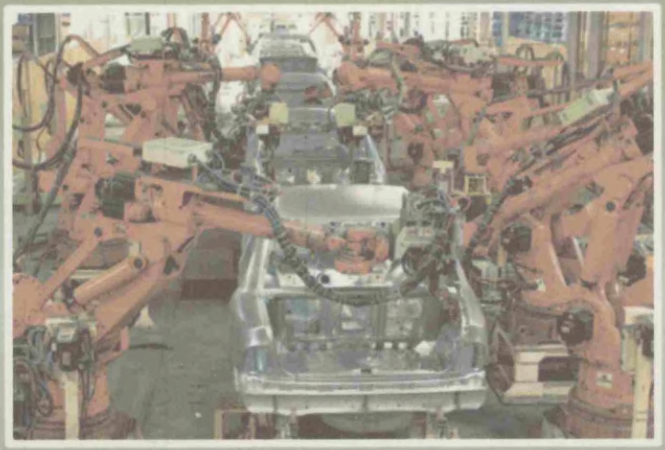
34.41
A-15.

A.N.ABDULLAYEV, F.M.MATMURODOV

MASHINA VA MEXANIZMLAR NAZARIYASI MASALALARI YECHISH NAMUNALARI VA TO'PLAMI



TOSHKENT

34.41
A-15 Abdullayev
A.N. Mashina va
mexanizmlar kafe
dra si masalalari
yechish

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Т—3 Зак. 750

34.41.
A 15.

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA’LIM VAZIRLIGI

A.N.ABDULLAYEV, F.M.MATMURODOV

MASHINA VA MEXANIZMLAR NAZARIYASI MASALALARI YECHISH NAMUNALARI VA TO‘PLAMI

O‘quv qo‘llanma

XP

13 52602
07 18

TOSHKENT – 2017

UO'K: 621 (075)
KBK 34.41
A-15

A-15 **A.N.Abdullayev, F.M.Matmurodov. Mashina va mexanizmlar nazariyasi masalalari yechish namunalari va to'plami. O'quv qo'llanma. –T.: «Fan va texnologiya», 2017, 160 bet.**

ISBN 978–9943–11–550–7

Ushbu o'quv qo'llanmada mexanizmlar sintezi, richagli mexanizmlarning strukturaviy tahliliga doir, Assur guruhi mavjud mexanizmlarning kinematik tahliliga doir, krivoship-polzunli mexanizm tahliliga doir, evolventali va planetar mexanizmlarning kinematik tahliliga doir, kulachok profili tuzilishiga doir masalalar va ularni yechish namunalari keltirilgan. Hamda tekis mexanizmlarning strukturaviy tahlili, richagli mexanizmlarning kinematik tahlili, kulachokli mexanizmlar, tishli g'ildiraklar, rotorlarni muvozanatlash, mashinalar titrash himoyasi, mexanizm bo'g'inlarning inersiya momenti mavzulariga doir hisob uslubiyoti va testlar bayon qilingan.

F.M. Matmurodovning umumiy tahriri ostida.

Taqrizchilar:

R.I.Karimov – Toshkent davlat texnika universiteti "Mashinalar mexanizmlari va detallari" kafedrasi professori, texnika fanlari doktori;

Q.A.Sharipov – Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti professori, texnika fanlari doktori;

G'.Egamnazarov – Jizzax Politexnika instituti «Umummuhandislik fanlari» kafedrasi mudiri, texnika fanlari nomzodi.

Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti ilmiy Kengashining 6/16-sonli bayonnoma qaroriga asosan o'quv qo'llanma sifatida chop etildi.

ISBN 978–9943–11–550–7

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2017.

KIRISH

Mashina va mexanizmlar nazariyasi (MMN) mashina va mexanizmlarni loyihalash va tadqiq qilishning umumiy usullarini o'rganadi. Mutaxassislarni tayyorlash jarayonida o'rganiladigan barcha fanlar tizimida MMN ning o'rni yangi mashinalar yaratish vazifalari va mantiqiy ketma-ketligi bilan belgilanadi. Ixtiyoriy mashinaning ishlashi va undagi barcha elementlarning o'zaro harakati tabiat qonunlari asosida sodir bo'ladi. Shuning uchun texnika ixtisosligida, eng avvalo, tabiat qonunlarini fundamental tavsiflovchi fanlar, ya'ni matematika, chizma geometriya, fizika, kimyo, nazariy mexanika kabi umumiy fanlar o'rganiladi. So'ngra umumiy va maxsus fanlar o'rtasida aloqani yuzaga keltiruvchi umumiy texnika fanlari o'rganiladi. Mashina va mexanizmlar nazariyasi ham shunday fanlar sirasiga kiritilib, bo'lg'usi mutaxassisga mashinasozlik sohasida bilim beradi va yanada takomillashtirilgan yangi mashinalar yaratish uchun zaruriy uslubiyatlar bilan ta'minlaydi. "Mashina va mexanizmlar nazariyasi" fanining vazifasi talabalarda sxemali loyihalashtirish ko'nikmalari, aniqrog'i, mashinalarni konstruksiyalash uchun boshlang'ich ma'lumotlar tayyorlash, pirovard natijada, uni tayyorlash va sifatini baholash bo'yicha ko'nikmalar hosil etishdan iborat. Keyingi bosqichda mashinalarni konstruksiyalash hamda tayyorlash usullari va uslubiyatlari o'rganiladi (mashina detallari va mashinasozlik texnologiyalari kursi).

MMN mashina va mexanizmlarning tahlili va sinteziga oid muammolar bilan shug'ullanadi. *Tahlil* mavjud *mashina va mexanizmlarning* xususiyatlarini aniqlashdan iborat bo'lib, mashinalar mexanikasining bevosita vazifasi hisoblanadi. Teskari vazifa – *mexanizmlar sintezi*, ya'ni unumdorlik, puxtalik, chidamlilik va boshqalar nuqtayi nazaridan mavjudlariga nisbatan yaxshilangan xususiyatlarga ega yangi mexanizmlar yaratish. Ikkala vazifa o'zaro chambarchas bog'liq, chunki mashinalardan foydalanayotgan mutaxassis mashinaning ishlash sifatini va undan foydalanishga xos xususiyatlarni to'g'ri baholay olishi (tahlil), shuningdek, mashinaning

sifatini yaxshilash bo'yicha uni ishlab chiqaruvchiga tavsiyalar bera olishi lozim.

Mashinaning umumiy ta'rifi. Mashinalarning funksional tasnifi. Mashina odamni qisman yoki to'liq almashtirish yo'li bilan uning mehnat va fiziologik funksiyalari unumdorligini oshirish, jismoniy va aqliy mehnatini yengillashtirish maqsadida tabiat qonunlaridan foydalanish uchun insoniyat tomonidan yaratilgan qurilmalardir. Mavjud barcha mashinalarni quyidagi guruhlarga ajratish mumkin:

— *energetik.* Ularda energiya bir turdan boshqa turga o'zgartiriladi (masalan, elektr generatorlari, elektr dvigatellari, ixtiyoriy turdagi ichki yonuv dvigatellari, bug' va gaz turbinalari kabi).

— *texnologik.* Ular materiallarning shakli, o'lchami va fizik xossalarini o'zgartirish uchun mo'ljallangan (metall kesuvchi dastgohlar, yog'ochga qayta ishlov berish, yo'l, qurilish va poligrafiya mashinalari, oziq-ovqat sanoati mashinalari, tekstil va yengil sanoat mashinlari va b.). Bu mashinalar soni bo'yicha eng katta guruhni tashkil qiladi.

— *transport.* Ushbu mashinalar har xil narsa-buyumlar, materiallar va odamlarni tashish uchun xizmat qiladi (avtomobillar, samolyotlar, lokomotivlar, kemalar, ko'tarma kranlar, konveyerlar, manipulatorlar).

— *mantiqiy (axborot).* Bu guruhni tashkil qiluvchi mashinalar axborotlarni saqlash, qayta ishlash va uzatish uchun xizmat qiladi (turli hisoblash qurilmalari, kompyuterlar va hokazolar).

— *robot-texnik.* Mehnat va fiziologik funksiyalarda odamni almashtirish uchun (apparatlar: sun'iy yurak, sun'iy buyraklar, robot uy bekasi va boshqalar).

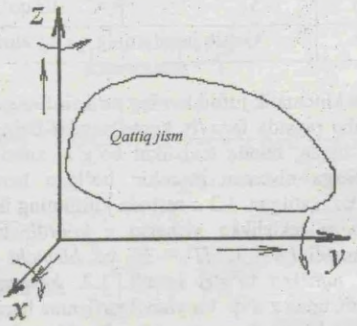
MMN mexanika qonunlari asosida ishlaydigan mashina va mexanizmlarni o'rganadi, MMNning boshqa nomi – *mashinalar mexanikasi* ham shundan kelib chiqqan. Mashina va mexanizmlar nazariyasi kursi bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar va topshiriqlar mazkur kursning mahalliy davlat oliy ta'lim muassasalarida o'qitiladigan dasturiga muvofiq tuzilgan. Nazorat masalalarini yechishga kirishishdan avval fanning evolventali ilashma nazariyasi, mexanizmlarning strukturaviy tahlili, tishli uzatmalar kinematikasi kabi bo'limlarini o'rganish talab qilinadi. Talabalar nazorat ishini berilgan masalalar to'plamidan foydalanib mustaqil bajarishi ham mumkin.

1. Mexanizmlar sintezi va tuzilishi bo'yicha tasniflar, shuningdek, masalalar to'plami hamda ularni yechish namunalari

Bog'lanish shartlari soni bo'yicha tasnif. Nazariy mexanika kursidan ma'lumki, erkin qattiq jism fazoda oltita erkinlik darajasiga ega (1.1-rasm). Bu – uch koordinata o'qi bo'ylab uchta ilgarilanma harakat va ushbu o'qlar atrofida uchta aylanma harakatdir. Boshqacha aytganda, erkin qattiq jismga bitta ham bog'lama qo'yilmagan. Agar erkinlik darajasi sonini H harfi bilan, bog'lamalar sonini esa S harfi bilan belgilasak, u holda erkin qattiq jism uchun quyidagicha yozish mumkin: $H = 6$, $S = 0$.

Qo'zg'almas qattiq jism uchun: $H = 0$, $S = 6$.

Kinematik juftliklarda bo'g'inlarning bir-biriga nisbatan harakatiga qo'yilgan cheklovlar bog'lanish shartlari deb ataladi.



1.1-rasm. Qo'zg'almas qattiq jism.

Kinematik juftliklarda erkinlik darajasi va bog'lanish shartlarining miqdori birdan beshgacha bo'lishi mumkin, biroq barcha juftliklarda uning umumiy miqdori faqat oltiga teng bo'lishi mumkin. *Kinematik juftliklar sinfi undagi bog'lanish shartlari miqdoriga ko'ra aniqlanadi.* Mumkin bo'lgan harakatlar miqdoriga muvofiq kinematik

juftliklar bir qo'zg'aluvchan, ikki qo'zg'aluvchan va hokazolardan iborat. Bularning barchasi jadvalda aks ettirilgan.

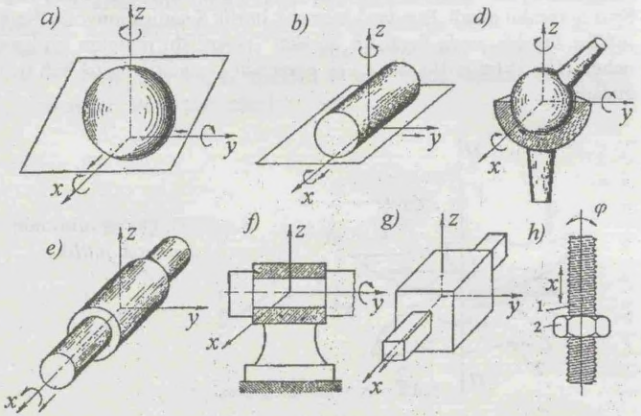
Kinematik juftliklar sinfi undagi bog'lanish shartlari

1.1-jadval

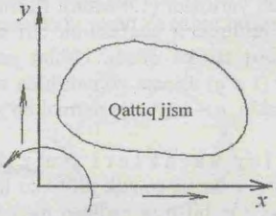
S	H	S+H	Kinematik juftliklar sinfi	Harakatlar (erkinlik darajasi) miqdoriga ko'ra juftliklar nomi
0	6	6	Erkin qattiq jism	
1	5	6	1	Besh qo'zg'aluvchan
2	4	6	2	To'rt qo'zg'aluvchan
3	3	6	3	Uch qo'zg'aluvchan
4	2	6	4	Ikki qo'zg'aluvchan
5	1	6	5	Bir qo'zg'aluvchan
6	0	6	Qattiq jismlarning qo'zg'almas birikmasi	

1.2-rasmda kinematik juftliklarning turli sinflariga ayrim misollar keltirilgan. Ushbu rasmda fazoviy koordinatalar tizimi bo'g'inlardan biri bilan bog'langan, bunda tekislikni bo'g'in sifatida qabul qilish mumkin. Bir-biriga nisbatan mumkin bo'lgan harakatlar rasmda strelkalar bilan ko'rsatilgan. 1.2 *a*-rasmda juftlikning ikkinchi bo'g'ini shar hisoblanib, u tekislikka nisbatan z koordinata o'qi bo'ylab harakatlana olmaydi ($S = 1$, $H = 5$), bu *birinchi sinf* yoki *besh qo'zg'aluvchan juftlikka* to'g'ri keladi. 1.2, *b*-rasmda tekislikdagi silindr tasvirlanib, unda z o'qi bo'ylab ilgarilanma harakatlar va x o'qi atrofida aylanma harakatlar yo'q ($S = 2$, $H = 4$). Natijada *to'rt qo'zg'aluvchan kinematik juftlik* yoki *ikkinchi sinf* juftligi hosil bo'ladi. Boshqa kinematik juftliklarga ham shu tarzda nom beriladi. 1.2, *d*-rasmda — *uch qo'zg'aluvchan* yoki *uchinchi sinf* kinematik juftligi (u *sferaviy sharnir* deb ataladi), 1.2, *e*-rasmda — *silindr sharnir* deb ataluvchi ikki *qo'zg'aluvchan* yoki *to'rtinchi sinf* kinematik juftligi, 1.2, *f*-rasmda – *aylanma juftliklar* (oddiy nomi *sharnir*) deb ataluvchi bir *qo'zg'aluvchan* yoki *beshinchi sinf* kinematik juftligi va 1.2, *g*-rasmda ham – *ilgarilanma juftliklar* deb ataluvchi *beshinchi sinf* kinematik juftligi tasvirlangan. 1.2, *h*-rasmda ikki harakatga ega *vintli*

kinematik juftlik tasvirlangan, biroq undagi bir harakat (aylanma) mustaqil hisoblanadi, shuning uchun u *beshinchi sinfga* kiritiladi.



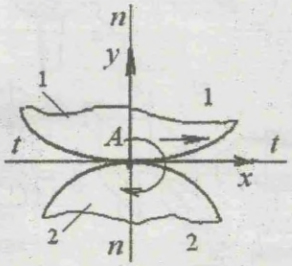
1.2-rasm. Kinematik juftliklarning turli sinflari.



1.3-rasm. Fazoviy tizimdagi qattiq jism.

Fazoviy tizimdan tekislikka o'tganda qattiq jism uch erkinlik darajasini yo'qotadi, bu unga uchta bog'lama qo'yilganini bildiradi. Shuning uchun erkin qattiq jism tekislikda H= 3 va S= 3 ga ega. Masalan, *xy* koordinata tekisligida joylashgan jism ushbu o'q bo'ylab ilgarilanma harakatlanishi va *xy* tekislikka perpendikular o'q atrofida aylanishi mumkin (1.3-rasm). Shuning uchun tekis kinematik

juftliklarda bo'g'inlar harakatidagi cheklashlar miqdori ikkita yoki bitta bo'lishi mumkin. Birinchi holda bog'lanish shartlarining umumiy miqdori fazodan tekislikka o'tishda yo'qotilgan uchta shart bilan birga S= 5 ni tashkil qiladi. Bunday kinematik juftlik S soniga muvofiq *5-sinf* juftligi sanalib, unda faqat bir harakat bajarilishi mumkin bo'lgani uchun (H= 1) bu juftlik *bir qo'zg'aluvchan kinematik juftlik* deb ham ataladi.



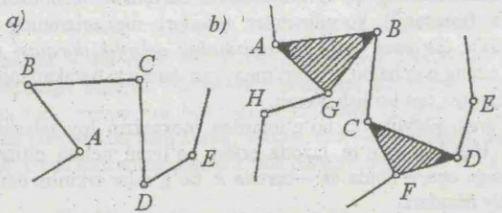
1.4-rasm. Qo'zg'aluvchan kinematik juftlik.

Ikkinchi holda bog'lanish shartlarining umumiy miqdori S =4 va kinematik juftlik *4-sinf* juftligi hisoblanadi, H=2 ga mos ravishda u ikki *qo'zg'aluvchan kinematik* juftlik deb yuritiladi (1.4-rasm). Rasmdan ko'rinib turibdiki, tekislikda 4-sinf juftligini *A* nuqtada bir-biri bilan tutashuvchi ikkita 1 va 2 egri chiziq tashkil qiladi. Ushbu juftlik bo'g'inlarining nisbiy harakati $t - t$ (x *o'q*) urinma yo'nalishida va A nuqta atrofida aylanma bo'lishi mumkin. $n - n$ (y *o'q*) normal bo'ylab harakat mumkin emas.

Elementlarning urinish xarakteri bo'yicha tasnifi. *Kinematik juftlik elementi* – bu kinematik juftliklar hosil bo'lganda bir bo'g'inning boshqa bo'g'in bilan urinadigan nuqtalari, chiziqlari yoki yuzalari majmuidir. Agar kinematik juftliklar elementlarining urinmasi chiziq bo'yicha yoki nuqtada sodir bo'lsa, u holda *oliy kinematik juftlik* (fazoda 1, 2-sinf va tekislikda 4-sinf juftliklari), agar yuzalar bo'yicha urinsa, u holda *quyi kinematik juftlik* (3, 4 va 5-sinf) deyiladi.

Oliy kinematik juftliklarga ega mexanizmlar oz yuklama uzatadi, lekin ishqalanish tufayli kamroq yo'qotishga uchrab, oson loyihalanadi. Ushbu juftlik elementlarini tayyorlash murakkab kechadi.

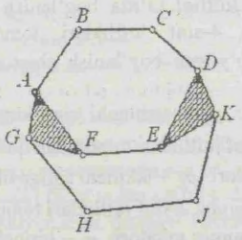
Quyi kinematik juftliklarga ega mexanizmlar ko'p yuklama uzatsa-da, ishqalanish tufayli katta yo'qotishlarga uchraydi va ancha murakkab sintezlanadi. Quyi juftliklar elementlari tekislik, silindr yuzalar ko'rinishida sodda shaklga ega, shuning uchun texnologik jihatdan qulay, ya'ni tayyorlanishi oson.



1.5-rasm. Kinematik zanjirlar.

Kinematik zanjirlar va ularning tasnifi

Kinematik juftliklar bilan o'zaro biriktirilgan bo'g'inlar qatori *kinematik zanjir* deb ataladi. Kinematik zanjirlar fazoviy va tekis, sodda va murakkab, yopiq va ochiq bo'ladi.



1.6-rasm. Yopiq murakkab tekis kinematik zanjir.

Agar kinematik zanjirlar bo'g'inlari bir tekislikka parallel harakatlansa, u holda bunday kinematik zanjir – *tekis*, aksincha holatda *fazoviy* kinematik zanjir deb ataladi. *Sodda* kinematik zanjirlarda

ularning har bir bo'g'ini ikkitadan ortiq kinematik juftlikka kirmaydi. Ushbu shart bajarilmagan kinematik zanjirlar – *murakkab* sanaladi.

Yopiq kinematik zanjirlarda faqat bitta kinematik juftlikka kiruvchi bo'g'inlar yo'q, *ochiq* zanjirlarda esa bunday bo'g'inlar mavjud. 1.5-rasmda ikkita tekis kinematik zanjir sxemasi tasvirlangan. Ulardan *a* sxema sodda, *b* sxema – murakkab kinematik zanjirdan iborat. 1.6-rasmda esa yopiq murakkab tekis kinematik zanjir keltirilgan.

Mexanizmning qo'zg'aluvchanlik darajasini hisoblash. Umumlashma (mustaqil) koordinatalar miqdori mexanizmning *qo'zg'aluvchanlik darajasi* (yoki *mexanizmning erkinlik darajasi soni*) deb atalib, uning barcha bo'g'inlari muayyan darajada harakatlanishi uchun mexanizmga ega bo'lishi kerak.

Faraz qilaylik, k bo'g'inlardan mexanizm loyihalashtirishimiz kerak. Har bir bo'g'in fazoda erkin bo'lgani uchun oltita erkinlik darajasiga ega, u holda $6k$ – barcha k bo'g'inlar erkinlik darajasining umumiy miqdori.

Kinematik zanjirlar hosil bo'lganda bo'g'inlar o'zining erkinlik darajalarini yo'qotadi. Agar kinematik zanjirda p_5 – 5-sinf kinematik juftliklari miqdori bo'lsa, har bir shunday juftlik bo'g'inlarning nisbiy harakatiga beshta bog'lanish shartini qo'yadi, shuning uchun $5p_5$ – barcha 5-sinf juftliklari tomonidan qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori.

Shuningdek, kinematik zanjirda p_4 – kinematik 4-sinf juftliklar miqdori bo'ladi. 4-sinfning har bir juftligi to'rtta bog'lanish sharti qo'ygani uchun, $4p_4$ – barcha 4-sinf juftliklari tomonidan bo'g'inlarning nisbiy harakatiga qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori bo'ladi.

Qolgani ham shunga o'xshash: p_3 – uchinchi sinf kinematik juftliklari miqdori, $3p_3$ – barcha 3-sinf juftliklari tomonidan qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori. p_2 – ikkinchi sinfga mansub kinematik juftliklar miqdori, $2p_2$ – barcha 2-sinf juftliklari tomonidan qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori. p_1 – birinchi sinf kinematik juftliklari miqdori, $1p_1$ – barcha birinchi sinf juftliklari tomonidan qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori.

Agar S ni kinematik zanjirda barcha sinflarning juftliklari tomonidan qo'yilgan bog'lanish shartlarining umumiy miqdori sifatida belgilasak, u holda

$$S = 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1.$$

Kinematik zanjirlarning H – erkinlik darajasi miqdori $6k$ va S sonlarining ayirmasi bilan aniqlanadi:

$$H = 6k - (5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1).$$

Mexanizm – bu bitta qo'zg'almas bo'g'inli kinematik zanjir bo'lib, maqsadga muvofiq bir ma'noli muayyan harakatni bajaradi. Shuning uchun mexanizm hosil qilishda uning bo'g'inlaridan biri qo'zg'almas (*tirgak*) bo'lishi kerak, bunda yana oltita erkinlik darajasi yo'qotiladi. Unda mexanizmning erkinlik darajasi soni: $W = H - 6$, yoki

$$W = 6(k-1) - (5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1).$$

$k-1=n$ (n – mexanizmning tirgakka nisbatan qo'zg'aluvchan bo'g'inlarining miqdori) ni belgilab, quyidagiga ega bo'lamiz:

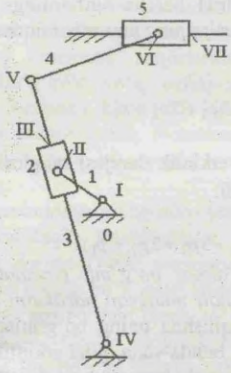
$$W = 6n - (5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1).$$

Bu formula ilk bor 1887-yili P. I. Somov tomonidan ifodalanib, 1923-yilda A. P. Malishev tomonidan hozirgi ko'rinishga keltirilgan, shuning uchun u *Somov- Malishev formulasi* deb ataladi.

Mohiyatan, W mazkur mexanizmdagi barcha bo'g'inlar harakatlarida to'liq aniqlikka erishish uchun talab qilinadigan mustaqil harakatlar miqdorini bildiradi. Amalda W ko'pincha mexanizmning yetakchi bo'g'inlari miqdorini anglatadi.

Tekis mexanizmda esa uning tarkibidagi barcha bo'g'inlar oltita emas, balki faqat uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Shuning uchun qo'zg'aluvchanlik darajasi formulasi Somov-Malishev formulasidagi barcha koeffitsiyentlardan 3 sonini ayirib tashlash orqali hosil qilinadi:

$$W = (6-3)n - [(5-3)p_5 + (4-3)p_4 + (3-3)p_3 + (2-3)p_2 + (1-3)p_1].$$



1.7-rasm. Ko'ndalang-randalash dastgohi mexanizmi.

Qavs ichidagi tegishli amallarni bajargach, yakuniy ifodaga yetib kelamiz:

$$W = 3n - (2p_5 + p_4).$$

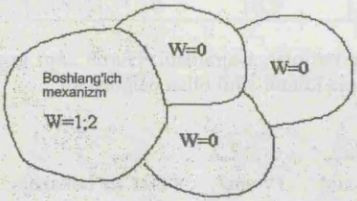
Bu formula 1869-yilda Peterburg Fanlar Akademiyasi akademigi P.L.Chebishev tomonidan olingan va *Chebishev formulasi* deb yuritiladi.

Misol. Ko'ndalang-randalash dastgohi mexanizmi (1.7-rasm).

Berilgan sxemaning qo'zg'aluvchan bo'g'inlari tartib raqamini arab raqamlari bilan belgilaymiz, ularning miqdori $n = 5$ ni tashkil qiladi, rim raqamlari bilan 5-sinf kinematik juftliklari tartib raqamini belgilaymiz, ularning miqdori p_5=7, ushbu mexanizmda 4-sinf juftliklari yo'q, ya'ni $p_4 = 0$. Chebishev formulasi bo'yicha hisoblash quyidagini beradi:

$$W = 3 \cdot 5 - (2 \cdot 7 + 1 \cdot 0) = 1.$$

O'z navbatida, mazkur mexanizmda erkinlik darajasi bitta, bu uning normal ishlashi uchun bitta yetakchi bo'g'in tanlash zarurligini bildiradi.



1.8-rasm. Tirgak va yetakchi bo'g'inli boshlang'ich mexanizm.

L.V.Assur bo'yicha mexanizmlarning strukturaviy tuzilish tamoyili. Tekis mexanizmlar strukturasining nazariy asoslari 1914-yilda Peterburg texnologiya instituti professori L.V. Assur tomonidan ishlab chiqilgan. U ta'riflagan tamoyilga muvofiq, tirgak va yetakchi bo'g'inli boshlang'ich mexanizmga nol qo'zg'aluvchanlikka ega kinematik zanjirlarni biriktirish yo'li bilan ixtiyoriy tekis mexanizm (1.8-rasm) hosil qilinishi mumkin. Unda mexanizm qo'zg'aluvchanligi yig'indi sifatida yoziladi:

$$W_{mex} - W_{isp.mex} + 0 + 0 + 0 + \cdots$$

Assur guruhlari va ularning tasnifi. Kinematik juftliklarning barcha erkin elementlari tirgakka biriktirilganda nolga teng qo'zg'aluvchanlik oladigan kinematik zanjir strukturaviy guruh yoki Assur guruhi deb ataladi. Shunday qilib,

$$W_{gr.Ass} = 0.$$

Assur guruhlari tarkibiga faqat 5-sinf kinematik juftliklari kiradi, shuning uchun, Chebishev formulasiga muvofiq:

$$W_{gr.Ass} = 3n - 2p_5 = 0,$$

Assur guruhlari mavjudlik sharti sifatida $3n = 2p_5$, yoki $p_5 = 3n/2$ ni hosil qilamiz. Yuqorida keltirilgan nisbatga muvofiq Assur guruhlaridagi kinematik juftliklar va bo'g'inlar miqdorining bir nechta birikmasidan jadval tuzamiz.

n	2	4	6	...
p_5	3	6	9	...

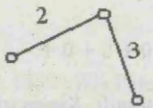
Assur guruhlari sinf va tartiblarga ajratiladi. Guruh *sinfi* guruh tarkibidagi eng murakkab yopiq kontur sinfi bilan belgilanadi:

II sinf III sinf IV sinf V sinf va hokazo.

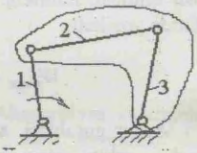
Murakkab yopiq kontur sinfi

III sinf konturidagi kinematik juftliklar kontur hosil qilmagan holda bitta to'g'ri chiziq bo'yicha joylashgan bo'lishi mumkin, biroq mazkur holda ham III sinf konturi mavjud deb hisoblanadi. Assur guruhlari *tartibi* kinematik juftliklarning boshqa bo'g'inlarga birikadigan erkin elementlari miqdori bilan belgilanadi.

$n=2$
$p_5=3$



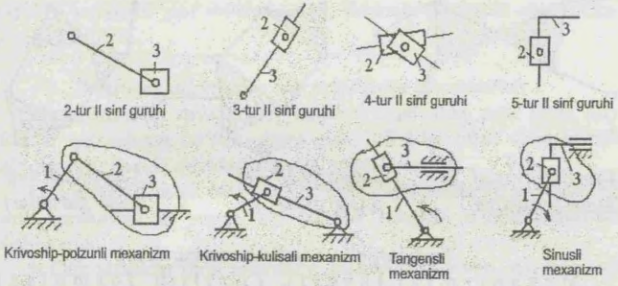
1-tur II sinf guruhi



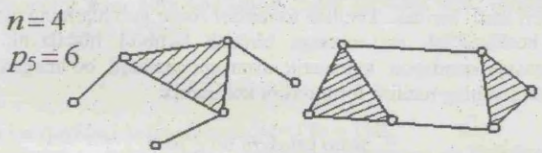
To'rt sharnirli mexanizm

Ilgarilanma va aylanma kinematik juftliklar

II sinf guruhlari, shuningdek, ilgarilanma va aylanma kinematik juftliklar joylashuvi va miqdoriga bog'liq ravishda tur (modifikatsiya) larga ajratiladi. Quyida har xil turdagi Assur guruhlarining sxemalari va shunday guruhlarga ega eng sodda mexanizmlar sxemalari keltiriladi. Yuqorida keltirilgan Assur guruhi *birinchi turga* kiritiladi. Ushbu Assur guruhiga ega eng sodda mexanizm *to'rt sharnirli mexanizm* deb ataladi. Agar bu guruhda aylanma juftliklarning chetki elementlaridan biri ilgarilanma juftlikka almashtirilsa, u holda *ikkinchi tur* guruhi hosil bo'ladi. U *krivoship-polzunli* mexanizm tarkibida bo'ladi. Agar o'rta aylanma juftlik ilgarilanma juftlikka almashtirilsa, u holda bunday guruh *uchinchi tur* Assur guruhi deyiladi.



Xilma-xil krivoship-polzunli mexanizmlar

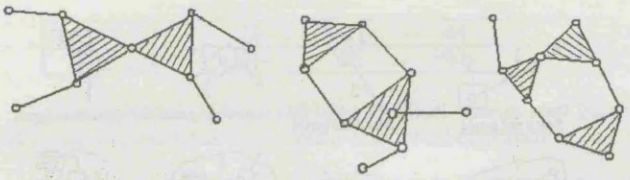


3-tartibli III sinf *2-tartibli IV sinf*

Turli sinfdagi Assur guruhlari

4-tur guruhlarda chetki kinematik juftliklar ilgarilanma, o'rta – aylanma juftlikdir. Demak, ushbu Assur guruhlarida bir-biriga aylanma juftliklar bilan biriktirilgan ikkita polzun mavjud. Bunday Assur guruhiga ega mexanizm tangens funksiyasini amalga oshiradi, shuning uchun u tangensli mexanizm deb ataladi. 5-tur guruhlarda o'rta kinematik juftlik va chetki kinematik juftliklardan bittasi – ilgarilanma, ikkinchi chetki juftlik esa – aylanma bo'ladi. Mexanizm sinus funksiyasini amalga oshiradi va *sinusli mexanizm* deb ataladi.

$$n = 6 \quad p_5 = 9$$

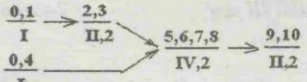


4-tartibli IV sinf Assur guruhlari | *3-tartibli IV sinf Assur guruhlari* | *3-tartibli V sinf Assur guruhlari*

Turli tartibli va sinfli Assur guruhlari

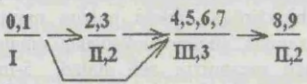
Mexanizmlar tasnifi. Tuzilish formulasi. Assur guruhlariga bog'liq ravishda mexanizmlar ham sinflarga bo'linadi. Mexanizm tarkibida turli sinflarga mansub bir nechta Assur guruhi bo'lishi mumkin, lekin mexanizmga mavjud Assur guruhlarining eng yuqori sinfi beriladi. Tuzilish formulasi Assur guruhlarining bir-biriga va boshlang'ich mexanizmga birikish tartibini ifodalaydi. Misol tariqasida qandaydir kinematik sxemaga taalluqli bo'lmagan ikkita mexanizmning tuzilish formulasini keltiramiz:

Bitta yetakchi bo'g'inda



Boshlang'ich mexanizm *Assur guruhlari*

Ikkita yetakchi bo'g'inda



Boshlang'ich mexanizm *Assur guruhlari*

Ushbu formulalar suratida bo'g'inlarning raqamlari, maxrajida esa – Assur guruhlarining sinfi va tartibi keltirilgan. Boshlang'ich mexanizm birinchi sinf mexanizmi hisoblanadi. Strelkalar boshlang'ich mexanizmdan harakatlarning uzatilish yo'nalishini ko'rsatadi. Qabul qilingan mexanizmlar tasnifiga muvofiq, keltirilgan formulalardan

birinchisi uchinchi sinf mexanizmiga, ikkinchi-to'rtinchi sinf mexanizmiga kiritiladi.

Tekis mexanizmlarda oliy juftliklarni almashtirish

Mexanizmning strukturaviy tahlilini bajarishda, agar unda oliy juftliklar qatnashgan bo'lsa, ularni quyi juftliklar bilan almashtirish talab qilinadi. Bunda quyidagi shartni bajarish lozim:

1. Kinematik zanjir bilan almashuvchi oliy juftlik bo'g'inlarining nisbiy harakatiga qo'yilgan bog'lamalar miqdori o'zgarmasligicha qolishi kerak.

2. Oliy juftliklar bo'g'inlarining bir-biriga nisbatan oniy harakati saqlanishi lozim.

Birinchi shart bajarilishi uchun bitta oliy juftlik bitta bog'lanish sharti qo'yishini nazarda tutish kerak, shuning uchun almashuvchi kinematik zanjir ham bitta bog'lanish sharti qo'yishi talab qilinadi. Bundan tenglik hosil bo'ladi:

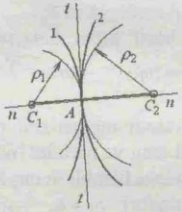
$$1 = 2p_5 - 3n,$$

Undan quyidagi kelib chiqadi: $p_5 = (3n + 1)/2$,

Bu almashtiruvchi kinematik zanjirning juftliklari va bo'g'inlari miqdorining mumkin bo'lgan birikmalari jadvalini tuzishga imkon beradi.

n	1	3	...
p_5	2	5	...

Shunday qilib, eng sodda holda oliy juftlikni almashtirish uchun bitta qo'shimcha bo'g'in va ikkita 5-sinf juftligi talab qilinadi.



1.9-rasm. Oliy juftlik elementlar.

INV № 52602
13 07 2018 Y

Ikkinchi shartni bajarish uchun quyidagi usuldan foydalanish zarur:

1. Oliy juftliklar elementlari kontaktining A nuqtasida $n-n$ normal o'tkazing (1.9-rasm).

2. $n-n$ normalda 1-elementning C_1 va 2-elementning C_2 egrilik markazlari holatini aniqlang.

3. Ushbu markazlarga quyi juftliklarni (5-sinf), ularning o'rtasiga esa uzunligi ρ_1 va ρ_2 egrilik radiuslarining yig'indisiga teng C_1C_2 shartli almashtiruvchi bo'g'inni joylashtiring.

Eslatma. Agar oliy juftlik elementlaridan biri o'tkir uch bilan tugasa, u holda almashtiruvchi quyi (aylanma) juftliklardan biri mazkur o'tkir uchda (nuqtada) joylashadi. Agar tutashish joyida oliy juftlik bo'g'inlaridan biri to'g'ri chiziq shaklida bo'lsa, demak, 5-sinf juftligi shu joyda ilgarilanma bo'lishi kerak.

Mexanizmlarda ortiqcha (takrorlanuvchi) bog'lamalar va mahalliy qo'zg'aluvchanlik

Mexanizmda harakatlarning o'zgarish qonuniga ta'sir qiluvchi harakatlar va bog'lanish shartlari bilan bir qatorda, bu qonunga ta'sir qilmaydigan bog'lama va harakatlar ham mavjud bo'lishi mumkin. Shunday bog'lamalar *ortiqcha bog'lamalar*, harakatlar esa – *mahalliy qo'zg'aluvchanliklar* yoki *ortiqcha erkinlik darajalari* deb yuritiladi. Bitta ortiqcha bog'lama hisoblangan qo'zg'aluvchanlikni bittaga kamaytirsa, bitta mahalliy qo'zg'aluvchanlik uni bittaga ko'paytiradi. Ortiqcha bog'lamalarni topish uchun quyidagi mulohazalardan foydalanish mumkin. Mexanizmda haqiqiy bog'lanish shartlari miqdori

$$S_{haqiqiy} = 2p_5 + p_4$$

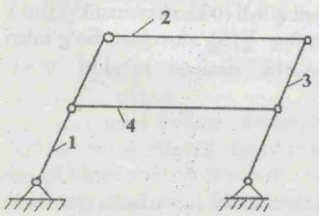
yig'indidan topiladi, uning normal ishlashi uchun zaruriy bog'lanish shartlarining miqdori esa $3n$ dan mexanizmning erkinlik darajasi miqdori — W ni ayirish yo'li bilan aniqlanadi, ya'ni $S_{zarur} = 3n - W$. Ortiqcha bog'lamalar miqdorini q harfi bilan belgilab, quyidagi hisoblash formulasini olamiz: $q = S_{haqiqiy} - S_{zarur}$. Yoki yakuniy ifoda $q = (2p_5 + p_4) - (3n - W)$.

1.10-rasmda sharnirli parallelogramm mexanizmi tasvirlangan, uning qarama-qarshi tomonlari juft-juft teng va parallel (nomi shundan kelib chiqqan). Keltirilgan formula bo'yicha hisoblash quyidagi natijani beradi. 5-sinf kinematik juftliklar miqdori $p_5 = 6$, 4-sinf juftliklar

miqdori $p_4 = 0$, qo'zg'aluvchan bo'g'inlar miqdori $n = 4$. Mexanizm bitta yetakchi bo'g'inda, masalan, 1-bo'g'inda ishlaydi. Shu ma'lumotlarni inobatga olgan holda quyidagini hosil qilamiz:

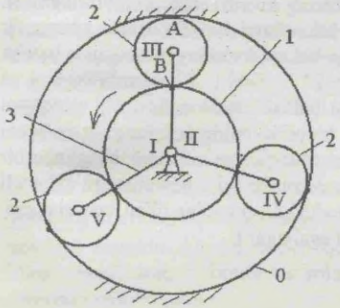
$$q = 2p_5 - (3n - W) = 2 \cdot 6 - (3 \cdot 4 - 1) = 1.$$

Ya'ni mazkur mexanizmda bitta ortiqcha bog'lama mavjud.



1.10-rasm. Sharnirli parallelogramm mexanizmi.

2 va 4-bo'g'inlar bir xil funksiyani bajarib, 3-bo'g'inga harakatni uzatadi, umumiy kuch oqimini ikkiga ajratadi, ularning har biriga to'g'ri keluvchi zo'riqishni kamaytiradi. Struktura nuqtayi nazaridan ushbu bo'g'inlarning birini (masalan, 4-bo'g'inni) ortiqcha bog'lama deb hisoblash mumkin.



1.11-rasm. Planetar tipli tishli mexanizm.

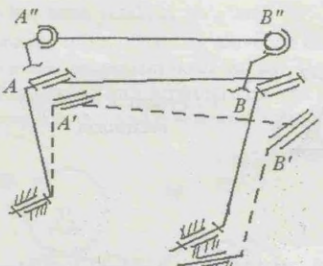
1.11-rasmda tasvirlangan planetar tipli tishli mexanizmni shunga doir namuna sifatida ko'rsatish mumkin.

Mexanizm tarkibiga yetakchi hisoblangan markaziy g'ildirak 1, uch parallel ishlovchi satellit 2 va satellitlar bilan aylanma juftliklar hosil qiluvchi sterjenli bo'g'in 3 kiradi. Barcha qo'zg'aluvchan bo'g'inlar ichki tishli qo'zg'almas g'ildirak 0 ichida joylashgan. Hisoblash uchun ma'lumotlar quyidagicha: 5-sinf juftliklar miqdori $p_5 = 5$ (ular sxemada rim raqamlari bilan qayd qilingan), har bir satellit 2 g'ildiraklar 0 va 1 bilan ilashma hosil qiladi (ikkita kinematik juftlik), shuning uchun $p_4 = 6$, mexanizmning qo'zg'aluvchan bo'g'inlari miqdori $n = 5$, mexanizmning erkinlik darajasi miqdori $W = 1$. Hisoblash natijasida quyidacha:

$$q = (2 \cdot p_5 + p_4) - (3 \cdot n - W) = (2 \cdot 5 + 6) - (3 \cdot 5 - 1) = 2.$$

Shunday qilib, mazkur mexanizmda ikkita ortiqcha bog'lama mavjudligini ko'ramiz, u uch satellitdan ikkitasi bo'lib, bir satellit funksiyasini takrorlaydi. Qayd qilish kerakki, ikkala mexanizmda ortiqcha bog'lama ijobiy o'rin tutib, umumiy kuch oqimini ajratadi va bo'g'inlarga zo'riqishni kamaytiradi.

Ortiqcha bog'lamalar salbiy rol o'ynashi ham mumkin. Bunda ular kinematik juftliklarda bo'g'in harakatini cheklasa, bu boshqa kinematik juftliklarda allaqachon bog'lama bilan cheklangan bo'ladi. Masalan, to'rt sharnirli mexanizmni ko'rib chiqamiz (1.12-rasm). Uning barcha bo'g'inlari bir-biri bilan faqat 5-sinf aylanma kinematik juftliklarini hosil qiladi. Bo'g'inlar bekam-ko'st tayyorlanganda barcha sharnirlarning o'qi bir-biriga parallel bo'lishi (1.12-rasmda faqat A va B shatun sharnirlari qayd qilingan), mexanizm oson yig'ilishi va normal ishlashi kerak. Bo'g'inlarni aniq tayyorlashning imkoni yo'q bo'lgani uchun, xatolar natijasida sharnirlar o'qi qiyshayib ketadi, bo'g'inlar bir tekislikdan chiqib ketadi va mexanizm fazoviy mexanizmga aylanadi (1.12-rasmda bunday mexanizm shtrixli chiziqlar bilan tasvirlangan, shatun sharnirlari A' va B' holatni egallagan).



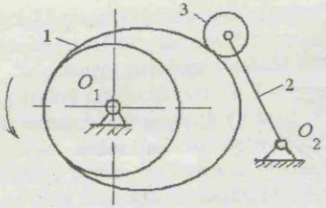
1.12-rasm. To'rt sharnirli mexanizm.

Uni tekis holatga qaytarish uchun ancha sa'y-harakat zarur bo'ladi. Biroq shunday operatsiyadan so'ng bo'g'inlar deformatsiyalanadi, kinematik juftliklarda yonlama bog'lanish yuzaga keladi, bularning bari esa kinematik juftliklar elementlarining intensiv eskirishiga va mexanizmning xizmat muddati qisqarishiga olib keladi. Bunday turdagi ortiqcha bog'lamalarni aniqlash uchun mexanizmni fazoviy mexanizm sifatida ko'rib chiqish zarur. Unda ortiqcha bog'lamalar miqdorini hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi: $q = 5p_5 - (6n-1) = 5 \cdot 4 - (6 \cdot 3 - 1) = 3$.

Ya'ni mazkur mexanizmda uchta ortiqcha bog'lama mavjud. Mexanizmni ishga yaroqli holatga keltirish uchun shatun uchlariga beshinchi sinf juftliklari o'rniga *A" va B"* uchinchi sinf juftliklarini (sferik sharnirlar) joylash zarur. Ular jami to'rtta qo'shimcha harakatni beradi. Zaruriy uch harakatdan tashqari bittasi – aynan shatunning o'z o'qi atrofida aylanma harakati foydalanilmasdan qoladi. Bu harakat mahalliy qo'zg'aluvchanlik bo'ladi va mexanizm harakatiga, umuman olganda, ta'sir qilmaydi.

Mexanizmda mahalliy qo'zg'aluvchanlik miqdorini mexanizm normal ishlashi uchun yo'qotilishi kerak bo'lgan miqdordan $(3n-W)$ yo'qotilgan erkinlik darajasi $(2p_5+p_4)$ miqdorini ayirib tashlash orqali aniqlash mumkin. Agar mahalliy qo'zg'aluvchanlik miqdorini f harfi bilan belgilasak, u holda bu miqdorni hisoblash uchun quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$f = (3n - W) - (2p_5 + p_4).$$



1.13-rasm. Kulachokli mexanizm.

Kulachokli mexanizm uchun (1.13-rasm) quyidagi natija hosil bo'ladi. Qo'zg'aluvchan bo'g'inlar soni $n=3$, 5-sinf kinematik juftliklari soni $p_5=3$, 4-sinf kinematik juftliklari soni $p_4=1$ va nihoyat, $W=1$. Barcha ma'lumotlarni yuqorida keltirilgan formulaga qo'yib hisoblaymiz:

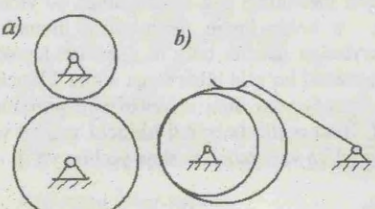
$$f=(3n-W)-(2p_5+p_4)=(3\cdot3-1)-(2\cdot3+1)=1.$$

Hisoblash ko'rsatadiki, mexanizmda bitta ortiqcha erkinlik darajasi yoki mahalliy qo'zg'aluvchanlik mavjud. Bu yerda turtkichga 3 nisbatan rolikning 2 aylanishi mahalliy qo'zg'aluvchanlik hisoblanadi, chunki bu harakat harakatlar o'zgarishida qatnashmaydi. Mazkur holda bu harakat sirpanish ishqalanishini tebranish ishqalanishiga almashtirish uchun zarur, chunki shu ishqalanishdan yo'qotishlar nuqtayi nazaridan foydaliroq hisoblanadi (FIK ortishi).

Mexanizmlarning strukturaviy tahlilini amalga oshirishda ortiqcha bog'lamalar va mahalliy qo'zg'aluvchanliklar istisno qilinishi kerak.

Mexanizmlarning strukturaviy sintezi. Yuqorida bayon etilgan strukturalar nazariyasi mexanizmlar sinteziga oid ayrim masalalarni yechishga imkon beradi. Masalan, Somov-Malishev formulasidan foydalanib, tarkibida faqat beshinchi sinf juftliklari mavjud eng sodda fazoviy mexanizm qancha miqdorda bo'g'inlarga ega bo'lishi mumkinligi aniqlanadi. Bunday mexanizm uchun formula $W=6n-5p_5$ ko'rinishiga ega bo'ladi. Undan kelib chiqadiki, mexanizmda 5-sinf kinematik juftliklari miqdori $p_5=\frac{6n-W}{5}$ ta bo'lishi kerak. Agar $n=6$

bo‘lsa, bitta yetakchi bo‘g‘inda ($W = 1$) juftliklar soni butun bo‘ladi. Shunday qilib, olti qo‘zg‘aluvchan bo‘g‘inlar va tirgakdan iborat yetti bo‘g‘inli mexanizm hosil bo‘ladi. Har xil sinflarga mansub kinematik juftliklarning turli birikmalariga ega fazoviy mexanizm sinteziga doir masalalar ham xuddi shunga o‘xshash, lekin qiyinroq yechiladi.



1.14-rasm. Ikkita tishli g‘ildirak va tirgakli sodda tishli mexanizm.

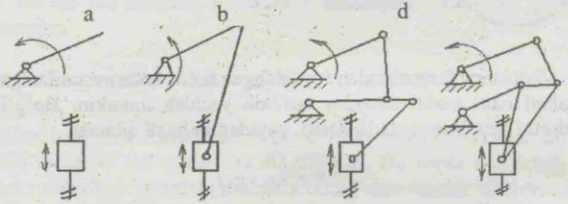
Chebishev formulasidan foydalangan holda tekis mexanizmga oid masalani ham xuddi shunday tartibda yechish mumkin. Bo‘g‘inlar miqdorini shu formulada ifodalab, quyidagini hosil qilamiz:

$$n = \frac{W + (2p_5 + p_4)}{3}.$$

Mexanizmda $W=1$ (bitta yetakchi bo‘g‘in), 4-sinf juftliklari miqdori $p_4 = 0$ bo‘lsin. Bunda n butun son bo‘lishi uchun 5-sinf juftliklarining minimal miqdori $p_5 = 4$ bo‘lishi kerak. Ushbu ma’lumotlarni yuqorida keltirilgan formulaga qo‘yib, $n = 3$ ni olamiz. Shu tariqa, to‘rt bo‘g‘inli (uchta qo‘zg‘aluvchan bo‘g‘in va tirgak) mexanizmga kelamiz.

Agar mexanizmga bitta 4-sinf kinematik juftligi (oliy juftlik) kiritilsa, u holda n butun son bo‘lishi uchun $p_5 = 2$ yetarli, hisoblash natijasida esa $n = 2$ ni olamiz. Bunday mexanizm oliy juftlikli uch bo‘g‘inli hisoblanib, ikkita tishli g‘ildirak va tirgakni o‘z ichiga oluvchi eng sodda tishli mexanizmni (1.14, *a*-rasm) yoki mushtli mexanizmni (1.14, *b*-rasm) bunga misol tariqasida keltirish mumkin. L.V.Assur bo‘yicha mexanizmlarning tuzilish tamoyiliga muvofiq, yetakchi bo‘g‘in va tirgakdan tashqari mexanizmning barcha

bo‘g‘inlari Assur guruhlari tarkibida bo‘lishi kerakligini unutmaslik darkor. Buni mexanizmning strukturaviy sintezida hisobga olish zarur. Masalan, yetakchi bo‘g‘inning aylanma harakatlarini yetaklanuvchi bo‘g‘inning qaytma-ilgarilanma harakatiga aylantirish uchun mexanizm yaratish talab qilinadi (1.15, *a*-rasm). Ularning o‘rtasida nechta bo‘g‘in o‘rnatish zarur? Eng sodda javob varianti – bitta bo‘g‘in (1.15, *b*-rasm). Agar yasalgan mexanizm o‘z xususiyatlari bo‘yicha konstruktorni qoniqtirmasa, u holda keyin nima qilish mumkin, birinchi va oxirgi bo‘g‘in o‘rtasiga qancha bo‘g‘in o‘rnatish kerak? Javob – uchta bo‘g‘in, ular yetakchi bo‘g‘in bilan birga ikkita ikkinchi sinf Assur guruhini (1.15, *d*-rasm) yoki bitta uchinchi sinf guruhini (1.15, *e*-rasm) tashkil qiladi. Bitta oraliq bo‘g‘inli birinchi variant va uchta oraliq bo‘g‘inli keyingi ikkita variantdan boshqa yechim yo‘q.



1.15-rasm. Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi mexanizm.

Kinematik juftliklar sinfini aniqlashga doir misollar

Shar-tekislik kinematik juftligi (1.16-rasm).

Qo‘zg‘almas bo‘g‘inni 2 (tekislik) faraz qilamiz va uni Oxyz koordinatalar tizimiga joylashtiramiz. Bo‘g‘in 1 (shar) koordinata o‘qiga nisbatan quyidagi harakatlarni bajarishi mumkin:

— x, u va z o‘qiga nisbatan aylanma;

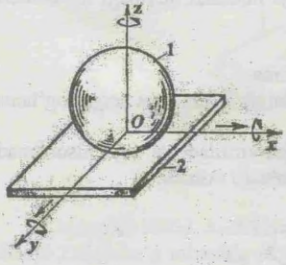
— x va u o‘qiga nisbatan ilgarilanma.

Kinematik juftliklarning erkinlik darajasi soni 5 ga teng. Formula bo‘yicha bog‘lanish shartlari sonini aniqlaymiz

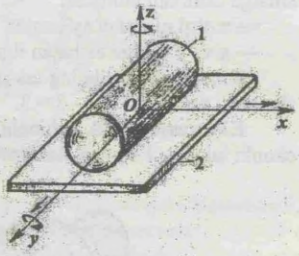
$$S=6-5=1. \qquad (1.1)$$

Demak, bu kinematik juftlik birinchi sinfga kiritiladi.

Tegish xarakteriga ko'ra mazkur kinematik juftlik oliy hisoblanadi, chunki shar va tekislik nuqtada urinadi.



1.16-rasm. Shar-tekislik kinematik juftligi.



1.17-rasm. Silindr-tekislik kinematik juftligi.

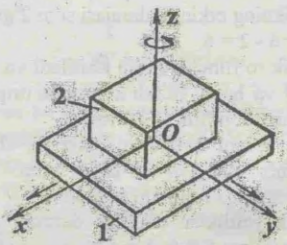
Silindr-tekislik kinematik juftligi (1.17-rasm). Qo'zg'almas bo'g'inni 2 (tekislik) faraz qilamiz va uni Oxyz koordinatalar tizimiga joylashtiramiz. Bo'g'in 1 (silindr) koordinata o'qiga nisbatan quyidagi harakatlarni amalga oshirishi mumkin:

— u va *z* o'qiga nisbatan aylanma;

— x va *u* o'qiga nisbatan ilgarilanma.

Kinematik juftlikning erkinlik darajasi soni 4 ga teng. Bog'lanish shartlari soni $S = 6 - 4 = 2$.

Kinematik juftlik ikkinchi sinfga kiritiladi va oliy hisoblanadi, chunki silindr va tekislik chiziq bo'yicha urinadi.



1.18-rasm. Tekislik kinematik juftligi.

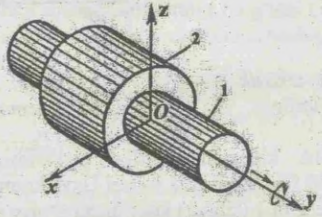
Tekislik kinematik juftligi (1.18-rasm). Qo'zg'almas bo'g'inni 1 (tekislik) faraz qilamiz va Oxyz koordinatalar tizimiga joylashtiramiz. Bo'g'in 2 (tekislik) koordinata o'qiga nisbatan quyidagi harakatlarni amalga oshirishi mumkin:

— z o'qi nisbatan aylanma;

— x va u o'qiga nisbatan ilgarilanma.

Kinematik juftlikning erkinlik darajasi soni 3 ga teng, bog'lanish shartlari soni esa S = 6 - 3 = 3.

Kinematik juftlik uchinchi sinfga kiritiladi va quyi hisoblanadi, chunki tekislik 1 va yuzalar 2 orqali o'zaro urinadi.



1.19-rasm. Silindr kinematik juftligi.

Silindr kinematik juftligi (1.19-rasm). Qo'zg'almas bo'g'inni 1 (silindr) faraz qilamiz va Oxyz koordinatalar tizimiga joylashtiramiz. Bo'g'in 2 (havol silindr) koordinata o'qiga nisbatan ikkita: aylanma va *y* o'qi nisbatan ilgarilanma harakatni amalga oshirishi mumkin.

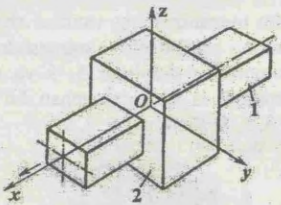
Kinematik juftlikning erkinlik darajasi soni 2 ga teng, bog'lanish shartlari soni esa S = 6 - 2 = 4.

Kinematik juftlik to'rtinchi sinfga kiritiladi va quyi hisoblanadi, chunki nuqul silindr 1 va havol silindr 2 yuzalari orqali o'zaro urinadi.

Ilgarilama kinematik juftlik (1.20-rasm)

Qo'zg'almas bo'g'inni 2 faraz qilamiz va *Oxyz* koordinatalar tizimiga joylashtiramiz. *Bo'g'in* 1 faqat bitta: *x* o'qi nisbatan ilgarilanma harakatni amalga oshirishi mumkin.

Unda kinematik juftliklar erkinlik darajasi soni 1 ga teng, bog'lanish shartlari soni esa S = 6 -1 = *5.*



1.20-rasm. Ilgarilama kinematik juftlik.

Kinematik juftlik *beshinchi* sinfga kiritiladi va quyi hisoblanadi, chunki 1 va 2-bo'g'inlarning yuzalari orqali o'zaro urinadi.

Mexanizmlarning erkinlik darajasi sonini aniqlash

Bo'g'inlarning nisbiy harakatlari xarakteriga ko'ra, barcha mexanizmlarni tekis va fazoviyga ajratish mumkin. Tekis mexanizmda uning qo'zg'aluvchan bo'g'inlar nuqtalari parallel tekisliklarda, fazoviy mexanizmda esa — kesishuvchi tekisliklarda harakatlanadi.

Fazoviy mexanizmlarda erkinlik darajasi soni Somov-Malishev formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 \qquad (1.2)$$

bu yerda, n — qo'zg'aluvchan bo'g'inlar soni; r_5, r_4, r_3, r_2, r_1 — mos ravishda beshinchi, to'rtinchi, uchinchi, ikkinchi va birinchi sinf kinematik juftliklari soni.

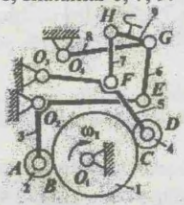
Tekis mexanizmlarda erkinlik darajasi soni Chebishev formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$W = Zn - 2r_5 - r_4. \qquad (1.3)$$

Ushbu mavzu bo'yicha masalalarni yechishda avval mexanizmning texnologik vazifasini, barcha bo'g'inlar bir-biriga nisbatan qanday harakatlarni amalga oshirishini va mexanizm turini (tekis yoki fazoviy) aniqlash, so'ngra erkinlik darajasi sonini aniqlashga kirishish zarur.

Misollar. *1.1.* To'quv mashinasi mexanizmining erkinlik darajasi soni W aniqlang (1.21-rasm).

Yechim. Ushbu mexanizmning vazifasi shatunda 9 joylashgan ilmoqning halqasimon harakatini ta'minlashdan iborat. Ilmoqqa harakat musht 1 tomonidan shayinlar 3, 5 va shatunlar 6,7 orqali uzatiladi. Mexanizmda 9 ta qo'zg'aluvchan bo'g'in bor: musht 1, roliklar 2, 4, shayin 3, 5, 8, shatunlar 6, 7, 9.



1.21-rasm. To'quv mashinasining strukturaviy sxemasi.

V sinf kinematik juftliklari 10 ta: O_1 (0 va 1 bo'g'inlar bilan hosil qilinadigan), $O_2(0,3)$, $O_3(0,5)$, $O_4(0,8)$, $A(2,3)$, $D(4,5)$, $E(3,6)$, $F(5,7)$, $G_1(8,9)$, $G_2(8,6)$, $H(7,9)$.

IV sinf kinematik juftliklari 2 ta: $B(1,2)$,$S(1,4)$.

Mexanizmda boshqa sinflar kinematik juftliklari yo'q, chunki barcha bo'g'inlar harakatni parallel tekisliklarda bajaradi, ya'ni tekis mexanizm hisoblanadi. Unda (1.3) formula bo'yicha tekis mexanizmlar uchun aniqlaymiz:

$$W: W = 3\times9 - 2\times11 - 2 = 3.$$

1.2. Osma manipulyator pantografi mexanizmining erkinlik darajasi soni W aniqlang (1.22-rasm). Yechim. Mexanizm uzatmali qurilmalarning harakatlar masshtabida nusxa ko'chirish, harakatlarni uzatish va chiqish bo'g'inini ilgarilanma orientirlash uchun mo'ljallangan. 2, 5, 4 bo'g'inlarning birgalikdagi harakati tekislikda ilmoqni 13 siljitishga va uning atrofida LN o'qini aylantirishga imkon beradi. Mexanizmda 13 ta qo'zg'aluvchan bo'g'in bor: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

V sinf kinematik juftliklari 17 ta: A (1, 2); B_1 (1, 5), B_2 (1, 4), S (2, 3), D (0, 1), G*1* (5, 7), G*2* (5, 8), I (4, 6), H (6, 7) F (7, 9), J (3,8), J*2* (8, 10), E (9, 10), K (10, 11), L (11, 12),M (9, 12), N (12, 13).