[i,j]:=coeff(Ck[i,j],a0[j]);
od; od;
Ak1:=Matrix(Ak,1..NT,1..NT); Bk1:=Matrix(Bk,1..NT,1..NT);
Ck1:=Matrix(Ck,1..NT,1..NT);
ABC:=array(1..NT,1..NT):
for il from 1 to NT do
for j from 1 to NT do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od; od;
ABCK:=Matrix(ABC,1..NT,1..NT):

```

$$AK1 := \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma 0JJ & 0 \\ -\gamma 0JJ & J_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad BK1 := \begin{bmatrix} h_1 & -C_0VV & 0 \\ C_0VV & h_2 & 0 \\ -r & \gamma 0r & 1 \end{bmatrix}$$

$$CK1 := \begin{bmatrix} K_1 & 0 & nn \\ 0 & K_2 & -\gamma 0nn \\ 0 & VV & VVh_1(t) \end{bmatrix} \quad (6.3.4)$$

o'zgarma koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning

```

> with(LinearAlgebra):
ABC:=array(1..NT,1..NT):
for il from 1 to NT do
for j from 1 to NT do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od; od;
ABCK:=Matrix(ABC,1..NT,1..NT):

```

$$ABCK := \begin{bmatrix} J_1\lambda^2 + h_1\lambda + K_1 & -\gamma 0JJ\lambda^2 - C_0VV\lambda & nn \\ -\gamma 0JJ\lambda^2 + C_0VV\lambda & J_2\lambda^2 + h_2\lambda + K_2 & -\gamma 0nn \\ -r\lambda & \gamma 0r\lambda + VV & \lambda + VV\eta_1(t) \end{bmatrix} \quad (6.3.5)$$

xarakteristik determinantini hosil qiladi. Bu yerda  $Ak1$ ,  $Bk1$ ,  $Ck1$  o'zgarma koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3- bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

**LAGR** modulining **HARUR** protsedurasi tizimning (6.3.5) xarakteristik determinantiga asosan uning

> P:=Determinant(ABCk):

d:=array(0..7):

eval(P):

PP:=simplify(P):

PP:=subs(gamma0^2=0, gamma0^3=0, PP):

PP:=collect(PP, {lambda}, recursive);

d[5]:=subs(lambda=0, PP): d[5]:=collect(d[5], {gamma0}, recursive);

for i from 4 to 0 by -1 do d[i]:=coeff(PP, lambda^(6-i-1)); od:

for i from 4 to 0 by -1 do d[i]:=collect(d[i], gamma0, recursive);

od;

$$\begin{aligned}
 PP := & J_1 \lambda^5 J_2 + (J_1 h_2 + J_1 J_2 VV \eta_1(t) + h_1 J_2) \lambda^4 + (J_1 h_2 VV \eta_1(t) + \\
 & + rnn J_2 + J_1 K_2 + C_0^2 VV^2 + K_1 J_2 + h_1 J_2 VV \eta_1(t) + h_1 h_2) \lambda^3 + \\
 & + (J_1 \gamma 0nn VV + h_1 K_2 + J_1 K_2 VV \eta_1(t) + rnn h_2 + C_0^2 VV^3 h_1(t) + \\
 & + h_1 h_2 VV \eta_1(t) + K_1 h_2 - \gamma 0 J Jnn VV + K_1 J_2 VV \eta_1(t)) \lambda^2 + \quad (6.3.6) \\
 & + (C_0 VV^2 nn + h_1 \gamma 0nn VV + K_1 h_2 VV \eta_1(t) + K_1 K_2 + \\
 & + h_1 K_2 VV \eta_1(t) + rnn K_2) \lambda + K_1 K_2 VV \eta_1(t) + K_2 \gamma 0nn VV
 \end{aligned}$$

xarakteristik tenglamasini va uning quyidagi koeffitsiyentlarini hosil qiladi:

$$d_5 := K_1 K_2 VV \eta_1(t) + K_1 \gamma 0nn VV$$

$$\begin{aligned}
 d_4 := & C_0 VV^2 nn + h_1 \gamma 0nn VV + K_1 h_2 VV \eta_1(t) + K_1 K_2 + \\
 & + h_1 K_2 VV \eta_1(t) + rnn K_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_3 := & (-J Jnn VV + J_1 nn VV) \gamma 0 + C_0^2 VV^3 \eta_1(t) + h_1 K_2 + \\
 & + J_1 K_2 VV \eta_1(t) + rnn h_2 + K_1 J_2 VV \eta_1(t) + h_1 h_2 VV \eta_1 J(t) + K_1 h_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 := & J_1 h_2 VV \eta_1(t) + rnn J_2 + J_1 K_2 + C_0^2 VV^2 + K_1 J_2 + \\
 & + h_1 J_2 VV \eta_1(t) + h_1 h_2 \quad (6.3.7)
 \end{aligned}$$

$$d_1 := J_1 h_2 + J_1 J_2 VV \eta_1(t) + h_1 J_2$$

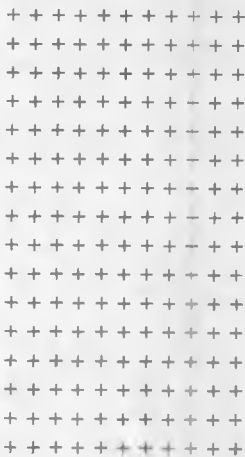
$$d_0 := J_1 J_2$$

$\gamma_0 = -6.0$  grad;

$h_2$

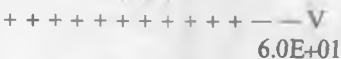
V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.0E+01



a)



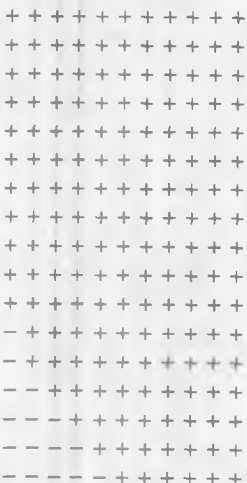
gamma0 = 6.0 grad;

h2

|

| V va h2 parametrlar  
| tekisligida turg'unlik  
| sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.0E+01

— V

6.0E+01

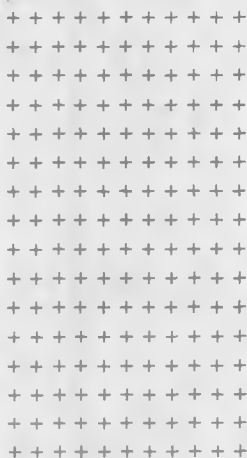
b)

$\gamma_0 = -1.0$  grad;

$h_2$

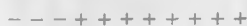
V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.0E+01



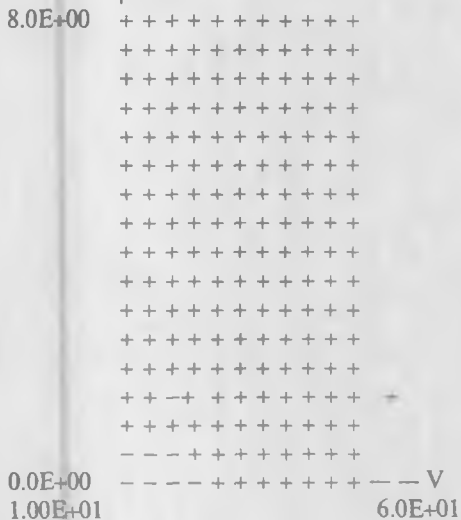
— — V  
6.0E+01

d)

gamma0 = 1.0 grad;

h2

V va h2 parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi



e)

6.9- shakl.

**3.3. Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini Lyenar—Shipar kriteriyasi asosida tadqiq etish.** 1- § ning 3- bandida bayon etilgan tartibda tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini **DIV**ning **EAVTO** moduli orqali tadqiq etishni amalga oshiramiz. Tadqiqot modelini va usulini 1-§ ning 3- bandi va 2-§ ning 3-bandida olingan natijalar bilan qiyoslash maqsadida konstruktiv parametrlarning ma'lumotlar bazasidagi 1- jadvalda aks ettirilgan qiymatlari uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazishni ko'ramiz. Qaralayotgan model (Model 3) uchun tadqiqot rejimi sifatida «**Umumiy hol**», tadqiqot usuli sifatida Lyenar—Shipar kriteriyasidan foydalanish lozim bo'lsin.

Buning uchun **AVTO DIV**ning **MANAGER** moduli yaratadigan 5.2- shakl ko'rinishdagi muhitdan foydalanib quyidagi muloqot jarayonini amalga oshiramiz:

- 5.2- shakldagi menyudan **EAVTO** tugmasini faollashtiramiz;
- 6.1- shakldagi menyuning 2- bandini tanlab, **exper.dat** fayl nomini kiritamiz;
- 6.3- shakldagi menyuning 3- bandini tanlaymiz;
- 6.4- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;
- 6.5- shakldagi menyuning 4- bandini tanlaymiz.

Natijada ( $V, h_2$ ) parametrlar tekisligida  $\gamma_0$  ning har bir qiymati uchun tizim harakatining turg'unlik sohalari Lenar—Shipar kriteriyasi asosida (**mod\_ust1** modulining **L\_SHIPAR** protsedurasi yordamida) aniqlanadi.

Harakatning turg'unlik sohasini Lenar-Shipar kriteriyasi yordamida yasash

### **EAVTO moduli**

I.Rokarning uvod nazariyasi

Tizimning umumlashgan koordinatalari:

psi, tetta, kci

Umumiy holda

Sanoq nomeri H=1

Bugun 27.05.03

Mahalliy vaqt: 16:13:17.49

Boshlang'ich ma'lumotlar:

$m = 3.6400 \text{ kG/m.s.s.}$ ;  $l = 0.142 \text{ m}$ ;  $L_1 = 0.647 \text{ m}$ ;  $A = 0.104 \text{ kG.m.s.s.}$ ;  
 $C = 0.124 \text{ kG.m.s.s.}$ ;  $B_1 = 2.000 \text{ kG.m.s.s.}$ ;  $r = 0.310 \text{ m}$ ;  $hac = 0.650 \text{ m}$ ;  
 $a_{11} = 46.000 \text{ 1/m/m}$ ;  $bet_1 = 17.0000 \text{ 1/m}$ ;  $gam_1 = 1.840 \text{ 1/m}$ ;  
 $a_1 = 8800.0 \text{ kG/m}$ ;  $b_1 = 160.0 \text{ kGm/rad}$ ;  $sig_1 = 0.460$ ;  $ro_1 = 0.190 \text{ m}$ ;  
 $a_2 = 46.000 \text{ 1/m/m}$ ;  $bet_2 = 17.000 \text{ 1/m}$ ;  $gam_2 = 1.84 \text{ 1/m}$ ;  
 $a_2 = 8800.000 \text{ kG/m}$ ;  $b_2 = 160.000 \text{ kGm/rad}$ ;  $sig_2 = 0.460$ ;  
 $ro_2 = 0.19 \text{ m}$ ;  $La = 0.900 \text{ m}$ ;  $L_{pc} = 0.880 \text{ m}$ ;  $C_{pc} = 6150.000 \text{ kGm.s.s.}$ ;  
 $C_{sh} = 10500.00 \text{ kGm.s.s.}$ ;  $m_1 = 3.64 \text{ kG/m.s.s.}$ ;  $h_{pc} = 3.80 \text{ kG.m.s./rad}$ ;  
 $h_c = 2.00 \text{ kG.m.s./rad}$ ;  $h_{sh} = 76.00 \text{ kG.m.s./rad}$ ;  $ha_{om} = 2.00 \text{ kG.m.s./rad}$ ;  
 $K_{11} = 2250.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $K_2 = 800.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  
 $N = 450.00 \text{ kG}$ .

Natijada 6.9- shakl hosil bo'ladi. 6.8- va 6.9- shakllarni taqqo'slasak, Model 3 tizimning dinamikasini to'liq ifodalamasligini ko'ramiz. Demak, harakat turg'unligini tadqiq etishda Model 2 dan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

#### 4- §. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chizikli harakatining turg'unligini birinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosida tadqiq etish

4.1. Tizimning birinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosidagi matematik modeli (Model 4). Endi tizim yetarlicha katta o'zgarmas tezlik bilan harakat qilyapti deb faraz qilamiz. Bu holda ham g'ildirakli transport mashinalarining dinamik tenglamasi

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + R_j, \quad (j = \overline{1, n}) \quad (6.4.1)$$

ko'rinishda bo'ladi. (6.4.1) ifodadagi  $T$  kinetik energiya va  $Q_j$  umumlashgan kuchlarning qiymati o'zgarmaydi va, ular avvalgidek, mos ravishda (5.1.24) va (5.1.31) formulalar orqali aniqlanadi:

$$T = \frac{1}{2} (J_1 \dot{\psi}^2 + J_2 \dot{\theta}^2) - \gamma_0 J \dot{\psi} \dot{\theta} - 2\omega C \theta \dot{\psi}, \quad (6.4.2)$$

$$Q_v = -K_1 \psi - h_1 \dot{\psi}, \quad Q_\theta = -K_2 \theta - h_2 \dot{\theta}. \quad (6.4.3)$$

Bu yerda ham shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan umumlashgan reaksiya kuchlari  $R_j$

$$R_j = \sum_{i=1}^m \left( F_i \frac{\partial x_i}{\partial q_j} + M_{x_i} \frac{\partial \chi_i}{\partial q_j} + M_{\theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial q_j} \right). \quad (6.4.4)$$

(5.1.28) formula bilan,  $x_i$ ,  $\theta_i$  va  $\chi_i$  lar (5.1.4), (5.1.5) ifodalar bilan aniqlanadi. Bu holda (6.4.4) formula ifodasidagi  $F_i$ ,  $M_{x_i}$ ,  $M_{\theta_i}$  larning qiymati quyidagicha aniqlanadi [40]:

> for i from 1 to 2 do

F[i]:=-ad[1,i]/VV\*diff(theta[i](t),t)-ad[2,i]\*theta(t)+ad[2,i]/VV\*diff(x[i](t),t)+ad[3,i]\*chi[i](t);

M[chi[i]]:=bd[1,i]/VV\*diff(theta[i](t),t)+ bd[2,i]\*theta(t)+bd[2,i]/VV\*diff(x[i](t),t)-bd[3,i]\*chi[i](t);

M[theta[i]]:=-bd[i]/VV\*x[i](t)-bd[i]\*theta[i](t); od;

$$F_1 := \frac{ad_{1,1} \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} - ad_{2,1} \theta(t) + \frac{ad_{2,1} \left( -r \left( \frac{\partial \psi(t)}{\partial t} \right) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} +$$

$$+ ad_{3,1} (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{x_1} := \frac{bd_{1,1} \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} + bd_{2,1} \theta(t) + \frac{bd_{2,1} \left( -r \left( \frac{\partial \psi(t)}{\partial t} \right) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} -$$

$$- bd_{3,1} (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_1} := \frac{bd_1 (-L_1 - l - r \psi(t) + r \gamma_0 \theta(t))}{VV} - bd_1 \theta(t) \quad (6.4.5)$$

$$F_2 := \frac{ad_{1,2} \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} - ad_{2,2} \theta(t) + \frac{ad_{2,2} \left( -r \left( \frac{\partial \psi(t)}{\partial t} \right) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} +$$

$$+ ad_{3,2} (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{x_2} := \frac{bd_{1,2} \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} + bd_{2,2} \theta(t) + \frac{bd_{2,2} \left( -r \left( \frac{\partial \psi(t)}{\partial t} \right) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right)}{VV} -$$

$$- bd_{3,2} (\psi(t) - \gamma_0 \theta(t))$$

$$M_{\theta_2} := \frac{bd_2 (L_1 + l - r \psi(t) + r \gamma_0 \theta(t))}{VV} - bd_2 \theta(t)$$

bu yerda

$$ad_{1i} = \frac{a_i}{\alpha_i}, ad_{2i} = \frac{a_i \beta_i}{\alpha_i}, ad_{3i} := \frac{\alpha \gamma_i}{\alpha_i} + \sigma_i N_i, \quad (6.4.6)$$

$$bd_{1i} = \frac{\sigma_i N_i}{\alpha_i}, bd_{2i} = \frac{\sigma_i N_i \beta_i}{\alpha_i}, bd_{3i} = N_i \left( \frac{\sigma_i \gamma_i}{\alpha_i} + \rho_i \right).$$

$x_p, \theta_i, \chi_i, ad_{1i}, ad_{2i}, ad_{3i}, bd_{1i}, bd_{2i}, bd_{3i}, F_i, M_{x_i}, M_{\theta_i}$  larning qiymatlari mos ravishda (5.1.4), (5.1.5), (6.4.6) va (6.4.5) ifodalar bilan aniqlanadi. Ularni (6.4.4) ga qo'yib, shinalarning deformatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladigan  $R_j$  umumlashgan reaksiya kuchlarini topamiz:

```

> R[psi]:=-((cd[1]-gamma0*r*cd[2])/VV)*diff(theta(t),t)-
r*cd[2]/VV*diff(psi(t),t)+(cd[2]+gamma0*cd[3])*theta(t)-
cd[3]*psi(t);
R[psi]:=expand(R[psi]);
> R[theta]:=-gamma0*(B*r-cd[1])/VV*diff(theta(t),t)+
(B*r+gamma0*r*cd[2])/VV*diff(psi(t),t)-
(B+gamma0*cd[2])*theta(t)+gamma0*cd[3]*psi(t);
R[theta]:=expand(R[theta]);

```

$$R_\psi := -\frac{\left(\frac{\partial \theta(t)}{\partial t}\right) cd_1}{VV} + \frac{\left(\frac{\partial \theta(t)}{\partial t}\right) \gamma_0 r cd_2}{VV} - \frac{r cd_2 \left(\frac{\partial \psi(t)}{\partial t}\right)}{VV} +$$

$$+ \theta(t) cd_2 + \theta(t) \gamma_0 cd_3 - cd_3 \psi(t)$$

$$R_\theta := -\frac{\gamma_0 \left(\frac{\partial \theta(t)}{\partial t}\right) Br}{VV} + \frac{\gamma_0 \left(\frac{\partial \theta(t)}{\partial t}\right) cd_1}{VV} + \frac{\left(\frac{\partial \psi(t)}{\partial t}\right) Br}{VV} + \quad (6.4.7)$$

$$+ \frac{\left(\frac{\partial \psi(t)}{\partial t}\right) \gamma_0 r cd_2}{VV} - \theta(t) B - \theta(t) \gamma_0 cd_2 + \gamma_0 cd_2 \psi(t),$$

bu yerda

$$cd_k = ad_k r + bd_k, \quad cd_2 = ad_2 r + bd_2, \quad cd_3 = ad_3 r + bd_3, \quad (6.4.8)$$

$$ad_k = ad_{k1} + ad_{k2}, \quad bd_k = bd_{k1} + bd_{k2}, \quad B = bd_1 + bd_2, \quad (k = \overline{1, 3}).$$

(5.1.38), (5.1.39) va (6.4.7) ifodalarni (6.4.1) tenglamalar sistemasiga qo'yib, tezlik yetarlicha katta bo'lgan hol uchun tizim harakatining tenglamalarini topamiz:

$$\begin{aligned} >M[1]:=J[1]*diff(psi(t),t\$2)+(h[1]+r*cd[2]/VV)*diff(psi(t),t)+ \\ (K[1]+cd[3])*psi(t)-gamma0*JJ*diff(theta(t),t\$2)-(C[0]*VV- \\ (cd[1]-gamma0*r*cd[2])/VV)*diff(theta(t),t)-(cd[2]+gamma0* \\ cd[3])*theta(t): \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M[2]:=J[2]*diff(theta(t),t\$2)+(h[2]+gamma0*(B*r-cd[1])/VV)* \\ diff(theta(t),t)+(K[2]+B+gamma0*cd[2])*theta(t)-gamma0* \\ JJ*diff(psi(t),t\$2)+(C[0]*VV-(B*r-gamma0*r*cd[2])/VV)* \\ diff(psi(t),t)-gamma0*cd[3]*psi(t): \end{aligned}$$

$$DT1:=M[1]=0; \quad KT1:=M[2]=0;$$

$$\begin{aligned} DT1 := J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \left( h_1 + \frac{r c d_2}{V V} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + (K_1 + c d_3) \psi(t) - \\ - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) - \left( C_0 V V - \frac{c d_1 - \gamma_0 r c d_2}{V V} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \\ - (c d_2 + \gamma_0 c d_3) \theta(t) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KT1 := J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + \left( h_2 + \frac{\gamma_0 (B r - c d_1)}{V V} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + \quad (6.4.9) \\ + (K_2 + B + \gamma_0 c d_2) \theta(t) - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \\ + \left( C_0 V V - \frac{B r - \gamma_0 r c d_2}{V V} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) - \gamma_0 c d_3 \psi(t) = 0. \end{aligned}$$

Y.I. Neymark va N.A. Fufayevning birinchi umumlashgan uvod nazariyasiga asosan hosil qilingan (6.4.9) dinamik tenglamalar ko'rilayotgan tizimning matematik modeli (Model 4) hisoblanadi. Bu holda tizim to'g'ri chiziqli harakati differensial tenglamalar sistemasining tartibi 4 ga teng bo'ladi. (6.4.9) tenglamalar sistemasi to'rt o'lchamli fazoda tasvirlanuvchi nuqtaning harakatini ifodalaydi. Tizimning statsionar harakati bu fazoning koordinata boshida yotuvchi muvozanat holatiga mos keladi.



**4.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi. DIV LAGR moduli- ning HARDET protsedurasi tizimning (6.4.9) matematik modeliga asosan**

```

> Uz[1]:=psi(t); Uz[2]:=theta(t); t0=array(1..2); t1=array(1..2):
t2=array(1..2):
Ak=array(1..2,1..2); Bk=array(1..2,1..2); Ck=array(1..2,1..2):
for i from 1 to 2 do a0[i]:=Uz[i]; t1[i]:=diff(Uz[i],t);
t2[i]:=diff(Uz[i],t$2); od;
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Ak[i,j]:=select(has,M[i],t2[j]); Ak[i,j]:=coeff(Ak[i,j],t2[j]); od;
od;
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Bk[i,j]:=subs(t2[j]=0, M[i]);
Bk[i,j]:=coeff(Bk[i,j],t1[j]);
od; od;
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Ck[i,j]:=subs(t2[j]=0, t1[j]=0, M[i]);
Ck[i,j]:=select(has,Ck[i,j],a0[j]);
Ck[i,j]:=coeff(Ck[i,j],a0[j]);
od; od;
Ak1:=Matrix(Ak,1..2,1..2); Bk1:=Matrix(Bk,1..2,1..2);
Ck1:=Matrix(Ck,1..2,1..2);
ABC:=array(1..2,1..2):
for i1 from 1 to 2 do
for j from 1 to 2 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od; od;
ABCk:=Matrix(ABC,1..2,1..2):

```

$$\begin{aligned}
 Ak1 &:= \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma 0 JJ \\ -\gamma 0 JJ & J_2 \end{bmatrix} \\
 Bk1 &:= \begin{bmatrix} h_1 + \frac{rcd_2}{VV} & -C_0VV + \frac{cd_1 - \gamma 0 r cd_2}{VV} \\ C_0VV - \frac{Br - \gamma 0 r cd_2}{VV} & h_2 + \frac{\gamma 0 (Br - cd_1)}{VV} \end{bmatrix} \\
 Ck1 &:= \begin{bmatrix} K_1 + cd_3 & -cd_2 - \gamma 0 cd_3 \\ -\gamma 0 cd_3 & K_2 + B + \gamma 0 cd_2 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{6.4.10}$$

o'zgarma koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning

```
> with(LinearAlgebra):
ABC:=array(1..2,1..2):
for i1 from 1 to 2 do
for j from 1 to 2 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od
od;
ABCk:=Matrix(ABC,1..2,1..2);
```

$$\begin{aligned}
 ABCk := & \left[ J_1 \lambda^2 + \left( h_1 + \frac{r c d_2}{V V} \right) \lambda + K_1 + c d_3, \right. \\
 & \left. - \gamma_0 J J \lambda^2 + \left( -C_0 V V + \frac{c d_1 - \gamma_0 r c d_2}{V V} \right) \lambda - c d_2 - \gamma_0 c d_3 \right], \\
 & \left[ -\gamma_0 J J \lambda^2 + \left( C_0 V V - \frac{B r - \gamma_0 r c d_2}{V V} \right) \lambda - \gamma_0 c d_3, \right. \\
 & \left. J_2 \lambda^2 + \left( h_2 + \frac{\gamma_0 (B r - c d_1)}{V V} \right) \lambda + K_2 + B + \gamma_0 c d_2 \right]
 \end{aligned} \tag{6.4.11}$$

xarakteristik determinantini hosil qiladi. Bu yerda  $Ak_1$ ,  $Bk_1$ ,  $Ck_1$  o'zgarma koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3- bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

**LAGR** modulining **HARUR** protsedurasi tizimning (6.4.11) xarakteristik determinantiga asosan uning

```
> P:=Determinant(ABCk):
d:=array(0..4):
eval(P):
PP:=simplify(P):
PP:=subs(gamma0^2=0, gamma0^3=0, PP):
PP:=collect(PP,{lambda},recursive);
d[4]:=subs(lambda=0, PP):
#d[4]:=collect(d[4], {gamma0},recursive);
d[4]:=expand(d[4]);
for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=coeff(PP,lambda^(5-i-1)); od;
for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=expand(d[i]); od;
```

for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=collect(d[i], gamma0, recursive);  
 od;  
 PK:=PP=0;

$$\begin{aligned}
 PK := & J_1 J_2 \lambda^4 - ((-J_1 V V \gamma_0 B r - J_1 V V^2 h_2 + J_1 V V \gamma_0 c d_1 - \\
 & - h_4 V V^2 J_2 - c d_1 \gamma_0 J J V V + \gamma_0 J J V V B r - r c d_2 J_2 V V) \lambda^3) / V V^2 - \\
 & - (C_0 V V^2 B r - 2 C_0 V V^2 \gamma_0 r c d_2 + h_4 V V \gamma_0 c d_1 + c d_1 C_0 V V^2 - \\
 & - J_1 V V^2 B - h_4 V V^2 h_2 - c d_1 B r - r c d_2 h_2 V V + 2 r c d_2 \gamma_0 c d_1 - \\
 & - h_4 V V \gamma_0 B r + c d_2 V V^2 \gamma_0 J J - J_1 V V^2 \gamma_0 c d_2 - C_0^2 V V^4 - J_1 V V^2 K_2 - \\
 & - c d_3 V V^2 J_2 - K_1 V V^2 J_2) \lambda^2) / V V^2 - ((-K_1 V V^2 h_2 - c d_3 V V^2 h_2 - \\
 & - h_4 V V^2 \gamma_0 c d_2 + K_1 V V \gamma_0 c d_1 - K_1 V V \gamma_0 B r - 2 r c d_2^2 \gamma_0 V V - \\
 & - c d_2 V V^3 C_0 - h_4 V V^2 K_2 - h_4 V V^2 B - r c d_2 K_2 V V) \lambda) / V V^2 - \\
 & - (-c d_3 V V^2 K_2 - K_1 V V^2 K_2 - K_1 V V^2 \gamma_0 c d_2 - K_2 V V^2 B - (6.4.12) \\
 & - c d_3 V V^2 B) / V V^2 = 0
 \end{aligned}$$

xarakteristik tenglamasini va xarakteristik tenglamaning quyidagi koefitsiyentlarini hosil qiladi:

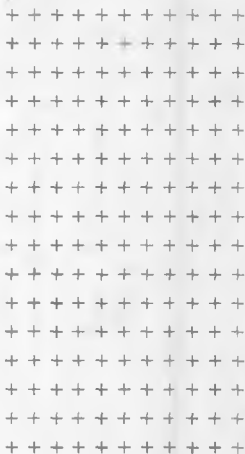
$$\begin{aligned}
 d_4 := & c d_3 K_2 + K_1 K_2 + K_1 \gamma_0 c d_2 + K_1 B + c d_3 B \\
 d_3 := & \left( h_4 c d_2 - \frac{K_1 c d_1}{V V} + \frac{K_1 B r}{V V} + \frac{2 r c d_2^2}{V V} \right) \gamma_0 + K_1 h_2 + c d_3 h_2 + \\
 & + V V c d_2 C_0 + h_4 K_2 + h_4 B + \frac{2 r c d_2 K_2}{V V} \quad (6.4.13) \\
 d_2 := & \left( -c d_2 J J + J_1 c d_2 - \frac{2 r c d_2 c d_1}{V V^2} + \frac{h_4 B r}{V V} + 2 C_0 r c d_2 - \frac{h_4 c d_1}{V V} \right) \gamma_0 - \\
 & - C_0 B r + c d_3 J_2 + K_1 J_2 - c d_1 C_0 + J_1 B + h_4 h_2 + \frac{c d_1 B r}{V V^2} + \frac{r c d_2 h_2}{V V} + \\
 & + V V^2 C_0^2 + J_1 K_2 \\
 d_1 := & \left( \frac{J_1 B r}{V V} + \frac{c d_1 J J}{V V} - \frac{J J B r}{V V} - \frac{J_1 c d_1}{V V} \right) \gamma_0 + J_1 h_2 + \frac{r c d_2 J_2}{V V} + h_4 J_2 \\
 d_0 := & J_1 J_2
 \end{aligned}$$

$\gamma_0 = -6.0$  grad;

$h_2$

V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.00E+01

--- + + + + + --- V

6.0E+01

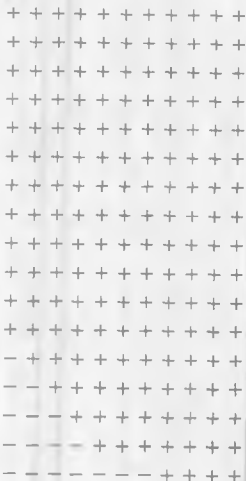
a)

$\gamma_0 = 6.0$  grad;

$h_2$

V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.00E+01

— — V

6.0E+01

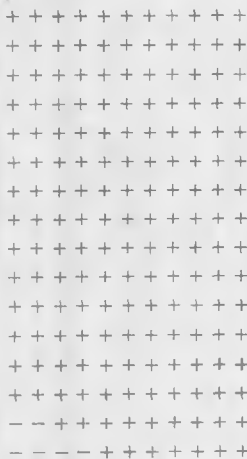
b)

gamma0 = -1.0 grad;

h2

V va h2 parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi

8.0E+00



0.0E+00

1.00E+01

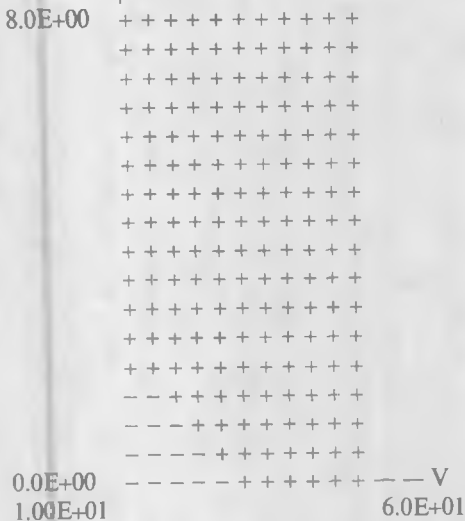
-- V  
6.0E+01

d)

$\gamma_0 = 1.0$  grad;

$h_2$

V va  $h_2$  parametrlar  
tekisligida turg'unlik  
sohasi



6.10- shakl.

**4.3. Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini Gurvis kriteriysi asosida tadqiq etish.** 1- § ning 3- bandida bayon etilgan tartibda tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini **DIV**ning **EAVTO** moduli orqali tadqiq etishni amalga oshiramiz. Tadqiqot modelini va usulini 2- § ning 3- bandida «**Oldingi o'qning blokirovka qilingan holi** ( $\psi = 0$ )» rejimi uchun olingan natijalar bilan qiyoslash maqsadida konstruktiv parametrlarning ma'lumotlar bazasidagi 1- jadvalda aks ettirilgan qiymatlari uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazishni ko'ramiz. Qaralayotgan model (Model 4) uchun tadqiqot rejimi sifatida «**Umumiy hol**», tadqiqot usuli sifatida Gurvis kriteriysidan foydalanish lozim bo'lsin.

Buning uchun **AVTO DIV**ning **MANAGER** moduli yarata-digan 5.2- shakl ko'rinishidagi muhitdan foydalanib, quyidagi muloqot jarayonini amalga oshiramiz:

- 5.2- shakldagi menyudan **EAVTO** tugmasini faollashtiramiz;
- 6.1- shakldagi menyuning 2- bandini tanlab, **exper.dat** fayl nomini kiritamiz;
- 6.3- shakldagi menyuning 4- bandini tanlaymiz;
- 6.4- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;
- 6.5- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz.

Natijada ( $V, h_2$ ) parametrlar tekisligida  $\gamma_0$  ning har bir qiymati uchun tizim harakatining turg'unlik sohalari Gurvis kriteriysi asosida (**mod\_ust1** modulining **GURV** protsedurasi yordamida) aniqlanadi. Olingan ayrim natijalarni quyida keltiramiz.

### **EAVTO moduli**

Harakat turg'unlik sohasini Gurvis kriteriysi asosida qurishni avtomatlashtirish

Harakatning birinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosidagi matematik modeli

Tizimning umumlashgan koordinatalari:  
psi,tetta

Umumiy holda



## Boshlang'ich ma'lumotlar

$m = 3.6400 \text{ kG/m.s.s}$ ;  $l = 0.142 \text{ m}$ ;  $L1 = 0.647 \text{ m}$ ;  $A = 0.104 \text{ kG.m.s.s}$ ;  
 $C = 0.124 \text{ kG.m.s.s}$ ;  $B1 = 2.000 \text{ kG.m.s.s}$ ;  $r = 0.310 \text{ m}$ ;  $hac = 0.650 \text{ m}$ ;  
 $all = 46.000 \text{ 1/m/m}$ ;  $bet1 = 17.0000 \text{ 1/m}$ ;  $gam1 = 1.840 \text{ 1/m}$ ;  
 $a1 = 8800.0 \text{ kG/m}$ ;  $b1 = 160.0 \text{ kGm/rad}$ ;  $sig1 = 0.460$ ;  $ro1 = 0.190 \text{ m}$ ;  
 $a2 = 46.000 \text{ 1/m/m}$ ;  $bet2 = 17.000 \text{ 1/m}$ ;  $gam2 = 1.84 \text{ 1/m}$ ;  
 $a2 = 8800.000 \text{ kG/m}$ ;  $b2 = 160.000 \text{ kGm/rad}$ ;  $sig2 = 0.460$ ;  
 $ro2 = 0.19 \text{ m}$ ;  $La = 0.900 \text{ m}$ ;  $Lpc = 0.880 \text{ m}$ ;  $Cpc = 6150.000 \text{ kGm.s.s}$ ;  
 $Csh = 10500.00 \text{ kGm.s.s}$ ;  $m1 = 3.64 \text{ kG/m.s.s}$ ;  $hpc = 3.80 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  
 $hc = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $hsh = 76.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  $haom = 2.00 \text{ kG.m.s/rad}$ ;  
 $K11 = 2250.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $K2 = 800.00 \text{ kG.m/rad}$ ;  $N = 450.00 \text{ kG}$ .

Ekspiriment natijalari ekranda 6.10- shakl ko'rinishida paydo bo'ladi. 6.7- va 6.10- shakllarni taqqo'slaganimizda, eksperiment natijalari sifat jihatidan mos kelsa-da, lekin son jihatidan muvofiq emas. Demak, Model 4 ham tizim dinamikasini to'liq aks ettirmaydi.

## 5- §. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini uvod gipotezasi asosida tadqiq etish

**5.1. Tizimning uvod gipotezasi asosidagi matematik modeli (Model 5).** Endi I.Rokarning uvod gipotezasidan foydalanib, tizimning matematik modelini keltirib chiqaramiz. Bu gipotezaga asosan avtomobilning g'ildiraklari absolut qattiq jism ( $\xi_1 = \xi_2 = 0$ ), ammo ular harakat davomida yon tarafga qochadi deb faraz qilinadi. Bu holda g'ildiraklarga faqat ularning o'rta tekisligiga perpendikular bo'lgan  $F_1$  va  $F_2$  yon reaksiya kuchlari ta'sir etadi deb qaraladi. G'ildiraklar sirpanishsiz harakat qilganda, bu kuchlar uvod  $\delta_1$  va  $\delta_2$  burchagiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Bu burchaklar ( $x_1$  va  $x_3$  abssissalar  $q_1 = \psi$  va  $q_2 = \theta$  umumlashgan koordinatalar bilan (5.1.4) ifodalar orqali ifodalanganligini hisobga olib)

$$\begin{aligned}\delta_1 &:= -\left(\frac{\partial}{\partial t} \psi(t)\right) + r \gamma_0 \left(\frac{\partial}{\partial t} \theta(t)\right) + VV\theta(t), \\ \delta_2 &:= -r\left(\frac{\partial}{\partial t} \psi(t)\right) + r \gamma_0 \left(\frac{\partial}{\partial t} \theta(t)\right) + VV\theta(t)\end{aligned}\tag{6.5.1}$$

formulalar orqali aniqlanadi. Agar yonga qochishga qarshi koefitsiyentni  $K_{\theta_1}$  bilan belgilasak, u holda umumlashgan reaksiya kuchlari quyidagi ifodalarga teng bo'ladi:

$$F_1 := - \frac{KK_{\theta(t)} \left( -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \right)}{VV} - KK_{\theta(t)} \theta(t)$$

$$M_{x_1} := 0$$

$$M_{\theta_1} := 0 \tag{6.5.2}$$

$$F_2 := - \frac{KK_{\theta(t)} \left( -r \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + r \gamma_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) \right)}{VV} - KK_{\theta(t)} \theta(t)$$

$$M_{x_2} := 0$$

$$M_{\theta_2} := 0$$

Agar (6.5.2) va (6.4.5) ifodalarni solishtirsak, u holda (6.5.2) ni (6.4.5) dan hosil qilish uchun  $ad_{1i} = ad_{3i} = b_i = bd_{1i} = bd_{2i} = bd_{3i} = 0$  va  $K_{\theta_1} = ad_{2i} = a_i \beta_i / \alpha_i$  deb hisoblashimiz kerakligi aniq bo'ladi. Faqat  $F_i$  yon kuchni hisobga olganimizda,  $M_{\theta_i}$  va  $M_{x_i}$  momentlar nolga teng bo'ladi.

Shunday qilib, I. Rokarning uvod gipotezasiga asosan tizimning matematik modelini (6.4.9) dan keltirib chiqarish uchun bu tenglamalarga  $ad_{1i} = ad_{3i} = b_i = bd_{1i} = bd_{2i} = bd_{3i} = B = 0$  va  $K_{\theta_1} + K_{\theta_2} = a_2$  munosabatlarni qo'yish kifoya. Natijada quyidagi tenglamalar sistemasiga kelamiz:

$$\begin{aligned} > M[1] := J[1] * \text{diff}(\psi(t), t\$2) + (h[1] + r^2 * ad[2] / VV) * \text{diff}(\psi(t), t) + \\ & K[1] * \psi(t) - \gamma_0 * JJ * \text{diff}(\theta(t), t\$2) - (C[0] * VV + \\ & (\gamma_0 * ad[2] * r^2) / VV) * \text{diff}(\theta(t), t) - ad[2] * r * \theta(t); \\ M[2] := J[2] * \text{diff}(\theta(t), t\$2) + h[2] * \text{diff}(\theta(t), t) + (K[2] + \\ & \gamma_0 * ad[2] * r) * \theta(t) - \gamma_0 * JJ * \text{diff}(\psi(t), t\$2) + \\ & (C[0] * VV - (\gamma_0 * r^2 * ad[2]) / VV) * \text{diff}(\psi(t), t); \\ DT1 := M[1] = 0; \\ DT2 := M[2] = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DT1 := & J_1 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \left( h_1 + \frac{r^2 ad_2}{VV} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) + K_1 \psi(t) - \\
 & - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + \left( C_0 VV + \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) - \\
 & - ad_2 r \theta(t) = 0
 \end{aligned} \tag{6.5.3}$$

$$\begin{aligned}
 DT2 := & J_2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta(t) \right) + h_2 \left( \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right) + (K_2 + \gamma_0 ad_2 r) \theta(t) - \\
 & - \gamma_0 J J \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(t) \right) + \left( C_0 VV - \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) \right) = 0
 \end{aligned}$$

I. Rokarning uvod gipotezasiga asosan hosil qilingan (6.5.3) differensial tenglamalar sistemasi **tizimning matematik modeli (Model 5)** bo'ladi. Bu model tasvirlovchi nuqtaning ( $\psi, \dot{\psi}, \theta, \dot{\theta}$ ) to'rt o'lchamli fazaviy fazodagi harakatini ifodalaydi.

**5.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi.** DIV LAGR modulning HARDET protsedurasi tizimning (6.5.3) matematik modeliga asosan

```

> Uz[1]:=psi(t): Uz[2]:=theta(t): t0=array(1..2): t1=array(1..2):
t2=array(1..2):
Ak=array(1..2,1..2): Bk=array(1..2,1..2): Ck=array(1..2,1..2):
for i from 1 to 2 do a0[i]:=Uz[i]: t1[i]:=diff(Uz[i],t):
t2[i]:=diff(Uz[i],t$2): od:
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Ak[i,j]:=select(has,M[i],t2[j]): Ak[i,j]:=coeff(Ak[i,j],t2[j]):
od: od:
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Bk[i,j]:=subs(t2[j]=0, M[i]):
Bk[i,j]:=coeff(Bk[i,j],t1[j]):
od: od:
> for i from 1 to 2 do for j from 1 to 2 do
Ck[i,j]:=subs(t2[j]=0, t1[j]=0, M[i]):
Ck[i,j]:=select(has,Ck[i,j],a0[j]):
Ck[i,j]:=coeff(Ck[i,j],a0[j]):
od: od:

```

```

Ak1:=Matrix(Ak,1..2,1..2); Bk1:=Matrix(Bk,1..2,1..2);
Ck1:=Matrix(Ck,1..2,1..2);
ABC:=array(1..2,1..2):
for i1 from 1 to 2 do
for j from 1 to 2 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od; od;
ABCK:=Matrix(ABC,1..2,1..2):

```

$$\begin{aligned}
 Ak1 &:= \begin{bmatrix} J_1 & -\gamma_0 JJ \\ -\gamma_0 JJ & J_2 \end{bmatrix} \\
 Bk1 &:= \begin{bmatrix} h_1 + \frac{r^2 ad_2}{VV} & -C_0 VV - \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} \\ C_0 VV - \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} & h_2 \end{bmatrix} \\
 Ck1 &:= \begin{bmatrix} K_1 & -ad_2 r \\ 0 & K_2 + \gamma_0 ad_2 r \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{6.5.4}$$

o'zgarma koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning ushbu xarakteristik determinantini hosil qiladi:

```

> with(LinearAlgebra):
ABC:=array(1..2,1..2):
for i1 from 1 to 2 do
for j from 1 to 2 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od; od;
ABCK:=Matrix(ABC,1..2,1..2);

```

ABCK :=

$$\begin{bmatrix} J_1 \lambda^2 + \left( h_1 + \frac{r^2 ad_2}{VV} \right) \lambda + K_1 & -\gamma_0 JJ \lambda^2 + \left( -C_0 VV - \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} \right) \lambda - ad_2 r \\ -\gamma_0 JJ \lambda^2 + \left( C_0 VV + \frac{\gamma_0 ad_2 r^2}{VV} \right) \lambda & J_2 \lambda^2 + h_2 \lambda + K_2 + \gamma_0 ad_2 r \end{bmatrix} \tag{6.5.5}$$

bu yerda  $Ak1$ ,  $Bk1$ ,  $Ck1$  o'zgarma koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3- bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

LAGR modulining HARUR protsedurasi tizimning (6.5.5) xarakteristik determinantiga asosan uning

```

> P:=Determinant(ABCk):
d:=array(0..4):
eval(P):
PP:=simplify(P):
PP:=subs(gamma0^2=0, gamma0^3=0, PP):
PP:=collect(PP,{lambda},recursive);
d[4]:=subs(lambda=0, PP):
#d[4]:=collect(d[4], {gamma0},recursive);
d[4]:=expand(d[4]);
for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=coeff(PP,lambda^(5-i-1)); od:
for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=expand(d[i]); od:
for i from 3 to 0 by -1 do d[i]:=collect(d[i], gamma0,
recursive);
od;
PK:=PP=0:

```

$$\begin{aligned}
 PP := & J_1 J_2 \lambda^4 + (h_1 V V^2 J_2 + J_1 V V^2 h_2 + V V r^2 a d_2 J_2) \lambda^3 / V V^2 + \\
 & + ((h_1 V V^2 h_2 + J_1 V V^2 \gamma_0 a d_2 r + V V r^2 a d_2 h_2 + J_1 V V^2 K_2 + \\
 & + K_1 V V^2 J_2 - a d_2 r V V^2 \gamma_0 J J + C_0^2 V V^4) \lambda^2) / V V^2 + \quad (6.5.6) \\
 & + (h_1 V V^2 K_2 + h_1 V V^2 \gamma_0 a d_2 r + a d_2 r V V^3 C_0 + V V r^2 a d_2 K_2 + \\
 & + K_1 V V h_2) \lambda / V V^2 + (K_1 V V^2 K_2 + K_1 V V^2 \gamma_0 a d_2 r) / V V^2
 \end{aligned}$$

xarakteristik tenglamasini va xarakteristik tenglamaning quyidagi koeffitsiyentlarini hosil qiladi:

$$d_4 := K_1 K_2 + K_1 \gamma_0 a d_2 r_2$$

$$d_3 := h_1 K_2 + h_1 \gamma_0 a d_2 r + V V a d_2 r C_0 + \frac{r^2 a d_2 K_2}{V V} + K_1 h_2$$

$$d_2 := (J_1 a d_2 r - a d_2 r J J) \gamma_0 + h_1 h_2 + \frac{r^2 a d_2 h_2}{V V} + J_1 K_2 + K_1 J_2 + V V^2 C_0^2$$

$$d_1 := h_1 J_2 + J_1 h_2 + \frac{r^2 a d_2 J_2}{V V} \quad (6.5.7)$$

$$d_0 := J_1 J_2$$

Demak, tizimning matematik modeli masalada qo'yilgan shartlarga bog'liq bo'lib, masalaning ayrim shartlari o'zgarishi bilan tizim harakatining matematik modeli ham o'zgarar ekan, degan xulosaga ega bo'ldik.

Agar yuqorida hosil qilingan matematik modellarni  $n$  sonning o'sishi tartibida joylashtirsak, u holda quyidagi qatorni hosil qilamiz (qavs ichida harakat tenglamalarining tartib raqamlari ko'rsatilgan):

$n = 4$ , (6.5.3) — I. Rokarning uvod gipotezasi;

$n = 4$ , (6.4.9) — birinchi umumlashgan uvod nazariyasi;

$n = 5$ , (6.3.3) — I. Rokarning uvod nazariyasi;

$n = 5$ , (6.2.13) — ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi;

$n = 6$ , (6.1.1) — M.V. Keldish nazariyasi.

### 5.3. Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini ikki haqiqiy parametr tekisligida $D$ - bo'laklash usuli asosida tadqiq etish.

1-§ ning 3- bandida bayon etilgan tartibda tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini DIVning EAVTO moduli orqali tadqiq etishni amalga oshiramiz. Tadqiqot modelini va usulini 1- § ning 3- bandida olingan natijalar bilan qiyoslash maqsadida konstruktiv parametrlarning ma'lumotlar bazasidagi 1- jadvalda aks ettirilgan qiymatlari uchun hisoblash eksperimentlarini o'tkazishni ko'ramiz. Qaralayotgan model (Model 5) uchun tadqiqot rejimi sifatida «Umumiy hol», tadqiqot usuli sifatida ikki haqiqiy parametr tekisligida  $D$ - bo'laklash usulidan foydalanish kerak bo'lsin. Buning uchun AVTO DIVning MANAGER moduli yaratadigan 5.2- shakl ko'rinishidagi muhitdan foydalanib, quyidagi muloqot jarayoni amalga oshiriladi:

— 5.2- shakldagi menyudan EAVTO tugmasini faollashtiramiz;

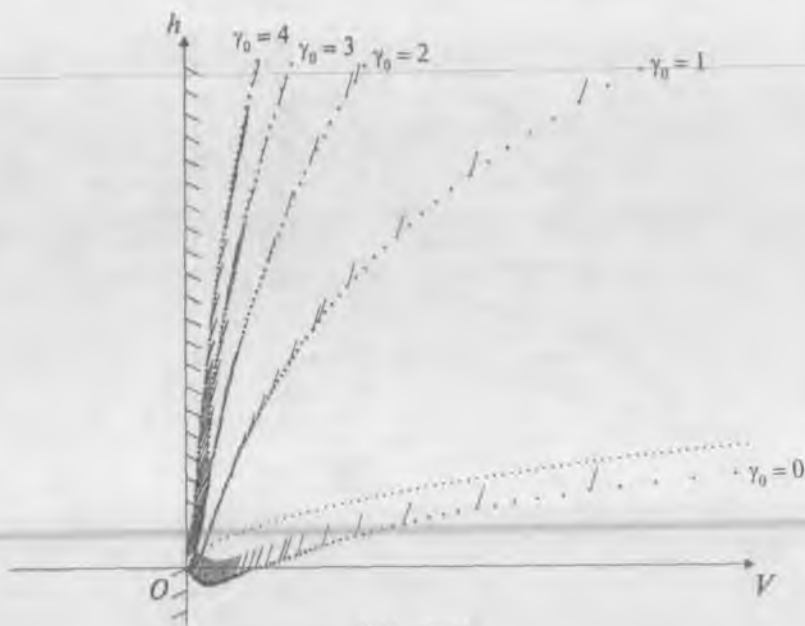
— 6.1- shakldagi menyuning 2- bandini tanlab, **exper.dat** fayl nomini kiritamiz;

— 6.3- shakldagi menyuning 5- bandini tanlaymiz;

— 6.4- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;

— 6.5- shakldagi menyuning 5- bandini tanlaymiz.

Natijada ( $V$ ,  $h_2$ ) parametrlar tekisligida  $\gamma_0$  ning har bir qiymati uchun tizim harakatining turg'unlik sohalari ikki haqiqiy parametr tekisligida  $D$ - bo'laklash usuli asosida (**mod\_ust2** modulining **D2** protsedurasi yordamida) aniqlanadi.



6.11- shakl.

Harakat turg'unligi sohasini yasashni  $D$ - bo'laklash usuli asosida avtomatlashtirish

Harakatning uvod gipotezasi asosidagi matematik modeli

Tizimning umumlashgan koordinatalari: psi, tetta

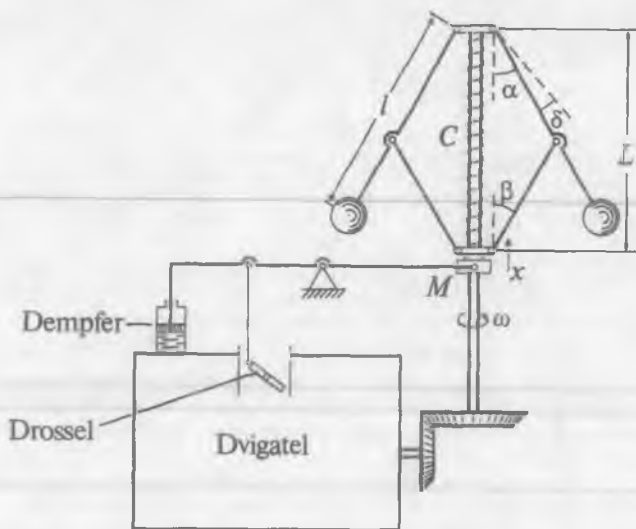
Umumiy holda

$(h, V)$  tekislikda  $0 \leq \gamma_0 \leq 4$  da QADAM 1

6.11- shaklda turg'unlik sohasi  $V=0$  to'g'ri chiziqning o'ng tarafida va  $N$  egri chiziqning yuqori qismida joylashgan. Eksperiment natijalaridan ko'rinib turibdiki, shkvoren o'qining bo'ylama og'ish burchagi  $\gamma_0$  ning o'sishi bilan turg'unlik sohasi asimptotik kamayadi.

## 6- §. Markazdan qochma regulator va dvigateldan iborat tizim barqaror harakatining turg'unligi

Markazdan qochma regulator va dvigateldan (dvigatel-regulator) iborat tizimda regulatorning vazifasi dvigatel maxovigining aylanma burchak tezligi qiymatini o'zgarmas tarzda ushlab



6.12- shakl.

turishdan iborat. Markazdan qo'chma regulator bevosita rostlanishi lozim bo'lgan qism (drossel zaslonkasi)ga ta'sir qiladi, ya'ni yonilg'i yoki bug'ning berilishi lozim bo'lgan miqdorini tartibga solib turadi.

Dvigatel-regulator tizimi barqaror (toyilmagan) harakatda quyidagi shartlarni qanoatlantirishi kerak (6.12- shakl):

- regulator valining  $\omega$  aylanma burchak tezligi oldindan berilgan  $\omega_0$  qiymatini o'zgarmas holda saqlaydi. Bu burchak tezlik dvigatel maxovigining aylanma burchak tezligidan uzatish soniga farq qiladi;

- sharlarni ushlab turuvchi sterjenlar regulatorning aylanish o'qi bilan o'zgarmas  $\alpha$  burchak tashkil qiladi;

- regulatorning  $M$  muftasi va drossel zaslonkasi oldindan berilgan  $\omega_0$  burchak tezligi qiymatiga mos keladigan aniq holatda turadi.

### 6.1. Tizimning konstruktiv parametrlari va umumlashgan koordinatalari.

1.  $\alpha$  – sharlarni ushlab turadigan sterjenlar bilan regulator aylanish o'qi orasidagi burchak.



2.  $\beta$  – sterjen va muftani tutashtiradigan to'g'ri chiziq bilan regulator aylanish o'qi orasidagi burchak.

3.  $C$  – prujinaning elastiklik koeffitsiyenti.

4.  $l$  – sharning markazi bilan yuqori sharnirlar orasidagi masofa.

5.  $L$  – mufta bilan yuqori sharnirlar orasidagi masofa.

6.  $m$  – bitta sharning massasi.

7.  $\delta$  – burchak  $\alpha$  ning toyilish miqdori.

8.  $\mu = \frac{\text{ctg}\beta}{L}$  – proporsionallik koeffitsiyenti.

9.  $g$  – jismning erkin tushish tezlanishi.

10.  $\nu$  – yonilg'i qarshilik kuchining proporsionallik koeffitsiyenti, o'zgarmas son.

11.  $\omega_0$  – barqaror harakatda regulator valining aylanma burchak tezligi, o'zgarmas son.

12.  $T_1^2 = \frac{2ml^2\mu^2}{2ml^2\mu^2\omega_0^2\sin^2\alpha+c}$  – o'zgarmas vaqt koeffitsiyentining kvadrati.

13.  $T_2 = \frac{\nu}{2ml^2\mu^2\omega_0^2\sin^2\alpha+c}$  – o'zgarmas vaqt koeffitsiyenti.

14.  $k_1 = \frac{2ml^2\mu\omega_0\sin^2\alpha}{2ml^2\mu^4\omega_0^2\sin^2\alpha+c}$  – kuchaytirish koeffitsiyenti.

15.  $k_0 = -\left(\frac{\partial M_1}{\partial x}\right)_0 \left[\left(\frac{\partial M_2}{\partial \omega}\right)_{\omega_0}\right]^{-1}$  – dvigatelning kuchaytirish koeffitsiyenti.

16.  $T_0 = J \left[\left(\frac{\partial M_2}{\partial \omega}\right)_{\omega_0}\right]^{-1}$  – dvigatelning o'zgarmas vaqt koeffitsiyenti.

17.  $J$  – inersiya momenti.

18.  $M_1$  – dvigatelni harakatlantiruvchi moment.

19.  $M_2$  – dvigatelning harakatiga qarshilik qiluvchi moment.

20.  $\omega - \omega_0 = z$  – burchak tezligi  $\omega$  ning toyilish miqdori.

Yuqorida keltirilgan konstruktiv parametrlarning nominal qiymatlarini 1- jadvalga o'xshash ko'rinishda ma'lumotlar bazasiga **exper1.dat** fayl ko'rinishda yoziladi.

Tizimning harakatini quyidagi umumlashgan koordinatalar bilan aniqlaymiz:

$x$  – regulator muftasining siljishi. Muftaning yuqoriga qarab siljishini musbat yo'nalish sifatida qabul qilamiz;

$\omega = \omega_0 + z$  – regulator valining aylanma burchak tezligi.

**6.2. Tizim harakatining matematik modeli.** Endi 6.12- shaklda tasvirlangan markazdan qochma regulatorning ish tamoyilini ko'rib o'taylik. Faraz qilaylik, biror noma'lum sabablarga ko'ra dvigatel maxovigining aylanma burchak tezligi ortdi va, demak, tizimning barqaror harakati buzildi. Bu holda markazdan qochma kuchlarning qiymati ortadi. Bu kuchlarning ta'siri ostida sharlarni ushlab turuvchi sterjenlarning regulator aylanish o'qi bilan tashkil qilgan  $\alpha$  burchagining qiymati ortadi,  $M$  mufta ko'tariladi va richaglar tizimi orqali drossel zaslonkasi pastga tushib, quyilayotgan yonilg'i yoki bug'ning miqdorini kamaytiradi. Natijada regulator valining aylanma burchak tezligining qiymati kamayadi va dvigatel-regulator tizimi  $\omega_0$  burchak tezligiga mos keladigan o'zining dastlabki barqaror harakatini tiklaydi.

XIX asrning o'rtalarigacha muhandis-konstruktorlar dvigatel-regulator tizimining ishlash tamoyilini yuqorida bayon etilgan tarzda tushunar edilar. Ular dvigatelning inertligi va tizimda mavjud bo'lgan qarshilik kuchlarini hisobga olmas edilar. Bundan tashqari, tizimdagi qarshilik kuchlari manfiy qiymatga ega deb hisoblar edilar. Shuning uchun ham markazdan qochma regulatorlar tayyorlovchi muhandis va mexaniklar o'sha paytda mumkin bo'lgan hamma vositalar orqali qarshilik kuchini kamaytirishga harakat qilar edilar.

XIX asrning o'rtalarida ishlab chiqarish samaradorligini orttirish maqsadida katta quvvatli dvigatellar tayyorlay boshladilar. Yuqorida bayon etilgan tamoyilda tayyorlanayotgan regulatorlar katta quvvatli dvigatelli dvigatel-regulator tizimining barqaror harakatini turg'un holatda saqlashga qodir bo'lmasdan, balki uning harakatini noturg'un holatga o'tkazardi. Bu hodisa muhandis va olimlarga texnika uchun harakatning turg'unlik nazariyasi naqadar muhim ekanligini ko'rsatdi.

Dvigatel-regulator tizimi harakatining noturg'un bo'lishi sababini aniqlash uchun uning toyilgan harakatining differensial tenglamalarini tuzamiz va toyilmagan harakatining turg'unlik shartlarini topamiz. Harakatning differensial tenglamalarini quyidagi shartlar asosida tuzamiz:

- mufta va sterjenlarning massalarini hisobga olmaymiz;
- sharlarni moddiy nuqta sifatida qabul qilamiz;
- toyilmagan harakatda  $c$  elastiklik koeffitsiyentiga ega bo'lgan prujina deformatsiyalanmagan holatda bo'ladi;

– 6.12- shaklda ko'rsatilgan  $\alpha$ ,  $\beta$  burchaklar hamda mufta va yuqori sharnirlar orasidagi  $L$  masofa tizimning toyilmagan harakati holatiga mos keladi.

Tizimga biror tashqi omil ta'sir etib, uning toyilmagan harakatini toydiradi deb faraz qilamiz. Buning natijasida  $M$  mufta yuqoriga  $x$  miqdorga ko'tariladi va  $\alpha$  burchak  $\delta$  miqdorga o'zgaradi.  $x$  va  $\delta$  ning miqdori yetarlicha kichik bo'lsin, u holda ikkinchi va undan yuqori darajali hadlarni hisobga olmaganda,

$$> \delta(x) := \mu x(t);$$

$$\delta(x) := \mu x(t) \quad (6.6.1)$$

$$\mu = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{L} \quad (6.6.2)$$

ekanligini aniqlaymiz.

Sharlarning toyilgan harakati ularning regulator o'qi atrofida  $\omega$  burchak tezlik bilan aylanishi (ko'chma harakat) va yuqori sharnirlar atrofida  $\delta$  burchak tezlik bilan aylanishi (nisbiy harakat) dan iboratdir. U holda har bir shar chiziqli tezligining kvadrati

$$V^2 = l^2 \delta^2 + l^2 \omega^2 \sin^2(\alpha + \delta) = l^2 [\delta^2 + \omega^2 \sin^2(\alpha + \delta)]$$

ga teng bo'ladi yoki (6.6.1) munosabatni hisobga olganimizda

$$> TV := V^2:$$

$$> TV := l^2 (\mu^2 \operatorname{diff}(x(t), t)^2 + \omega^2 \sin^2(\alpha + \mu x(t))^2);$$

$$TV := l^2 \left( \mu^2 \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right)^2 + \omega^2 \sin^2(\alpha + \mu x(t))^2 \right) \quad (6.6.3)$$

Regulatorning toyilgan harakatdagi  $T = T_{ch} + T_o$ , kinetik energiyasi  
 $> TT(x(t)) := m \cdot l^2 \cdot (\mu^2 \cdot \text{diff}(x(t), t)^2 + \omega^2 \cdot \sin(\alpha + \mu \cdot x(t)))$ ;

$$TT(x(t)) := ml^2 \left( \mu^2 \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right)^2 + \omega^2 \sin(\alpha + \mu x(t)) \right) \quad (6.6.4)$$

bo'ladi, bu yerda  $T_{ch} = T_o = \frac{1}{2} m V^2$  – mos ravishda chap va o'ng sharlarning kinetik energiyasi,  $m$  – bitta sharining massasi.

Regulatorning potensial energiyasi

$> PP(x) := 2 \cdot m \cdot g \cdot l \cdot (\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \mu \cdot x)) + c \cdot x^2 / 2$ ;

$$PP(x) := 2mgl((\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \mu x)) + \frac{1}{2} cx^2) \quad (6.6.5)$$

ifoda bilan aniqlanadi, u holda  $x$  umumlashgan koordinataga mos keluvchi umumlashgan kuch

$> Qx := -\text{diff}(PP(x), x) - \nu \cdot \text{diff}(x(t), t)$ ;

$$Qx := -mgl \sin(\alpha + \mu x) \mu - cx - \nu \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right) \quad (6.6.6)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda  $\nu \dot{x}$  – muftaga keltirilgan dempfer orqali hosil qilinadigan suyuqlikning qarshilik (dissipatsiya) kuchi.

Regulatorning kinetik energiyasi va umumlashgan kuchning qiymatlarini mos ravishda (6.6.5) va (6.6.6) ifodalardan

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x \quad (6.6.7)$$

Lagranj tenglamasiga qo'yib, regulator toyilgan harakatining differensial tenglamasini topamiz:

$> M1 := 2 \cdot m \cdot l^2 \cdot \mu^2 \cdot \text{diff}(x(t), t)^2 - m \cdot l^2 \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot \sin(2 \cdot (\alpha + \mu \cdot x))$ ;

$> M2 := -2 \cdot m \cdot g \cdot l \cdot \mu \cdot \sin(\alpha + \mu \cdot x) - c \cdot x - \nu \cdot \text{diff}(x(t), t)$ ;

$> M1 := M1 = M2$ ;

MT := M1;

$$M1 := -2ml^2\mu^2\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2}x(t)\right) - ml^2\mu\omega^2\sin(2\alpha + 2\mu x) - \\ - 2mgl\sin(\alpha + \mu x)\mu - cx - v\left(\frac{\partial}{\partial t}x(t)\right) \quad (6.6.8)$$

Toyilmagan harakatda  $\omega = \omega_0$ ,  $x = 0$ ,  $\dot{x} = 0$ ,  $\ddot{x} = 0$ . Bu qiymatlarni (6.6.8) ga qo'yib, regulator parametrlari orasidagi

> M1:=subs(diff(x(t),t\$2)=0,diff(x(t),t)=0,x=0,omega=omega[0],M1);

$$M1 := -ml^2\mu\omega_0^2\sin(2\alpha) = -2mgl\sin(\alpha)\mu$$

> M1:=simplify(M1,{tan(beta)\*L=1,2\*m\*1=1,sin(alpha)=1});

$$M1 := -\mu\omega_0^2\cos(\alpha)l = -g\mu$$

> M1:=M1\*(-1/l);

$$M1 := \mu\omega_0^2\cos(\alpha) = \frac{g\mu}{l} \quad (6.6.9)$$

munosabatni topamiz.

Toyilgan harakatdagi  $\omega$  burchak tezlikni  $\omega = \omega_0 + z$  bilan belgilaymiz, bu yerda  $z$  — toyilishning miqdori va uni yetarlicha kichik miqdor deb hisoblaymiz.  $\omega = \omega_0 + z$  ni (6.6.8) tenglamaga qo'yib, nochiziqli funksiyalarni  $x$  va  $z$  darajalari bo'yicha qatorga yoyamiz. U holda (6.6.9) tenglikni hisobga olib hamda  $x$  va  $z$  larga nisbatan faqat birinchi darajali hadlarni qoldirib, markazdan qochma regulator toyilgan harakatining birinchi yaqinlashish tenglamalarini topamiz:

> MT:=subs(omega=omega[0]+z,MT);

$$MT := 2ml^2\mu^2\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2}x(t)\right) - ml^2\mu(\omega_0 + z)^2\sin(2\alpha + 2\mu x) - \\ - 2mgl\sin(\alpha + \mu x)\mu - cx - v\left(\frac{\partial}{\partial t}x(t)\right)$$

yoki

$$MTT1:=2*m*1^2*\mu^2*diff(x(t),t$2)+\mu*diff(x(t),t)+(2*m*1^2*\mu^2*\omega_0^2*\sin(alpha)^2+c)*x=2*m*1^2*\mu*\omega_0*\sin(2*alpha)*z;$$

$$l11 := (2 * m * l^2 * \mu^2 * \omega_0^2 * \sin(\alpha))^2 + c$$

$$MTT1 := 2ml^2\mu^2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} x(t) \right) + v \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right) + (2ml^2\mu^2\omega_0^2 \sin(\alpha)^2 + c)x - 2ml^2\mu\omega_0 \sin(2\alpha)z$$

$$> MTT1 := \text{algsubs}(\text{nu} * \text{diff}(x(t), t) = \text{nu} * \text{diff}(x(t), t) / l11, MTT1):$$

$$MTT1 := \text{algsubs}(2 * m * l^2 * \mu^2 * \text{diff}(x(t), t^2) =$$

$$2 * m * l^2 * \mu^2 * \text{diff}(x(t), t^2) / l11, MTT1):$$

$$MTT1 := \text{algsubs}((2 * m * l^2 * \mu^2 * \omega_0^2 * \sin(\alpha)^2 + c) * x =$$

$$(2 * m * l^2 * \mu^2 * \omega_0^2 * \sin(\alpha)^2 + c) * x / l11, MTT1):$$

$$MTT1 := \text{algsubs}(2 * m * l^2 * \mu * \omega_0 * \sin(2 * \alpha) * z =$$

$$2 * m * l^2 * \mu * \omega_0 * \sin(2 * \alpha) * z / l11, MTT1):$$

$$> MT1 := T1^2 * \text{diff}(x(t), t^2) + T2 * \text{diff}(x(t), t) + x(t) - k1 * z(t);$$

$$MT1 := T1^2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} x(t) \right) + T2 \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right) + x(t) - k1 z(t) \quad (6.6.10)$$

bu yerda o'zgarmas vaqt koeffitsiyentlari deb ataladigan  $T_1$  va  $T_2$  hamda  $k_1$  kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$T_1^2 = \frac{2ml^2\mu^2}{2ml^2\mu^2\omega_0^2 \sin^2 \alpha + c}, \quad T_2 = \frac{v}{2ml^2\mu^2\omega_0^2 \sin^2 \alpha + c},$$

$$k_1 = \frac{2ml^2\mu\omega_0 \sin 2\alpha}{2ml^2\mu^2\omega_0^2 \sin^2 \alpha + c} \quad (6.6.11)$$

Dvigatel-regulator tizimi toyilgan harakatining to'liq differensial tenglamalar sistemasini topish uchun  $z$  o'zgaruvchining o'zgarish xarakterini topish kerak. Buning uchun dvigatel harakatining

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_1 - M_2$$

differensial tenglamasidan foydalanamiz, bu yerda  $J$  — uzatish sonini hisobga olgan holda dvigatel o'qiga keltirilgan aylanuvchi qismlarning inersiya momenti,  $M_1$  — dvigatelni harakatlantiruvchi moment,  $M_2$  — qarshilik momenti.

Harakatlantiruvchi moment  $M_1$  ning qiymati asosan dvigatelga kelayotgan energiyaga, ya'ni drosselning holatiga bog'liq bo'ladi (6.12- shaklga qarang). Drosselning burilish burchagi esa  $M$  muf-taning  $x$  siljishiga bog'liq bo'ladi. Demak,  $M_1$  momentni  $x$  ning funksiyasi, ya'ni  $M_1(x)$  deb qarash mumkin. Qarshilik momenti  $M_2$  ni  $\omega$  ning funksiyasi, ya'ni  $M_2(\omega)$  deb qaraymiz. Shunday qilib, dvigatelning harakat tenglamasi

$$> \text{MT2} := J * \text{diff}(\omega(t), t) = MM1(x(t)) - MM2(\omega(t));$$

$$MT2 := J \left( \frac{\partial}{\partial t} \omega(t) \right) = MM1(x(t)) - MM2(\omega(t)) \quad (6.6.12)$$

ko'rinishda bo'ladi. Barqaror (toyilmagan) harakatda  $\omega = \omega_0 = \text{const}$ ,  $x = 0$ . Shuning uchun ham

$$> \text{MT20} := \text{subs}(\omega(t) = \omega_0, x(t) = 0, \text{MT2});$$

$$> \text{MT20} := \text{simplify}(\text{MT20});$$

$$MT20 := 0 = MM1(0) - MM2(\omega_0) \quad (6.6.13)$$

Toyilgan harakatdagi  $\omega = \omega_0 + z$  ning qiymatini (6.6.12) ga qo'yib,  $M_1(x)$  va  $M_2(\omega)$  funksiyalarni  $x$  va  $z$  darajalari bo'yicha qatorga yoyamiz. (6.6.13) munosabatni hisobga olib hamda  $x$  va  $z$  ga nisbatan ikkinchi va undan yuqori darajali hadlarni tashlab, quyidagini hosil qilamiz:

$$> \text{MT2z} := \text{subs}(\omega(t) = \omega_0 + z(t), \text{MT2});$$

$$> \text{MT2z} := \text{simplify}(\text{MT2z});$$

$$MT2z := J \left( \left( \frac{\partial}{\partial t} \omega(t) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial t} z(t) \right) \right) = \\ = MM1(x(t)) - MM2(\omega_0 + z(t))$$

$$> \text{MT2} := T_0 * \text{diff}(z(t), t) + z(t) + k_0 * x(t);$$

$$MT2 := T_0 \left( \frac{\partial}{\partial t} z(t) \right) + z(t) + k_0 x(t) \quad (6.6.14)$$

bu yerda  $T_0$  — dvigatelning o'zgarmas vaqt koeffitsiyenti,  $k_0$  — dvigatelning kuchaytirish koeffitsiyenti. Ular

$$T_0 = J \left[ \left( \frac{\partial M_2}{\partial \omega} \right)_{\omega_0} \right]^{-1}, \quad k_0 = - \left( \frac{\partial M_1}{\partial x} \right)_0 \left[ \left( \frac{\partial M_2}{\partial \omega} \right)_{\omega_0} \right]^{-1}$$

ifodalar bilan aniqlanadi.  $\omega$  burchak tezlikning ortishi bilan  $M_2(\omega)$  qarshilik momentining qiymati o'sishi tufayli  $\left( \frac{\partial M_2}{\partial \omega} \right)_{\omega_0}$  hosilaning qiymati musbat bo'ladi.

$x$  ning o'sishi ( $M$  muftaning ko'tarilishi) bilan drossel zaslonkasi kam miqdorda yonilg'i o'tkazadi. Shuning uchun ham harakatlanti-ruvchi moment  $M_1$  ning hosilasi  $\left( \frac{\partial M_1}{\partial x} \right)_0 < 0$ , ya'ni  $M_1(x)$  moment  $x$  ning kamayuvchi funksiyasi bo'ladi.

Shunday qilib, (6.6.10) va (6.6.14) differensial tenglamalar

- > MT1:=T1^2\*diff(x(t),t\$2)+T2\*diff(x(t),t)+x(t)-k1\*z(t);
- > MT2:=T0\*diff(z(t),t)+z(t)+k0\*x(t);

$$\begin{aligned} MT1 &:= T1^2 \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} x(t) \right) + T2 \left( \frac{\partial}{\partial t} x(t) \right) + x(t) - k1z(t) \\ MT2 &:= T0 \left( \frac{\partial}{\partial t} z(t) \right) + z(t) + k0x(t) \end{aligned} \quad (6.6.15)$$

dvigatel-regulator tizimi toyilgan harakatining matematik modeli bo'ladi.

**6.3. Tizimning xarakteristik tenglamasi. DIV LAGR moduli-ning HARDET protsedurasi tizimning (6.6.15) matematik modeliga asosan**

- > A[1,1]:=coeff(MT1, diff(x(t),t\$2));
- > A[1,2]:=coeff(MT1, diff(z(t),t\$2));
- > A[2,1]:=coeff(MT2, diff(x(t),t\$2));
- > A[2,2]:=coeff(MT2, diff(z(t),t\$2));
- > B[1,1]:=coeff(subs(diff(x(t),t\$2)=0, MT1), diff(x(t),t));
- > B[1,2]:=coeff(subs(diff(z(t),t\$2)=0, MT1), diff(z(t),t));
- > B[2,1]:=coeff(subs(diff(x(t),t\$2)=0, MT2), diff(x(t),t));
- > B[2,2]:=coeff(subs(diff(z(t),t\$2)=0, MT2), diff(z(t),t));
- > C[1,1]:=coeff(subs(diff(x(t),t\$2)=0, diff(x(t),t)=0, MT1), x(t));



```

> C[1,2]:=coeff(subs(diff(z(t),t$2)=0,diff(z(t),t)=0,MT1),z(t)):
> C[2,1]:=coeff(subs(diff(x(t),t$2)=0,diff(x(t),t)=0,MT2),x(t)):
> C[2,2]:=coeff(subs(diff(z(t),t$2)=0,diff(z(t),t)=0,MT2),z(t)):
> Ak:=Matrix(A,1..2,1..2);
> Bk:=Matrix(B,1..2,1..2);
> Ck:=Matrix(C,1..2,1..2);

```

$$A_k := \begin{bmatrix} T_1^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B_k := \begin{bmatrix} T_2 & 0 \\ 0 & T_0 \end{bmatrix}, C_k := \begin{bmatrix} 1 & -k_1 \\ k_0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.6.16)$$

o'zgarmas koeffitsiyentli matritsalarini hamda ularning

```

> with(LinearAlgebra):
ABC:=array(1..2,1..2):
for i1 from 1 to 2 do
for j from 1 to 2 do
ABC[i1,j]:=Ak[i1,j]*lambda^2+Bk[i1,j]*lambda+Ck[i1,j];
od
od;
ABCk:=Matrix(ABC,1..2,1..2);

```

$$ABC_k := \begin{bmatrix} T_1^2 \lambda^2 + T_2 \lambda + 1 & -k_1 \\ k_0 & 1 + T_0 \lambda \end{bmatrix} \quad (6.6.17)$$

xarakteristik determinantini hosil qiladi, bu yerda  $A_k$ ,  $B_k$ ,  $C_k$  o'zgarmas koeffitsiyentli matritsalar bo'lib, 3-bobning 3- § ida berilgan algoritm asosida hosil qilingan.

**LAGR** modulining **HARUR** protsedurasi tizimning (6.6.17) xarakteristik determinantiga asosan uning

```

> P:=Determinant(ABCk):
d:=array(0..3):
eval(P):
PP:=simplify(P):
> u:=collect(PP,{lambda},recursive);

```

$$u := T_1^2 \lambda^3 T_0 + (T_2 T_0 + T_1^2) \lambda^2 + (T_0 + T_2) \lambda + 1 + k_1 k_0 \quad (6.6.18)$$

xarakteristik tenglamani hosil qiladi.

**6.4. Tizim harakatining turg'unligini bir kompleks parametr tekisligida  $D$ - bo'laklash usuli asosida tadqiq etish.** 1- § ning 3- bandida bayon etilgan tartibda tizim harakatining turg'unligini **DIV**ning **EAVTO** moduli orqali tadqiq etishni amalga oshiramiz. Qaralayotgan model uchun tadqiqot usuli sifatida bir kompleks parametr tekisligida  $D$ - bo'laklash usulidan foydalanish lozim bo'lsin. Buning uchun **AVTO DIV**ning **MANAGER** moduli yaratadigan 5.2- shakl ko'rinishdagi muhitdan foydalanib quyidagi muloqot jarayonini amalga oshiramiz:

- 5.2- shakldagi menyudan **EAVTO** tugmasini faollashtiramiz;
- 6.1- shakldagi menyuning 2- bandini tanlab, **exper1.dat** fayl nomini kiritamiz;
- 6.3- shakldagi menyuning 6- bandini tanlaymiz;
- 6.4- shakldagi menyuning 2- bandini tanlaymiz;
- 6.5- shakldagi menyuning 5- bandini tanlaymiz.

Natijada  $T_2$  ning har bir qiymati uchun tizim harakatining turg'unlik sohalari bir kompleks parametr tekisligida  $D$ - bo'laklash usuli asosida (**mod\_ust2** modulining **D1** protsedurasi yordamida) aniqlanadi (6.13- shakl).

> T2:=solve(u,T2);

$$T2 := \frac{T1^2 \lambda^3 T0 + T1^2 \lambda^2 + k1 k0 + T0 \lambda + 1}{\lambda(1 + T0 \lambda)}$$

> n:=3;

$$n := 3$$

> T2:=subs(p=omega\*I,T2);

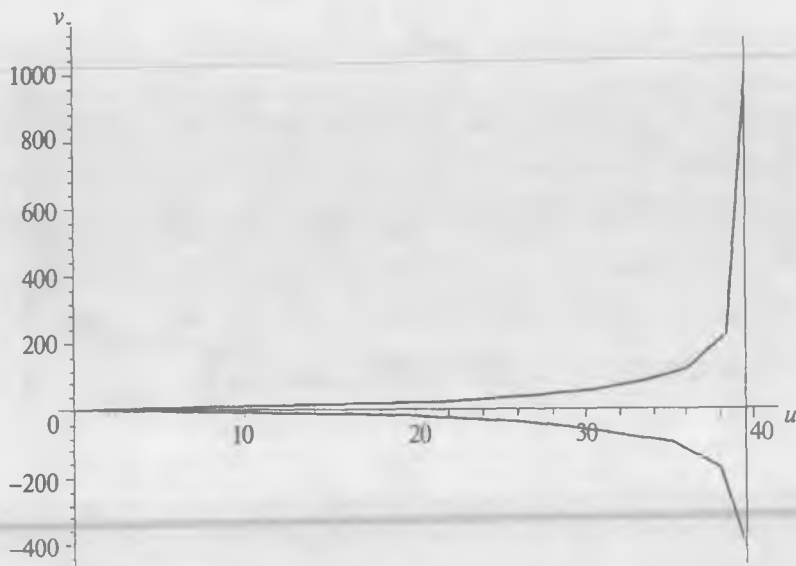
$$T2 := \frac{T1^2 \lambda^3 T0 + T1^2 \lambda^2 + k1 k0 + T0 \lambda + 1}{\lambda(1 + T0 \lambda)}$$

> u:=Re(T2);

$$u := -\Re\left(\frac{T1^2 \lambda^3 T0 + T1^2 \lambda^2 + k1 k0 + T0 \lambda + 1}{\lambda(1 + T0 \lambda)}\right)$$

> v:=Im(T2);

$$v := -\Im\left(\frac{T1^2 \lambda^3 T0 + T1^2 \lambda^2 + k1 k0 + T0 \lambda + 1}{\lambda(1 + T0 \lambda)}\right)$$



6.13- shakl.

```
> u := k0*k1/(1+T0*omega^2);
```

$$u := \frac{k_0 k_1}{1+T_0 \omega^2}$$

```
> v:=(-T0^2*T1^2*omega^4-(T1^2-0^2)*omega^2+1+k0*k1)/
(omega*(1+T0*omega^2));
```

$$v := \frac{-T_0^2 T_1^2 \omega^4 - (T_1^2 - 0^2) \omega^2 + 1 + k_0 k_1}{\omega(1+T_0 \omega^2)}$$

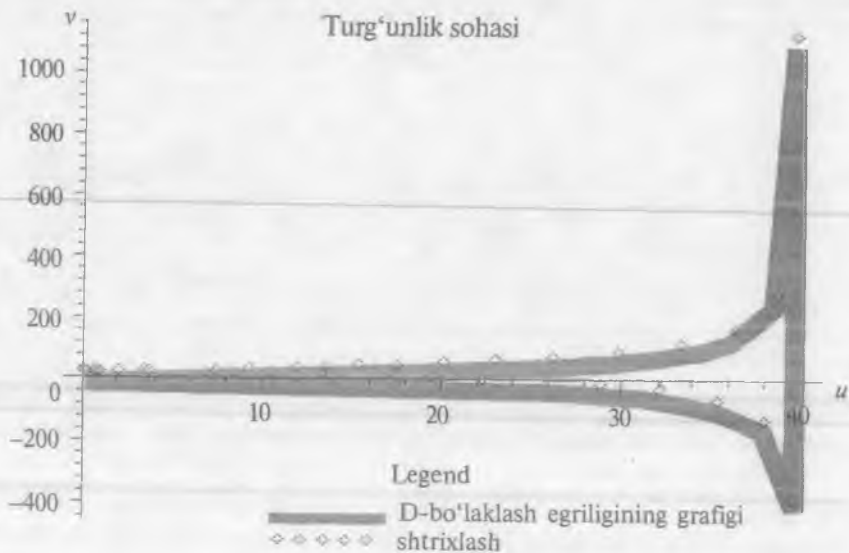
```
> T0:=1: T1:=0.1: k0:=2: k1:=20: T2:=40:
```

```
> delta:=T0*T2^2+(T0^2+T1^2)*T2-k0*k1*T0*T1^2:
```

```
> plot([u,v,omega=-99..99]);
```

D- bo'laklash chegarasini shtrixlash uchun quyidagi buyruqlar ketma-ketligidan foydalanamiz:

```
> if (delta>0) then plot([[u,v,omega=-99..99],[u,v+35,
omega=-99..99]],style=[line,point],color=[red,blue],
```



6.14- shakl.

```

thickness=[7,4], title=«turg'unlik sohasi»,legend=[«D-bo'laklash
egriligining grafigi»,«shtrixlash»])
else plot([[u,v,omega=-99..99],[u,v-35,omega=-99..99]],
style=[line,point],
color=[red,blue],thickness=[7,4],title=«turg'unlik sohasi»,
legend=[«D-bo'laklash egriligining grafigi»,«shtrixlash»]) end if;

```

## ADABIYOTLAR

1. Аладжиев С.В., Львов Р.В. О программной реализации исследования устойчивости в критических случаях. // Актуальные проблемы теоретической и прикладной математики: Материалы международной конференции, Самарканд, 18–20 ноября, 1997.
2. Андронов А.А., Вознесенский И.Н. О работах Д.К.Максвелла, И.А.Вышнеградского и В.Стодолы в области теории регулирования машин. Собрание трудов А.А.Андропова, М., Изд. РАН, 1956.
3. Айзерман М.А. Теория автоматического регулирования двигателей. Уравнения движения и устойчивость. М., «Наука», 1966.
4. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. Алгоритм и программы. М., «Радио и связь», 1986.
5. Воронец В.П. Об уравнениях движения для неголономных систем. Матем. сб., 1901, Том 22, вып. 4.
6. Вышнеградский И.А. О регуляторах прямого действия (1876). Сб. «Теория автоматического регулирования», Изд. РАН, 1949.
7. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: «Наука», 1967.
8. Емельянова И.С., Фуфаев Н.А. Об устойчивости стационарных движений. В сб.: Теория колебаний. Прикл. мат. и киберн., Горький, 1974.
9. Емельянова И.С. К определению циклических координат и стационарных движений механических систем. В сб.: Динамика систем. Вып. 3. Горький, 1974.
10. Емельянова И.С. Об устойчивости стационарных движений и состояний равновесия неголономных механических систем. В сб.: Вопр. прикл. мат. и мех., вып. 4, Чебоксары, 1975.
11. Кабулов В.К. Алгоритмизация задач МСС. Т., «Фан», 1982.
12. Карапетян А.В. Об устойчивости равновесия неголономных систем. Прикл. мат и мех., 1975, 39, № 6.
13. Карапетян А.В. Некоторые задачи устойчивости движения неголономных систем. В сб.: Теория устойчивости и ее приложения. Новосибирск, 1979.

14. Келдыш М.В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси. Труды ЦАГИ, № 564, 1945.
15. Князев Г.Н. Об устойчивости неголономных систем в критических случаях. Вопросы аналитической и прикладной механики. Сб. статей. Оборонгиз, 1963.
16. Красинский А.Я. Об устойчивости и стабилизации положений равновесия неголономных систем. Прикладная математика и механика. Том 52, вып. 2, 1988.
17. Кузин Е.С., Ройтман А.И., Фоминых И.Б., Хахалин Г.К. Перспективы развития вычислительной техники. Интеллектуализация ЭВМ. М., «Высшая школа», 1989.
18. Лагранж Ж. Аналитическая механика. Т. 1, 2, М.—Л., Гостехиздат, 1950; Lagrange J.L., Mecanique analitique. Paris, 1788.
19. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения, М., «Гостехиздат», 1950.
20. Максвелл Д.К. О регуляторах (1868). Сборник «Теория автоматического регулирования», Изд. РАН, 1949.
21. Матросов А. Решение задач математики и механики в среде Maple 6. Санкт-Петербург, 2000.
22. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. М., «Наука», 1971.
23. Михайлов А.В. Автоматика и телемеханика. Т. 3. Журнал технической физики, № 6, 1938.
24. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М., «Наука», 1978.
25. Неймарк Ю.И. Устойчивость линеаризованных систем. Л., Изд. ЛВВКА, 1949.
26. Неймарк Ю.И. О некоторых общих свойствах функции Ляпунова. Изв. вузов «Радиофизика», т. 4, вып. 2, Горький, 1961.
27. Неймарк Ю.И. Динамика неголономных систем. В сб. «Механика за 50 лет», том I, М., «Наука», 1968, с. 171—178.
28. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. К вопросу о путевой устойчивости экипажей на баллонных колесах. РАН, 1966, том 170, № 3, с. 533—536.
29. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Динамика неголономных систем. М., «Наука», 1967.
30. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Устойчивость состояний равновесия неголономных систем. Прикладная математика и механика, 1965, 29, № 1, с. 46—53; Об устойчивости состояний равновесия неголономных систем. РАН, 1965, 160, № 4.

31. **Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А.** Об устойчивости стационарных движений голономных и неголономных систем. Прикл. мат. и мех., 1966, 30, № 2.
32. **Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А.** Устойчивость криволинейного движения экипажа на баллонных колесах. Прикладная математика и механика, №5, 1971.
33. **Николенко И.В.** Об устойчивости установившихся движений неголономных систем П.В.Воронца. Прикл. мех., 1968, 4, № 4.
34. **Обморшев А.Н.** Колебания и устойчивость неголономных систем. В сб.: Механика, Москва, 1955, с. 75–96; Колебания линейных неголономных систем около состояния установившегося движения. Мех. и машиностроение, 1961, № 5.
35. **Раус Э. Дж.** Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. Т. 1., М., «Наука», 1983.
36. **Румянцев В.В., Карапетян А.В.** Устойчивость движений неголономных систем. // Итоги науки и техники. Общая механика. Т. 3, вып. 7, М., ВИНТИ, 1977.
37. **Румянцев В.В., Карапетян А.В.** Устойчивость консервативных и диссипативных систем. // Итоги науки и техники. Общая механика. Том 6. М., ВИНТИ, 1983.
38. **Румянцев В.В.** Об устойчивости движения неголономных систем. Прикл. мат. и мех., 1967, 31, № 2.
39. **Самарский А., Михайлов М.** Математическое моделирование. М., «Наука», 1987.
40. **Тураев Х.Т., Фуфаев Н.А., Мусарский Р.А.** Теория движения систем с качением, Т., «Фан», 1987, с. 158.
41. **Тураев Х.Т.** Моделирование и исследование динамики колесных транспортных машин с деформируемыми шинами. Т., «Фан», 1995.
42. **Тураев Х.Т., Урунбаев Э.** Программа «Автоматизация исследования устойчивости движения колесно-транспортных машин». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 00305, ГКНТ РУз, Государственное патентное ведомство, 28.02.2000.
43. **Тураев Х.Т., Урунбаев Э.** Программно-инструментальная система «АВТО» для автоматизации исследования устойчивости движения колесных транспортных машин.// Доклады Международной конференции «Проблемы управления и информатики», Бишкек, 19–22 сентября, 2000, с. 285–290.

44. **Тураев Х.Т., Урунбаев Э.** Алгоритм развертывания определителя  $n$ -го порядка с полиномиальными элементами. //Материалы Международной конференции The third international workshop on computer algebra in scientific computing CASC-2000, Samarkand, Uzbekistan, October 5–9, 2000.
45. **Тураев Х.Т., Урунбаев Э.** Алгоритм определения рациональной области устойчивости и рациональных значений конструктивных параметров колесных транспортных машин. //International scientific and practical conference «INNOVATION-2000», The scientific articles, Bukhara, September 5–7, 2000.
46. **То‘раев Н.Т.** Harakatning turg‘unlik nazariyasi. I qism, Samarqand, SamDU nashr-matbaa markazi, 2002.
47. **То‘раев Н.Т.** Harakatning turg‘unlik nazariyasi. II qism, Samarqand, SamDU nashr-matbaa markazi, 2002.
48. **Урунбаев Э.** Программа нахождения рациональной области устойчивости движения и рациональных значений конструктивных параметров динамических систем. //Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 00475, ГКНТ РУз, Государственное патентное ведомство, 15.11.2001.
49. **Урунбаев Э.** Программа исследования области устойчивости движения систем с качением. //Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 00476, ГКНТ РУз, Государственное патентное ведомство, 15.11.2001.
50. **Урунбаев Э.** Программа раскрытия определителя  $n$ -го порядка. // Сведетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 00477, ГКНТ РУз, Государственное патентное ведомство, 15.11.2001
51. **Файсман А.** Профессиональные программирования в среде Турбо Паскаль 6.0. М., «Наука», 1996.
52. **Чаплыгин С.А.** О движении тяжелого тела вращения на горизонтальной плоскости. Тр. отд. физ. наук Обществе любителей естествознания, 1897, 9; Собр. соч., Том 1, М.–Л., Гостехиздат, 1948; Т. 4, М.–Л., Гостехиздат, 1949.
53. **Четаев Н.Г.** Устойчивость движения. Гостехиздат, 1956; Устойчивость движения. Работы по аналитической механике, М., Изд. РАН, 1962.
54. **Четаев Н.Г.** Об устойчивости вращательных движений снаряда. ПММ, том X, вып.1, 1946.



55. **Appell P.** Sur une forme generale des equations de la dynamique. C.r. Acad. Sei., 1899, 129, 423–427. Перевод: **Аппель П.** Теоретическая механика, т. 2, М., Физматгиз, 1960.
56. **Bottema O.** On the small vibrations of nonholonomic systems. Proc. Kon. Ned. Akad. wet., 1949, 52, № 8, с. 848–850.
57. **Hertz H.** Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt. Leipzig, 1894. Перевод: **Герц Г.** Принципы механики, изложенные в новой связи, М., Изд. РАН, 1959.
58. **Routh E.J.** An elementary treatise on the dynamics of a system of rigid bodies. Cambridge, 1860.
59. Routh E.J. The advanced part of a treatise on the dynamics of a system of rigid bodies. London, 1884.
60. **Routh E.J.** A treatise on the stability of a given state of motion. London: McMilland and Co., 1877.
61. **Whittaker E.T.** A treatise on the analytical dynamics of particles and rigid bodies. Cambridge, Univ., Press, 1904. Перевод: **Уиттекер Е.Т.** Аналитическая динамика, М.–Л., ОНТИ, 1937.
62. **Aiserman M.A., Gantmacher F.R.** Stabilit der Gleichgewichtslage in einem nichtholonomen System. Z. angew. Math. Und Mech., 1957, 37, с. 74–75.
63. **O'rinboyev E.** Amaliy dasturiy ta'minot yaratishda yangi informatsion texnologiyalarni qo'llash. Сборник материалов Республиканской научно-технической конференции «Современные управляющие и информационные системы», Ташкент, 1–2 октября, 2003.

# MUNDARIJA

So'zboshi ..... 3

## I BOB. YANGI INFORMATSION TEXNOLOGIYALARNING ASOSIY TAMOIYILLARI

- 1-§. EHMda masalalarni yechishda yangi texnologiyalarning zarurligi ..... 6
- 2-§. Yangi texnologiyalarning mohiyati ..... 10
- 3-§. Intellektual interfeyslarning hisoblash tizimidagi o'rni ..... 15
- 4-§. Yangi texnologiyalarda hisoblash tizimini tashkil qilish ..... 17
- 5-§. Hisoblash tizimining tarkibiy qismlari ..... 19

## II BOB. DINAMIK TIZIMLAR HARAKATINING TURG'UNLIGI HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT VA TUSHUNCHALAR

- 1-§. Lyapunovning turg'unlik haqidagi teoremlarini birinchi yaqinlashish usuli bo'yicha tadqiq etish ..... 25
- 2-§. Golonom va nogolonom tizimlar haqida umumiy tushunchalar. 27
- 3-§. Golonom va nogolonom tizimlar harakatining tenglamalari ..... 30
- 4-§. Nogolonom tizimlar muvozanat holatining turg'unligi ..... 38
- 4.1. Kichik tebranishlar tenglamasini tuzish. Koeffitsiyentlar matritsasining xususiyati. Umumiy nazariyani tatbiq etish mumkinligi. Olinadigan natijalarning ma'nosi ..... 41
- 4.2. Nogolonom tizimning muvozanat holatlari sirti yaqinidagi kichik tebranishlar tenglamalari. Muvozanat holatlari sirtining turg'unligi ..... 44
- 4.3. Chapligin chanasining qiya tekislikdagi harakatining turg'unligi ..... 50
- 5-§. Nogolonom tizimlar muvozanat holatlari sirtining asimptotik turg'unligi haqidagi teorema ..... 56
- 6-§. Golonom va nogolonom tizimlar statsionar harakatlarining turg'unligi ..... 59

## III BOB. DINAMIK TIZIMLAR HARAKATINING TURG'UNLIGINI TADQIQ ETISH ALGORITM VA DASTURLARI

- 1-§. Raus-Gurvis muammosi paydo bo'lishining tarixi ..... 65
- 2-§. EHMda masalani yechish jarayoni ..... 67
- 3-§. Differensial tenglamalar sistemasining xarakteristik tenglamasini keltirib chiqarish algoritmi va dasturi ..... 68

|   |     |
|---|-----|
| 4-§. Harakatning turg'unlik sohasini aniqlashning umumiy algoritmi va dasturi .....   | 76  |
| 5-§. Harakat turg'unligini tadqiq etishning umumlashgan Shturm qatoriga asoslangan algoritmi va dasturi .....   | 89  |
| 6-§. Harakat turg'unligini aniqlashning Gurvis kriteriysiga asoslangan algoritmi va dasturi .....   | 94  |
| 7-§. Harakat turg'unligini aniqlashning Raus kriteriysiga asoslangan algoritmi va dasturi .....   | 100 |
| 8-§. Harakat turg'unligini aniqlashning Lyenar–Shipar kriteriysiga asoslangan algoritmi va dasturi .....  | 104 |
| 9-§. Turg'unlik sohasini yasash. Y.I.Neymarkning <i>D</i> - bo'laklash usuli .....  | 110 |
| 10-§. Bir kompleks parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning <i>D</i> - bo'laklash usuliga asoslangan algoritmi va dasturi ....                         | 113 |
| 11-§. Ikki haqiqiy parametr tekisligida turg'unlik sohasini yasashning <i>D</i> - bo'laklash usuliga asoslangan algoritmi va dasturi .....                        | 132 |
| 12-§. Harakat turg'unligini aniqlashning Mixaylov kriteriysiga asoslangan algoritmi va dasturi .....  | 170 |
| 13-§. Yopiq tizim va ochiq tizim harakatlari orasidagi bog'lanish. Harakat turg'unligini aniqlashning Naykvist kriteriysiga asoslangan algoritmi va dasturi ..... | 178 |

**IV BOB. MAPLE 6 TIZIMI HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR**

|   |     |
|---|-----|
| 1-§. Maple 6 tizimining asosiy imkoniyatlari va interfeysi .....                        | 197 |
| 2-§. Ishchi varaq to'g'risidagi asosiy ma'lumotlar .....                                | 200 |
| 3-§. Ifodalarni qayta ishlash buyruqlari .....  | 203 |
| 4-§. Asosiy murakkab turlar haqidagi ma'lumotlar .....                                  | 211 |
| 5-§. Palitralar bilan ishlash .....   | 216 |
| 6-§. Ma'lumotlar almashish va kontekstli menyu .....                                    | 217 |
| 7-§. Ro'yxat, to'plam va ko'phad elementlari ustida amallarni bajarish buyruqlari ..... | 226 |
| 8-§. Ifodani hisoblash buyrug'i .....   | 234 |
| 9-§. Tenglama va tengsizliklarni yechish buyrug'i .....                                 | 237 |
| 10-§. Differensiallash va integrallash buyruqlari .....                                 | 243 |

**V BOB. DINAMIK TIZIMLAR HARA-KATINING TURG'UNLIGINI TADQIQ QILUVCHI DASTURIY-INSTRUMENTAL VOSITA**

|  |     |
|--|-----|
| 1-§. Dasturiy-instrumental vositaning maqsadi va vazifalari .....  | 246 |
| 2-§. Dasturiy-instrumental vositaning integrallashgan muhiti ..... | 247 |

|  |     |
|--|-----|
| 3-§. Dasturiy-instrumental vosita ma'lumotlar bazasining tarkibiy qismlari ..... | 249 |
| 4-§. Dasturiy-instrumental vositaning ANALIZ moduli .....                        | 252 |
| 5-§. Dasturiy-instrumental vositaning LAGR moduli .....                          | 254 |
| 5.1. Masalaning shartlari .....  | 255 |
| 5.2. Tizimning umumlashgan koordinatalari .....                                  | 257 |
| 5.3. Tizimning parametrlari .....  | 257 |
| 5.4. LAGR modulining COORDM protsedurasi .....                                   | 259 |
| 5.5. LAGR modulining COORDS protsedurasi .....                                   | 262 |
| 5.6. LAGR modulining KINET protsedurasi .....                                    | 266 |
| 5.7. LAGR modulining KINETUR protsedurasi .....                                  | 270 |
| 5.8. LAGR modulining MOMENTF protsedurasi .....                                  | 271 |
| 5.9. LAGR modulining MMODEL protsedurasi .....                                   | 274 |
| 5.10. LAGR modulining HARDET protsedurasi .....                                  | 275 |
| 5.11. LAGR modulining HARUR protsedurasi .....                                   | 277 |
| 6-§. Dasturiy-instrumental vositaning EAVTO modullar kutubxonasi .....           | 281 |
| 6.1. EAVTO modullar kutubxonasining mod_abc moduli ....                          | 281 |
| 6.2. EAVTO modullar kutubxonasining mod_ust1 moduli ....                         | 284 |
| 6.3. EAVTO modullar kutubxonasining mod_ust2 moduli ....                         | 285 |
| 6.4. EAVTO modullar kutubxonasining mod_SERV moduli ..                           | 285 |
| 7-§. Dasturiy-instrumental vositaning MANAJER moduli .....                       | 285 |

**VI BOB. DASTURIY-INSTRUMENTAL VOSITANI MUAYYAN  
DINAMIK TIZIMLAR HARAKATINING  
TURG'UNLIGINI TEKSHIRISHGA TATBIQ ETISH**

|  |     |
|--|-----|
| 1-§. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakati turg'unligining shinaning elastikligi va deformatsiyalanishini hisobga olingan holdagi matematik modeli ..... | 290 |
| 1.1. Tizimning shinaning elastikligi va deformatsiyalanishini hisobga olingan holdagi matematik modeli (Model 1) .....   | 291 |
| 1.2. Tizimning xarakteristik tenglamasi .....  | 292 |
| 1.3. Tizim to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini umumlashgan Shturm qatori usuli va Gurvis kriteriyasi asosida tadqiq etish .....  | 295 |
| 2-§. Avtomobilning boshqariladigan g'ildiraklari to'g'ri chiziqli harakatining turg'unligini ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosida tadqiq etish .....                             | 307 |
| 2.1. Tizimning ikkinchi umumlashgan uvod nazariyasi asosidagi matematik modeli (Model 2) .....   | 308 |