Г. Ш. ЗОКИРОВ

МАШИНА ВА МЕХАНИЗМЛАР НАЗАРИЯСИ

"УЗБЕКИСТОН"

621.01
З-74

Ғ. Ш. ЗОКИРОВ

МАШИНА ВА МЕХАНИЗМЛАР НАЗАРИЯСИ

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги олий ўқув юртлари талабалари учун дарслик сифатида тавсия этган

БИБЛИОТЕКА
Бух ТИП и ЛП
№ у/8621

ТОШКЕНТ—"ЎЗБЕКИСТОН"—2002

Муҳаррир *А. Ҳакимжонова*

Маълумки, республикамиз автомашина ишлаб чиқарадиган мамлакатлар қаторига кирди. Ишлаб чиқарилаётган машиналар ҳам дунё талабларига мослашмоқда.

Машиналарни таҳлил (анализ) қилишдан кўра уларни бунёд этиш (синтез қилиш) муаммолари кўпроқ аҳамият касб этмоқда. Бугунги машинасозлик корхоналарини роботларсиз тасаввур қилиш қийин. Мазкур дарслик ушбу муаммоларни ўз ичига олган бўлиб, у техник олий ўқув юртлари, шунингдек, техник-педагогик институтлари талабалари учун мўлжалланган.

$3\,\frac{2702000000-40}{351\,(04)\,2001}\,2002$

ISBN 5-640-02459-1

© "ЎЗБЕКИСТОН" нашриёти, 2002 й.

КИРИШ

Инсоният азалдан ўз меҳнат фаолияти давомида ғилдирак ёки пишанг (ричаг) дан фойдаланиб келган. Улардан оғир қўл меҳнатларини енгиллаштиришда, инсон тафаккурини ўстирадиган асбоблар қуришда, машина ва механизмлар назариясини яратишда кенг фойдаланилди.

Тарихий манбаларга асосан европалик олим Леонардо да Винчи (1452—1519) тўқув станоги конструкциясини яратган бўлса, ватандошимиз Аҳмад ал Фарғоний (788—861) Арабистонда Нил дарёсининг юза баландлигини ўлчайдиган асбоб яратдики, бу асбоб шу вақтгача ишлаб турибди. Италия олими Д.Карданнинг (1501—1576) номи кўпроқ мураккаб механизмлар ҳаракати билан боғлиқ бўлса, француз олими Ш.Кулоннинг (1736—1806) номи ишқаланиш кучларини ҳисоблаш билан боғлиқдир. Ушбу ва буларга ўхшаган кўп ишлар конкрет механизм яратиш жараёни таҳлилини яратган бўлсада, улар машина ва механизмларнинг умумий назариясини яратишдан узоқда эди. Умумий назария эса муҳандис идрокининг маҳсулоти бўлган биринчи машиналар яратиш даврига тўғри келиши ўз-ўзидан тушунарли ҳолдир.

Бу йўлдаги биринчи илмий қадам немис олими Бурместорнинг механизмлар барпо қилинишининг геометрик усулларини яратиши бўлиб, бу Европада машинасозлик саноатининг пайдо бўлиши даврига тўғри келади. Аналитик усулларнинг пайдо бўлиши эса рус олими П.Л.Чебишев (1821—1894) томонидан яратилган пишангли механизмларни бунёд этишнинг алгебраик усуллари билан боғлиқдир.

Машина ва механизмлар назариясини бойитишда немис олими Ф.Грасгофнинг (1826—1893) пишангли механизмлар бўғинларининг муносабатларини ишлаб чиқиши, инглиз олими Д.Силвестрнинг (1814—1897) пантографлар назарияси, С.Робертснинг (1827—1913) бир хил ишни габаритлари ҳар хил бўлган бир неча механизмлар бажара олишини исбот этиши, рус олими Л.В.Ассурнинг (1878—1920) киностатик таҳлил усулларини яратиши катта ҳисса бўлиб қўшилди.

Бизнинг асримиз машинасозликнинг тикланиш асри бўлиб тарихга кирса ажаб эмас. Улуғ олим И.И.Артоболевский (1905-1977) машина ва механизмлар назарияси соҳасида бутун дунё ташкилотини (ИФТОММ) тузиб, унинг биринчи Президенти бўлди. Иван Иванович вафотидан кейин америкалик олим, профессор Росс ушбу ташкилотга Президент бўлиб сайланди.

Ташкилотнинг тармоқлари деярли барча мамлакатларда мавжуддир. Ушбу ташкилот ҳар тўрт йилда машина ва механизмлар назарияси бўйича бутун дунё съездини ўтказади.

ИФТОММ раҳнамолигида Россияда акад. К.В.Фролов, Германияда проф. Мюллер, АҚШда проф. Росс, Арманистонда проф. Ю.А.Саркисян, Грузияда проф. Д.Д.Тавхелидзе, Қозоғистонда акад. У.А.Джолдасбеков раҳбарликларида ва бошқа катта олимлар гуруҳи илмий ишлар олиб борган ва бормоқда.

Ўзбекистонда машинасозлик илмининг илк намояндалари академиклар М.Т.Ўразбоев, Х.А.Рахматуллинлардир. Ўразбоев эластик бўғинлар динамикасини таҳлил этган бўлса, Х. А. Рахматуллин дунёда биринчи бўлиб, тўлқинлар назариясини ихтиро этди. Устоз Восил Қобулович илмий изланишларда жумладан, машиналарни таҳлил этишда алгоритмлашни қўллаб, ушбу жараёнда тузилиши лозим бўлган мураккаб математик ибораларни нафақат ечишни, ҳатто тузишни ҳам компьютерлар зиммасига юклашни ихтиро этди.

60-йиллар бошларида прототипи бўлмаган машина ва механизмлар яратилиши катта муаммога айланди. Бу космик аппарат трансмиссиялари, лунаход механизмлари, замонавий роботлар учун зарур эди. Бундай механизм-

ларнинг мавжуд эмаслиги ва улар мукаммал вазифаларни бажариш учун бунёд этилишлари ушбу механизмлар тузилмасини ҳам мукаммаллаштириб юборарди.

Механизмни бунёд этишнинг аниқ масалаларига оид чиқарилган математик иборалар жуда оғир ва мураккаб бўлиб, узундан-узун бўларди ёки умуман, бу ибораларни қўлда чиқариб бўлмасди. Ана шу масалаларни ечишга қўл урганимизда Восил Қобуловичнинг алгоритмик усуллари ғоятда катта аҳамият касб этди.

Акад. Х.Х.Усмонхўжаев машина ва механизмлар назариясидан дарслик ёзган ягона олим бўлиб, у кишининг илмий ишлари винтли шпинделли пахта териш машиналари яратишга, динамик таҳлил масалаларига бағишлангандир. Акад. А.Д.Глушенко пахта териш машинасини такомиллаштириш, янги ишчи органлар ихтиро этиш ва уларни таҳлил этишга оид ишлар қилган. Гидроюритма масалалари акад. О.В.Лебедев томонидан илмий таҳлил қилинган.

Америка Қўшма Штатларидан ташқари, фақатгина Ўзбекистон пахта териш машиналари ишлаб чиқаргани муносабати билан кўп олимларимиз унинг механизмларини такомиллаштириш, янги аппарат ва механизмлар яратишга ўз илмий ишларини бағишлаганлар.

Жумладан т.ф.д., проф. О. А. Каримов кўп қаторли пахта териш агрегати яратиш устида катта илмий ишлар қилиб, машина намуналарини ҳам ярата олди. Т.ф.д. проф. Д.М.Шполянский ҳам янги пахта териш аппарати устида ишлаб, бирқанча муҳим механизмлар ихтиро этган олимдир. Т.ф.д., проф. Д.М.Матчонов пахта териш машиналарининг тебранишини унинг қаторларига боғлиқ равишда текшириб, ҳаракат динамикасини ушбу йўналишда таҳлил этди.

Ўзбекистонда ҳозирги кунда салоҳиятли олимлар гуруҳи машина ва механизмлар назарияси яратишда фаол қатнашиб, деярли ИФТОММ нинг барча съездларида иштирок этишмоқда. Жумладан, т.ф.д., проф. Ғ.С.Қўзибоев динамика масалаларини аналогли ҳисоблаш машиналари ёрдамида ечишни таклиф этган бўлса, пахтадан чигитни ажратиш машиналари динамикаси бўйича т.ф.д., проф. Ш.У.Рахматқориев катта илмий ишлар қилди.

Т.ф.д., проф. Х.Т.Туронов эгилувчан бирикмали қишлоқ хўжалик машиналари механизмлари механикасини ишлаб чиққан бўлса, т.ф.д., проф. К.А.Каримов ўзгарувчан структурали механизмлар бўйича юқори натижаларга эришди.

Т.ф.д., проф. Р.И.Каримов бисателлитли механизмлар тадқиқоти билан шуғулланса, ХМА мухбир аъзоси А.Жўраев эксцентрик тасмали мураккаб механизмлар яратиб, унинг тадқиқоти билан шуғулланмоқда. Т.ф.д., проф. Ш.Алимуҳамедов машиналар ишлаганда кабина вибрациясининг инсон саломатлигига таъсирини, т.ф.д., проф. А.Ризаев эпигипоциклик механизмлар ҳамда мураккаб ричагли механизмлар ҳаракат қонунларини текшириш бўйича юқори натижаларга эришдилар. Т.ф.д. Т.Омонов ҳар хил материаллар орасидаги ишқаланиш кучларининг технологик жараёнга таъсирини таҳлил қилиб, уни чармни қайта ишлаш механизмларида татбиқ қилди. Т.ф.д., проф. Д.А.Хромова механизмларнинг силкиниш ҳолатларида ундаги бўғинлар динамикасини таҳлил қилиб, бир нечта ноёб усуллар яратди. Т.ф.д., проф. М.Ш.Зокирова биринчи бўлиб, динамик синтез масаласини пишангли механизмлар учун таклиф этиб, исталган мураккабликка эга бўлган механизмларни алгоритмлаш йўли билан бунёд этиш мумкинлигини исботлади. Т.ф.д., проф. А.Садриддинов пахта териш машиналарида механизмлар комплексининг ўзаро таъсирини таҳлил қилди.

Ўз-ўзидан маълумки, юқорида номлари тилга олинган олимларнинг ҳар бирининг ўнлаб ўқувчилари, шогирдлари, кўпчилигининг ўз илмий мактаблари мавжуддир. Уларнинг аксарияти машина ва механизмлар назариясидан институтларда дарс ҳам берадиларки, ушбу дарслик олимларнинг педагогик ишларида заррача ёрдам берса, муаллиф ўз олдига қўйган мақсадига эришган бўларди.

Шунингдек, муаллиф дарсликни нашрга тайёрлашда қилган хизматлари учун доцент Э. А. Ҳайдаровга, луғатларни тартибга солиш ҳамда расмларни тайёрлашдаги ёрдамлари учун доцент А. Солиев ва катта ўқитувчи Б. Мешбоевга катта миннатдорчилик билдиради.

1. МАШИНА ВА МЕХАНИЗМЛАРНИНГ ТУЗИЛИШ АСОСЛАРИ

1.1. Асосий тушунчалар ва қоидалар

Машина — инсон томонидан табиат қонунларидан фойдаланиш орқали ўзининг меҳнат ва физиологик функцияларини қисман ёки алмаштириш йўли билан жисмоний ва ақлий меҳнатини енгиллаштириш, унинг унумдорлигини ошириш мақсадида яратилган қурилмадир.

Бажарадиган функциялари бўйича машиналар қуйидаги турларга бўлинади:

1) энергетик машиналар;
2) транспорт машиналари;
3) технологик машиналар;
4) назорат-бошқариш машиналари;
5) мантиқий машиналар;
6) кибернетик машиналар.

Двигатель, узатувчи механизмлар ва ишчи машинадан, баъзи ҳолларда назорат, бошқариш ва саноқчи-ҳисоблаш қурилмаларидан тузилган тизим машина агрегати деб аталади.

Технологик машиналар, назорат-ўлчаш асбоблари, роботлаштирилган комплекслар ва ЭҲМда тузилган қайта-қайта созланувчи технологик қаторлар қайишқоқ (гибкий) автоматлаштирилган жараёнлар дейилади.

Машиналар механизмларни ўз ичига олади. Механизм деб бир ёки бир нечта жисмнинг берилган қонунли ҳаракатини бошқа жисмларнинг керакли ҳаракатига айлантириш учун мўлжалланган механик тизимга айтилади.

Механизмлар қуйидаги турларга бўлинади:

1) ҳаракат ҳосил қилувчи (двигатель) ва уни ўзгартирувчи механизмлар;
2) узатувчи ва йўналтирувчи механизмлар;
3) бажарувчи ва тақлидчи механизмлар;
4) бошқариш, назорат ва созлаш механизмлари;

5) ишлов бериладиган муҳит ва объектларни олиб бориш, кўчириш, озиқлантириш ва ажратиш механизмлари;

6) тайёр маҳсулотларни автоматик санаш, тортиш ва қадоқлаш механизмлари.

Механизмлар назарияси механизмларни таҳлил ва синтез қилиш учун уларнинг тузилиши, кинематикаси ва динамикасини ўрганувчи фандир.

Механизмлар назарияси фани икки асосий қисмдан иборат:

1. Синтез.
2. Таҳлил.

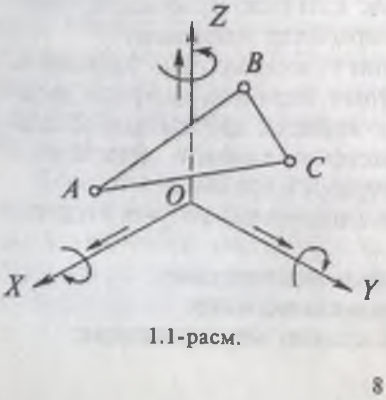
Улар ўз навбатида қуйидаги бўлимларга бўлинади:

1. Механизмларнинг структуравий таҳлили ва синтези.
2. Механизмларнинг кинематик таҳлили ва синтези.
3. Механизмларнинг динамик таҳлили ва синтези.

1.2. Механизм бўғинлари, кинематик жуфтлар ва боғланишлар

Ҳар бир механизм қўзғалувчан бўлиб, битта қўзғалмас ва бир нечта қўзғалувчан бўғинлардан иборат бўлади. Ҳамма қўзғалмас (ёки қўзғалмас деб қабул қилинган) қисмлар пой деб аталувчи қўзғалмас бўғинни ташкил қилади.

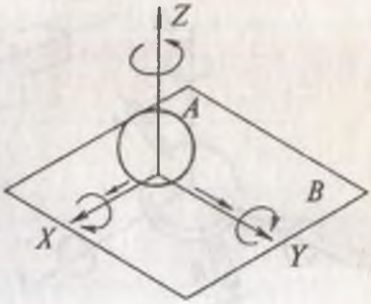
Бир-бирига туташувчи икки бўғиннинг ўзаро нисбий ҳаракатига имкон берувчи боғланишни кинематик жуфт деб аталади. Бўғинларнинг бошқа бўғин билан туташувчи сиртлари, чизиқлари ва нуқталари кинематик жуфт элементлари дейилади. Бўғинларнинг чизиқ ёки нуқта орқали туташиши олий кинематик жуфтни, сирт орқали туташиши эса қуйи кинематик жуфтни ҳосил қилади.



1.1-расм.

Фазода эркин ҳаракатланувчи жисм олтита эркинлик даражасига эга бўлади: *X*, *У* ва *Z* ўқлар атрофида айланма ва ўқлар

бўйича илгариланма-қайтма ҳаракат қилиши мумкин (1.1-расм). Механизм бўғини жисм сифатида бошқа бўғин билан боғланиб, кинематик жуфт ҳосил қилганда, ўзининг эркинлик даражаларининг қандайдир қисмини йўқотади.



1.2-расм.

Бири қўзғалмас бўлган икки бўғиннинг бир-бири билан мумкин бўлган боғланишлари ва бунда қўзғалувчан бўғинда қоладиган эркинлик даражасини кўрайлик.

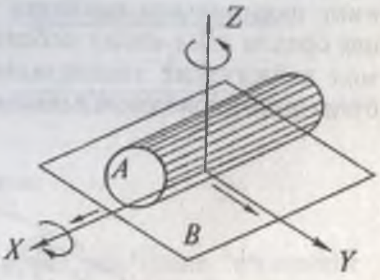
1. Биринчи бўғин текислик, иккинчиси шар бўлсин (1.2-расм). Кўриниб турибдики, шар учала *x, y, z* координата ўқлари атрофида айланиши ва текисликка параллел ўқлар бўйича силжиши мумкин. Яъни иккинчи бўғиннинг вертикал ўқ бўйича силжиши чекловчи боғланишга эга бўлиб, унинг эркинлик даражаси бешга тенг. Бўғинлардаги боғланишлар сони кинематик жуфтнинг синфини кўрсатади. Богланишлар сонини S билан белгиласак, кинематик жуфтнинг эркинлик даражаси H га тенг бўлади:

$$H = 6 - S = 6 - 1 = 5$$

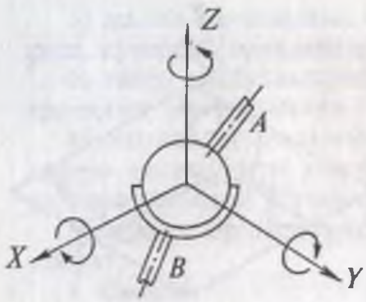
2. Текислик билан боғланган цилиндр орасидаги кинематик жуфтни кўрайлик (1.3-расм). Ўзаро боғланишлар цилиндрнинг вертикал z ўқ бўйича силжиши ва горизонтал X ўқи атрофида айланишини чеклайди. Демак, бу кинематик жуфт 2-синфга мансуб бўлиб, унинг эркинлик даражаси:

$$H = 6 - S = 6 - 2 = 4$$

бўлади.



1.3-расм.



1.4-расм.

3. 1.4-расмда тасвирланган кинематик жуфтда боғланишлар бўғинларнинг *X, У, Z* ўқлари бўйича силжишларини чеклайди. 3-синфга мансуб бу кинематик жуфтнинг эркинлик даражаси

$$H = 6 - S = 6 - 3 = 3.$$

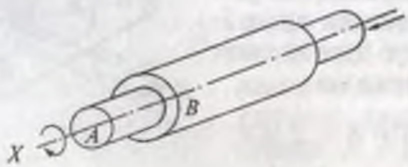
4. 1.5-расмда кинематик боғланишлар бўғинларнинг фақат *X* ўқи атрофида айланиши ва ўқ бўйича силжишига имкон беради. Демак, 4-синфга мансуб бу кинематик жуфтда эркинлик даражаси

$$H = 6 - S = 6 - 4 = 2.$$

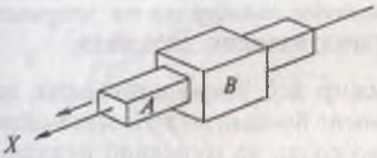
5. 1.6-расмда 5-синф кинематик жуфтда сирпанғич 1 йўналтиргич 2 нинг *X* ўқи бўйича фақат илгариланма-қайта ҳаракат қилиши мумкин. Демак, бешта боғланишли бундай жуфтнинг эркинлик даражаси

$$H = 6 - S = 6 - 5 = 1.$$

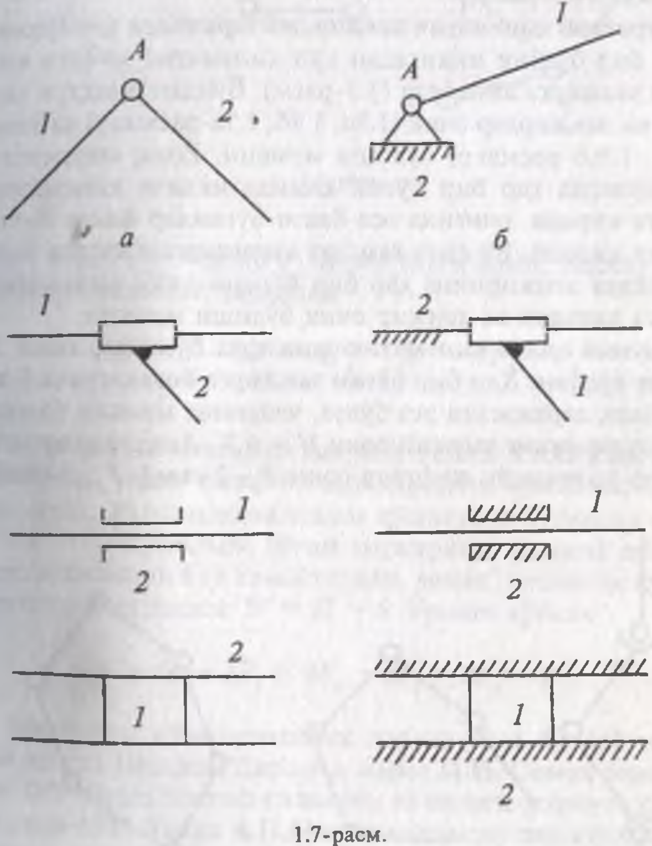
5-синф кинематик жуфтлар 1.7-расмдагидай тасвирланади. Бизнингча, кинематик жуфтларнинг ҳосил бўлиши бўйича ҳали баъзи ноаниқ масалалар мавжуд, чунки кинематик жуфтларнинг ҳосил қилинишида бир бўғиннинг иккинчисига нисбатан ҳаракатини қараш йўналиши орқали узил-кесил исботланган деб бўлмайди. Эҳтимол кейинчалик текширишни тескари, яъни иккинчи бўғиннинг биринчисига нисбатан ҳаракатини қараш йўна-



1.5-расм.



1.6-расм.



1.7-расм.

лишида ҳам давом эттириш керакдир. Чунки бўғиннинг қўзғалмас пойга боғланишидаги қўзғалувчанлик даражаси унинг қўзғалувчан бўғинга боғланишига қараганда тамоман бошқача бўлади.

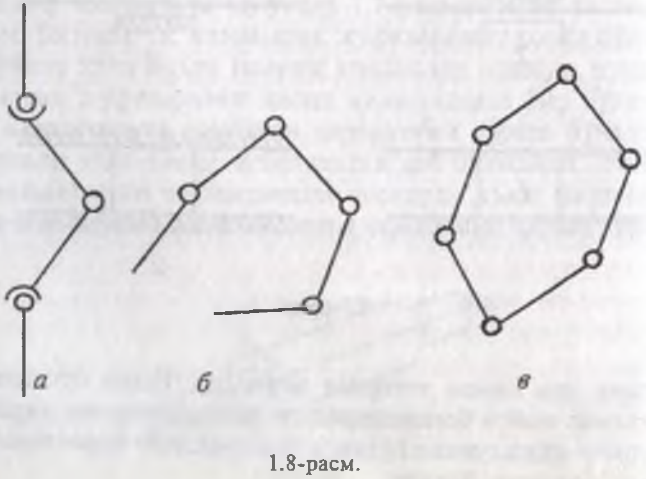
1.3. Кинематик занжирлар ва уларнинг қўзғалувчанлик даражаси

Кинематик занжир деб ўзаро кинематик жуфт ҳосил қилувчи бўғинларнинг боғланган тизимига айтилади. Кинематик занжирлар содда ва мураккаб бўлади.

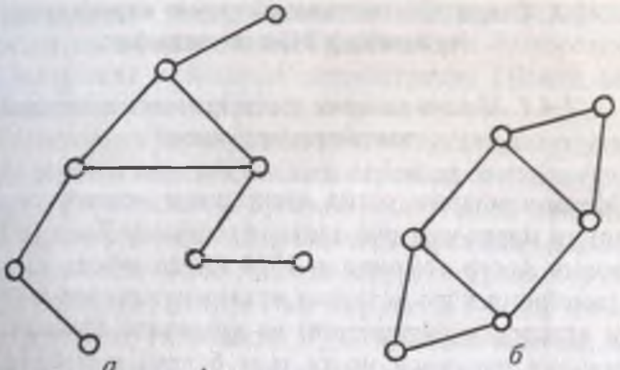
Содда кинематик занжир деб ҳар бир бўғини иккитадан ортиқ бўлмаган кинематик жуфтга кирувчи занжирга айтилади (1.8-расм).

Мураккаб кинематик занжир деб таркибида ҳеч бўлмаганда бир бўғини иккитадан кўп кинематик жуфтга кирувчи занжирга айтилади (1.9-расм). Бундан ташқари кинематик занжирлар очиқ (1.8а, 1.8б, 1.9а-расмлар) ва ёпиқ (1.8,в, 1.9,б расмлар) бўлиши мумкин. Ёпиқ кинематик занжирларда ҳар бир бўғин камида иккита кинематик жуфтга киради, очиғида эса баъзи бўғинлар фақат битта жуфтга киради. Бу ерда ҳам ҳал қилинмаган масала бор. Жумладан занжирнинг ҳар бир бўғини икки кинематик жуфтга кириши ва занжир очиқ бўлиши мумкин.

Умумий ҳолда кинематик занжирда бўғинлар сони K ға тенг бўлсин. Ҳар бир бўғин занжирга боғлангунча 6 та эркинлик даражасига эга бўлса, уларнинг мумкин бўлган ҳаракатларининг умумий сони $H = 6K$. Агар занжирдаги 1-синф кинематик жуфтлар сони P_1, 2-синф P_2, 3-синф



1.8-расм.



1.9-расм.

P_3, 4-синф P_4, 5-синф P_5 билан белгиланса, занжирнинг умумий эркинлик даражаси

$$H = 6K - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$$

бўлади.

Ҳар қандай механизм ҳам кинематик занжирдан иборат бўлиб, унинг битта бўғини ҳар доим қўзғалмас бўлиши керак. Яъни механизмдаги қўзғалувчи бўғинлар сони $n = k - 1$. Қўзғалмас бўғин занжирнинг умумий эркинлик даражасини 6 га камайтиради, демак, механизм қўзғалувчанлик даражаси $W = H - 6$. Ўрнига қўйсак

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1 .$$

Механизм қўзғалувчанлик даражасини бундай назарий асосда аниқлаш биринчи марта П.И. Сомов томонидан 1887 йилда таклиф қилинган ва охирги формула кўринишида 1923 йилда А.П.Малишев томонидан ифодаланган.

Шунинг учун бу ифода Сомов-Малишев формуласи деб аталади.

1.4. Стерженли механизмларнинг структураси (тузилиши) бўйича таснифи

1.4.1. Механизмларни ҳосил қилишнинг асосий тамойили (принципи)

Механизмларни ҳосил қилишнинг асосий тамойили биринчи марта улуғ рус олими профессор Леонид Владимирович Ассур томонидан 1914 йилда ифода қилинган. Бу тамойилга кўра исталган механизм етакловчи бўғинга (ёки етакловчи бўғинларга) ва қўзғалмас бўғинга қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг бўлган кинематик занжирларни кетма-кет қўшиш йўли билан ҳосил қилиниши мумкин.

Табиийки, бугунги кунга келиб бу тамойил эскирди, чунки у ёпиқ занжирлардан ташкил топган механизмларнигина ўз ичига қамрайди.

Очиқ занжирлардан ташкил топган механизмлар занжирларни қўзғалмас пойга қўшиш йўли билан ҳосил қилиниши мумкин.

Аввал механизмлар ҳосил қилишнинг Ассур берган вариантини кўриб чиқайлик (ҳозир ММН адабиёт манбаларининг ҳаммасида механизмлар ҳосил қилишнинг Ассур варианти берилган).

Ҳар бир механизм таркибига қўзғалмас пой (қабул қилинган услубиятлардан фарқли ўлароқ,механизм қўзғалувчанлик даражаси пойга боғланишлар сони ва жойига қараб кескин ўзгариб кетади), етакловчи бўғинлар ва етакланувчи бўғинлар киради. Бунда пой деганда механизмнинг ҳамма қўзғалмас қисмларининг тизими тушунилади. Етакловчи бўғин деб механизмни ҳаракатга келтирувчи бўғинга айтилади.

Айтиб ўтиш керакки, механизмда ҳеч бўлмаганда битта қўзғалмас бўғин бўлиши лозим.

Гуруҳ деганда пишангларнинг пойга нисбатан нисбий ҳаракати бўлмаган тизими тушунилади. Агар гуруҳ қўзғалмас бўғинга уланса, у ферма деб аталувчи қўзғалмас тизимга айланади. Фермалар қурилиш механикасида кўприкларни, орнаментларни ва қўзғалмас конструкци-

яларни қуришда кенг қўлланилади. Гуруҳнинг эркинлик даражаси нолга тенг $W_r=0$. Гуруҳларнинг бу хоссаси механизмларнинг тузилиши (структураси) бўйича синтез қилишда кенг ишлатилади.

Механизмни ҳосил қилиш учун гуруҳларнинг уланиш кетма-кетлиги одатда қуйидаги тартибда бажарилади. Биринчи гуруҳ етакловчи бўғинга (ёки 1-синф механизмига) ва пойга уланади. Агар бир неча эркинлик даражасига эга механизм ҳосил қилиш зарурати бўлса, гуруҳ бир нечта етакловчи бўғинга (ёки бир нечта 1-синф механизмига) уланади. Табиийки, $W_r=0$ бўлгани сабабли, механизмнинг умумий қўзғалувчанлик даражаси етакловчи бўғинлар ёки 1-синф механизмлари қўзғалувчанликлари йиғиндисига тенг бўлади. Янада мураккаброқ механизм ҳосил қилиш учун етакловчи бўғинга бир нечта гуруҳларни улаш ёки бу мақсад учун янада мураккаброқ гуруҳлардан фойдаланиш мумкин.

1.4.2. Десир тузувчи гуруҳлари

Юқорида айтилгандай, техникада қўлланиладиган ва янгидан барпо қилинадиган исталган механизмнинг тузилиши, жумладан ундаги бўғинлар ва кинематик жуфтликлар сони ва синфи қандайдир тамойилга мос келиши, яъни шартлар ва қоидаларга жавоб бериши керак. Текис пишангли механизмлар учун бундай қоидаларни рус олими Л.В.Ассур ишлаб чиққан, у академик И.И.Артоболевский томонидан ривожлантирилиб, текис пишангли механизмларни ҳосил қилиш, турлаш ва таҳлил қилиш тамойилига айлантирилган.

Ассур тузувчи гуруҳлари таркибига фақат 5-синф қуйи жуфтликлар киради. Ассур-Артоболевский тамойили текис пишангли механизмлар учун қулай. Уни бошқа турдаги текис механизмлар, масалан, оддий тишли ва муштакли механизмлар учун қўллашнинг ўзи маълум қийинчиликлар билан боғлиқ. Тишли ва муштакли механизмлардаги олий кинематик жуфтликларни қуйи 5-синф кинематик

жуфтликлар билан алмаштириш зарур бўлади. Лекин ҳосил бўлган алмаштирувчи механизмнинг кинематик характеристикаси алмаштирилган механизмники билан бир хил бўлмайди. Бу тамойилни нисбатан мураккаб бўлган тишли-пишангли, муштакли-пишангли механизмлар учун умуман қўллаб бўлмайди.

Албатта, текис пишангли механизмларда бўлганидай, таркибида қуйи ва олий кинематик жуфтликлар бўлган содда (тишли,муштакли) ва мураккаб (тишли-пишангли, муштакли-пишангли ва ҳ.к.) механизмларнинг тузилмалари ҳам қандайдир тамойилга тўғри келиши керак. Яъни уларнинг таркибидаги бўғинлар ва кинематик жуфтликлар сони ва синфи маълум бир шарт ва қоидаларга мос келиши керак. Бўғинларнинг исталган сонда ва тартибда ўзаро боғланиши механизм ҳосил қилмайди. Умумлаштирилган тамойилнинг йўқлиги мураккаб механизмларни барпо қилиш, яъни синтезлаш масаласини қийинлаштиради. Янги механизм яратиш учун кетма-кет яқинлашиш, турли вариантларни қилиб кўриш,адашиш ва танлаш каби ишларни бажариш зарур бўлади.

Юқорида айтилганларни ҳисобга олиб, таркибида қуйи ва олий кинематик жуфтликлари бўлган мураккаб механизмларни яратиш ва таҳлил қилишни осонлаштириш мақсадида биз томонимиздан Десир гуруҳлари деб аталувчи тузувчи гуруҳлар таклиф қилинди ва гуруҳларни тузиш учун қуйидаги тузилиш формуласи асос қилиб олинди:

$$W_r = 3n - 2P_5 - P_4 = 0. \qquad (1)$$

Мураккаб механизм таркибидан бошланғич механизм (механизмлар) олиб ташланганда қоладиган бўғинлар 4- ва 5-синф кинематик жуфтликлар сони ушбу муносабатни қониқтириши керак. 1-жадвалда қўзғалувчан бўғинлар n, 5- ва 4-синф кинематик жуфтликлар P_5 ва P_4 ларнинг (1) шартни қаноатлантирувчи қийматлари келтирилган.

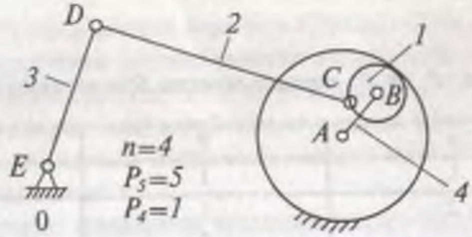
1-жадвал

n, P_5 ва P_4 ларнинг мумкин бўлган қийматлари

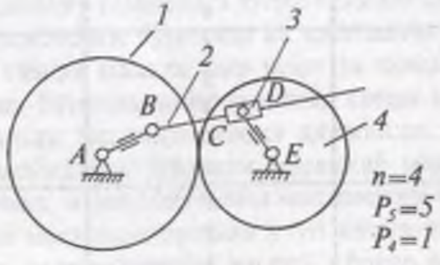
n	P_5	P_4
1	1	1
2	1 2	4 2
3	1 2 3 4	7 5 3 1
4	1 2 3 4 5	10 8 6 4 2
5	1 2 3 4 5 6 7	13 11 9 7 5 3 1
6	1 2 3 4 5 6 7 8	16 14 12 10 8 6 4 2

Жадвалдаги қийматларни таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, n, P_5 ва P_4 ларнинг баъзи муносабатлари (1) шартни қаноатлантирса ҳам, конструктив нуқтаи назардан улар тузувчи гуруҳ ҳосил қила олмайди. Техникада мавжуд мураккаб механизмлар тузилишини (1) шарт бўйича таҳлил қилишдан маълум бўлдики, Десир гуруҳлари яна қуйидаги қўшимча шартларга жавоб бериши керак:

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ У/2621



1.10-расм.



1.11-расм.

1) $P_5 \geq n$

2) n тоқ бўлса P_4 ҳам тоқ бўлиши,

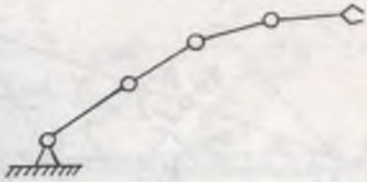
n жуфт бўлса P_4 ҳам жуфт бўлиши зарур.

1.10 ва 1.11-расмларда (1) ва қўшимча шартлар асосида ҳосил қилинган Десир гуруҳли механизмларнинг схемаларидан намуналар келтирилган.

2.ТЕКИСЛИКДА ҲАРАКАТ ҚИЛУВЧИ ПИШАНГЛИ МЕХАНИЗМЛАР КИНЕМАТИКАСИ

Маълумки, илмий-техника тараққиётининг асосий ривожланиш тенденциясини роботлар, роботлаштирилган комплекслар ва мосланувчи автоматик ишлаб чиқаришни белгиловчи машинасозлик ташкил қилади.

Роботлар орасида саноат роботлари энг содда структурага (тузилишга, 2.1-расм) эга. Кинематика нуқтаи назаридан бу робот битта қотирилишга эга оддий механизм-



2.1-расм.

дан (уни яна очиқ занжир деб ҳам аталади) фарқ қилмайди.

Кинематика нимани ўрганади?

Кинематиканинг асосий вазифаси механизмлар ҳаракатини уларга таъсир қилувчи кучларни ҳисобга олмаган ҳолда таҳлил қилишдан иборатдир. Аслида бу ҳаракат ҳаракатлантирувчи кучлар таъсирида юзага келади, бунда қаршилик кучлари, кинематик жуфтлардаги ишқаланиш кучлари ва ҳ.к. пайдо бўлади. Лекин ўрганишни соддалаштириш учун даставвал бу кучлар ҳисобга олинмайди.

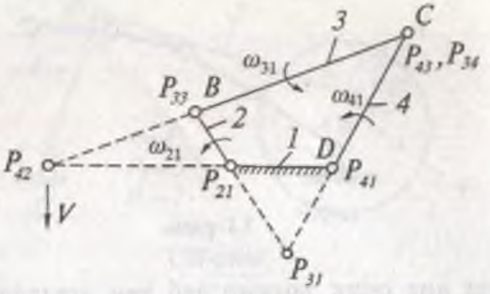
Ҳаракат бирор нарсага нисбатан содир бўлади, чунки аслида абсолют ҳаракатлар умуман йўқ. Ер устидаги жисмлар ерга ва бир-бирига нисбатан, ер қуёшга нисбатан, қуёш эса бошқа галактикаларга ва ҳ.к. нисбатан ҳаракат қилади.

Биз ердаги механикани текширганимиз учун ерга нисбатан ҳаракатни абсолют деб, қўзғалмас бўғинни эса шартли равишда ерга қотирилган деб ҳисоблаймиз.

Шундай қилиб, агар механизм бўғини пойга нисбатан ҳаракат қилса, бу ҳаракат абсолют деб, қўзғалувчан бўғинга нисбатан ҳаракат эса нисбий деб қабул қилинади.

2.1. Оний айланиш маркази (ОАМ)

Назарий механикадан маълумки, қаттиқ жисмнинг текис параллел ҳаракатида вақтнинг ҳар бир онидаги ҳаракатга оний айланиш маркази деб аталувчи нуқта атрофидаги айланиш деб қаралиши мумкин (2.2-расм). Бунда агар ҳаракат пойга нисбатан содир бўлса, унга мос оний айланиш маркази (P_{31}, P_{21}, P_{41}) текширилаётган бўғиннинг абсолют ҳаракатидаги оний айланиш маркази деб



2.2-расм

аталади. Ҳаракат қўзғалувчан бўғинга нисбатан қаралганда эса, унга мос оний айланиш марказини кўрилаётган бўғинларнинг нисбий ҳаракатидаги оний айланиш маркази деб аталади.

2.2-расмдан кўриниб турибдики, оний айланиш марказлари бўғинлар нуқталарининг тезликлари йўналишларига перпендикуляр чизиқлар кесишган нуқталарда жойлашади.

Масалан, P_{42} оний айланиш маркази P_{32} ва P_{42} ҳамда P_{21} ва P_{41} нуқталарни бирлаштирувчи чизиқларда ётиши керак. Оний айланиш марказининг бу хоссаси инглиз олими Кеннеди томонидан исботланган.

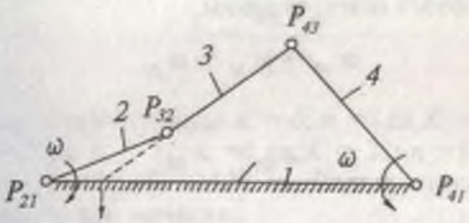
2.2. Механизм бўғинларининг тезликлари орасидаги муносабатлар

Механизм ҳар бир бўғинининг мос ОАМ атрофида айланиши вақтнинг кўрилаётган онидаги қандайдир оний бурчак тезлик $(\omega_{21}, \omega_{41}, \omega_{31})$ билан содир бўлади. Уларнинг муносабатларини топиш учун ОАМ чизиқли тезликлар умумийлик хоссаларидан фойдаланилади.

$V = \omega_{21}\,(P_{21}P_{42}) = \omega_{41}\,(P_{41}P_{42})$ бўлгани учун

$$\frac{\omega_{21}}{\omega_{41}} = \frac{P_{41}P_{42}}{P_{21}P_{42}}.$$

Яъни 2- ва 4-бўғинларнинг пой 1 га нисбатан бурчак тезликлари 2- ва 4-бўғинларнинг абсолют ҳаракатидаги



2.3-расм.

ОАМ гача бўлган масофаларга тескари пропорционал бўлакларда бўлади (2.3-расм).

Бунда агар P_{42} P_{21} P_{41} тўғри чизиғи ташқи томондан бўлинса (2.4-расм), ω_{21} ва ω_{41} бурчак тезликлар бир хил йўналишда, агар ички томондан бўлинса, турли йўналишда бўлади.

2.4-расмдан

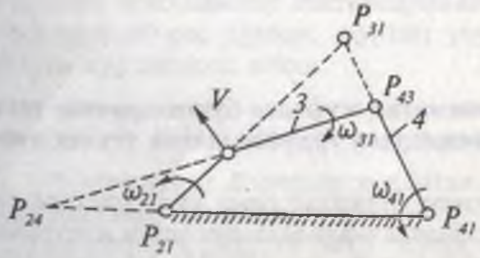
$$V = \omega_{21}\,(P_{21}P_{32}) = \omega_{31}\,(P_{31}P_{32}) \text{ дир.}$$

Бу ерда ω_{21} ва ω_{31} турли ишораларга эга бўлгани учун

$$-\frac{\omega_{21}}{\omega_{31}} = \frac{P_{31}P_{32}}{P_{21}P_{32}}.$$

Худди шундай тарзда

$$-\frac{\omega_{31}}{\omega_{41}} = \frac{P_{41}P_{43}}{P_{31}P_{43}}.$$



2.4-расм.

Шуни ҳисобга олиш керакки,

$$\omega_{32} = \omega_{31} - \omega_{21}$$

ёки

$$\omega_{34} = \omega_{31} - \omega_{41}$$

2.3. Узатиш нисбатлари

Механизм икки бўғинининг бурчак тезликлари нисбати узатиш нисбати дейилади ва i ҳарфи билан белгиланади:

$$i_{24} = \frac{\omega_{21}}{\omega_{41}} = -\frac{P_{41}\,P_{42}}{P_{21}\,P_{42}}.$$

Бўғинларнинг бурчак тезликлари пойга нисбатан аниқланган бўлса, иккинчи индексни тушириб қолдириш қабул қилинган, яъни

$$i_{24} = \frac{\omega_2}{\omega_4}.$$

Худди шундай

$$i_{42} = \frac{\omega_4}{\omega_2}.$$

Охирги икки ифодани ўзаро таққослаш шуни кўрсатадики,

$$i_{24} = \frac{1}{i_{42}}$$

2.4. Кинематик жуфтлар бўғинларининг тезлик ва тезланишларини графоаналитик усулда аниқлаш

Механизмда бўгинлар сони кўп бўлганда оний айланиш марказларидан фойдаланиш усули ноқулайдир, чунки n — бўғинли механизмнинг ОАМ сони тенг бўлади:

$$K = \frac{n(n-1)}{2}.$$

Масалан, $n = 4$ бўлганда $K = 6$; $n = 5$ да $K = 10$; $n = 6$ да $K = 15$; $n = 7$ да $K = 21$; $n = 8$ да $K = 28$; $n = 9$ да $K = 36$. Ундан ташқари баъзан ОАМ чизмадан ташқарида жойлашиб қолиши ҳам мумкин.

Назарий механикадаги қоидани қўллайлик. Бу қоидага кўра ўзгармас ясси фигуранинг унга параллел текисликдаги исталган ҳаракати шу фигуранинг ихтиёрий танланган нуқтаси (қутб) билан барча кўчирма илгариланма ҳаракат ва қутб атрофидаги ҳаракатидан ташкил қилиниши мумкин.

Шунинг учун C нуқта тезлиги қутб (B нуқта орқали) қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\overline{V}_C = \overline{V}_B + \overline{V}_{CB} ,$$

бу ерда $\overline{V}_{CB}$ — C нуқтанинг B нуқтага нисбатан чизиқли тезлиги.

Тезлик $\overline{V}_{CB}$ узунлик L_{BC} ёки BC нинг бурчак тезликка кўпайтмасига тенг ва бурчак тезлик томонига йўналган.

Худди шундай равишда C нуқта тезланиши тенг бўлади.

$$\overline{a}_C = \overline{a}_B + \overline{a}_{CB} .$$

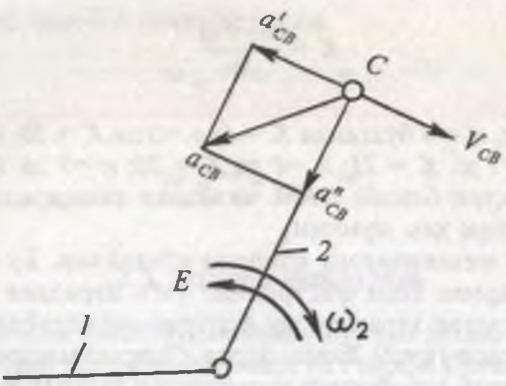
Қайд қилиш керакки, бу йиғиндилар геометрик йиғиндилардир.

Нисбий айланма ҳаракат тезланишининг вектори a_{CB} нормал ва уринма тезланишлар векторларининг геометрик йиғиндисидан иборат бўлади, шунинг учун охирги ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$\overline{a}_C = \overline{a}_B + \overline{a}^n_{CB} + \overline{a}^\tau_{CB} .$$

бу ерда $\overline{a}^n_{CB}$ —C нуқтанинг B нуқтага нисбатан ҳаракатидаги нормал тезланиши вектори;

$\overline{a}^\tau_{CB}$ — C нуқтанинг B нуқтага нисбатан ҳаракатидаги уринма тезланиши вектори.



2.5-расм

1- ва 2-бўғинлар айланма кинематик жуфтга кирган бўлсин (2.5-расм).

B нуқтани қутб сифатида қабул қилиб оламиз, яъни

$$\overline{V}_C = \overline{V}_B + \overline{V}_{CB}\ .$$

бу ерда

$$V_{CB} = \omega_2 L_{BC}$$

$$\overline{a}_C = \overline{a}_B + \overline{a}^{n}_{CB} + \overline{a}^{\tau}_{CB}\ .$$

бу ерда

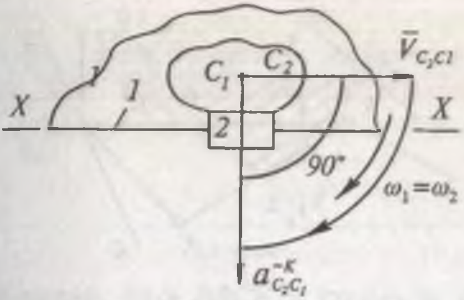
$$a^{n}_{CB} = \left[\frac{V_{CB}{}^2}{L_{BC}}\right] = \omega_2^2 L_{BC}\ .$$

Ундан ташқари

$$a^{\tau}_{CB} = \left[\frac{dV_{CB}}{dt}\right] = [\varepsilon_2]\, L_{BC}\ .$$

бу ерда e_2 — 2-бўғин бурчак тезланиши.

Агар кинематик жуфт илгариланма ҳаракат қилувчи бўғинли бўлса, (2.6-расм), 2-бўғинга тегишли C_2 нуқтанинг тезлиги 1-бўғинга тегишли C_1 нуқта тезлигига қуйидаги тенглама орқали боғланган бўлади:



2.6-расм

$$\bar{V}_{C2} = \bar{V}_{C1} + \bar{V}_{C2C1}$$

бу ерда $\bar{V}_{C1}$ —1-бўғин (йўналтирувчи XX) нинг қурилаётган ҳолда 2-бўғин C_2 нуқтаси билан мос келувчи C_1 нуқтасининг илгариланма ҳаракатидаги тезлиги;

$\bar{V}_{C2C1}$ — 2-бўғиннинг 1-бўғинга нисбатан ҳаракатидаги ва йўналтирувчи XX га параллел йўналган тезлик.

Тезланиш

$$\bar{a}_{C2} = \bar{a}_{C1} + a^{-K}_{C2C1} + a^{-r}_{C2C1}$$

бу ерда $\bar{a}_{C1}$ — C_1 нуқта тезланиши;

a^{-K}_{C2C1} —йўналтирувчи XX га перпендикуляр йўналган бурилиш тезланиши (Кориолис тезланиши)

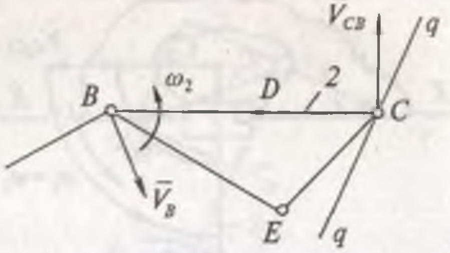
Кориолис тезланиши a_{C2C1} га тенг

$$a^{r}_{C2C1} = 2\,wV_{C2C1}$$

бу ерда ω_2 — 2-бўғиннинг 1-бўғин бурчак тезлиги ω_1 га тенг бўлган бурчак тезлиги;

a^{r}_{C2C1} — 2-бўғиннинг 1-бўғинга нисбатан ҳаракатидаги ва XX йўналтирувчи параллел йўналган тезланиш (релятив тезланиш).

$\bar{a}^{r}_{C2C1}$ — йўналишини аниқлаш учун нисбий тезлик вектори V_{C2C1} ни ω_1 йўналиши бўйича 90^0 га буриш керак (2.6-расм).



2.7-расм

Юқоридаги тенгламалар график йўл билан бўғинларнинг тезлик ва тезланишлар режаларини қуриш усули орқали ечилиши мумкин.

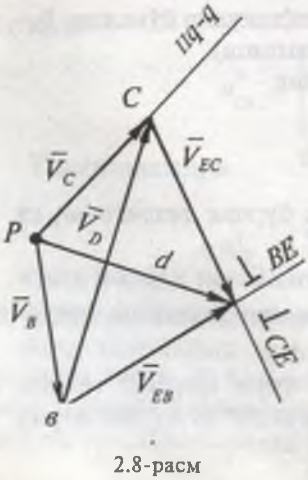
$\overline{V}_B$ тезлик векторининг катталиги ва 2-бўғин *C* нуқтасининг тезлик вектори $\overline{V}_C$ йўналиши *q-q* берилган. V_C, $V_Д$, V_E ва w_2 ни (2.7-расм) аниқлаш керак бўлсин.

Ихтиёрий олинган *P* нуқтадан (уни тезликлар қутби деб атайлик) $\overline{V}_B$ векторини қўямиз (2.8-расм). Вектор охиридан, яъни $\overline{B}$ нуқтадан V_C векторининг *q-q* йўналиши бўйича *P* нуқтадан чиқазилган тўғри чизиқ билан кесишгунча $\overline{V}_{CB}$ вектори йўналишида (*св*) тўғри чизиқ ўтказамиз. Натижада 2-бўғиннинг тезликлар режаси деб аталувчи *DPbc* ни ҳосил қиламиз: Тезлик режаси қурилгандан сўнг бу бўғиннинг исталган нуқтаси тезлигини оддийгина аниқлаш мумкин. Масалан, бўғиннинг *E* нуқтаси тезлигини топиш учун қуйидагига эга бўламиз:

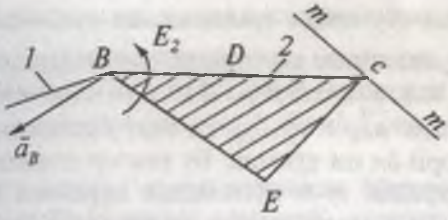
$$\overline{V}_E = \overline{V}_B + \overline{V}_{EB}$$

$$\overline{V}_E = \overline{V}_C + \overline{V}_{EC} ,$$

яъни V_E вектор охири *е* нуқта *BE* ва *CE* йўналишларига перпендикуляр равишда *b* ва *c* нуқталаридан ўтказилган икки тўғри чизиқ кесишган жойида ётади.



2.8-расм



2.9-расм

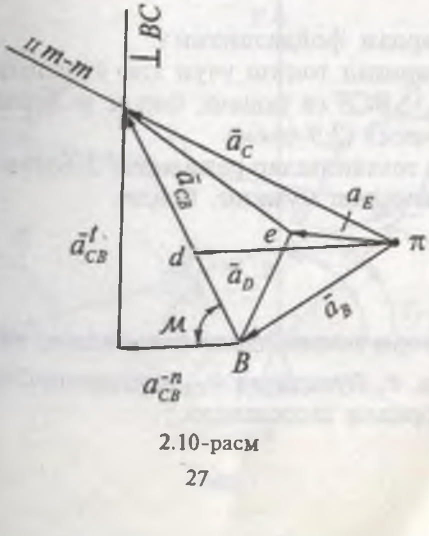
Шундай қилиб, *Dbce DBCE* га ўхшаш ва унга нисбатан *90* га бурилган бўлади (2.7 ва 2.8-расмлар). *Д* нуқта тезлигини топиш керак бўлса, қуйидаги пропорциядан фойдаланамиз:

$$\frac{V_{ДE}}{V_{CB}} = \frac{bd}{bc} = \frac{BД}{BC}$$

2-бўғин бурчак тезлигини $w_2 = \frac{V_{CB}}{L_{BC}}$ ифодадан аниқлаймиз.

Энди худди шу нуқталарнинг тезланишларини аниқлайлик (2.9 ва 2.10-расмлар) $\bar{a}_B$ тезланиш векторининг катталиги ва a_C векторининг йўналиши *m-m* берилган бўлсин.

$\bar{a}_Д, \bar{a}_C, \bar{a}_E$ ва e_2 ни аниқлаш керак.



2.10-расм

π нуқтадан (бу нуқта тезланишлар қутби деб аталади ва $\bar{a}_{\pi} = 0$) a_B тезланиш векторини жойлаштирамиз, унинг охиридан (b нуқтадан) C нуқтадан B нуқтага қараб йўналган ва қиймати $\bar{a}^{n}_{CB} = w_2^2 \cdot L_{CB}$ га тенг бўлган нормал тезланиш вектори bn ни қўямиз. Бу вектор учидан (n нуқтасидан) π нуқтадан m-m йўналишга параллел ўтказилган тўғри чизиқ билан кесишгунча (c нуқтада) bc ни чиқазамиз. Қурилган фигура πbnc 2-бўғин тезланишлари режаси деб аталади.

$\bar{a}_{CB}$ ни тасвирловчи cb кесма механизмдаги BC кесма йўналиши билан m бурчак ҳосил қилади.

Бунда

$$tg\mu = \frac{nc}{bn} = \frac{a^{\tau}_{CB}}{a^{n}_{CB}} = \frac{\varepsilon_2 l_{CB}}{w_2^2 l_{BC}} = \frac{\varepsilon_2}{w_2^2}.$$

Шундай қилиб, 2-бўғин нуқталарининг абсолют тезланишлари мос нуқтадан B нуқтага ўтказилган радиус-векторлари билан қиймати бир хил m бурчак ташкил қилади.

$\bar{a}_{ДB}$ топиш учун худди илгаридай

$$\frac{a_{ДB}}{a_{CB}} = \frac{L_{ДB}}{L_{CB}} = \frac{db}{cb}$$

пропорциялардан фойдаланамиз.

a_E тезланишини топиш учун ҳам ўхшашлик усулидан фойдаланиб, ΔBCE га ўхшаш, бироқ m бурчакка бурилган Δbce қурамиз (2.9-расм).

Қурилган тезланишлар режасидан 2-бўғин бурчак тезланишини аниқлаш мумкин, бунда

$$\varepsilon_2 = \frac{a^{\tau}_{CB}}{L_{BC}}$$

$\bar{a}^{\tau}_{CB}$ вектори тезланишлар режасида nc кесма тарзида тасвирланган. ε_2 йўналиши $\bar{a}^{\tau}_{CB}$ векторини C нуқтага фикран қўйиш орқали аниқланади.

2.5. Кинематик таҳлилнинг аналитик усули

Механизмлар кинематикасини текширишнинг ЭҲМ-дан фойдаланиб ечиладиган аналитик усули ҳисобларни тезлаштириш ва уларнинг аниқлигини ошириш имконини беради.

Бу усулга асосан аввал механизм бўғинларидан берк вектор контурлари ҳосил қилиниб, уларнинг тенгламалари тузилади, сўнгра бу тенгламалар кетма-кет дифференциалланиб чизиқли ва бурчак тезлик, тезланишлар аниқланади.

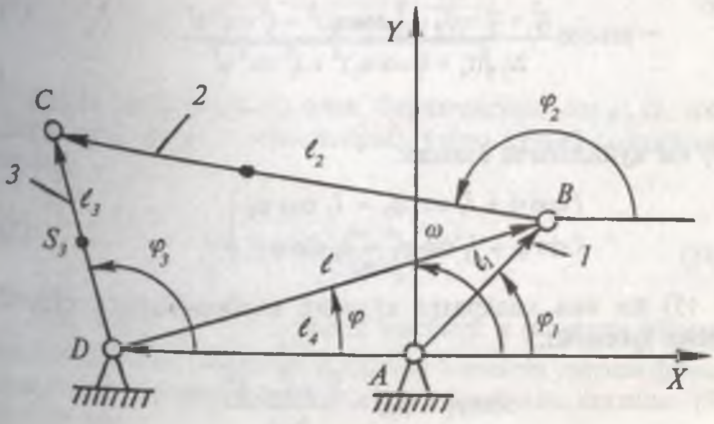
Мисол тариқасида тўрт бўғинли пишангли механизмни кўриб чиқайлик (2.11-расм). Тузилган берк контур *ABCD* учун вектор тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\bar{l}_1 + \bar{l}_2 = \bar{l}_3 + \bar{l}_4 \qquad (1)$$

(1) ни координат ўқларига проекциялаб ҳосил қиламиз:

$$\left.\begin{array}{l} l_1 \cos\varphi_1 + l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \cos\varphi_3 - l_4 \\ l_1 \sin\varphi_1 + l_2 \sin\varphi_2 + l_3 \sin\varphi_3 \end{array}\right\} \qquad (2)$$

l_1, φ_1 ва l_4 қийматлари маълум бўлгани учун l векторини киритамиз, унинг модули тенг:



2.11-расм

$$l = \sqrt{(l_4 + l_1 \cos\varphi_1)^2 + l_1^2 \sin^2 \varphi_1}\ ,$$

абсцисса ўқи билан ҳосил қилган бурчак эса қуйидагича ифодаланади:

$$\cos\varphi = \frac{l_4 + l_1 \cos\varphi_1}{l};\quad \sin\varphi = \frac{l_1 \sin\varphi_1}{l}.$$

Унда (2) ни ёзиш мумкин:

$$\left.\begin{aligned} l\cos\varphi + l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \cos\varphi_3 \\ l\sin\varphi + l_2 \sin\varphi_2 + l_3 \sin\varphi_3 \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

(3) ни квадратга кўтарамиз ва бир-бирига қўшиб, ўзгартиришлардан кейин оламиз:

$$\cos(\varphi - \varphi_2) = \frac{l_3^2 - l_3^2 - l^2}{2ll_2}$$

Бу ерда

$$\varphi_2 = \arccos\frac{l_4 + l_1 \cos\varphi_1}{\sqrt{(l_4 + l_1 \cos\varphi_1)^2 + l_1^2 \sin^2\varphi^1}} -$$

$$-\arccos\frac{l_3^2 - l_2^2 - (l_4 + l_1 \cos\varphi_1)^2 - l_1^2 \sin^2\varphi^1}{2l_2\sqrt{(l_4 + l_1 \cos\varphi_1)^2 + l_1^2 \sin^2\varphi^1}} \qquad (4)$$

(3) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\left.\begin{aligned} l\cos\varphi + l_3 \cos\varphi_3 = l_2 \cos\varphi_2 \\ l\sin\varphi + l_3 \sin\varphi_3 = l_2 \sin\varphi_2 \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

(5) ни яна квадратга кўтариб ва бир-бирига қўшиб ҳосил қиламиз:

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_3) = \frac{l_2^2 + l_3^2 - l^2}{2l_2l_2};$$

Унда

$$\varphi_3 = \varphi_2 - \arccos\frac{l_2^2 - l_3^2 - (l_4 + l_1\cos\varphi_1)^2 - l_1^2\sin^2\varphi_1}{2l_2l_3} \qquad (6)$$

(4) ва (6) ифодалар мос ҳолда 2- ва 3-бўғинларнинг ҳолат функциялари деб аталади.

Бу бўғинларнинг бурчак тезликларини аниқлаш учун (2) тенгламаларни вақт бўйича дифференциялаймиз:

$$\left.\begin{aligned} -l_1\sin\varphi_1\cdot\omega_1 - l_2\sin\varphi_2\cdot\omega_2 &= -l_3\sin\varphi_3\cdot\omega_3 \\ l_1\cos\varphi_1\cdot\omega_1 + l_2\cos\varphi_2\cdot\omega_2 &= l_3\cos\varphi_3\cdot\omega_3 \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

(7) нинг биринчи тенгламасини $\cos\varphi_3$ га, иккинчисини $\sin\varphi_3$ га кўпайтирамиз:

$$\left.\begin{aligned} l_1\omega_1\sin\varphi_1\cdot\cos\varphi_3 + l_2\omega_2\sin\varphi_2\cdot\cos\varphi_3 &= l_3\omega_3\sin\varphi_3\cdot\cos\varphi_3 \\ l_1\omega_1\cos\varphi_1\cdot\sin\varphi_3 + l_2\omega_2\cos\varphi_2\cdot\sin\varphi_3 &= l_3\omega_3\cos\varphi_3\cdot\sin\varphi_3 \end{aligned}\right\} (8)$$

(8) нинг биринчисидан иккинчисини айириб, соддалаштиришлардан кейин

$$\omega_2 = -\omega_1\frac{l_1\sin(\varphi_3 - \varphi_1)}{l_2\sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \qquad (9)$$

Худди шу тарзда (7) нинг биринчисини $\cos\varphi_3$ га, иккинчисини $\sin\varphi_3$ га кўпайтириб, ўзаро қўшиб соддалаштирсак:

$$\omega_3 = -\omega_1\frac{l_1\sin(\varphi_3 - \varphi_1)}{l_2\sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \qquad (10)$$

Маълумки, $\frac{\omega_n}{\omega_1} = U_{n1}$ узатиш нисбати n номерли бўғиннинг етакловчи 1-бўғинга нисбатан биринчи узатиш функцияси ёки бурчак тезликлар аналоги деб ҳам аталади. (9) ва (10) дан

$$U_{21} = \frac{l_1 \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \qquad (11)$$

$$U_{31} = \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \qquad (12)$$

2- ва 3-бўғинларнинг бурчак тезланишларини аниқлаш учун (7) ни яна бир марта дифференциялаймиз:

$$l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 - l_2\varepsilon_1 \sin\varphi_1 + l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_3 =$$

$$-l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\varepsilon_1 \cos\varphi_1 - l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \cos\varphi_2 =$$

$$\left.\begin{aligned} &= l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 - l_3\varepsilon_3 \sin\varphi_3 \\ &= -l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 - l_3\varepsilon_3 \cos\varphi_3 \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

(13) нинг биринчисини $cos\ \varphi_3$ га, иккинчисини $sin\ \varphi_3$ га кўпайтирамиз ва уларни ўзаро қўшиб, соддалаштиришлардан кейин қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\varepsilon_2 = \frac{l_1\omega_1^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_1) + l_2\omega_2^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) + l_3\omega_3^2}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} + \varepsilon_1 \cdot U_{21}; \qquad (14)$$

Худди шундай (13) нинг биринчисини $cos\ \varphi_3$ га, иккинчисини $sin\ \varphi_3$ га кўпайтириб, ўзаро қўшиб ва соддалаштириб

$$\varepsilon_2 = \frac{l_1\omega_1^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + l_3\omega_3^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - l_2\omega_2^2}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} + \varepsilon_1 \cdot U_{31}; \qquad (15)$$

Етакловчи бўғин 1 ўзгармас бурчак тезлик билан ҳаракат қилса, $\varepsilon_2 = 0$.

Агар бўғинларнинг бурчак тезлиги ω ва бурчак тезланишлари ε қийматлари мусбат чиқса, уларнинг йўналишлари φ_1 бурчакнинг ўзгариш йўналиши билан бир хил, яъни етакловчи бўғин билан бир томонга айланади.

2- ва 3-бўғинларнинг массалари марказлари S_2 ва S_3 ҳамда B ва C нуқталарининг ҳолат функцияларини координата ўқларига проекциялар кўринишида тузамиз ва уларни кетма-кет дифференциялаб чизиқли тезланишларни оламиз:

$$\begin{cases} X_B = l_1 \cos\varphi_1; \\ Y_B = l_1 \sin\varphi_1; \end{cases} \quad \begin{cases} V_{B_x} = -l_1\omega_1 \sin\varphi_1; \\ V_{B_y} = l_1\omega_1 \cos\varphi_1; \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{B_x} = -l_1(\omega_1^2 \cos\varphi_1 + \varepsilon_1 \sin\varphi_1); \\ a_{B_y} = -l_1(\omega_1^2 \sin\varphi_1 - \varepsilon_1 \cos\varphi_1). \end{cases} \quad \begin{cases} X_C = l_3 \cos\varphi_3 - l_4; \\ Y_C = l_3 \sin\varphi_3; \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{C_x} = -l_3\omega_3 \sin\varphi_3; \\ V_{C_y} = l_3\omega_3 \cos\varphi_3; \end{cases} \quad \begin{cases} a_{C_x} = -l_3(\omega_3^2 \cos\varphi_3 + \varepsilon_3 \sin\varphi_3); \\ a_{C_y} = -l_3(\omega_3^2 \sin\varphi_3 - \varepsilon_3 \cos\varphi_3). \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{S_2} = l_1 \cos\varphi_1 + l_{BS_2} \cos\varphi_2; \\ Y_{S_2} = l_1 \sin\varphi_1 + l_{BS_2} \sin\varphi_2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{S_x x} = -l_1\omega_1 \sin\varphi_1 - l_{BS_2}\omega_2 \sin\varphi_2; \\ V_{S_x y} = l_1\omega_1 \cos\varphi_1 - l_{BS_2} \cdot \omega_2 \cos\varphi_2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{S_2 x} = -l_1(\omega_1^2 \cos\varphi_1 + \varepsilon_1 \sin\varphi_1) - l_{DS_2}(\omega_2^2 \cos\varphi_2 + \varepsilon_2 \sin\varphi_2); \\ a_{S_2 y} = -l_1(\omega_1^2 \sin\varphi_1 - \varepsilon_1 \cos\varphi_1) - l_{BS_2}(\omega_2^2 \sin\varphi_2 + \varepsilon_2 \cos\varphi_2); \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{S_3} = l_{DS_3} \cos\varphi_3 - l_4; \\ Y_{S_3} = l_{DS_3} \sin\varphi_3; \end{cases} \quad \begin{cases} V_{S_{3x}} = -l_{DS_3}\omega_3 \sin\varphi_3; \\ V_{Sy_y} = l_{DC_3}\omega_3 \cos\varphi_3; \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{S_3 x} = -l_{DC_3}(\omega_{31}^2 \cos\varphi_3 - \varepsilon_3 \sin\varphi_3); \\ a_{S_y} = -l_{DC_3}(\omega_3^2 \sin\varphi_3 - \varepsilon_3 \cos\varphi_3). \end{cases}$$

Ушбу нуқталар тезлик ва тезланишларининг тўлиқ қийматлари тенг бўлади:

$$V_B = \sqrt{V_{Bx}^2 + V_{By}^2} = l_1 \cdot \omega_1; \; a_B = \sqrt{a_{Bx}^2 + a_{By}^2} = l_1\sqrt{\omega_1^4 + \varepsilon_1^2}$$

$$V_C = \sqrt{V_{Cx}^2 + V_{Cy}^2} = l_3 \cdot \omega_3; \; a_C = \sqrt{a_{Cx}^2 + a_{Cy}^2} = l_3\sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}$$

$$V_{S_2} = \sqrt{V_{S_2 y}^2 + V_{S_2 y}^2}; \quad a_{S_2} = \sqrt{a_{S_2 x}^2 + a_{S_2 y}^2}$$

$$V_{S_3} = \sqrt{V_{S_3 y}^2 + V_{S_3 y}^2}; \quad a_{S_3} = \sqrt{a_{S_3 x}^2 + a_{S_3 y}^2}.$$

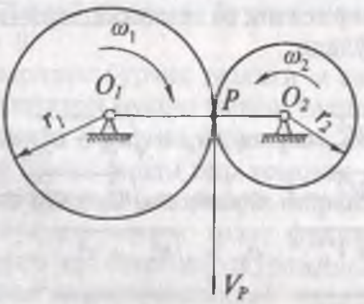
3. УЗАТИШ МЕХАНИЗМЛАРИНИНГ ТАҲЛИЛИ ВА СИНТЕЗИ

Механизмларнинг турли хиллари орасида моментни бир валдан бошқасига узатиш учун хизмат қилувчи, бошқача қилиб айтганда, айланма ҳаракатни узатувчи механизмлар алоҳида ўрин тутади. Бундай механизмларни узатиш механизмлари деб айтилади ва уларнинг таркибига тишли, фрикцион, эгилувчан боғланишли ва бошқа механизмлар киради.

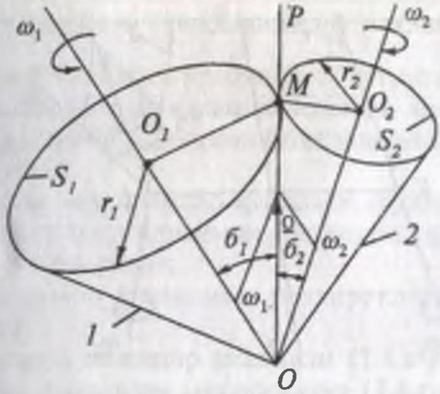
Узатиш механизмлари таркибидаги бўғинлар сони ва уларнинг ўзаро боғланишлари турига кўра содда ва мураккаб бўлади. Бир бўғинли содда механизмларда қўзғалувчан бўғинлар иккита бўлиб, улар ўзаро битта олий ва иккита қуйи кинематик жуфт орқали боғланган бўлади. Эгилувчан бўғинли содда механизмларда эса бўғинлар сони учта ва улар бир-бирига тўртта 5-синф қуйи кинематик жуфт воситасида боғланган.

Мураккаб узатмалар бир неча содда механизмлардан ташкил топиб, уларнинг ҳар бири узатма поғонаси деб аталади. Содда узатмаларда ёки мураккаб узатма бир поғонасида айланувчи бўғинлар геометрик ўқлари параллел, кесишувчан ва айқаш жойлашган бўлиши мумкин. Уларнинг кинематикасини кўриб чиқайлик.

1.Узатма бўғинларининг ўқлари ўзаро параллел бўлсин (3.1-расм).



3.1-расм



3.2-расм

Бўғинларнинг умумий уриниш нуқтаси P уларнинг ўзаро нисбий ҳаракатидаги оний айланиш маркази бўлиб, унинг айланма тезлиги

$$V_p = \omega_1 l_{0_1p} = -\omega_2 l_{0_2p},$$

бу ерда

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{l_{0_2p}}{l_{0_1p}} = const$$

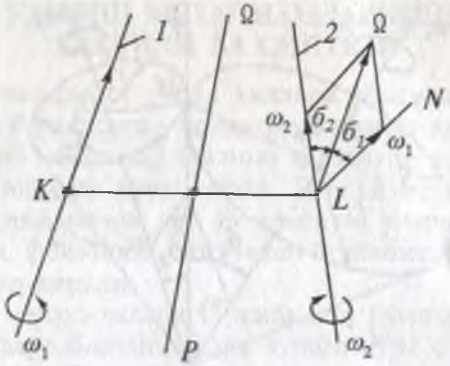
$\frac{\omega_1}{\omega_2}$ нисбат узатма узатиш нисбати деб аталади ва U_{12} ифода билан белгиланади. Демак, ўзаро уриниб айланма ҳаракат қилувчи икки бўғин орасидаги узатиш нисбати агар ҳаракат сирпанишсиз бўлса, ўзгармас қийматга эга бўлади. U_{12} нисбатнинг манфий ишораси бўғинлар айланма ҳаракати бир-бирига тескари эканлигини билдиради.

Агар бўғинлар доиравий бўлса $l_{0_1p} = r_2;\ l_{0_2p} = r_2,$ унда

$$U_{12} = -\frac{r_2}{r_1}$$

2. Узатма бўғинларининг ўқлари кесишувчан бўлсин (3.2-расм). Унда узатиш нисбати

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_2}{r_1} = -\frac{l_{0_p}\sin\delta_2}{l_{0_p}\sin\delta_1} = -\frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1} = const$$



3.3-расм

бу ерда r_1, r_2 - 1- ва 2-бўғинларнинг ўқларига перпендикуляр текисликларнинг айланишида ҳосил бўлган конусларнинг айлана асослари радиуслари.

Чўққиси 1- ва 2-бўғинларнинг ўқлари кесишадиган M нуқта бўлган конуслар оксоидалар, ўқлар ва конус ҳосил қилувчи чизиқлар орасидаги δ_1 ва δ_2 бурчаклар эса бўлувчи конусларнинг бурчаклари дейилади.

3. Бўғинларнинг ўқлари айқаш (3.3-расм) бўлса

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{l_{LO}\sin\delta_2}{l_{KO}\sin\delta} = const$$

$$\frac{l_{KO}}{l_{LO}} = \frac{tg\delta_1}{tg\delta_2}$$ бўлгани учун $$\frac{l_{LO}\cos\delta_2}{l_{KO}\cos\delta_1} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}$$

яъни $$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}.$$

Бундай қонуният гиперболоидасимон ғилдираклар воситасида амалга оширилади.

3.1 Фрикцион (ишқаланишли) механизмлар

Етакловчи бўғиндан етакланувчи бўғинга томон ҳаракат улар орасидаги ишқаланиш кучлари ҳисобига узатилувчи механизмлар фрикцион (ишқаланишли) механизмлар деб аталади.

Фрикцион механизмлар қуйидаги турларга бўлинади:

— доиравий цилиндрсимон фрикцион ғилдиракли механизмлар (3.4,а-расм);

— конуссимон фрикцион ғилдиракли механизмлар (3.4,б-расм);

— фрикцион планетар механизм (3.4,в-расм);

— рўпара фрикцион механизмлар (3.4,г-расм);

— ғилдирак ва роликнинг айқаш ўқлари орасидаги поғонасиз узатма (тезлик вариаторлари) кўринишидаги фрикцион механизм (3.4,е-расм).

Юқорида чиқазилган муносабатлар фрикцион механизмларга ҳам тўғри келади, яъни: доиравий фрикцион ғилдираклар бўлганда (3.4,а-расм)

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm\frac{r_2}{r_1}.$$

Конуссимон фрикцион ғилдираклар бўлганда (3.4б-расм)

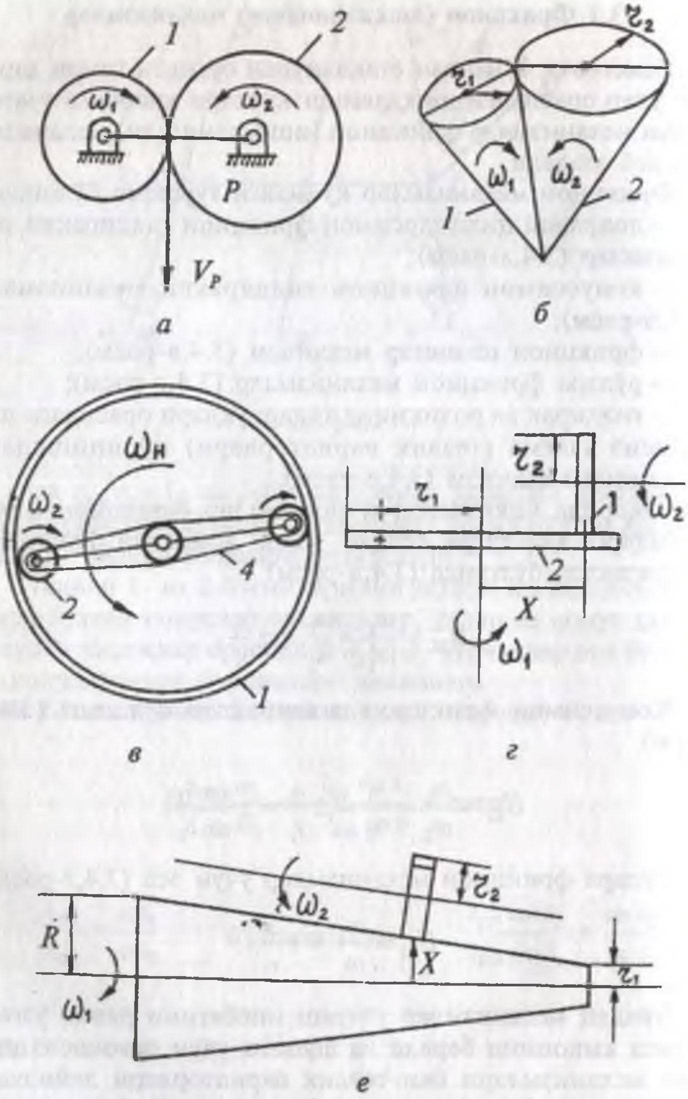
$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm\frac{r_2}{r_1} = \pm\frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}.$$

Рўпара фрикцион механизмлар учун эса (3.4,г-расм)

$$U_{12} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm\frac{x}{r_2}.$$

Бундай механизмлар узатиш нисбатини равон ўзгартириш имконини беради ва шунинг учун поғонасиз узатиш механизмлари ёки тезлик вариаторлари дейилади. Худди шундай қонуниятга 3.4е-расмда кўрсатилган вариаторлар ҳам эга бўлади, уларда узатиш нисбати

$$U_{12} = -\frac{r_2}{x} = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$ чунки $r \le X \le R$.



3.4-расм

Фрикцион планетар узатмаларда тезликлар ўзгаришининг қонунлари ҳамда узатиш нисбатларини аниқлаш йўллари тишли планетар механизмларга ўхшаш бўлади.

Шуни ҳисобга олиш керакки,фрикцион узатмаларда уларнинг технологик функциясини бажарувчи ишқаланишдан ташқари бўғинлар ўртасидаги сирпаниш ҳодисаси ҳам содир бўлади. Бу эса уларнинг умумий узатиш нисбати аниқлигининг вақт мобайнида ўзгаришига олиб келади. Масалан, 1-бўғин P нуқтада (3.1-расм) V_1 чизиққа эга бўлса, сирпаниш натижасида 2-бўғин тезлиги $V_2 < V_1$ бўлади. Бу фаркни ҳисобга олиш учун сирпаниш коэффициенти e киритилган, яъни:

$$\varepsilon = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - \frac{V_1}{V_2} = 1 - \frac{\omega_1 r_2}{\omega_1 r_1}.$$

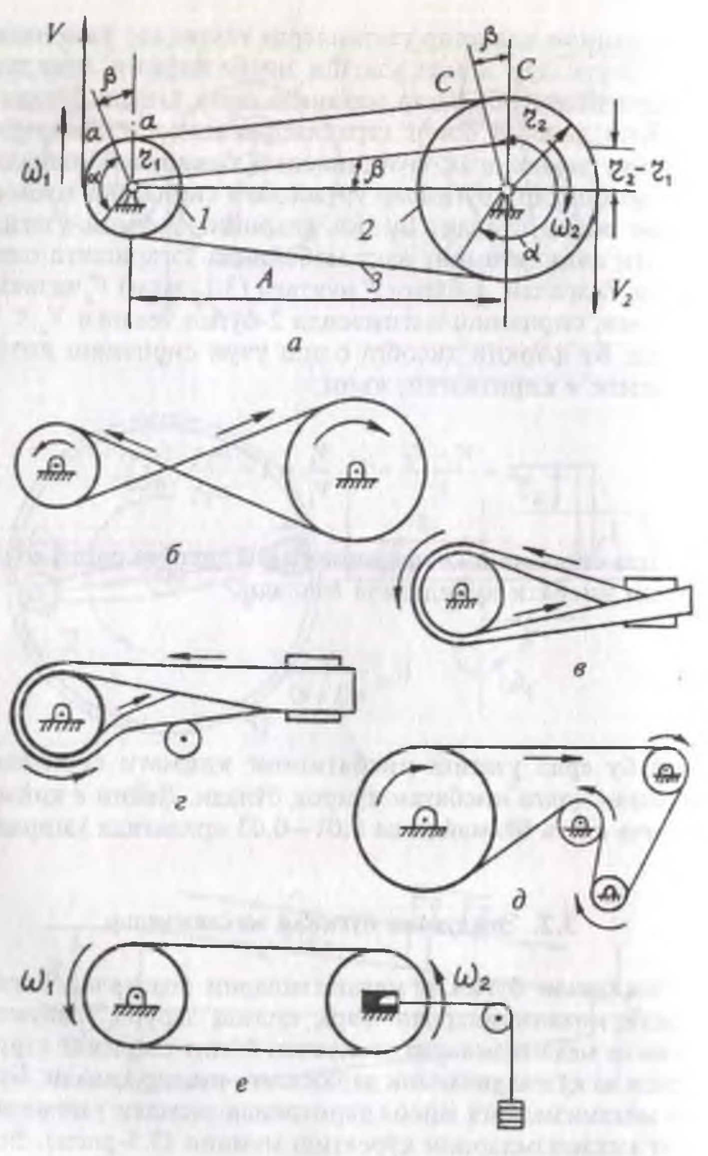
Унда сирпаниш коэффициентини ҳисобга олган ҳолда узатиш нисбати қуйидагича ёзилади:

$$U_{12} \frac{r_2}{r_1(1-\varepsilon)}.$$

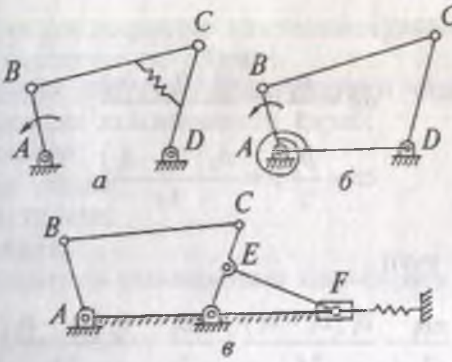
яъни бу ерда узатиш нисбатининг қиймати сирпаниш бўлмаган ҳолга нисбатан кўпроқ бўлади. Лекин e қиймати унча катта бўлмайди ва 0,01—0,03 оралиғида ўзгаради.

3.2. Эгилувчан бўғинли механизмлар

Эгилувчан бўғинли механизмларни эгилувчан богланишли механизмлардан фарқ қилиш зарур. Эгилувчан бўғинли механизмларда эгилувчан бўғин уларнинг структураси ва қўзғалувчанлик даражасига таъсир қилади. Бундай механизмларга мисол тариқасида тасмали узатмаларнинг механизмларини кўрсатиш мумкин (3.5-расм). Эгилувчан боғланишли механизмларда эса эгилувчан элементар (3.6-расм) уларнинг структурасининг таҳлилида инобатга олинмайди, яъни қўзғалувчанлик даражасига таъсир қилмайди.



3.5-расм



3.6-расм

Тасмали узатмалар оддий (3.5,а,б,в,г) ва тарангланувчи (3.5,е-расм) бўлади. Оддий тасмали узатмалар ўз навбатида, очиқ (3.5,е-расм), (3.5,б-расм), ярим очиқ (3.5,в-расм) ва бурчакли (3.5,г-расм) жойлашиши мумкин.

Оддий очиқ жойлашган тасмали узатма учун параметрларнинг ўзаро боғланишини кўриб чиқайлик. Шкивнинг тасма билан қамралиш бурчаги

$$\alpha_{1,2} = \pi \pm 2\beta = 180^\circ \pm 2\beta$$

3.5а-расмдан

$$\sin\beta \approx \beta = \frac{r_2 - r_1}{A}.$$

Агар b бурчакни градусда ифодаласак

$$\beta^\circ = \frac{r_2 - r_1}{A} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{A} \cdot \frac{360^\circ}{6{,}28} = \frac{r_2 - r_1}{A} \cdot 57{,}3^\circ$$

ёки $$\alpha = 180^\circ - \frac{2(r_2 - r_1)}{A} \cdot 57{,}3^\circ$$

Тасма узунлиги

$$Q = \frac{\pi D_1}{2} - 2aa + \frac{\pi D_1}{2} + 2cc + 2\sqrt{A^2 - \frac{(D_2 - D_1)^2}{4}};$$

3.5а-расмдан

$$aa = \frac{D_1}{2}\cdot\beta = \frac{D_1\left(D_2 - D_1\right)}{4A};$$

$$cc = \frac{D_2}{2}\beta = \frac{D_2\left(D_2 - D_1\right)}{4A}.$$

Шунинг учун

$$Q = \frac{\pi D_1}{2} - \frac{D_1\left(D_2 - D_1\right)}{2A} + \frac{\pi D_2}{2} - \frac{D_2\left(D_2 - D_1\right)}{2A} +$$

$$+2\sqrt{A^2\frac{\left(D_2 - D_1\right)^2}{4}} = \frac{\pi}{2}\left(D_2 - D_1\right) + \frac{\left(D_2 - D_1\right)^2}{2A} +$$

$$+ 2\sqrt{A^2\frac{\left(D_2 - D_1\right)^2}{4}}.$$

Илдиз тагидаги ифодани ёйиб ва унинг биринчи икки ҳадини $\frac{\left(D_2 - D_1\right)^4}{16A^2}$ хатолик билан ҳисобга олсак,

$$Q = \frac{\pi}{2}\left(D_2 + D_1\right) + 2A + \frac{\left(D_2 - D_1\right)^2}{4A}.$$

3.3. Тишли механизмлар

Тишли механизмлар техникада энг кўп тарқалгандир. Тишли механизмлар деб ҳаракатни тишли ғилдираклар (ёки тишли тахтачалар), яъни кетма-кет жойлашган бо-тиқлари ва дўнгликларининг ён сиртлари бир-бирига думаланиши мумкин бўлган ғилдираклар (ёки тахтачалар) ёрдамида узатувчи механизмларга айтилади.

Белгилари бўйича тишли механизмлар бир неча турларга бўлинади:

а) ғилдираклар ўқларининг бир-бирига нисбатан жойлашиши бўйича:

параллел (ғилдираклар цилиндрсимон);

кесишган (гилдираклар конуссимон);

айқаш (ғилдираклар айқаш).

б) ғилдирак сиртини ҳосил қилувчи чизиққа нисбатан тишларнинг жойлашишига қараб:

тўғри тишли;

қийшиқ тишли;

шеврон тишли;

эгри тишли.

в) ғилдираклар тишларининг бир-бирига илашишига қараб:

ташқи илашишли;

ички илашишли.

г) ғилдираклар ўқларининг ҳолати бўйича:

қўзғалмас ўқлари кетма-кет ва ўқдош жойлашган;

қўзғалувчан ўқли ғилдираклари планетар жойлашган.

д) поғоналар сони бўйича:

бир поғонали (оддий);

кўп поғонали (мураккаб).

Тишли механизмлар очиқ ёки ёпиқ жойлашган бўлиши мумкин.

3.3.1. Узатиш сони ва нисбати

Етакловчи ва етакланувчи бўғинлар бурчак тезликлари орасидаги нисбат узатиш нисбати деб аталади, яъни

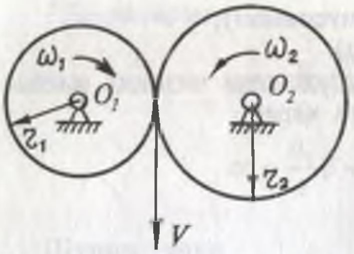
$$И_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n}. \qquad (1)$$

Етакланувчи бўғин бурчак тезлигини пасайтирувчи узатмаларда (редукторларда) $И_{1n} > 1$, кўпайтирувчи узатмаларда (мультипликаторларда) $И_{1n} < 1$.

Узатмадаги тез айланувчи ғилдирак бурчак тезлиги w_m нинг секин айланувчи ғилдирак тезлиги w_c га нисбати узатиш сони дейилади, яъни

$$i_{1n} = \frac{\omega_T}{\omega_C}. \qquad (2)$$

Кўриниб турибдики. ҳар доим $i_{1n} > 1$.



3.7-расм

Демак, узатиш нисбати $И_{1n}$ қиймати айланма ҳаракатни тезлаштириб ёки секинлаштириб узатилишини кўрсатса, узатиш сони i_{1n} бурчак тезликнинг неча марта ўзгарганини кўрсатади, узатиш сони $И_{1n} = i_{1n}$, мультипликаторларда

$$И_{1n} = \frac{1}{i_{1n}}.$$

Эвольвентали тишли илашиш учун қуйидаги теорема ғилдираклар геометрик параметрлари ва уларнинг айланиш тезликлари ўртасидаги боғланишни ифодалайди: илашиш қутби P (3.7-расм) ғилдираклар марказларидан ўтган чизиқни уларнинг бурчак тезликларига тескари нисбатдаги кесмаларга бўлади, яъни

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P}.$$

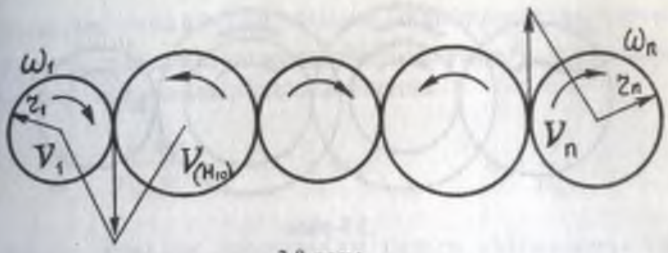
$O_1P = r_1$; $O_2P = r_2$ деб белгиласак ва $\frac{\omega_1}{\omega_2} = U_{12}$ эканлигини ҳисобга олсак.

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}. \qquad (3)$$

Ғилдираклар ташқи илашиш ҳосил қилса, P нуқта марказлараро масофа O_1, O_2 оралиғида жойлашади ва бурчак тезликлари бир-бирига қарама-қарши йўналишда бўлади. Демак, узатиш нисбати U_{12} манфий (-) ишорада олинади.

Ғилдираклар ички илашиш билан ўзаро боғланса, P нуқта марказлараро масофа O_1, O_2 ташқарисида жойлашади ва бурчак тезликлари бир томонга йўналади, яъни узатиш нисбати U_{12} мусбат (+) ишорада белгиланади.

Ғилдираклар кетма-кет жойлашиб, қатор ҳосил қилса (3.8-расм),



3.8-расм

$$U_{12}=\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right|=\left|\frac{r_2}{r_1}\right|;\qquad U_{23}=\left|\frac{\omega_2}{\omega_3}\right|=\left|\frac{r_3}{r_2}\right|;$$

$$U_{34}=\left|\frac{\omega_3}{\omega_4}\right|=\left|\frac{r_4}{r_3}\right|;$$

$$U_{14}=U_{12}\cdot U_{23}\cdot U_{34}=\left(-\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)=\left(-\frac{\omega_2}{\omega_3}\right)=\left(-\frac{\omega_3}{\omega_4}\right)=(-1)^3\frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$U_{14}=\left(-\frac{r_2}{r_1}\right)\left(-\frac{r_3}{r_2}\right)\left(-\frac{r_4}{r_3}\right)=(-1)^3\frac{r_4}{r_1}. \qquad (4)$$

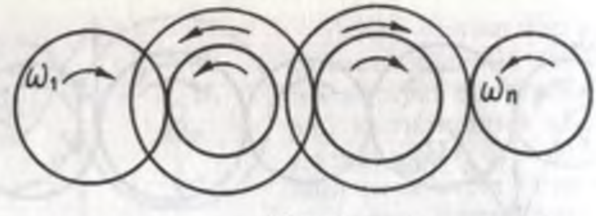
Умумий ҳолда ғилдираклар сони n га тенг бўлса

$$И_{1n}=(-1)^{n-1}\frac{\omega_1}{\omega_n} \quad (4) \quad ёки \quad И_{1n}=(-1)\frac{r_n}{r_1}. \quad (5)$$

(4) ва (5) формулалардан кўриниб турибдики, ғилдираклар кетма-кет қаторда жойлашған узатмаларда оралиқда жойлашган ғилдиракларнинг бурчак тезликлари ва ўлчамлари умумий узатиш нисбати қийматига таъсир қилмайди. Шунинг учун бу ғилдираклар паразит (текинхўр) бўғинлар деб аталади ва улар фақат кинематик занжирни тўлдириш учунгина хизмат қилади.

Кетма-кет жойлашган ғилдираклар бир ўққа жойлашган блоклар орқали боғланса (3.9-расм)

$$U_{14}=U_{12}\cdot U_{23}\cdot U_{34}=\left(-\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)=\left(-\frac{\omega_2}{\omega_3}\right)=\left(-\frac{\omega_3}{\omega_4}\right)=(-1)^3\frac{\omega_4}{\omega_1}$$



3.9-расм

ёки

$$U_{14} = \left(-\frac{r_2}{r_1}\right)\left(-\frac{r_3}{r_2}\right)\left(-\frac{r_4}{r_3}\right) = (-1)^3 \frac{r_2 r_3 r_1}{r_1 r_2 r_3} \text{ бўлади.}$$

Умумий ҳолда

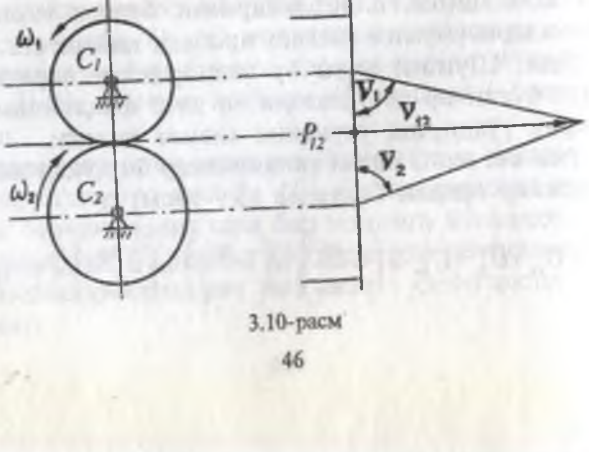
$$U_{1n} = (-1)^n \frac{\omega_1}{\omega_n} \quad \text{ёки} \quad U_{1n} = (-1)^n \frac{r_2 r_3 r_4 \ldots r_n}{r_1 r_2 r_3 \ldots r_{n-1}}.$$

Тишли узатманинг узатиш нисбати усул билан, яъни ғилдираклар нуқталарининг чизиқли тезликлари тасвирини қуриш орқали ҳам топилиши мумкин (3.10-расм).

$$V_{p12} = r_1 \cdot tgv_1 = r_2 \cdot tgv_2, \quad \text{бу ердан} \quad -\frac{r_2}{r_1} = \frac{tdv_1}{tdv_2}.$$

Умумий ҳол учун

$$U_{1n} = (-1)^n \frac{tgv_1}{tgv_n}.$$



3.10-расм

Думалоқ ғилдиракли тишли механизмларда узатиш нисбати U_{1n} ҳар доим ўзгармас бўлгани учун $\omega_n = \dfrac{\omega_1}{U_{1n}}$ ифодани вақт бўйича дифференцияласак

$$\frac{d\omega_{\prime}}{dt} = \frac{1}{U_{1n}}\frac{d\omega}{dt} \qquad \text{ёки} \qquad \varepsilon_{\prime} = \frac{1}{U_{1n}} \cdot \varepsilon \,.$$

Демак, думалоқ ғилдиракли тишли узатмаларда узатиш нисбати уларнинг бурчак тезланишлари орқали ҳам ифодаланиши мумкин.

3.3.2. Илашишнинг асосий қонуни ва элементлари

Фрикцион ва тасмали узатмалардан фарқли ўлароқ, тишли механизмларда айланма ҳаракат ғилдиракларнинг сиртларида очилган тишларнинг ўзаро илашиши орқали узатилади. Умуман олганда, ҳаракат ўзаро илашган тишлар бир-бирига фақат учки қисмлари билан тегиб турганда ҳам, бутун баландлиги бўйича кириб турганда ҳам узатилиши мумкин. Лекин узатманинг ишлаш қобилияти бўйича сифат кўрсаткичларини таъминлаш учун унинг ўлчамларини белгилашда баъзи шартларни ҳисобга олиш зарур:

1. Узатманинг узатиш нисбати ўзгармас бўлиши керак.
2. Ғилдиракларнинг тишлари ўзаро қисилиб қолмаслиги керак.
3. Илашиш турткиларсиз, равон бўлиши керак.

Биринчи шарт илашишнинг қуйидаги асосий қонунини бажариш асосида таъминланиши мумкин:

Тишларнинг бир-бирига боғланган сиртларига ўзаро тегишиш нуқтасидан ўтказилган умумий нормал чизиқ ғилдираклар марказини бирлаштирувчи чизиқни уларнинг бурчак тезликларига тескари пропорционал бўлакларга бўлиши керак, яъни

$$U_{12} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

P нуқта илашиш қутби деб аталади ва у ғилдираклар бошланғич айланаларининг умумий тегишиш нуқтаси бўлиб, уларнинг ўлчамларини белгилаб беради.

Профили эвольвента чизиғининг ясалган тишлар илашишнинг асосий қонуни бажарилишини, яъни узатманинг узатиш сони ўзгармас бўлишини таъминлайди. Узатмада бошқа шартларнинг бажарилиши эса биринчи навбатда, тишларнинг ўлчамларига боғлиқ бўлади.

Тишли ғилдиракларни тайёрлашда ва йиғишда енгиллик яратиш учун уларнинг ўлчамларини биронта умумий катталик орқали ифодалаш, чунончи қолипга солиш (унификация қилиш) маъқулроқ бўлади.

Ғилдиракда узунлиги тишлар сони *Z* ва уларнинг орасидаги айлана қадам *t* билан боғланган айлана олайлик:

$$\pi d = z \cdot t \, .$$

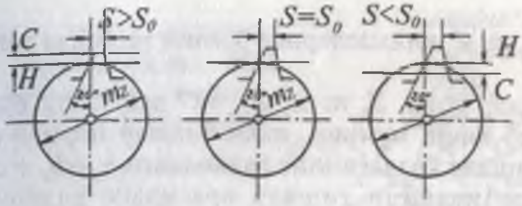
Бу ердан

$$d = z \frac{t}{\pi} .$$

t/π ифодаси қолиплаш катталиги илашиш модули *m* сифатида қабул қилинган, демак, $d = z \cdot m$

Умуман олганда, тишларнинг баландлиги бўйича жойлашган турли айланаларда *t*, демак, *m* қийматлари ҳам ҳар хил бўлади. Стандартлаштириш қоидаларига биноан СТ СЭВ 310-76 бўйича қолиплаш катталиги учун “бўлувчи” деб аталган айлана бўйича 0,05 дан 100 мм гача рационал сонлар қаторидан олинган модул қабул қилинган. Бўлувчи айлана ГОСТ 16530-83 бўйича асос айлана деб ҳам аталади. Бу айлананинг бошқа айланалардан фарқи шундан иборатки, у фақат тишлар сони *z* ва модули *m* қийматларига боғлиқ бўлса, бошқалар эса тиш ҳосил қилувчи кескичнинг ғилдирак ўқига нисбатан ҳолатига ҳам боғлиқ бўлади.

Тишли илашма учун юқорида кўрсатилган иккинчи ва учинчи шартлар кескичнинг ғилдирак ўқига нисбатан ҳолатини тўғри белгилашга боғлиқ бўлади.



3.11-расм

Рейка (тахтача) шаклидаги кескич (3.11-расм) бошланғич контурининг стандарт параметрлари қуйидагича олинган: профил бурчаги $a = 20$, каллак баландлиги коэффициенти $h_a = 1$; тишларнинг кириш чуқурлиги коэффициенти $h_d = 2$, радиал тирқиш коэффициенти $C = 0,25$, юмалоқланиш радиуси $r_1 = 0,4$. Тахтачадаги *СС* чизиғи бўлувчи чизиқ деб аталади.

Кескичнинг *СС* бўлувчи чизиғи ғилдирак танавори-даги бўлувчи айланага уринма ҳолатда ўрнатилса (3.11б-расм) тишлар ғилдиракда нормал кесилган деб қабул қилинади ва бунда тишларнинг бўлувчи айлана ёйи бўйича қалинлиги *S* қадам *t* нинг ярмига тенг бўлади.

$$S = 0,5\,t = 0,5\,\pi m$$

Кескичнинг *СС* бўлувчи чизиғи ғилдирак танавори бўлувчи айланасидан ташқи томонга *xm* масофага силжиган бўлса (3.11 а-расм), ғилдирак мусбат силжиши деб аталади. Бу ҳолда $x > 0$ ва

$$S = 0,5\,\pi m + 2\,xmtg\alpha$$

бу ерда *x* — силжиш коэффициенти.

Кескичнинг *СС* бўлувчи чизиғи ғилдирак танавори марказига қараб *xm* масофага силжиган бўлса (3.11,б-расм), ғилдирак манфий силжишли дейилади. Бу ҳолда $x<0$.

$$S = 0,5\,\pi m - 2\,xmtg\alpha.$$

Силжиш коэффициенти *x* нинг қиймати махсус графиклар ёки жадваллардан ўзаро илашган ғилдираклар

4 — *F. Зокиров*

сони Z_1 ва Z_2 қийматларига боғлиқ равишда танлаб олинади.

Тишлар сони Z_1 ва Z_2 $Z_{min}=17$ дан катта бўлса $X_1=0$; $X_2=0$ деб олиш мумкин, яъни тишлар нормал кесилади. Унда тишлар каллагининг баландлиги $h_a=(h_o + c_o)\ m=1,25\ m$, ўзаро илашган тишлар орасидаги радиал тирқиш $C=C^*m=0,25\ m$. Тишларнинг чўққилардан ўтган айланалар диаметри

$$d_a = d + 2h_a = d + 2\ m = m(\ z + 2)\ .$$

Тишларнинг асосларидан ўтган айланалар диаметри

$$d_f = d - 2h_f = d - 2,5\ m = m(\ z - 2,5)\ .$$

Бошланғич айланалар диаметри

$$d_\omega = d = mz;$$

марказлараро масофа

$$A_\omega = 0,5\ (d_{\omega 1} - d_{\omega 2}) = 0,5\ m\ (\ Z_1 + Z_2).$$

Тишлар орасидаги ён тирқиш δ бўлувчи айлана ёйи бўйича тишлар қалинлиги S ва улар орасидаги ўйиққа кенглиги S_B айирмасига тенг бўлади

$$\delta = S_B - S$$

ва ғилдиракларни тайёрлаш усулига қараб 0 дан $0,04t$ гача ўзгаради. Илашма узатиш нисбати

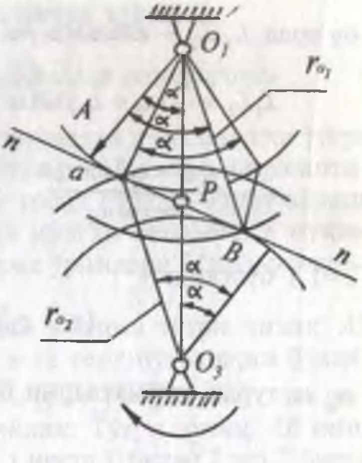
$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}\ .$$

Ғилдиракларнинг ҳаракати давомида тишларининг профиллари ҳар хил нуқталарда бир-бирига уринади. Бу нуқталарнинг геометрик ўринлари илашиш чизиғи деб аталади. Эвольвентали тишларнинг илашиш чизиғи ғилдираклар марказларини бирлаштирувчи чизиққа нисбатан $90-\alpha_\omega$ бурчакли қияликда жойлашган бўлади ва асосий айланаларда сирпанмасдан думаланиши натижасида

эвольвента ҳосил қилувчи умумий уринма чизиқ *MN* билан устма-уст тушади. Асосий айланалар диаметри

$$d_b = d \cdot \cos\alpha.$$

Тишлар профилининг баландлиги бўйича ҳамма қисми илашишда иштирок этмайди. Шунинг учун умумий уринма чизиғининг асосий айланалар d_{b1} ва d_{b2} билан уринган нуқталари *A* ва *B* орасидаги кесма *AB* назарий илашиш чизиғи, бу чизиқнинг тишларнинг чўққиларидан ўтган айланалар d_{b1} ва d_{b2} билан кесишган *a* ва *b* нуқталари орасидаги кесма *ab* ҳақиқий илашиш чизиғи деб аталади (3.12-расм).



3.12-расм

Бошланғич айлананинг профил илашиш нуқтасининг кўчиб юрадиган қисми илашиш ёйи дейилади.

Ўзаро илашган ғилдираклардаги илашиш ёйлари $\overline{a_1 b_1}$ ва $\overline{a_2 b_2}$ ўзаро тенг ва уларнинг илашиш қадами *t* га нисбатан қопланиш коэффициенти деб аталади.

$$\varepsilon = \frac{\overline{a_1 b_1}}{t} = \frac{\overline{a_2 b_2}}{t}.$$

Илашиш равон, турткичларсиз бўлиши учун $\varepsilon \geq 1{,}1$ бўлиши керак.

3.3.3. Ғилдираклар тишлари йиғиндисининг минимал қиймати

Қопланиш коэффициенти ёрдамида ғилдираклар тишлари йиғиндисининг минимал қийматини аниқлаш мумкин. 3.11-расмдан

$$\varepsilon = \frac{L_1 L_2}{t \cos \alpha_w},$$

бу ерда $L_1 L_2$ — илашиш чизиғи узунлиги.

$$L_1 L_2 = \frac{m}{2}(z_1 + z_2)\sin\alpha$$ бўлгани учун

$$\varepsilon = \frac{m(z_1 + z_2)\sin\alpha_\omega}{2\pi m\cos\alpha_\omega}.$$

ε=1,1 бўлганда

$$(z_1 + z_2)_{min} = \frac{2,2\pi}{tg\alpha_\omega},$$

α_ω га турли қийматларни берсак

α_ω	15^0	20^0	25^0.
$(z_1+z_2)_{min}$	23	18	14

3.3.4. Тишларнинг дюймли тизимдаги ўлчамлари тўғрисида

Узунлик ўлчамларининг дюймли тизими қўлланиладиган мамлакатларда илашиш эталони сифатида модулга тескари бўлган параметр "питч" *(pitch)P* қабул қилинган, яъни

$$P = \frac{1}{m} = \frac{25,4}{m}\frac{1}{дюйм}$$

ёки

D=mz бўлгани учун $P = \frac{1}{m} = \frac{z}{d}.$

Демак, бу тизимда бошланғич айлана диаметри тенг бўлади

$$d = \frac{z}{P},$$

яъни питч қиймати катталашса, бошланғич айлананинг (бошқа айланаларнинг ҳам) диаметри кичраяди.

Бизда бу тизим бўйича тайёрланган импорт жиҳозлар қўлланилгани учун уни билиш шартдир.

3.4. Тишли илашмани қуриш

3.4.1. Эвольвентали профиллар геометрияси

Айлананинг сиртида сирпанмасдан думаланувчи тўғри чизиқ нуқталарининг геометрик ҳолатлари бирлаштирилганда доира эвольвентаси ҳосил бўлади. Ушбу айлана тўғри чизиқ нуқталари ҳосил қилган эвольвента нуқталари марказларининг геометрик ўринлари бўлиб, у эвольвента деб аталади.

Айлана (3.13-расм) ва унга уринма тўғри чизиқ AB берилган бўлсин. Айланани n га тенг бўлакларга бўлайлик ва тўғри чизиқда $\overline{A-1'} = \overline{A-1}; \overline{1'-2'} = \overline{1-2}$ ва шунинг ўрнига кесмаларни қўяйлик. Тўғри чизиқ AB нинг айлана сиртида думаланишда 1 нуқта 1' билан 2 эса 2' билан ва ҳоказо устма-уст тушади. Бунда тўғри чизиқдаги нуқталар эвольвента чизиғини чизади, эвольвента нуқталарининг эгрилик марказларидан эса айланадаги A, $1'$, $2'$ ва ҳоказо нуқталар бўлиб қолади.

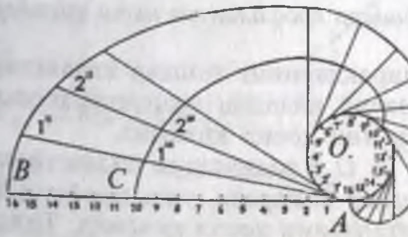
Агар бошқа нуқта (10) ни кўрсак, у ҳам эвольвента ҳосил қилади (C нуқта). Табиийки, масофа $nc''' = 1'' - 1' = 2'' - 2'' = const$. Бу нарса $10''' - 10''$ гача давом этади.

Доира эвольвентаси берилган бўлсин (3.14-расм). ΔOAM дан

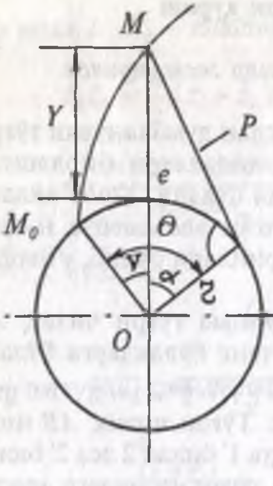
$$tg\alpha = \frac{P}{r} \qquad (6)$$

Эвольвента хоссаларидан

$$P = AM_0 = r \cdot \theta$$



3.13-расм



3.14-расм

Бу ердан $\theta = \dfrac{P}{r}$ (7)

демак, $\theta = tg\alpha$ (8)

Ундан ташқари

$$OM = r + y$$

$$\cos\alpha = \frac{r}{r + y};$$

$$(r + y)\cos\alpha = r;$$

$$r + y = \frac{r}{\cos\alpha}.$$

Бу ердан эвольвентанинг айлана устидаги баландлиги

$$y = \frac{r}{\cos\alpha} - r = \frac{r}{\cos\alpha}(1 - \cos\alpha).$$

Хулоса учун $\quad v = \theta - a$

ёки (8) дан $v = tg\alpha - \alpha$

Бу функция эвольвента функцияси дейилади ва *inv* (инволюта) деб белгиланади, яъни

$$u = inva.$$

3.4.2. Амалий илашиш чизиғи. Тишлар профилининг ишчи қисмлари

Агар ғилдиракларнинг тишлар каллаклари айланалари билан назарий илашиш чизиғини кессак, *ав* амалий илашиш чизиғини ҳосил қиламиз.

Агар $O_1 a$ ва $O_2 b$ радиуслари билан тишларнинг сиртида кесишмалар бажарсак, тиш профили ишчи қисмининг қуйи чегарасини ҳосил қиламиз. Тишларнинг каллаклари айланаси эса ишчи қисмнинг юқори чегараси

саналади. Тишнинг қолган қисмлари ишчи эмас ва галтель деб аталади. Табиийки, профилнинг бу қисми эвольвентадан фарқ қилувчи бошқа эгри чизиқ бўлиши мумкин, лекин бунда тишларнинг илашмадан тўсиқсиз чиқиб кетишини таъминлаш керак. Одатда тишларнинг оёқ қисми (0,3-0,4) *m* радиус билан юмалоқланади.

3.5. Планетар ва дифференциал механизмлар

Тишли гилдиракларнинг геометрик ўқлари қўзғалувчан бўлган тишли механизмлар гипо- ва эпициклоида чизувчи нуқталарга эга бўлади. Бундай механизмлар битта, иккита ва ундан кўпроқ эркинлик даражали бўлиши мумкин. Нуқтасининг эгри чизиғи жуда мураккаблигига кўра бу механизмларнинг ҳаммасини эпициклик деб аташ мақсадга мувофиқ бўларди. Бироқ, баъзи адабиётларда пой билан қўзғалмас боғланган тишли ғилдираги бўлган планетар механизмлар (3.15,а-расм) содда қилиб планетар, икки ва ундан кўп эркинлик даражасига эга бўлган механизмлар эса (3.15,б-расм) дифференциал механизмлар деб аталади.

$n=3$;

$P_5=3$ (A, C, E)

$P_4=2$ (B, Д)

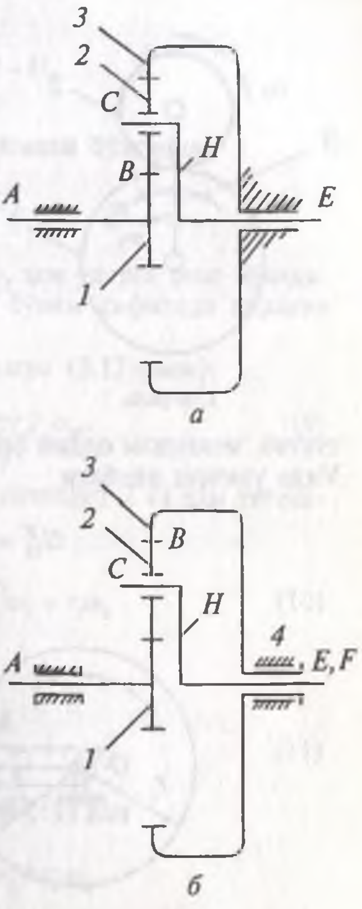
$W=3n-2P_5-P_4=3\cdot3-2\cdot3-2=1$

$n=4$;

$P_5=4$ (A, C, E, F)

$P_4=2$ (B, Д)

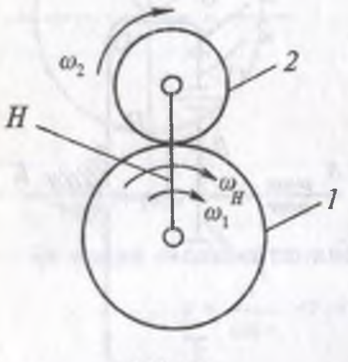
$W=3n-2P_5-P_4=3\cdot4-2\cdot4-2=2$



3.15-расм

Планетар ва дифференциал механизмларда геометрик ўқи қўзғалувчан ғилдираклар сателлит, ўқи қўзғалмаслари эса марказий ғилдираклар деб номланади. Сателлит ўрнатилган ва унинг геометрик ўқи билан бирга айланма ҳаракат қилувчи бўғинни етаклагич (водило) деб аталади.

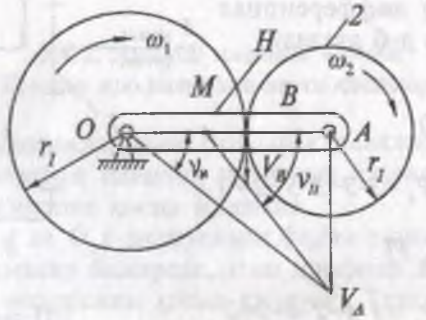
3.5.1. Планетар ва дифференциал механизмларда узатиш нисбати



3.16-расм

3.17-расмдаги механизмда марказий ғилдирак 1 бурчак тезлигини ω_1, сателлит 2 учун ω_2, етаклагич H учун эса ω_H деб белгилайлик. Ҳаракатни тескарилатиш усулидан фойдаланиб, бутун механизмга ω_H га тескари йўналишдаги, яъни $-\omega_H$ бурчак тезлик берамиз. У ҳолда 1 бўғин $\omega_2 - \omega_H$ сателлит $\omega_2 - \omega_H$, етаклагич $\omega_n - \omega_H = 0$, бурчак тезликларига эга бўлади. Демак, етаклагич тўхтаб, механизм оддий бир поғонали узатмага айланади. Унда узатиш нисбати

$$U_{12}^H = \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_1 - \omega_H}.$$



3.17-расм

Умумий ҳолда, бўғинлар сони n бўлган механизмлар учун

$$U_{1n}^{H} = \frac{\omega_n - \omega_H}{\omega_1 - \omega_H}.$$

Бу формула Виллис формуласи деб аталади.

Планетар механизм учун $\omega_1 = 0$, унда

$$U_{1n}^{H} = \frac{\omega_2 - \omega_H}{-\omega_H} =$$

$$= 1 - \frac{\omega_n}{\omega_H} = 1 - U_{Hn}.$$

Планетар механизм бир поғонали бўлганда

$$U_{21}^{H} = 1 - U_{21}.$$

Агар $\omega_1 = \omega_H$ бўлса, албатта ω_2 ҳам уларга тенг бўлади. Бу ҳолда ушбу механизм 1 та бўғин сифатида ҳаракат қилади.

Оддий дифференциал механизм (3.17-расм):

$$V_A = 0A\ \omega_H = (r_1 + r_2)\ \omega_H. \qquad (9)$$

$$V_B = r_1 \omega_1.$$

Иккинчи томондан A нуқта сателлит 2 га ҳам тегишли, унда

$$V_A \overline{AM}\omega_2 = \left(\overline{MB} + \overline{BA}\right)\omega_2 + r_2\omega_2 \qquad (10)$$

(9) ва (10) ни тенглаштириб

$$(r_1 + r_2)\ w_H = MB\ w_2 + r_2 w_2 \qquad (11)$$

$MB\ \omega_2 = V_B = r_1 \omega_1$ бўлгани учун (11) дан

$$(r_1 + r_2)\omega_H = r_1 \omega_1 + r_2 \omega_2.$$

Бу ифода ω_H, ω_2, ω_1 лар орасидаги боғланишни белгилайди. Бу ердан

$$\omega_2 = -\frac{r_2}{r_1}\omega_1 + \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\omega_H$$

Планетар узатма бўлган ҳолда $\omega_1=0$, яъни

$$\omega_2 = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\omega_H \qquad (12)$$

Кетма-кет узатма бўлган ҳолда $\omega_H=0$, яъни

$$\omega_2 = -\frac{r_2}{r_1}\omega_1 \qquad (13)$$

$U_2^H = -\frac{r_1}{r_2}$ бўлгани учун (4) дан $\omega_2 = U_1^H\omega_1 + \left(1 - U_1^H\right)\omega_H$

Ғилдираклар сони n бўлганда:

$\omega_2 = U_1^H\omega_1 + \left(1 - U_1^H\right)\omega_H$ ёки $\omega_n - \omega_H = \left(\omega_1 - \omega_1\right) U_1^H$.

Бу ерда яна:

$$U_1^H = \frac{\omega_n - \omega_H}{\omega_1 - \omega_H}.$$

Марказий ғилдирак 1 тўхтатилган ҳол учун

$$U_{2H}^H = 1 + \frac{r_1}{r_2} = \frac{\left(r_1 + r_2\right)}{r_2}.$$

Етаклагич тўхтатилган ҳол учун (6)дан

$$U_{12}^1 = -\frac{r_1}{r_2}.$$

Унда

$$U_{2H}^H = 1 - U_{12}^H.$$

3.5.2. Ўқлари қўзғалувчан ғилдиракли тишли узатмаларда ўқдошлик, йиғилиш ва қўшничилик шартлари

Ўқлари қўзғалувчан ғилдиракли механизмларда ўқдошлик шарти марказий ғилдиракларнинг геометрик ўқлари бир чизиқда ётишини талаб қилади.

3.18-расмда келтирилган механизм учун бу шарт қуйидагича ифодаланади:

$$r_1 + r_2 = r_3 - r_2$$

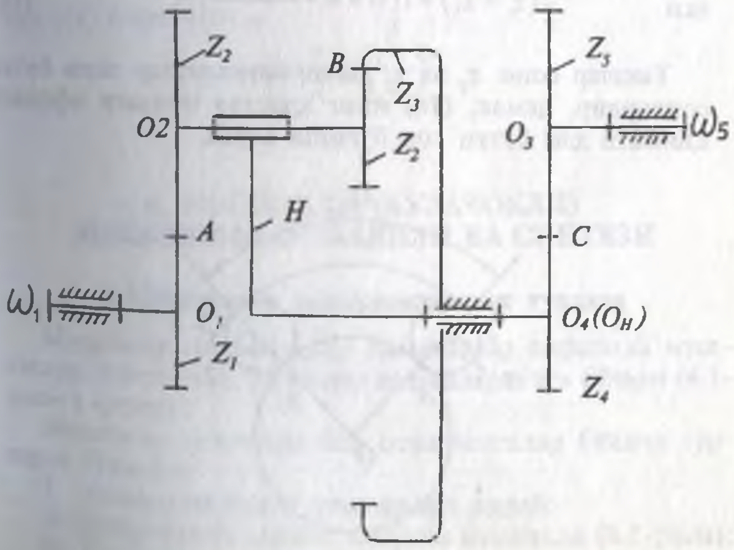
ёки $$m_1(z_1 + z_2) = m_2(z_3 - z_2)$$

$m_1 = m_2$ бўлганда

$$z_1 + z_2 = z_3 - z_2$$

Йиғилиш шарти қуйидаги мулоҳазаларга кўра чиқазилади. Механизмда сателлитлар сони *к* бўлсин. Унда 3.19-расмдан

$$\Theta = 2\pi / r.$$



3.18-расм

Ундан ташқари

$$AA_1 + BB_1 = \Theta(r_1 + r_3) = \frac{2\pi m}{k2}(z_1 + z_3) = \frac{t}{R}(z_1 + z_3) \qquad (14)$$

бу ерда $t = \pi m$ — илашиш қадами.

Иккинчи томондан юқоридаги ҳар бир ёйни бир неча илашиш қадами ва қолдиқлар йиғиндиси деб қараш мумкин, яъни:

$$AA_1 + BB_1 = (at + C_1) + (bt + C_2) \qquad (15)$$

бу ерда a, b — бутун сонлар; C_1, C_2 — қолдиқлар.

Қолдиқлар C_1 ва C_2 нинг ҳар бири t дан кичик бўлгани учун

$$C_1 + C_2 < 2t.$$

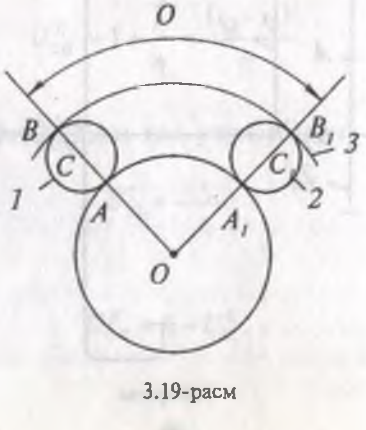
Унда (14) ва (15) дан

$$\frac{t}{r}(z_1 + z_3) = t\left(a + b + \frac{C_1 + C_2}{t}\right)$$

ёки

$$\frac{t}{r}(z_1 + z_3) = t\left(a + b + \frac{C_1 + C_2}{t}\right)r. \qquad (16)$$

Тишлар сони z_1 ва z_3 ҳамда сателлитлар сони бутун сонлардир, демак, (16) нинг қавслар ичидаги ифодаси қиймати ҳам бутун сон бўлиши керак.



3.19-расм

(16) да a ва b лар ҳам бутун сонлар, демак, сурати $2t$ дан кичик каср t га тенг бўлиши лозим.

Шундай қилиб

$$(z_1 + z_3) = (a + b + 1)\,\kappa$$

$a+b+1$ бутун сон сифатида n билан ифодаласак

$$(z_1 + z_3) / \kappa = n.$$

Қўзғалувчан ўқли ўқдош тишли узатмани ташқи ва ички чамбарли ғилдираклар тишларининг сони йиғиндиси сателлитлар сонига каррали бўлгандагина йиғиш мумкин.

Қўшничилик шарти C ва C_1 нуқталар оралиғида ташқи айланаси диаметри $d_a = m\ (z_1 + 2)$ бўлган сателлит сиғиб жойлашишини таъминлаш шартини белгилайди, яъни:

$$CC_1 > d_e \tag{17}$$

6.19-расмдан OCC_1 тенг ёнли бўлгани учун

$$CC_1 = 2\left(r_1 + r_2\right)\sin\frac{\Theta}{k} = \left(z_1 + z_2\right) m \cdot \sin\frac{\pi}{k}$$

ёки (17) шарт учун

$$\sin\frac{\pi}{k} > \frac{z_1 + z_2}{z_1 + z_2}.$$

4. МУШТАКЛИ (КУЛАЧОКЛИ) МЕХАНИЗМЛАР ТАҲЛИЛИ ВА СИНТЕЗИ

4.1.Муштакли механизмларнинг турлари

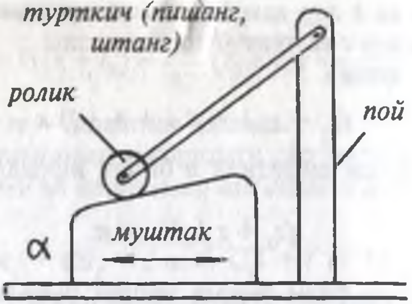
Муштакли механизмлар элементлар сифатида муштаклар, туртгичлар, роликлар ва пойларга эга бўлади (4.1-расмга қаранг).

Муштакли механизм бир неча белгилар бўйича турларга бўлинади:

1. Элементларининг тузилишига қараб:

а) Илгариланма ҳаракат қилувчи муштакли (4.1-расм);

б) Ўткир ўқли турткичли (4.2-расм);



4.1-расм

в) Роликли турткичли (4.4-расм);

г) Ясси тарелкали турткичли (4.3-расм).

2. Конструкциясига кўра:

а) Аксиал (4.4-расм);

б) Дезаксиал (4.2, 4.3-расм).

3. Ҳаракат турига қараб:

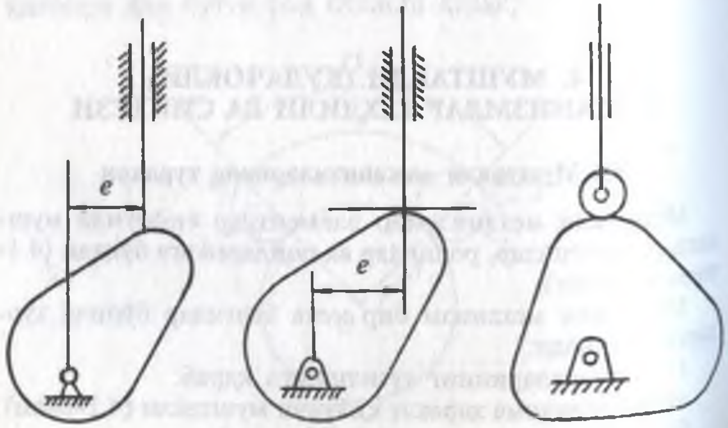
а) Думаланувчи ричагли (пишангли) (4.5-расм);

б) Фазовий (4.6-расм);

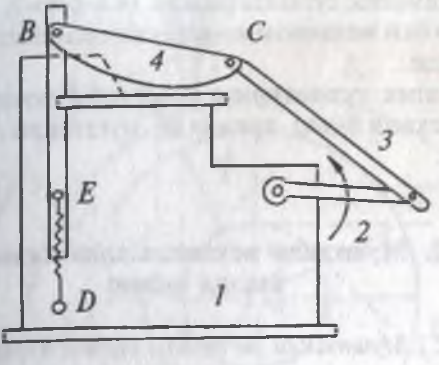
в) Мураккаб ҳаракат қилувчи турткичли (4.7-расм).

4. Турткични муштак билан туташтириш усулига кўра:

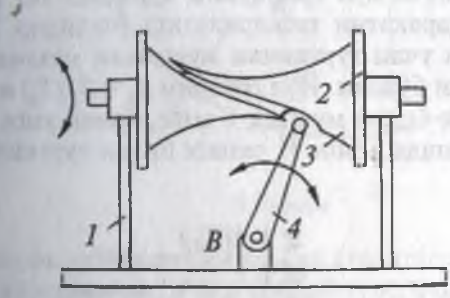
а) Куч билан туташтирилган (4.5, 4.7-расм), бунда одатда пружина каби қўшимча элемент ишлатилади;



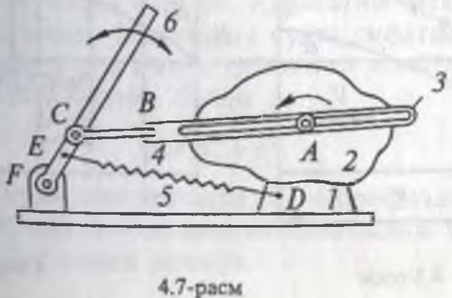
4.2-расм 4.3-расм 4.4-расм



4.5-расм



4.6-расм



4.7-расм

б) Кинематик туташтирилган (4.6-расм), бунда махсус арикчалар ёки механизм конструкциясининг элементлари ишлатилади.

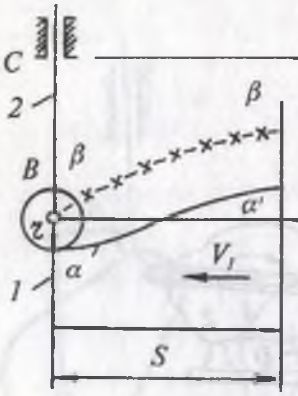
Кинематик туташтириш арикчалар воситасида бажарилган механизмлар арикчали муштакли механизмлар дейилади.

4.2. Муштакли механизмларни кинематик таҳлил қилиш

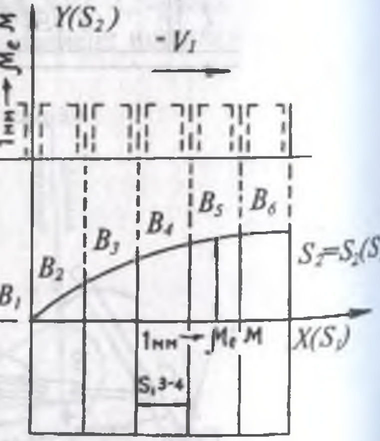
4.2.1. Муштакли механизм чиқиш бўғинининг ҳаракат қонунини аниқлаш

Муштакли механизм чиқиш бўғинининг ҳаракат қонунини ифодаловчи йўл графигини қуришда энг кўп тарқалган усул ҳаракатни тескарилатиш усулидир.

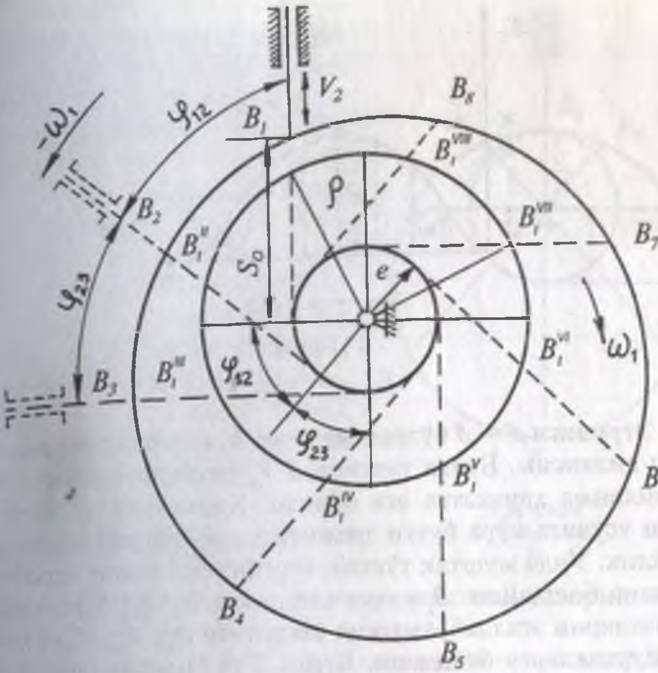
1. Роликли учли турткичли муштакли механизм (4.8-расм) берилган бўлсин. Йўл графиги $S_2 = S_2(S_1)$ ни қуриш учун V_1 тезлик билан муштак 1 эмас, балки унга қарама-қарши йўналишда, яъни V_1 тезлик билан турткич 2 ҳара-



4.8-расм



4.9-расм



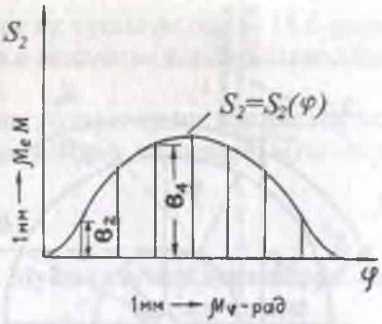
4.10-расм

кат қилади, деб фараз қилайлик (ҳолатлар пунктир чизиқ билан кўрсатилган, X ўқи бўйлаб туртгичнинг горизонтал силжиши кесмаларини, Y ўқи бўйича эса уларга мос равишда вертикал силжиш кесмаларини қўйиб, туртгич йўлининг m_e масштабида $S_2 = S_2(S_1)$ графигини оламиз (4.9-расм).

2. Айланувчи муштакли дезаксиал муштакли механизм (4.10-расм) берилган бўлсин. Ҳаракатни тескарилатиш усулини қўллаганда бошланғич нуқта сифатида муштак радиус вектори ρ энг кичик қийматига эга бўладиган B_1 нуқтани қабул қиламиз, бунда

$$p = S_0^2 + e^2 ,$$

бу ерда e — дезаксиал қиймати; S_0 — профилдан муштак айланиш марказигача дезаксиал айланасига ўтказилган уринмадаги энг кичик масофа.



4.11-расм

Эгрилиги $\beta - \beta$ бўлган муштак $1\ \omega_1$ бурчак тезлик билан айлансин. Бунда турткич $2\ V_2$ чизиқли тезликли илгариланма ҳаракатга эга бўлади. Ҳаракатни тескарилатиш усулига кўра бутун тизимга $-\ \omega_1$ бурчак тезлик берайлик. Унда муштак тўхтаб, турткич эса унинг атрофида айлана бошлайди. B_1 нуқта кетма-кет B_2, B_3, B_4 ва ҳоказо ҳолатларни эгаллаб, турткич ўзаро тенг φ_{12}, φ_{23}, φ_{34} ва ҳоказо бурчакларга бўлинади. Бунда 2 бўғиннинг бир ҳолатдан ўтишидаги босиб ўтган йўли тенг бўлади:

$$S_2^{1-2} = \mu_e\left(B_1^{II}\ B_2\right) = \mu_e b_2;$$

$$S_2^{1-3} = \mu_e\left(B_1^{III}\ B_3\right) = \mu_e b_3;$$

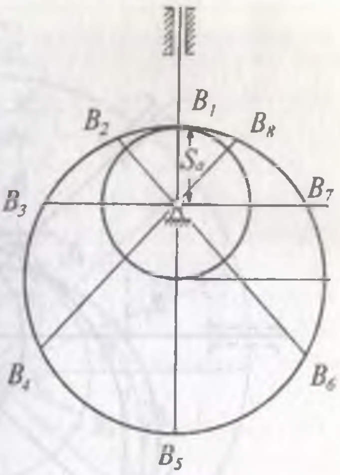
$$S_2^{1-4} = \mu_e\left(B_1^{IV}\ B_2\right) = \mu_e b_4 \qquad \text{ва ҳоказо.}$$

Олинган қийматлар асосида $S_2 = S_2\ (\varphi)$ графигини (4.11-расм) қуриш мумкин.

Ўлчаш энг қуйи ҳолатдан бошланганлиги учун механизмнинг ҳамма ҳолатларида S_o ўзгармай қолади ва ρ радиусли бошқа (қўшимча) доира ҳосил қилади. Бу доиранинг нуқталаридан муштак нуқталаригача бўлган масофа турткич 2 нинг изланган йўлини беради.

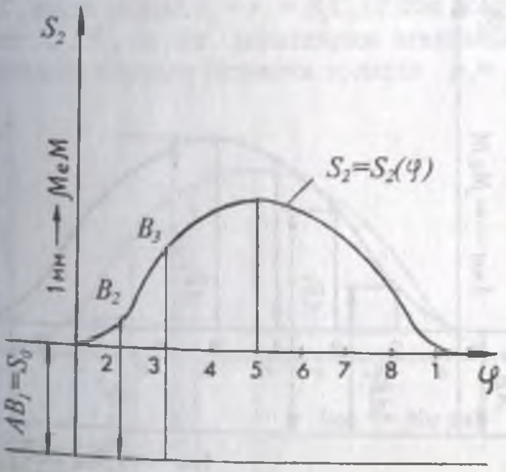
Механизм ўткир учли турткичли аксиал бўлганда (4.12-расм) масала янада соддалашади. Бу ерда ҳар бир ҳолатда

муштак профилининг радиус-векторини кесма қилиб қўйиш мумкин бўлади. Сўнгра бу радиус-векторнинг энг кичик қийматини кесиб ташлаб, $S_2 = S_2(\varphi)$ графигини (4.13-расм) ҳосил қиламиз. Турткич ясси тарелкали бўлган ҳолда ҳам шундай қилинади, лекин бунда тарелка муштакка B_2, B_3 ва ҳ.к. нуқталарда эмас, балки B_2', B_3' ва ҳ.к. нуқталарда уринишини ҳисобга олиш керак (4.14-расм). Яъни бу ҳолда муштак профили эмас, балки $B_1''B_2$, $B_1'''B_1$ B_4 ва ҳ.к. нурлардангина фойдаланилади ва турткич босиб ўтган йўли муштак профилининг радиус-вектори ўзгаришидан кўпроқ бўлади (4.15-расм).

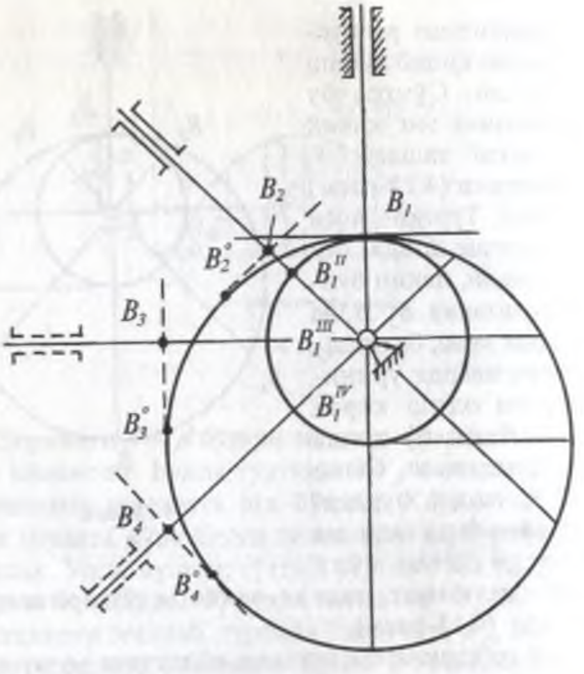


4.12-расм

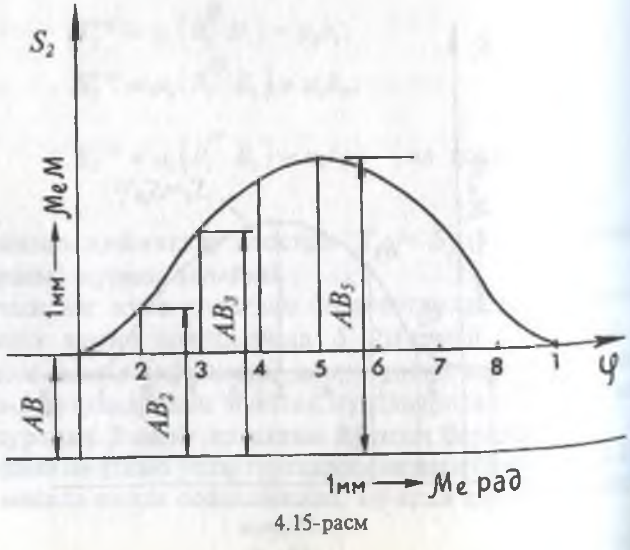
Ҳаракатни тескарилатиш усулини айланувчи муштак ва тебранувчи турткичли механизмга қўллайлик (4.16-расм).



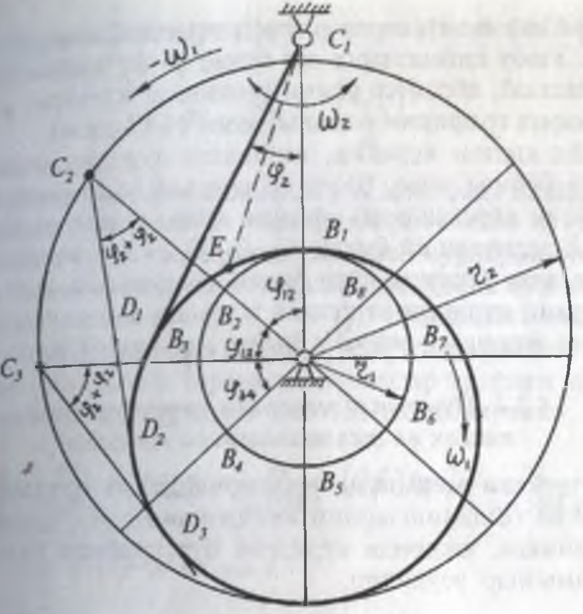
4.13-расм



4.14-расм

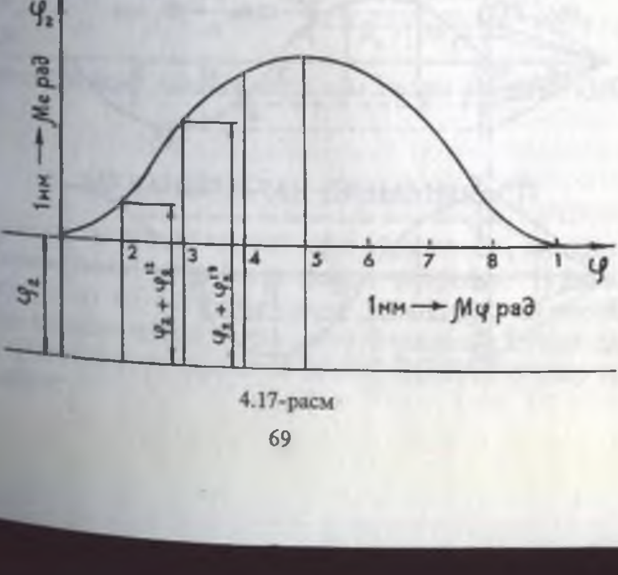


4.15-расм



4.16-расм

Профили $\beta - \beta$ бўлган муштак ўзгармас w_1 бурчак тезлик билан айлансин. Бутун тизимга — w_1 бурчак тезлик берайлик. Унда C_1 нуқта радиус $r_2 = r_1 + B_1C_1$ бўлган доира бўйича кетма-кет C_2, C_3 ва ҳ.к. ҳолатларни эгаллайди. Агар турткич бурилиш бурчаги биринчи ҳолатда $\varphi_2 = \angle Д_1\ C_1$



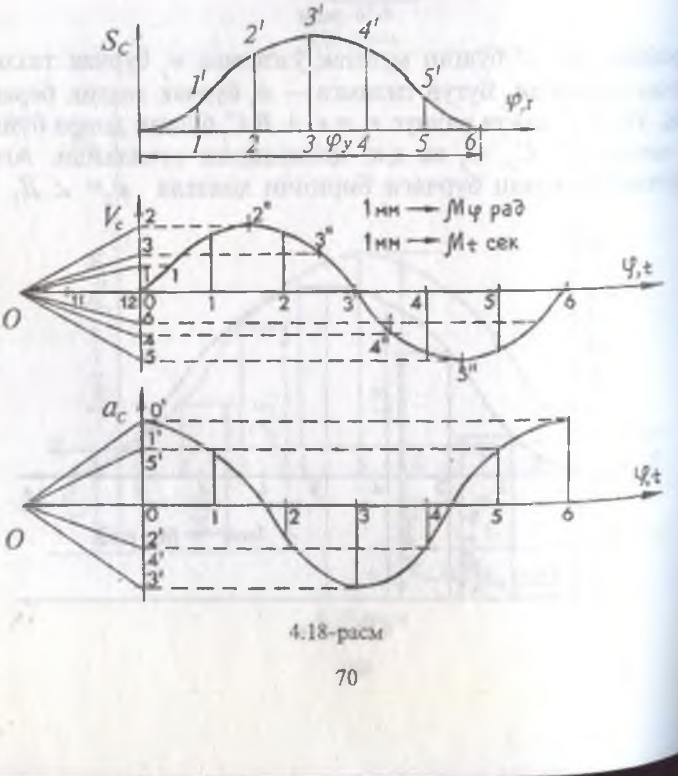
4.17-расм

B_1 бўлса, иккинчи ҳолатда $\varphi_2 + \varphi_2^{12}$, учинчи ҳолатда $\varphi_2 + \varphi_2^{13}$, ва ҳ.к. Ушбу қийматларга эга бўлиб ва φ_2^0 қийматларини олиб ташлаб, абсцисса ўқини ўтказилса, изланган $\varphi_2 = \varphi_2$ (φ) профил графикни олиш мумкин (4.17-расм).

Қайд қилиш керакки, пишангли турткич муштакка уринма бўйича эмас, балки E нуқтада (4.16-расм пунктир билан кўрсатилган) уринган ҳолда унинг ҳолатларини C_1E радиусли ёй билан C_1, C_2, C_3 ва ҳ.к. нуқталардан кесишмалар ўтказиш йўли билан аниқланади. $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi)$ графигини қуришнинг қолган жараёни юқоридаги масалаларни ечишдаги жараён билан бир хил бўлади.

4.2.2. Муштакли механизм нуқталарининг тезлик ва тезланишларини аниқлаш

Муштакли механизм текшириладиган нуқтасининг тезлик ва тезланишларини аниқлашнинг энг қулай усули (айниқса, юқорида қурилган йўл графиги бўлганда) диаграммалар усулидир.



4.18-расм

$S_2 = S_2(\varphi)$ йўл диаграммаси маълум бўлсин (4.18-расм). Унда

$$V_c = \frac{dS_c}{dt} = \frac{d\left[S_c(t)\right]}{dt}.$$

Абсцисса ўқининг давомидан K масофада жойлашган O нуқтани танлайлик ва ундан диаграммадаги нуқталарга уринма бўлган чизиқларга параллел нурларни ордината ўқи билан кесишгунча чиқазайлик. Ҳосил бўлган кесмаларни m_v масштабида $V_c = V_c(t)$ координата текислигининг ординаталарига қўйиб $V_c = V_c(t)$ графигини ҳосил қиламиз. Худди шу тарзда тезланишлар графиги $a_c = a_c(t)$ қурилади. Бунда шуни ҳисобга олиш керакки,

$$V_{ci} = \frac{dS_{ci}}{dt} = \frac{\mu_e}{\mu_t} tg\alpha_i = \frac{\mu_e}{\mu_t\left(OK\right)} \cdot \left(OK\right) tg\alpha_i = \frac{\mu_e}{\mu_t \cdot \left(OK\right)}$$

(1–1';2–2' ; 3–3' ва ҳ.к.).

Худди шундай

$$a_{ci} = \frac{\mu_v}{\mu_t \cdot \left(OK\right)} \cdot (1-1';2-2'\ ;\ 3-3'\ \text{ва ҳ.к.}).$$

$S_2 = S_2(t)$ графиги эмас, балки $S_c = S_c(\varphi)$ берилган ҳолда

$$V_{ci} = \frac{dS_{ci}}{dt} = \frac{dS_{ci}}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{dS_{ci}}{d\varphi} = \frac{\omega' \mu_e}{\mu_\varphi \cdot \left(OK\right)} \cdot \left(OK\right) tg\alpha_i$$

a_{ci} қийматларини топиш учун ҳам худди шундай қилиш керак.

5. МЕХАНИЗМЛАР ДИНАМИКАСИ

Кинематик таҳлил масалалари кўрилганда, механизмлар ҳаракатини текшириш фақат уларнинг тузилиши (структураси) ва бўғинларининг геометрик муносабатларини ҳисобга олган ҳолда олиб борилади. Бунда ҳаракатни қўзғатувчи ва ҳаракатга таъсир қилувчи кучлар ўрганилмайди.

Механизмларнинг динамик таҳлили икки масалани кўриб чиқади:

1. Механизмларнинг кучлар таъсири бўйича таҳлили, яъни ҳаракат давомида юзага келадиган юкланишларни камайтириш мақсадида механизм бўғинлари ва элементларига кучларнинг (ташқи бўғинлар оғирлиги, ишқаланиш, инерция ва ҳ.к.) таъсирини ўрганиш.

2. Механизмлар динамикаси, яъни механизмнинг кучлар таъсиридаги ҳаракат режимларини ўрганиш ва механизмлар ҳаракатининг берилган режимларини таъминловчи усулларни аниқлаш.

Биринчи масала механизм бўғинларига ташқи кучларни ҳамда кинематик жуфтларда юзага келадиган реакцияларни аниқлаш учун хизмат қилади. Бу мақсадлар учун ҳам назарий, ҳам экспериментал усуллар қўлланилади.

Иккинчи масала берилган ҳаракатни ҳосил қилиш учун керак бўладиган энергиянинг умумий миқдорини аниқлаш ва бу энергиянинг тақсимланиш қонунларини ўрганиш учун хизмат қилади. Бу ерда яна ФИК(фойдали иш коэффициенти)ни баҳолаш ҳам бажарилади.

5.1. Механизмларни кучлар таъсири бўйича ҳисоблаш масалалари

Кучларни аниқлаш масаласи механизмларнинг баъзи бир деталларини мустаҳкамлик бўйича ва кинематик жуфтларнинг ишқаланувчи деталларини ейилиши бўйича ҳисоблаш учун керак бўлади. Механизмларнинг турли бўғинларига таъсир қилувчи кучларини билиб, конструктор (лойиҳачи) бўғинларнинг энг рационал ўлчамларини танлаши, деталларнинг етарли мустаҳкамлиги учун зарур бўлган шаклларни аниқлаш, кинематик жуфтларда мойлашни таъминлаши ва ҳ.к. бажариши мумкин.

Ҳам статик, ҳам динамик юкланишлар ҳисобга олиниб бажариладиган ҳисоблар динамик ҳисоблар деб номланади.

Механизмнинг турли бўғинларига таъсир қилувчи кучларни аниқлаш учун механизмга қўйилган ташқи кучлар маълум бўлиши керак.

Ҳаракатнинг берилган қонунлари бўйича керакли ҳисобий юкланишларни ва ташқи кучларни аниқлашни кўзда тутган куч бўйича ҳисоб турли усуллар билан бажарилиши мумкин. Қаттиқ жисмларнинг оддий мувозанат тенгламалари (Даламбер мувозанат тенгламалари динамикаси)дан фойдаланиш усули энг кўп тарқалган. Бунинг учун тезланувчан жисмга қарши бўлган инерция кучини тезланувчи жисмнинг ўзига кўчирилади.

Бу принцип (тамойил) қуйидагича таърифланади: агар механизм бўғинларига таъсир қилувчи барча кучларга инерция кучлари қўшилса, бу кучларнинг ҳаммаси таъсиридаги бўғинни шартли равишда мувозанатда турган деб қараш мумкин. Ҳосил қилинган тизим учун мувозанат тенгламаларини тузиб ва уларни ечиб механизм бўғинларига таъсир қилувчи ва унинг ҳаракати давомида ҳосил бўладиган кучларни аниқлаймиз. Бу усул инерция кучлари ҳисобга олинмайдиган статик ҳисобдан фарқли равишда кинетостатик ҳисоб деб аталади.

5.1.1. Механизм бўғинларига таъсир қилувчи кучлар

Механизмнинг ишлаши пайтида унинг бўғинларига ташқи: ҳаракатлантирувчи, қаршилик ва оғирлик ҳамда реакция натижасида юзага келадиган ишқаланиш кучлари таъсир қилади. Ишқаланиш кучлари механизмда ички, алоҳида олинганда эса ташқи кучлар ҳисобланади.

Механизмда ҳаракатлантирувчи кучлар деб, етакловчи бўғин ҳаракатини тезлаштирувчи, яъни элементар иши мусбат бўлган кучларга айтамиз.

Технологик қаршилик кучи деб, етакланувчи бўғинга қўйилган ва машина уни енгиши лозим бўлган кучга айтилади. Технологик қаршилик кучининг иши манфийдир, яъни у нуқта тезлигига қарама-қарши йўналган ёки ўтмас бурчак ҳосил қилади. Агар етакланувчи бўғин айланма ҳаракат қилса, технологик қаршилик кучининг моменти ва етакланувчи бўғин бурчак тезлиги ўзаро қарама-қарши ишорага эга бўлади.

Бўғинларнинг оғирлик кучлари уларнинг массалари марказига қўйилган бўлади.

Оғирлик кучларининг механизм ҳаракатининг бир циклида бажарган иши нолга тенг, лекин унинг цикл ичидаги иши нолдан фарқ қилади.

Механик ёки қўшимча қаршиликлар машиналарда асосан кинематик жуфтлар элементларининг нисбий ҳаракатидан юзага келувчи қаршилик кучлари, яъни ишқаланувчи кучлар тарзида учрайди. Ишқаланиш кучлари манфий иш бажарадилар.

Инерция кучлари механизмлар бўғинларининг нотекис ҳаракати натижасида ҳосил бўлади.

Механизмнинг тўлиқ ҳолда мувозанати текширилганда боғланиш реакцияларини ички кучлар сифатида, яъни ўзаро мувозанатланувчи кучлар сифатида ҳисоблаш керак.

Кинематик жуфтлардаги тўлиқ реакцияларни нормал ва уринма ташкил этувчиларга ажратиш мумкин. Кейингилари бажарган иши механик қаршиликларни енгиш учун сарфланадиган энергия (қувват)ни белгиловчи ишқаланиш кучларидир. Нормал ташкил этувчиларнинг бажарган иши нолга тенг бўлади.

5.1.2. Бўғинларнинг инерция кучларини аниқлаш

Маълумки, текисликка параллел ҳаракат қилувчи ва ҳаракат текислигига параллел бўлган симметрия текислигига эга бўғиннинг ҳамма инерция кучлари умумий ҳолда бўғиннинг массалари марказига қўйилган инерция кучи $P_И$ ва моменти $M_И$ бўлган кучлар жуфтлигига келтирилиши мумкин, бунда

$$\overline{P}_И = -ma_s, \ (H)$$

$$M_И = -I_s\varepsilon, \ (H.м),$$

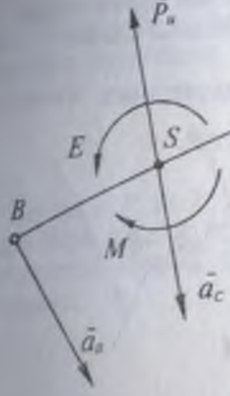
бу ерда m — бўғин массаси, кг;

a_S — массалар маркази S нинг тўлиқ тезланиши;

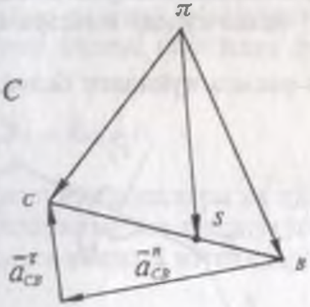
I_s — бўғиннинг массалар марказидан ўтувчи ва ҳаракат текислигига перпендикуляр бўлган ўққа нисбатан инерция моменти, кг.м^2;

ε — бўғиннинг бурчак тезланиши, c^{-2}

$\pi в$ ва C нуқталарининг тезланиши маълум бўлган BC бўғин берилган бўлсин S (5.1-расм). Тезланишлар режасида бу тезланишлар μ_a масштабдаги πc ва $\pi в$ векторлар S (5.2-расм) билан белгиланган $в$ ва c нуқталарни бирлаштириб, S нуқтани режада топамиз ва уни қутб билан бирлаштирамиз. Ҳосил бўлган π_s векторларининг кесма-



5.1-расм



5.2-расм

си массалар марказининг μ_a масштабдаги тезланишини тасвирлайди, яъни

$$a_S = \mu_a\left(\overline{\pi S}\right).$$

Инерция кучи $P_и$ тўла тезланиш вектори $\bar{a}_S$ га тескари йўналган, қиймати эса

$$P_и = ma_s\,.$$

Тезланишлар режасида уринма тезланиш a^{τ}_{CB} ни аниқлаб, бурчак тезланиш қийматини ҳисоблаймиз:

$$a^{\tau}_{CB} = \mu_a\left(\overline{\pi s}\right)$$

$$(\varepsilon) = \frac{a^{\tau}_{CB}}{l_{CB}}\,.$$

Бўғиннинг инерция моменти I_s унинг массаси m ва инерция радиуси ρ га боғлиқ

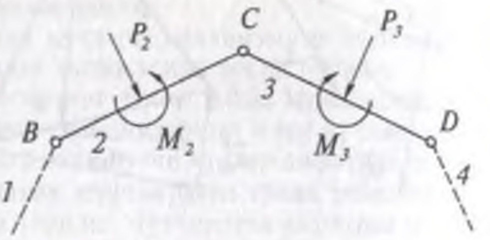
$$I_s = m\rho^2.$$

Инерция кучлари жуфтлигининг моменти $M_и$ бурчак тезланиш йўналишига тескари йўналган ва тенг

$$M_и = -I_s \cdot \varepsilon.$$

5.1.3. Механизмларни кучлар режасини қуриш усули билан кучлар таъсири бўйича таҳлил қилиш

5.3-расмга қуйидаги белгиларни киритамиз:



5.3-расм

1,2,3,4 — механизм бўғинлари;

ВСД — 2-синф, биринчи тур тузувчи гуруҳ;

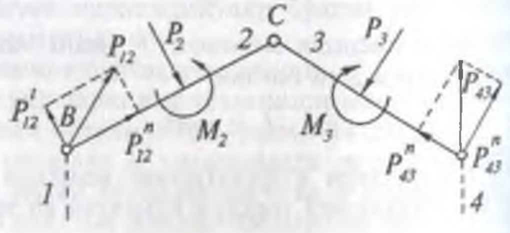
R_{k1} — 1-бўғинга *к* бўғин томонидан таъсир қилувчи куч;

M_2, M_3 — кучларнинг айлантирувчи моментлари;

M_k — кучлар жуфтлигининг *к* бўғинга таъсир қилувчи моменти;

$M_A(P_k)$ — P_k кучнинг *А* нуқтага нисбатан моменти.

Масала юқоридаги моментлар M_2, M_3 ва ташқи кучлар P_2, P_3 таъсирида жойлашган 2-синф биринчи тур тузувчи гуруҳнинг кинематик жуфтларидаги реакцияларни аниқлашдан иборатдир. Масалани ечиш учун кучларнинг режаларини қуриш усулидан фойдаланамиз. Номаълум реакциялар R_{12} ва P_{43} мос равишда *В* ва *Д* нуқталарида ҳосил бўлади (5.4-расм).



5.4-расм

Қурилаётган груҳнинг мувозанат тенгламасини тузамиз, бунинг учун груҳга таъсир қилувчи кучларнинг векторлари йиғиндиси нолга тенг бўлиш шартидан фойдаланамиз:

$$\overline{R}_{12} + \overline{P}_2 + \overline{P}_3 + \overline{R}_{43} = 0.$$

Бу ерда P_2 ва P_3 кучларнинг йўналишлари ва қийматлари берилган. R_{12} ва R_{43} кучларнинг эса фақат қўйилиш нуқталари маълум. Бу кучларни ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$\overline{R}_{12} = \overline{R}^n_{12} + \overline{R}^\tau_{12}$$

$$\overline{R}_{43} = \overline{R}^n_{43} + \overline{R}^\tau_{43}.$$

Уримма ташкил этувчилар ва R^τ_{12} ва R^τ_{43} ни топиш учун ҳар бир бўғиннинг алоҳида мувозанатини текширамиз. Аввал 2-бўғин таъсир қилувчи ҳамма кучларнинг C нуқтага нисбатан моментлари тенгламасини тузамиз:

$$M_c(P_2) + M_c(R^\tau_{12}) + M = 0 \qquad (1)$$

R^τ_{12} кучнинг таъсир чизиғи BC га перпендикуляр, лекин йўналиши номаълум. Уни аввал ихтиёрий қабул қиламиз, ҳисоблаш натижасида қиймати манфий чиқса, ҳақиқий йўналиши қабул қилинганга тескари бўлади. 5.4-расмда кўриниб турибдики,

$$M_c(R^n_{12}) = 0; \qquad M_c(R_{32}) = 0$$

$M_c(R^\tau_{12}) = R^\tau_{12} \cdot l_{BC}$ эканлигини назарга олиб (1) тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$M_c(R^\tau_{12}) + R^\tau_{12} \cdot l_{BC} + M_2 = 0.$$

Бу ердан

$$R^\tau_{12} = -\left[\frac{M_c(P_2)}{l_{BC}} + \frac{M_2}{l_{BC}}\right].$$

Худди шу тарзда, $M_c\left(R_{43}^n\right)=0;\ M_c\left(R_{23}\right)=0;$ эканлигини эътиборга олиб, 3-бўғин мувозанат шартларидан келиб чиққан ҳолда қуйидаги кўринишдаги моментлар тенгламасини ҳосил қиламиз;

$$M_c\left(P_3\right)+M_c\left(P_{43}^{\tau}\right)+M_3=0. \qquad (2)$$

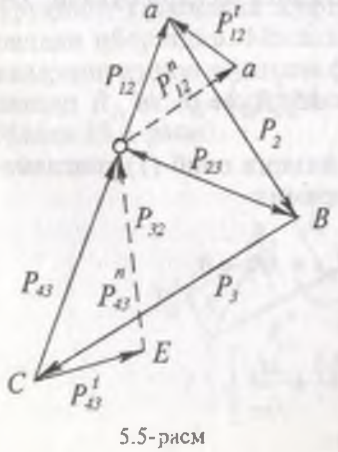
$M_c\left(R_{43}^{\tau}\right)=R_{43}^{\tau}\cdot l_{CD}$ эканлигини назарда тутиб, (2) дан оламиз:

$$R_{43}^{\tau}=-\left[\frac{M_c\left(P_3\right)}{l_{CD}}+\frac{M_3}{l_{CD}}\right].$$

Унда R_{12}^{τ} ва R_{43}^{τ} ҳисобланган қийматларини эътиборга олинса, 2-синф 1-тур икки қулоқли (поводковая) гуруҳнинг мувозанат тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$\overline{R}_{12}^{n}+\overline{R}_{12}^{\tau}+\overline{P}_2+\overline{P}_3+\overline{R}_{43}^{n}+\overline{R}_{43}^{\tau}=0. \qquad (3)$$

Бу ерда йўналишлари мос равишда *BC* ва *ДC* бўғинларнинг ўқларига тўғри келувчи R_{12}^n ва R_{43}^n кучларнинг қийматларигина номаълумдир. Бу қийматларни аниқлаш учун тенгламага мос равишда кучлар режасини (5.5-расм) қўшамиз.



5.5-расм

Бунинг учун ихтиёрий олинган *a* нуқтадан μ_p масштабда куч $\overline{P}_2$ векторни, сўнгра унинг охирги учидан P_3 куч векторини жойлаштирамиз. (Айтиш керакки, кучларни қўйиш тартиби бошқача ҳам бўлиши мумкин, яъни олдин $\overline{P}_3$, сўнгра $\overline{P}_2$. Бунда охирги олинадиган натижа ўзгармай қолади). Ундан кейин худди шу масштабда юқорида ҳисобланган P_{12}^{τ} ва P_{43}^{τ} куч векторларини қўямиз. (Бу ерда энди натижа қўйиш тартибига боғлиқ, яъни $\overline{R}_{43}^{\tau}\ \overline{P}_3$

охиридан, $\overline{R_{12}^{\tau}}$ эса режани бекитиши керак). Сўнгра d ва c нуқталаридан $ДС$ ва BC бўғинларига параллел чизиқлар ўтказамиз. Бу чизиқларнинг кесишган нуқтаси $\overline{R_{12}^{n}}$ куч вектори бошланиши ва $\overline{R_{43}^{n}}$ куч вектори охирини, ef ва ea эса мос равишда $\overline{R}_{43}$ ва $\overline{R}_{12}$ векторларни кўрсатади.

$\overline{R}_{32}$ реакция кучини аниқлаш учун 2-бўғиннинг қуйидаги мувозанат тенгламасини тузиш етарли:

$$\overline{R}_{12} + \overline{P}_2 + \overline{R}_{32} = 0$$

Кучлар режасида $\overline{R}_{32}$ қиймати $вf$ кесмага тенг. Худди шундай натижани 3-бўғиннинг қуйидаги мувозанат тенгламаси беради:

$$\overline{R}_{43} + \overline{P}_3 + \overline{R}_{23} = 0$$

чунки

$$\overline{R}_{32} = -\overline{R}_{23}$$

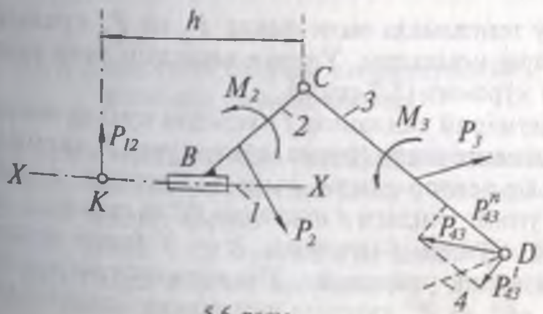
Энди таркибида илгариланма кинематик жуфт бўлган гуруҳлардаги реакция кучларини кўрайлик. 5.6-расмда икки қулоқли (поводокли) 2-синф II турдаги гуруҳ кинематик схемаси келтирилган.

Белгилар киритамиз:

P_2, P_3 — ташқи кучлар;

M_2, M_3 — кучларнинг ташқи моментлари;

X - X — илгариланма жуфт бўғинларининг ҳаракатланиш ўқи.



5.6-расм

Гуруҳга таъсир қилувчи барча кучларнинг вектор тенгламаларини тузамиз:

$$\overline{R}_{12}+\overline{P}_2+\overline{P}_3+\overline{R}_{43}=0 \quad (4)$$

P_{12} реакция йўналиши маълум, у X-X ўқига перпендикуляр бўлади. P_{43} реакциянинг эса фақат қўйилиш нуқтаси маълум. P_{43} ни ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$\overline{R}_{43}=\overline{P}_{43}^{n}+R_{43}^{\tau}$$

P_{43}^{τ} қийматини ҳисоблаш учун 3 бўғинга таъсир қилувчи кучларнинг c нуқтага нисбатан моментлари тенгламасини тузамиз:

$$M_c(\overline{P}_3)+M_c(P_{43}^{\tau})+M_3=0$$

$$M_c(P_{43}^{\tau})=P_{43}^{\tau}l_{ДС};\quad M_c(P_{23})=0;\quad M_c(P_{43}^{n})=0 \quad (5)$$

бўлгани учун (5) дан оламиз:

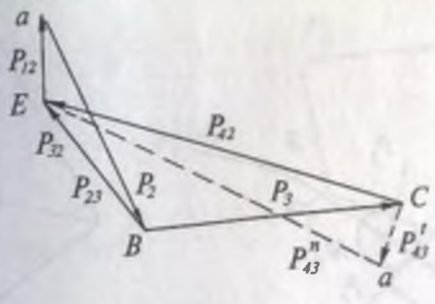
$$P_{43}^{\tau}=-\frac{1}{l_{ДС}}\left[M_c(P_3)+M_3\right]$$

Топилган қийматларни (4) тенгламага қўйсак:

$$\overline{R}_{12}+\overline{P}_2+\overline{P}_3+\overline{R}_{43}^{n}+\overline{R}_{43}^{\tau}=0$$

Бу тенгламада энди фақат P_{12} ва P_{43} кучларнинг қийматлари номаълум. Уларни аниқлаш учун кучлар режасини кўрамиз (5.7-расм).

Ихтиёрий танланган f нуқтадан кучлар масштаби μ_f да P_2 куч векторини қўямиз, сўнгра унга P_3 векторини қўшамиз. Бу вектор охири, яъни C нуқтадан π жойлаштирамиз, унинг учидаги d нуқтадан $ДС$ га параллел чизиқ ўтказамиз. Сўнгра f нуқтадан X — X ўқига перпендикуляр тўғри чизиқ чиқарамиз. Икки чизиқнинг кесишиш нуқтаси eP_{43}^{n} ва P_{12} кучлари қийматини белгилайди. P_{43}^{τ} тўла



5.7-расм

реакция эса μ_p масштабда *ec* кесма $P_{23} = - P_{32}$ реакция эса *ав* кесма билан аниқланади.

Энди P_{12} кучнинг $X - X$ ўқида қўйилиш нуқтаси K ни аниқлаш керак. Бунинг учун 2-бўғинга таъсир қилувчи кучларнинг моментлари тенгламасини тузамиз:

$$M_c (P_2) + M_c (P_{12}) + M_2 = 0$$
$$M_c (P_{32}) = 0 ;\ M_c (P_{12}) = h \cdot P_{12}$$

бўлгани учун

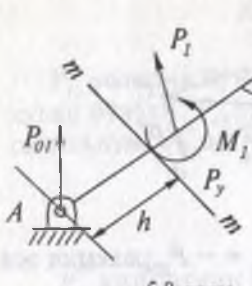
$$h = -\frac{1}{P_{12}}\left[M_c\left(P_2\right) + M_2\right].$$

K нуқта шартли равишда ползун ташқарисида етгандай тасвирланган бўлса ҳам, аслида у 1- ва 2-бўғинларнинг уриниш соҳасида жойланган.

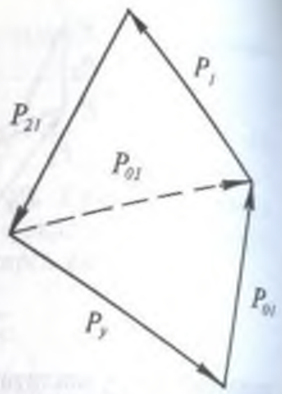
5.1.4. Етакловчи бўғинни кинетостатик ҳисоблаш (мувозанатлаш)

1. Агар бўғин ташқи кучлар таъсирида мувозанат ҳолатида бўлмаса, унга мувозанатловчи куч ёки мувозанатловчи момент қўйиш керак.

Етакловчи бўғин 1 (5.8-расм) қўзғалмас бўғин билан айланма жуфтликка кирсин ва унга P_{21}, P_1 кучлари ва момент M_1 таъсир қилсин.



5.8-расм



5.9-расм

Мувозанатловчи куч P_y таъсир чизиғи $m - m$ бўлсин. A нуқтага нисбатан моментлар тенгламасини тузайлик:

$$M_A(P_y) + M_A(P_1) + M_A(P_{21}) + M_1 = 0 \qquad (6)$$

$$M_A(P_{21}) = 0\,;\; M_A(P_y) = P_y h$$

бўлгани учун ҳосил қиламиз:

$$P_y = -\frac{1}{h}\left[M_A(P_1) + M_A(P_{21}) + M_1\right]$$

Ундан кейин — P_{01} реакцияни аниқлаш учун қуйидаги векторлар тенгламасини тузамиз:

$$\overline{P}_y + \overline{P}_1 + \overline{P}_{12} + \overline{P}_{01} = 0 \qquad (7)$$

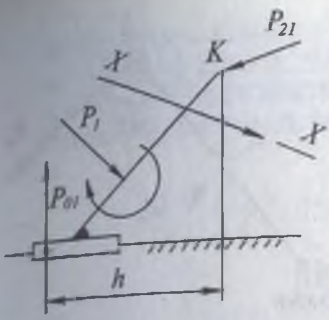
Кучлар режаси (5.9-расм) асосида P_{01} қиймати ва йўналишини аниқлаймиз.

Агар мувозанатлаш учун куч эмас момент қўйилса, унда (6) тенгламадан бевосита олиш мумкин:

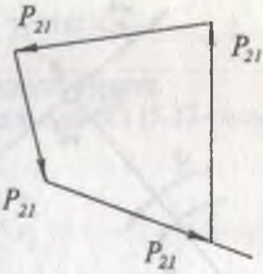
$$M_y = -\left[M_A(P_1) + M_A(P_{21}) + M_1\right].$$

P_{01} реакция кучининг қиймати бу ҳолда қуйидаги вектор тенгламадан топилади:

$$\overline{P}_1 + \overline{P}_{12} + \overline{P}_{01} = 0$$



5.10-расм



5.11-расм

P'_{01} ни аниқлаш учун кучлар режаси 5.11-расмда берилган.

2. Етакловчи бўғин қўзғалмас бўғин билан айланма эмас, балки илгариланма жуфтликка кирса (5.10-расм) P_{01} йўналиши олдиндан маълум. Унда кучлар мувозанатининг (7) вектор тенгламасидаги P_{01} ва P_y йўналишлари ҳам маълум бўлади. Уларнинг қийматларини аниқлаш учун кучлар режасини қурамиз (5.11-расм).

P_{01} кучининг қўйилиш нуқтаси N ҳолати K нуқтага нисбатан моментлар тенгламаси орқали топилади:

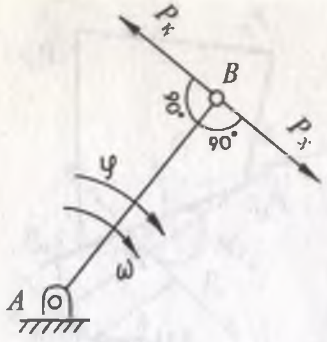
$$M_к(P_y) + M_к(P_1) + M_к(P_{01}) + M_1 = 0$$

Бу ерда $M_к(P_{01}) = P_{01}h$ бўлгани учун

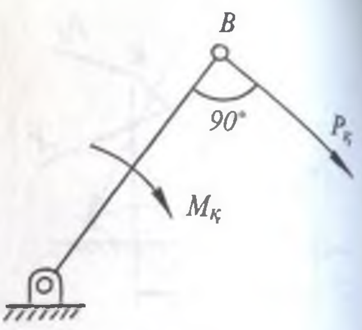
$$h = -\frac{1}{P_{01}}\left[M_к(P_1) + M_к(P_y) + M_1\right].$$

5.1.5. Кучлар ва моментларни келтириш

Кучлар ва моментлар таъсирида бўлган механизмларни текширишда ҳамма кучларни битта бўғинга, айниқса етакловчига келтириш қулай бўлади. Бунда ҳамма кучлар ҳосил қиладиган қувват ёки иш миқдори алмаштирувчи кучлардан олинадиган қувват ёки ишга тенг бўлиши шарт. Бундай алмаштирувчи кучлар келтирилган кучлар деб аталади. Механизмнинг келтирилган кучлар қўйилган



5.12-расм



5.13-расм

бўғини келтириш бўғини, кучлар қўйилган нуқта эса келтириш нуқтаси дейилади.

5.12-расмда кўрсатилгандай, етакловчи бўғинга ҳам ҳаракатлантирувчи $P_х$ куч, ҳам қаршилик $P_қ$ кучларини келтириш мумкин. Бунда $P_х$ куч ҳамма ҳаракатлантирувчи кучлар бажарган ишига тенг ишни, P_c куч эса ҳамма қаршилик кучлари ишига тенг ишни ҳосил қилиши керак.

Бунда

$$N_K = \sum_{1}^{K} N_1,$$

бу ерда $N_к$ — келтирилган куч ёки келтирилган момент ҳосил қилган қувват; N_1 — 1 бўғинга қўйилган кучлар ва моментлар ҳосил қилган қувват.

$$N_к = P_к V_в = M_к \cdot \omega$$

(5.12-расм) бўлгани учун

$$P_K = \frac{\sum_{1}^{K} N_i}{V_B}; \qquad M_K = \frac{\sum_{1}^{K} N_i}{\omega};$$

Ундан ташқари

$$\sum_{1}^{K} N_i = \sum_{1}^{K} P_i V_i \cos \alpha i + \sum_{1}^{K} M_i \cdot \omega_i$$

бу ерда P_i, M_i — i бўғинга қўйилган куч ва момент;

$B-V_B$ — нинг қўйилиш нуқтаси тезлиги;
ω_i — i бўғин бурчак тезлиги;
a_i — P_i ва V_i йўналишлари орасидаги бурчак.
Охирги кўринишда қуйидагиларни оламиз (5.13-расм):

$$P_K = \sum_1^K P_i \frac{V_i \cos \alpha_i}{V_\beta} + \sum_1^K M_i \frac{\omega_i}{V_\beta}$$

$$M_K = \sum_1^K P_i \frac{V_i \cos \alpha_i}{\omega_1} + \frac{\sum_1^K M_i \omega_i}{\omega_1}$$

5.1.6. Жуковский пишанги (ричаги)

Мумкин бўлган силжишлар тамойили (принципи)га кўра, агар қандайдир механик тизимга кучлар таъсир қилаётган бўлса, уларга шартли инерция кучларини қўшиб ва бутун тизимга унинг текширилаётган ҳолати учун мумкин бўлган силжишлар бериб, йиғиндиси нолга тенг бўлувчи элементар ишлар қаторини оламиз, яъни

$$\sum_1^n P_i \delta_{pi} = 0 \qquad (8)$$

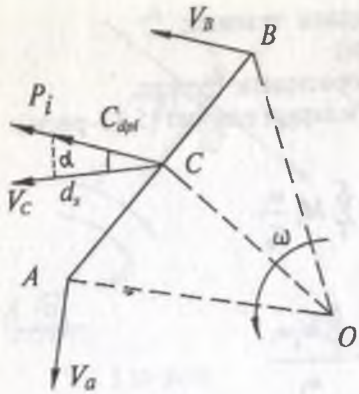
бу ерда P_i — таркибида инерция кучлари ҳам бўлган кучлар; δ_{Pi} — мумкин бўлган силжишларнинг текширилаётган моментда P_i йўналишига проекцияси.

Механизм мажбуран ҳаракатлантирилувчи занжир бўлгани учун мумкин бўлган силжишлар ҳақиқий бўлади, яъни

$$\sum_1^n P_i dP_i = 0 \qquad (9)$$

бу ерда dP_i — ҳақиқий силжишларнинг қўйилган кучлар йўналишларига проекциялари.

AB бўғинга C нуқтасида P_i кучи таъсир қилсин (5.14-расм), бунда тезликлар v_A ва v_C маълум бўлсин. Унда C



5.14-расм

нуқтанинг ҳақиқий элементар силжиши v_C йўналишга устма-уст тушади.

Бурилган тезлик режасини кўрамиз (5.15-расм)

$$dA_i = P_i dP_i \qquad (10)$$

ва ундан ташқари $dP_i = dS \cos \alpha$ бўлгани учун $dA_i = P_i . dS . \cos \alpha$.

Бу ерда $dS = v_C\, dt$, унда $dA_i = P_i v_C \cos \alpha dt$.

Тезликлар режасидан

$$v_C = \mu_v(\overline{P}_C).$$

Шунинг учун

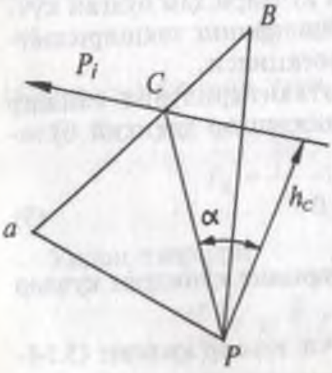
$$dA_i = P_i \cdot \mu_v(\overline{P}c)\cos\alpha \cdot dt$$

Кўриниб турибдики $(\overline{P}c)\cos\alpha = h_i$, унда $dA_i = P_i \cdot h_i . \mu_v . dt = M_p(P_i)\, \mu_v\, dt$ (9) ва (10) асосида ёзиш мумкин

$$\mu_v dt \sum_1^n M_p(P_i) = 0$$

ёки

$$\sum_1^n M_p(P_i) = 0 \qquad (11)$$



5.15-расм

(11) шуни билдирадики, агар вақтнинг берилган онида таъсир қилувчи ҳамма кучларни, жумладан, инерция кучларини, уларнинг миқдори ва йўналишини ўзгартирмай бурилган тезлик режасининг бир хил номли нуқтала-

рига кўчирилса ва режанинг қутбига нисбатан ҳамма кучларнинг моментлари тенгламаси тузилса, тезликлар режасига қутбга таянган ва ҳамма кучлар таъсирида мувозанатда бўлган пишанг (ричаг) сифатида қараш мумкин.

Жуковский усули (8) ва (9) тенгламаларнинг геометрик ифодасидир.

Агар механизм бўғинларига M_i моментли кучлар жуфтликлари таъсир қилса, унда

$$\sum_1^n M_p(P_i) + \sum_1^n M_i dL_i = 0$$

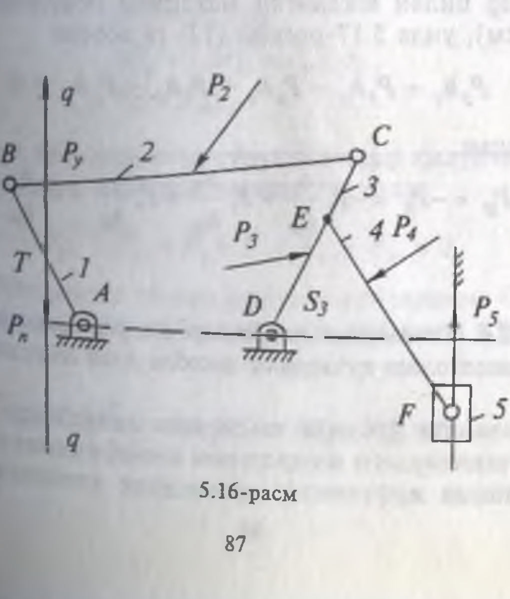
5.1.7. Келтирилган ва мувозанатловчи кучларни Жуковский усули билан аниқлаш

Юқоридагилардан маълумки, мувозанатловчи $P_м$ ва келтирилган $P_к$ кучлар ўзаро қарама-қарши йўналган

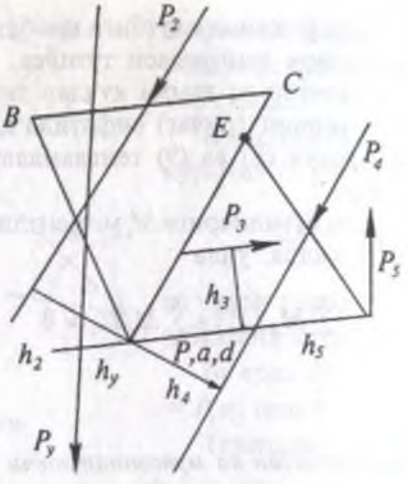
$$\overline{P}_M = -\overline{P}_K$$

унда

$$P_M dP_M = -\sum_1^n P_i dP_i$$



5.16-расм



5.17-расм

ёки

$$P_M dP_M = +\sum_1^n P_i dP_i = 0$$

Жуковский усулини қўллаганда

$$M_M(P_M) + \sum_1^n M_p(P_i) = 0 \qquad (12)$$

Кучлар билан юкланган механизм берилган бўлсин (5.16-расм), унда 5.17-расмда (12) га асосан

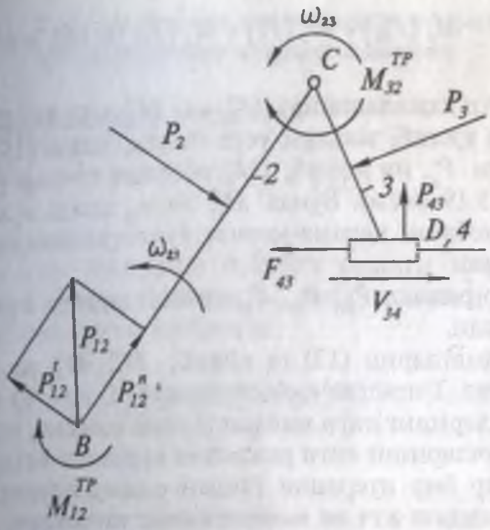
$$P_2 h_2 - P_3 h_3 - P_4 h_4 + P_5 h_5 - P_м h_м = 0$$

Бу ердан

$$P_M = -P_K = -P_2 \frac{h_2}{h_M} + P_3 \frac{h_3}{h_M} + P_4 \frac{h_4}{h_M} - P_5 \frac{h_5}{h_M}.$$

5.1.8. Кинематик жуфтлардаги реакцияларни ишқаланиш кучларини ҳисобга олиб аниқлаш

Ишқаланиш кучлари таъсирини аниқлашда кинематик жуфтликлардаги ишқаланиш коэффициентлари f_p, f_s, f_d ва айланма жуфтликлар цилиндрик элементларининг



5.18-расм

радиусларининг r_B, r_c қийматлари қабул қилинади (5.18-расм).

Кинематик жуфтликлардаги ишқаланиш туфайли қуйидаги ишқаланиш моментлари ва кучи пайдо бўлади:

$$M_{12}^{4} = P_{12} f_B r_B$$
$$M_{23}^{4} = -M_{32}^{4} = P_{23} f_C r_C \qquad (13)$$
$$F_{43} = P_{43} f_Д$$

Уларни аниқлаш учун гуруҳга таъсир қилувчи кучларнинг мувозанат тенгламаларини тузамиз:

$$\overline{P}_{12}^{n} + \overline{P}_{12}^{\tau} + \overline{P}_1 + \overline{P}_3 + \overline{P}_{43} + \overline{P}_{43} = 0 \qquad (14)$$

2- ва 3-бўғинларга таъсир қилувчи кучларнинг C нуқтага нисбатан моментлари тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

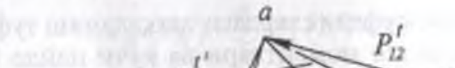
$$M_c\left(\overline{P}_{12}^{\tau}\right) + M_c\left(P_2\right) + M_3^{n} + M_{32}^{n} = 0 \qquad (15)$$

$$M_c(P_{43}) + M_c(P_3) + M_c(F_{43}) + M_{23}^n = 0 \qquad (16)$$

Биринчи яқинлашишда $M_{12}^n = 0$; $M_{32}^n = 0$; $M_c(F_3)$; $F_{43} = 0$ деб фараз қилиб, маълум усул билан, яъни (15)дан P_{43}^{τ}, (16)дан эса P_{43} ни топиб, (14) асосида кучлар режасини қурамиз (5.19-расм). Бунда M_{12}^n ва w_{12} ҳамда θ_3 ва F_3 бир-бирига нисбатан қарама-қарши йўналганлигини ҳисобга олиш керак.

Кучлар режаси P_{12}, P_{23}, P_{43} қийматлари ва йўналишларини беради.

Бу қийматларни (13) га қўйиб, M_{12}^n, M_{23}^n ва F_{43} ларни аниқлаймиз. Топилган қийматларни (15) ва (16) га қўямиз ва P_{12}^{τ}, P_{43} ларнинг янги қийматларини оламиз, сўнгра (14) асосида кучларнинг янги режасини қурамиз. Бундай яқинлашиш ҳар бир итерация ўзидан олдингиларига нисбатан ишқаланиш куч ва моментининг кичикроқ ўсишини берггунигача давом эттирилади.



5.19-расм

5.1.9. Механизмнинг келтирилган массаси ва келтирилган инерция моменти

Механизм кинетик энергияси

$$T = \frac{1}{2}\sum^{8}\left(m_i v_{S_i}^2 + I_i\omega_i^2\right).$$

Бу ифодани келтириш нуқтаси тезлиги $v_в$ ва келтириш бўғини бурчак тезлиги ω_1 квадратларига алоҳида-алоҳида кўпайтирсак ва бўлсак:

$$T = \frac{v_B^2}{2}\sum_{1}^{n}\left(\frac{m_i v_{S_i}^2}{v_B^2} + \frac{I_i\omega_i^2}{v_B^2}\right)$$

ёки

$$T = \frac{\omega_I^2}{2}\sum_{1}^{n}\left(\frac{m_i v_{S_i}^2}{\omega_B^2} + \frac{I_i\omega_i^2}{\omega_B^2}\right).$$

Унда келтирилган масса $m_к$ ва келтирилган инерция моменти $I_к$ мос ҳолда тенг бўлади:

$$m_K = \sum_{1}^{n}\left(\frac{m_i v_{S_i}^2}{v_B^2} + \frac{I_i\omega_i^2}{v_B^2}\right)$$

$$I_K = \sum_{1}^{n}\left(\frac{m_i v_{S_i}^2}{\omega_I^2} + \frac{I_i\omega_i^2}{\omega_I^2}\right)$$

$$v_{si} = \mu_v\left(\overline{P}_{si}\right);\ \omega_I = \mu_v\frac{\left(\overline{P}_B\right)}{lAB};\ \omega_n = \mu_v\frac{\left(\bar{l}_n\right)}{l_{LN}}$$

эканлигидан фойдаланиб

$$m_K = m_I\left(\frac{P_{SI}}{Pв}\right) + \frac{I_1}{l_{AB}^2}\left(\frac{\overline{ав}}{Pв}\right)^2 + \ldots + m_n\left(\frac{\overline{P}_{SI}}{Pв}\right)^2 + \frac{I_K}{l_{IN}^2}\left(\frac{l_n}{Pв}\right)^2$$

$$I_K = m_1 l_{AB}^2 \left(\frac{P_{S1}}{P\text{в}} \right)^2 + I_i \frac{l_{AB}^2}{l_{AB}^2} \left(\frac{a\text{в}}{P\text{в}} \right) + \ldots$$

$$\ldots + m_n l_{AB}^2 \left(\frac{\overline{P}_{S_n}}{P\text{в}} \right)^2 + I_n \frac{l_{AB}^2}{l_{NK}^2} \left(\frac{\bar{l}_n}{P\text{в}} \right)^2 .$$

5.2 Механизмларда ишқаланиш

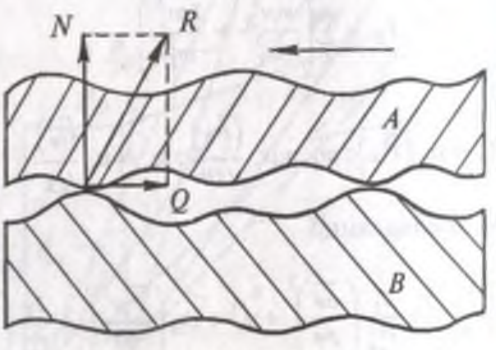
5.2.1 Ишқаланиш турлари

Ишқаланиш икки асосий турга бўлинади: жисмлар мойланмаган сиртларининг ўзаро қуруқ ишқаланиши ва сиртлар орасида мой қатлами бўлгандаги суюқ ишқаланиш.

5.20-расмда бир-бирига нисбатан ҳаракат қилувчи A ва B жисмлар орасида қуруқ ишқаланиш тасвирланган.

Агар тегишиш нуқталарида элементар тегишиш юзачаларига нормал бўйича йўналган таянч реакциялари R ни қўйсак ва уларни ташкил этувчиларга ажратсак, у ҳолда нормал ташкил этувчилар N нормал юкланишлар билан мувозанатлашади, уринма ташкил этувчилари Q эса A ва B ларнинг нисбий ҳаракатига қаршилик кучини ҳосил қиладилар. Бу куч ишқаланиш кучи деб аталади.

Суюқ ишқаланишда A ва B жисмларнинг сиртлари бевосита бир-бирига таъсир кўрсатмайди. Шунинг учун иш-



5.20-расм

қаланиш кучлари мой қатламларининг силжишга қаршилигидан иборат бўлади.

Ўзининг табиатига кўра қуруқ ва суюқ ишқаланиш ҳодисалари турлича бўлади. Кўпгина ҳолларда суюқ ишқаланиш ярим суюқ, баъзи ҳолларда эса ярим қуруқ ишқаланишга ўтиб кетиши мумкин.

Нисбий ҳаракат турлари бўйича думаланиш ишқаланиши ва сирпаниш ишқаланиши фарқ қилинади.

5.2.2. Мойланмаган жисмлардаги сирпаниш ишқаланиши

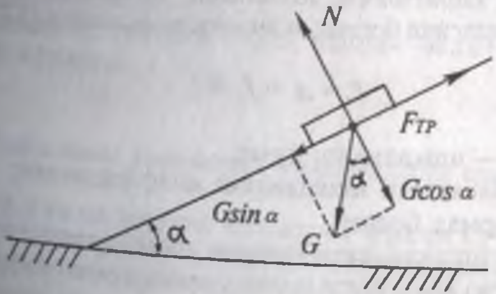
G оғирликдаги жисм қиялик бурчаги a бўлган қия текисликда жойлашган бўлсин (5.21-расм). Расмда кўриниб турибдики, нормал куч N ва ишқаланиш кучи F_o мос ҳолда тенг бўлади:

$$N = G \cos a$$
$$F_o = G \sin a$$

Бу ердан

$$\frac{F_o}{N} = tg\alpha \qquad (17)$$

Жисм тинч ҳолатда туриши учун a бурчаги қандайдир φ_o бурчагидан ошмаслиги керак. Ушбу φ_o тинч ҳолатдаги ишқаланиш бурчаги $tg\,\varphi_o = f_o$ — тинч ҳолатдаги ишқаланиш коэффициенти деб аталади.



5.21-расм

(17) га мувофиқ

$$F_o \leq f_o N \tag{18}$$

(18) тенглама шуни кўрсатадики, $G \sin \alpha$ қиймати $f_o N$ га тенглашганда ҳаракат бошланиши мумкин. Ундан ташқари шуни кўзда тутиш керакки, бундай миқдордаги куч жисмни фақат тинч ҳолатдан чиқазиш учун етарли бўлади.

Нисбий ҳаракатда модули бўйича тинч ҳолат ишқаланишидан кичик ва ундан фарқли ўлароқ иш бажарувчи ҳаракат ишқаланиш (кинетик ишқаланиш) юзага келади. Леонардо да Винчи, Л.Эйлер, Кулон, Амонтон ишқаланиш масалалари билан шуғулланганлар. Кулон томонидан XVII асрлардаёқ қуйидаги тамойиллар ишлаб чиқилган эди:

1. Сирпаниш ишқаланиш кучи нормал босимга пропорционал бўлади.

2. Ишқаланиш ишқаланувчи сиртлар материали ва ҳолатига боғлиқ бўлади.

3. Ишқаланиш ишқаланувчи жисмлар нисбий тезлиги қийматига деярли боғлиқ бўлмайди.

4. Ишқаланиш ишқаланувчи жисмларнинг тегишиш сиртлари катталигига боғлиқ бўлмайди.

5. Тинч ҳолатдаги ишқаланиш ҳаракатдаги ишқаланишдан катта бўлади.

6. Ишқаланиш тегишувчи сиртларнинг бошланғич уриниш вақти ошиши билан кўпаяди.

Ҳозирги кунга келиб, табиийки, бу тамойилларга қўшимчалар киритилган. Жумладан, ишқаланиш кучи босимга қуйидагича боғлиқ эканлиги аниқланган (5.22-расм):

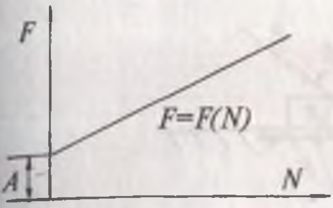
$$F = A + f_c N \tag{19}$$

бу ерда F — ишқаланиш кучи;

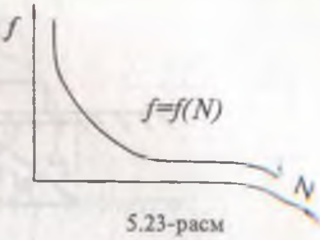
f_c — ҳаракатдаги ишқаланиш коэффициенти;

N — нормал босим;

A — тегишувчи сиртларнинг бошланғич илашишга (мойиллиги) қобилияти билан боғлиқ бўлган ўзгармас сон (19) дан олиш мумкин:



5.22-расм



5.23-расм

$$f_e = \frac{F}{N} - \frac{A}{N},$$

яъни ишқаланиш коэффициенти нормал босим билан гиперболик боғланишга эга бўлади (5.23-расм).

Аниқликлар киритилгандан сўнг қуруқ ишқаланиш тамойиллари қуйидагича ёзилади:

1. Тезлик ва юкланишларнинг фақат белгиланган диапозонидагина ишқаланиш коэффициентини ўзгармас ва ишқаланиш кучларини нормал босимларга тўғри пропорционал деб ҳисоблаш мумкин.

2. Ишқаланиш кучлари ҳар доим нисбий тезликка қарама-қарши йўналган.

3. Тинч ҳолатдаги ишқаланиш ҳаракат бошланишида кўп ҳолларда ҳаракатдаги ишқаланишдан бирмунча катта бўлади.

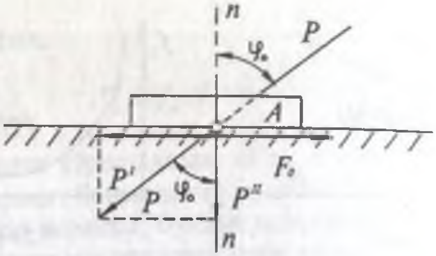
4. Тезлик ошиши билан ишқаланиш кучи кўп ҳолларда ўзгармас қиймат томон яқинлашиб, камайиб боради.

5. Солиштирма босим ошиши билан ишқаланиш кучи кўп ҳолларда кўпаяди.

6. Бошланғич уриниш вақти ошиши билан ишқаланиш кучи кўпаяди.

5.2.3. Илгариланма кинематик жуфтликдаги ишқаланиш

Ползун A га натижавий қиймати P бўлган кучлар таъсир қилсин (5.24-расм) ва тинч ҳолатдаги ишқаланиш коэффициенти f_o ва ҳаракатдаги ишқаланиш коэффициенти f берилган бўлсин.



5.24-расм

P кучни O нуқтага кўчирамиз ва ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$P^I = P\sin\varphi_o;$$
$$P^{II} = P\cos\varphi_o.$$

Амонтон-Кулон қонунига кўра, тинч ҳолатдаги ишқаланиш кучи тенг бўлади:

$$F_o = P^{II} f_o = Pf_o \cos\varphi$$

$F_o = P^I$ бўлгани учун

$$P\sin\varphi_o = Pf_o \cos\varphi_o.$$

Бу ердан $f_o tg\varphi_o$

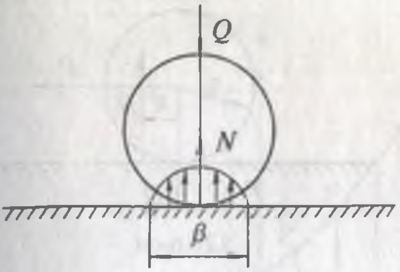
Бу шуни кўрсатадики, сирпанғич A тинч ҳолатдаги ишқаланиш бурчаги φ_o нинг тангенси f_o га тенглашгандагина тинч ҳолатдан чиқа бошлайди.

Ҳаракатдаги ишқаланиш бурчаги $\varphi_o < f_o$, бунда $\varphi = tg\varphi$.

Агар P кучга фазода турли йўналишлар берилса, у ҳолда мувозанат соҳаси тинч ҳолатдаги ишқаланиш бурчагининг косинуси билан чегараланган бўлади.

5.2.4. Думаланиш ишқаланиши

Кинематик жуфтликлар элементларининг бир-бирига думаланишида бурчак тезликка қарама-қарши йўналган думаланиш ишқаланиш моменти $M_{ДИ}$ ҳосил бўлади.



5.25-расм

Q кучи билан юкланган қўзғалмас цилиндр берилган бўлсин (5.25-расм).

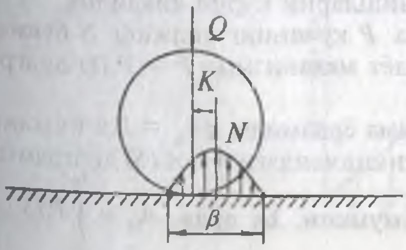
Цилиндрнинг текислик билан уриниш зонасининг (соҳасининг) эни b бўлган юзачасида контакт сиқилишнинг эллиптик қонуни бўйича тақсимланган маҳаллий деформацияси юзага келади. Бунда кучланишларнинг тарқалиш эгри чизиғи симметрик ва бу кучланишларнинг тенг таъсир этувчиси N Q га қарама-қарши йўналган бўлади. Агарки, шарни текисликда думалата бошласак, у ҳолда контакт кучланишларнинг юзачалари силжиб, носимметрик бўла бошлайди ва тенг таъсир этувчи R масофага кўчади (5.26-расм).

Бу масофа думаланиш ишқаланиш кучларининг елкаси (ёки думаланиш ишқаланиш коэффициенти) деб аталади.

У ҳолда:

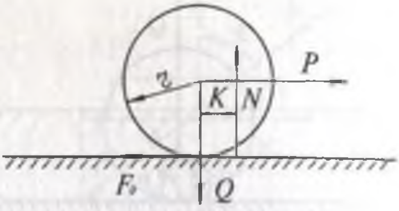
$$M_{д.и.} = Q\ R.$$

Бу ердан думаланиш ишқаланиши коэффициенти узунлик ўлчовига эга эканлиги келиб чиқади.



5.26-расм

7—Р. Зокиров



5.27-расм

Агар схемада думаланишни юзага келтирувчи ташқи кучни кўрсатсак (5.27-расм), у ҳолда

$$M = P\,r = Q\,R\ ,$$

бу ердан

$$P = R\frac{Q}{r}\,.$$

Яъни думаланиш учун зарур ташқи кучнинг қиймати думаланиш ишқаланиши коэффициентига тўғри пропорционал ва цилиндр радиусига тескари пропорционал бўлар экан.

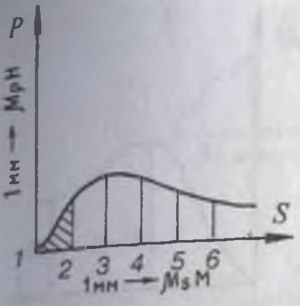
5.3. Кучлар, ишлар ва кувватлар диаграммалари

Ҳаракатлантирувчи ва ишлаб чиқариш қаршиликларининг кучлари уларнинг моддий ва технологик тавсифига кўра турли кинематик параметрларнинг: силжишлар, тезликлар, тезланишлар ва вақт функциялари бўлишлари мумкин.

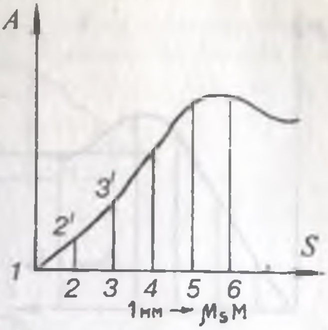
Энг кўп учрайдиган диаграммаларни ва уларнинг орасидаги боғланишларни кўриб чиқайлик.

5.28-расмда P кучининг силжиш S бўйича функциясининг (самолёт механизми) $P = P\,(s)$ диаграммаси тасвирланган.

Бу диаграмма ёрдамида, $dA_{1k} = Pds$ бўлгани учун иш A нинг йўл S функциясидаги $A = A\,(S)$ диаграммасини (5.29-расм) кўриш мумкин. Бу ерда $A_{1k} = \int\limits_{S_2}^{S_k} PdS$. 5.30-расмда ИЁД валида ҳосил қилинадиган ва бурилиш бурчаги φ



5.28-расм

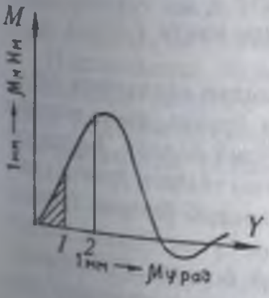


5.29-расм

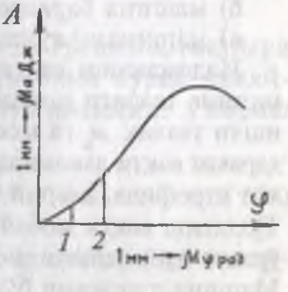
функциясидаги $M = M\ (\varphi)$ кўринишида ифодаланувчи момент диаграммаси берилган. Ундан $A_{1k} = \int_{\varphi_2}^{\varphi_k} Pd\varphi$ ифодаси ёрдамида $A = A\ (\varphi)$ иш диаграммаси (5.31-расм) қурилади.

Баъзи ҳолларда юқорида кўрсатилган катталиклар вақт t функциясида ҳам берилган бўлиши мумкин.

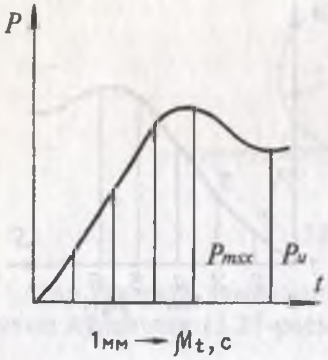
5.32-расмда қишлоқ хўжалик машинаси тортиш кучининг, 5.33-расмда эса моментнинг $M = M\ (t)$ ўзгариш қонуни берилган. $P = P\ (t)$ ва $S = S\ (t)$ диаграммалари олинган бўлса, улардан вақт t ни чиқазиб ташлаб, $P = P\ (S)$ диаграммасини, сўнгра эса юқорида кўрсатилган йўл билан $A = A\ (S)$ диаграммасини қуриш мумкин.



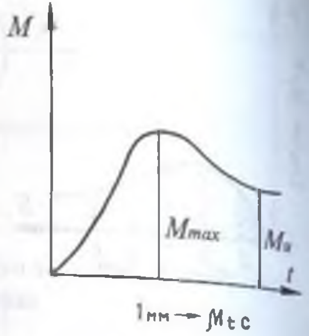
5.30-расм



5.31-расм



5.32-расм



5.33-расм

Худди шунга ўхшаш $M = M(t)$; $\varphi = \varphi(t)$ диаграммалар бўлганда $M = M(\varphi)$; $A = A(\varphi)$ диаграммаларини ҳосил қилиш мумкин.

Агар $N = N(t)$ қувват диаграммаси берилган бўлса, ундан $A = A(t)$ иш диаграммаси, $A = A(S)$ ёки $A = A(\varphi)$ берилган бўлса, $P = P(S)$ ёки $M = M(\varphi)$ диаграммаларини олиш мумкин.

5.4. Машина ва механизмларнинг ҳаракат режимлари

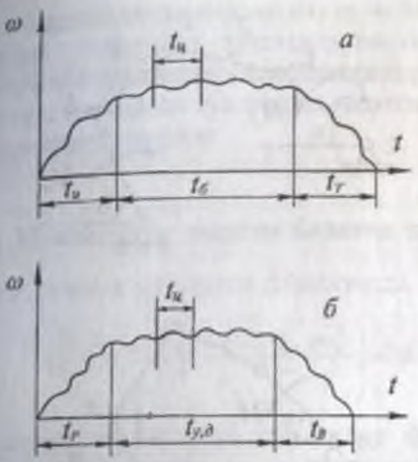
Машина ёки унинг етакловчи бўғини ҳаракатининг бошланиши ва тўхташи оралиғидаги вақт **машина ҳаракатининг тўла вақти** деб аталади. Ушбу оралиқ вақт уч қисмдан ташкил топади (5.34-расм):

а) машинанинг илдамланиш вақти t_n ;

б) машина барқарор ҳаракатининг вақти $t_б$;

в) машинани тўхтатиш вақти t_T.

Илдамланиш вақти давомида машина етакловчи бўғинининг тезлиги нолдан белгиланган ўртача, яъни нормал ишчи тезлик ω_u га мос қийматгача ўсиб боради. Барқарор ҳаракат вақти давомида етакловчи бўғин тезлиги ўртача қиймат атрофида, даврий равишда қайтарилиб ўзгариб туради. Тўхтатиш вақти мобайнида етакловчи бўғин бурчак тезлик ўртача қийматидан нолгача камайиб боради. (5.35-расм). Машина етакловчи бўғини бурчак тезлиги ω нинг вақт t га боғланиш эгри чизиғи $\omega = \omega(t)$ (тахограммаси).



5.34-расм

Барқарор ҳаракат давомида етакловчи бўғиннинг ҳолати, тезлиги ва тезланиши маълум вақтлардан кейин ўзининг бошланғич ҳолатларига қайтиб туради. Бу вақг оралиғи етакловчи бўғиннинг ҳаракат даври (цикл) деб аталади ва $t_ц$ деб белгиланади. Демак, машинанинг умумий иш даври T тенг бўлади:

$$T = t_п + t_б + t_Т$$

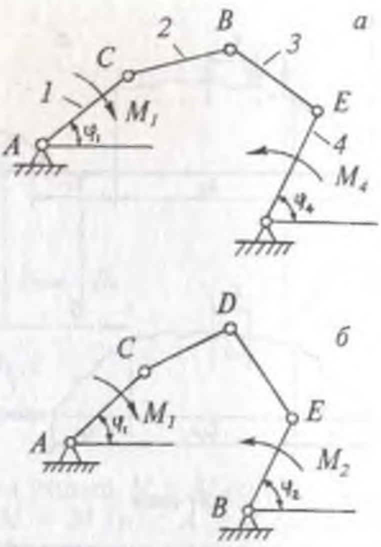
бу ерда эса $t_б = R \cdot t_ц$, R — цикллар сони.

Баъзи машиналарда ҳаракат режимлари аниқ чегараларга эга бўлмаслиги мумкин. Масалан, юк кўтариш кранлари, экскаватор ва баъзи юк кўчирувчи машиналарда тўла ҳаракат вақти T фақат илдамланиш вақти $t_п$ ва тўхтатиш вақти $t_Т$ дан иборат бўлади.

Илдамланиш, барқарор ҳаракат ва тўхтатиш вақтлари мобайнида кинетик энергия ўзгаришини кўриб чиқайлик. Моддий система кинетик энергиясининг ўзгариш тенгламасидан фойдаланамиз:

$$A_X - A_K = \sum \frac{mv^2}{2} - \sum \frac{mv_0^2}{2} \qquad (20)$$

бу ерда A_x — барча ҳаракатлантирувчи кучларнинг бажарган иши;



5.35-расм

$A_к$ — барча қаршилик кучларининг бажарган иши;

$\sum\frac{mv^2}{2}$; $\sum\frac{mv_0^2}{2}$ — тизимнинг кўрилаётган вақт мобайнида бошланғич ва охирги кинетик энергияси;

v, v_0 — тизим бўғинларининг бошланғич ва охирги тезлиги.

Машинанинг илдамланиш вақти мобайнида $v > v_0$, демак,

$$\sum\frac{mv^2}{2}-\sum\frac{mv_0^2}{2}>0;\ A_x > A_к$$

Машинанинг барқарор ҳаракати давомида $v = v_0$, демак,

$$\sum\frac{mv^2}{2}-\sum\frac{mv_0^2}{2}=0;\ A_x = A_к$$

Машинанинг тўхтатиш вақти мобайнида $v < v_0$, демак,

$$\sum\frac{mv^2}{2}-\sum\frac{mv_0^2}{2}<0;\ A_x < A_к.$$

Кўриниб турибдики, илдамланиш мобайнида кинетик энергиянинг тўпланиши, тўхтатиш вақтида эса тўплан-ган энергиянинг тўлалигича сарфланиши рўй беради. Бар-қарор ҳаракат давомида тўпланган кинетик энергия миқ-дори ўзгармай тураверади.

5.5. Машинанинг энергия баланси тенгламаси

(20) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзайлик:

$$A_X - A_K - \left(\sum \frac{mv^2}{2} - \sum \frac{mv_0^2}{2} \right) = 0 \qquad (21)$$

Қавс ичидаги катталик тезликлар фарқига боғлиқ бўлгани учун уни шартли равишда инерция кучларининг бажарган иши $A_и$ деб қабул қилиш мумкин. Унда

$$A_x - A_к \pm A_и = 0. \qquad (22)$$

$A_и$ олдидаги ишора v ва v_0 орасидаги муносабатга, яъни қайси ҳаракат режими қаралаётганига боғлиқ бўлади.

Қаршилик кучлари бажарган иш $A_к$ умумий ҳолда фой-дали қаршилик кучлари бажарган иш $A_{ф.к}$, ишқаланиш ва бошқа зарарли қаршиликларнинг бажарган иши $A_{з.к}$ ҳамда оғирлик кучининг бажарган иши A_G га боғлиқ бўлади, яъни

$$A_к = A_{ф.к} + A_{з.к} \pm A_G \qquad (23)$$

A_G олдидаги ишора бўғинлар умумий массалар марка-зининг ҳаракат йўналишига боғлиқ. Массалар маркази тепага кўтарилса, энергия сарфланиб оғирлик кучининг бажарган иши мусбат, пастга тушса энергия қўшилиб, манфий бўлади.

Унда (22) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мум-кин:

$$A_x = A_{ф.к} + A_{з.к} \pm A_и \pm A_G \qquad (24)$$

(24) ни вақт бўйича дифференциалланса

$$P_x = P_{ф.к} + P_{з.к} \pm P_и \pm P_G, \qquad (25)$$

бу ерда P_x – машинадан талаб қилинган қувват;

$P_{ф.к}$ — фойдали қаршиликларни енгиш учун сарфланадиган қувват;

$P_{з.к}$ — машинадаги барча ишқаланиш кучларини ва бошқа зарарли қаршиликларни енгиш учун кетадиган қувват;

$P_и$ — машинанинг кинетик энергиясини ўзгартириш учун сарфланадиган (мусбат ишорали) ёки кинетик энергия ўзгаришидан ҳосил бўладиган (манфий ишорали) қувват;

P_G — оғирлик кучини енгиш учун (мусбат ишорали) сарфланадиган ёки оғирлик кучи томонидан ҳосил қилинадиган (манфий ишорали) қувват.

(25) тенглама **машинанинг энергетик баланси тенгламаси** деб аталади.

Ушбу тенгламадан кўриниб турибдики, двигателдан талаб қилинадиган қувват P_x қиймати машинанинг илдамланиш режимида тўхтатиш режимига нисбатан кўпроқ бўлиши керак.

5.6. Механизмнинг фойдали иш коэффициенти

Барқарор ҳаракат вақти $t_б$ давомида кинетик энергия ўзгармай қолади, яъни

$$\sum \frac{mv^2}{2} - \sum \frac{mv_0^2}{2} = 0.$$

Унда инерция кучларининг бажарган иши $A_и = 0$.

$t_б$ вақтнинг ҳар бир цикли мобайнида оғирлик кучларининг бажарган иши ҳам нолга тенг $A_и = 0$. Унда (24) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$A_x = A_{ф.к} + A_{з.к} \quad (26)$$

Демак, барқарор ҳаракатнинг тўла цикли мобайнида барча ҳаракатлантирувчи кучларнинг бажарган иши фойдали ва зарарли қаршилик кучларининг бажарган ишига тенг бўлади.

$A_{ф.к}$ нинг A_x га нисбати η билан белгиланиб, фойдали иш коэффициенти деб аталади.

$$\eta = \frac{A_{ф.ж}}{A_x} \qquad (27)$$

ёки

$$\eta = \frac{A_x - A_{з.ж}}{A_x} = 1 - \frac{A_{з.ж}}{A_x} \qquad (28)$$

Ҳеч қандай машина ёки механизмда $A_{з.ж} \neq 0$, демак, ҳамма вақт $\eta < 1$.

Агар $A_{з.ж} = A_x$ бўлиб қолса, яъни ҳаракатлантирувчи кучлар фақат зарарли қаршиликларни енгиш учун сарфланса $\eta = 0$. Шундай қилиб, фойдали иш коэффициенти $0 \leq \eta < 1$ оралиқда ўзгариши мумкин.

Кетма-кет уланган механизмлар ёки машиналарнинг умумий фойдали иш коэффициенти уларнинг ҳар бирининг фойдали иш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг:

$$\eta_{1n} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \cdots \cdot \eta_n \qquad (29)$$

Барқарор ҳаракат вақти мобайнида бажарилган ишларнинг қиймати шу давр ичидаги қувватларнинг ўртача қийматига тўғри пропорционал, демак,

$$\eta = \frac{P_{ф.ж}}{P_x} \qquad (30)$$

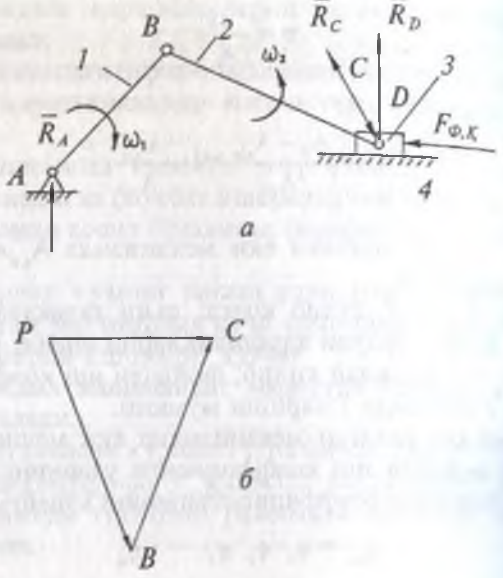
ёки

$$\eta = 1 - \frac{P_з}{P_x}. \qquad (31)$$

5.36-расмда кўрсатилган механизм учун фойдали иш коэффициентини аниқлаш керак бўлсин. Зарарли қаршиликлар кинематик жуфтликлардаги ишқаланиш кучларидан ташкил топган ва бу жуфтликлардаги ишқаланиш коэффициентлари берилган. Механизмнинг ҳар бир ҳолати учун жуфтликлардаги боғланиш реакция кучларининг қийматлари маълум.

Ишқаланиш кучларининг қийматлари тенг бўлади:

$$F_A = f_A \cdot R_A; \; F_B = f_B \cdot R_B: \; F_c = f_c \cdot R_c; \; F_D = f_D \cdot R_D,$$



5.36-расм

бу ерда f_A , f_B , f_C ,f_D — кинематик жуфтликлардаги ишқаланиш коэффициентлари;

R_A , R_B , R_C , R_D — кинематик жуфтликлардаги боғланиш реакция кучлари.

Кинематик жуфтликлардаги ишқаланиш кучларини енгиш учун сарфланадиган қувватлар.

$$P_A = F_A \cdot r_A |\omega_{14}|; \qquad P_B = F_B \cdot r_B |\omega_{21}|;$$
$$P_C = F_C \cdot r_C |\omega_{32}|; \qquad P_D = F_D \cdot V_D$$

бу ерда r_A, r_B, r_C, r_D — кинематик жуфтликлардаги шарнирларнинг радиуси;

ω_{14}, ω_{21}, ω_{32} — бўғинларнинг нисбий бурчак тезликлари.

$$|\omega_{14}| = (|\omega_1| + |\omega_4|) = |\omega_1|; |\omega_{21}| = (|\omega_2| + |\omega_1|);$$
$$|\omega_{32}| = (|\omega_3| + |\omega_2|) = |\omega_2|$$

чунки $\omega_4 = 0$; $\omega_3 = 0$

Демак,

$$P_A = f_A R_A r_A |\omega_1|; \; P_B = f_B R_B r_B (|\omega_2| + |\omega_1|;$$

$$P_C = f_C R_C r_C |\omega_2|; \; P_D = f_D R_D V_D .$$

Бурчак тезликлар ω_1, ω_2 ва чизиқли тезлик v_D қийматлари 5.36,б-расмдаги тезликлар режасидан фойдаланиб, топилиши мумкин.

Вақтнинг ҳар бир онидаги ишқаланиш кучларига сарфланадиган қувват тенг бўлади:

$$P_з = \sum P_i = P_A + P_B + P_C + P_D$$

Ушбу ифода ёрдамчи механизм тўла бир цикли учун қувват $P_з$ нинг ўзгариш графигини кўриб, унинг ўртача қиймати $P_{з.у}$ ни аниқлаш мумкин. Сўнгра берилган фойдали қаршилик кучларига сарфланадиган қувват $P_{ф.к} = f_D \cdot Q_{ф.к} \cdot v_D$ учун қурилган график бўйича унинг ўртача қиймати $P_{ф.к.у}$ топилади. Унда текширилаётган механизмнинг фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = 1 - \frac{P_{з.у}}{P_{ф.к.у.}}$$

5.7. Ҳаракат тенгламалари ва уларни текшириш

Юқорида айтилгандай, берилган кучлар таъсирида машина агрегати ёки механизмлар ҳаракатини текшириш учун ушбу ҳаракат тенгламаларини чиқариш керак бўлади.

Ҳаракат тенгламаси кинетик энергиянинг ўзгариш тенгламаси кўринишида ёзилиши мумкин.

$$A_X - A_K = \sum \frac{mv^2}{2} - \sum \frac{mv_0^2}{2}, \qquad (32)$$

Агар барча кучлар ва массалар бирор бўғинга келтирилган бўлса (13) қуйидаги кўринишни олади:

$$A_{рк} - A_{рк} = \sum \frac{m_k v_k^2}{2} - \sum \frac{m_{ko} v_{ko}^2}{2} \qquad (33)$$

бу ерда $A_{дк}$ — келтирилган ҳаракатлантирувчи кучнинг ҳаракатнинг кўрилаётган қисмидаги бажарган иши;

$A_{рк}$ — келтирилган қаршилик кучларининг шу вақт оралиғида бажарган иши;

$m_{к}$, $m_{ко}$ — келтирилган массанинг кўрилаётган вақт оралиғининг бошида ва охиридаги қийматлари;

$V_{к}$, V_{ko} — келтириш нуқтаси тезлигининг вақт оралиғи бошида ва охиридаги қийматлари.

Келтириш бўғини айланма ҳаракат қилса, кинетик энергия ўзгариш тенгламасини келтирилган моментлар $M_{кк}$, $M_{кк}$ ва инерция моментлари $Iк$ билан боғлиқ ҳолда ёзиш қулай бўлади.

$$A_{Mx} - A_{Mk} = \frac{I_k\omega^2}{2} - \frac{I_{ko}\omega_o^2}{2} \tag{34}$$

A_{Mx}-$A_{Mк}$=A деб қабул қилинса,

$$A = \frac{I_k\omega^2}{2} - \frac{I_{ko}\omega_o^2}{2}. \tag{35}$$

Умумий иш A умумий келтирилган момент $M_к$ орқали ифодаланиши мумкин:

$$A = \int_{I_o}^{I} M_k dI, \tag{36}$$

бу ерда φ — келтириш бўғини ҳолатининг бурчак координатаси.

Унда

$$\frac{I_k\omega^2}{2} - \frac{I_{ko}\omega_o^2}{2} = \int_{\varphi_o}^{\varphi} M_k d\varphi \tag{37}$$

(37) тенглама **ҳаракатнинг интеграл кўринишидаги тенгламаси** деб аталади. Бу тенглама келтирилган кучлар қиймати бўғинлар ҳолатига боғлиқ бўлган ҳолларда ишлатилади. Бошқа ҳолларда ҳаракатнинг дифференциал кўринишдаги тенгламаси қўлланилади.

(37) тенгламани координата φ бўйича дифференциаллисак:

$$\frac{d}{d\varphi}\left(\frac{I_k\omega^2}{2}\right)=M_k \qquad (38)$$

(38) да ω ҳам, $I_к$ ҳам ўзгарувчан бўлиши мумкинлигини ҳисобга олсак:

$$\frac{d}{dI}\left(\frac{I_k\omega^2}{2}\right)=I_k\omega\frac{d\omega}{d\varphi}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_k}{d\varphi}=I_k\frac{d\varphi}{dt}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_k}{d\varphi}.$$

Унда

$$I_k\frac{d\omega}{dt}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_k}{d\varphi}=M_k. \qquad (39)$$

(39) ифода **ҳаракатнинг дифференциал кўринишдаги тенгламаси** деб номланади. Бу тенглама II тартибдаги Лагранж тенгламаларидан ҳам ҳосил қилиниши мумкин.

Иккинчи турдаги Лагранж тенгламаси умумий ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\omega}\right)+\frac{\partial T}{\partial\varphi}=M$$

Агар механизм эркинлик даражаси бирга тенг бўлса, у ҳолда механизмнинг динамик таҳлили учун ушбу формула етарлидир. Одатда бу формулани ечиш учун ҳар ондаги вақтга боғлиқ бўлган қийматлар топилади. Бу формула фақат хусусий ҳолларда аналитик ечилиши мумкин бўлиб, умумий ҳолда эса Рунге-Кутте ёки Кутте-Мерсон усуллари орқали ЭҲМ ёрдамида ечилади.

Агар механизмнинг эркинлик даражаси иккига тенг бўлса, у ҳолда иккитадан иборат бўлган тенгламалар тизими ечилади (5.35-расм).

Тенгламалар тизими

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\omega_1}\right)+\frac{\partial T}{\partial\varphi_1}=M_1$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\omega_4}\right)+\frac{\partial T}{\partial\varphi_4}=M_4.$$

Агар ҳаракат тенгламаси энергетик кўринишда (37) берилган бўлса, ҳаракат қонунини ифодаловчи параметрлар қуйидагича аниқланиши мумкин: бошланғич бўғиннинг бурчак тезлиги

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{I_k}\int\limits_{\varphi_o}^{\varphi} Md\varphi + \frac{I_{ko}\omega_o^2}{I_k}}\,; \tag{40}$$

текширилаётган циклнинг вақти

$$t - t_o = \int\limits_{\varphi_o}^{\varphi} \frac{1}{\omega}d\varphi\,. \tag{41}$$

бошланғич бўғиннинг бурчак тезланиши

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\omega}{d\varphi}. \tag{42}$$

(41) ни интеграллаб $t = t(\varphi)$ функцияси топилади, сўнгра бу функция орқали бошланғич бўғиннинг ҳаракат қонуни $\varphi = \varphi\ (t)$ аниқланади.

Ҳаракат тенгламасини текшириш учун Виттенбауэрнинг механизм бошланғич бўғинининг бурчак тезлиги ва кинетик энергияси келтирилган инерция моментига боғлиқ равишда қандай ўзгариши тасвирини берувчи графоаналитик усулидан фойдаланиш мумкин.

Бунинг учун ҳаракатлантирувчи M_x ва келтирилган M_k моментларнинг бошланғич бўғини бурчак тезлигига боғлиқлик графиклари қурилади (5.37а-расм). Ҳаракатлантирувчи кучларнинг моменти M_x нинг ўзгармас қийматини ҳаракатнинг барқарорлик шартидан аниқлаймиз, яъни

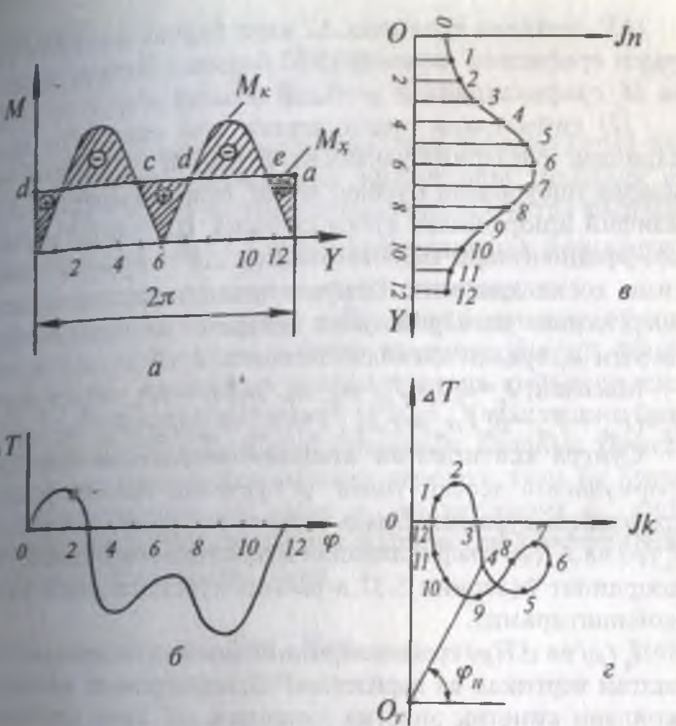
$$M_x 2\pi + \int\limits_0^{2\pi} M_k d\varphi = 0$$

ёки

$$M_x = \mu_M \cdot \mu_\varphi \frac{F}{2\pi}$$

бу ерда μ_M, μ_φ —моментлар ва бурилиш бурчакларининг масштаб коэффициентлари;

F— абсцисса ўқи ва $M_k\ (\varphi)$ графиги чизиғи орасидаги шаклнинг юзаси.



5.37-расм

$M_x(\varphi)$ графигининг абсцисса ўқидан тепадаги қисмида M_x қаршилик кучларининг моменти M_k дан иборат бўлади, яъни $M_x = M_k$, пастки қисмида эса ҳаракатлантирувчи момент вазифасини ўтайди.

Энергетик кўринишдаги ҳаракат тенгламасига кўра, графикнинг $M_x = M_k$, бўлган қисмида кинетик энергиянинг ўзгариши тенг бўлади:

$$\Delta T = \int_0^{\varphi} \left(M_x - M_k\right) d\varphi \qquad (43)$$

графикнинг M_x ҳаракатлантирувчи момент вазифасини бажарган қисмида эса:

$$\Delta T = \int_0^{\varphi} \left(M_x + M_k\right).$$

(43) тенглама ёрдамида ΔT нинг бурчак φ бўйича ўзгариши графигини чизамиз (5.37,б-расм). Бунинг учун $M_т$ ва $M_к$ графикларининг $\varphi=0$ дан бошлаб $\varphi=\varphi_i$ $(i = 1, 2, 3, ..., 12)$ қийматлари оралиқларига мос келадиган қисмларининг юзаларини ўлчаймиз. Бунда, $M_т > M_к$ бўлган қисмларда ушбу юзани мусбат, $M_т > M_к$ бўлган қисмларида эса манфий ишора билан қабул қиламиз. Шу тарзда масштаб коэффициентлари ҳисобга олинган $\Delta T = F_{oi} \cdot \mu_м \cdot \mu_\varphi$ графигини ҳосил қиламиз. График ординаталарини кинетик энергиянинг ихтиёрий қабул қилинган масштаб коэффициенти μ_T орқали ҳисоблаб топамиз. $I_{oi}=F_{oi}\mu_м \cdot \mu_j / \mu_T$

Масалан, $I_a=0$; $I_b=F_{ab} \cdot \mu_м \cdot \mu_j / \mu_T$; $I_c = (F_{ab} - F_{bc}) \mu_м \mu_j / \mu_T$; $I_d=(F_{ab} + F_{cd} - F_{bc}) \mu_м \mu_j / \mu_T$; $I_e=(F_{ab}+F_{cd}-F_{dc}-F_{de}) \cdot \mu_м \cdot \mu_j / \mu_T$

Сўнгра келтирилган инерция моментини ҳисоблаш формуласига асосан унинг φ бурчакка боғлиқ ўзгариш графигини қурамиз, бунда ўзгарувчан φ ни, кейинчалик $I_к(\varphi)$ ва $\Delta T(\varphi)$ графикларидан йўқотиш осон бўлиши учун координат ўқларини 5.37,в-расмда кўрсатилгандай буриб жойлаштирамиз.

$I_к(\varphi)$ ва $\Delta T(\varphi)$ графикларининг мос нуқталаридан ўтказилган вертикал ва горизонтал чизиқларининг кесишган жойлари кинетик энергия ўзгариши ΔT нинг келтирилган инерция моменти $I_к$ га боғлиқлик графигининг нуқталарини беради (5.37,г-расм). Ҳосил бўлган $\Delta T (I_к)$ графиги **Виттенбауэр диаграммаси** деб аталади.

Агар кинетик энергиянинг $\varphi=0$ даги қийматини $\Delta T (I_к)$ графигининг координаталар бошидан ордината ўқи бўйлаб пастга қараб қўйсак, олинган янги нуқта $T(I_к)$ графигининг координаталар боши O_T ни беради.

Виттенбауэр диаграммасининг исталган нуқтасини O_T билан бирлаштирувчи нур абсцисса ўқига нисбатан тангенсининг қиймати бурчак тезлик ω нинг квадратига пропорционал бўлган бурчак φ ни ҳосил қилади, яъни

$$td\varphi = \frac{\frac{T}{\mu_T}}{\frac{I_k}{\mu_I}} = \frac{\frac{I_k\omega^2}{2\mu_T}}{\frac{I_k}{\mu_I}} = \frac{\mu_I}{2\mu_T}\omega^s \qquad (44)$$

Бу ерда:

$$\omega = \sqrt{\frac{2\mu_T tg\varphi}{\mu_I}} \qquad (45)$$

Виттенбауэр диаграммасининг нуқталаридан кетма-кет нурлар ўтказиб φ бурчакнинг қийматлари топилади ва (45) орқали $\omega=\omega(\varphi)$ боғланиш чиқазилади. Сўнгра юқорида кўрсатилгандай $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ тенглама ёрдамида бошланғич бўғиннинг ҳаракат қонуни $\varphi=\varphi(t)$ аниқланади.

Барқарорлашган ҳаракат мобайнида бошланғич бўғиннинг умумлаштирилган тезлиги вақтнинг даврий функцияси бўлиб, қандайдир ўзгармас ўртача қийматга нисбатан даврий равишда ўзгариб туради. Ҳаракатнинг бундай нотекислиги бошланғич бўғиннинг айланма ҳаракат қилувчи механизми ёки машина агрегати учун бу бўғин бурчак тезлигининг энг катта ω_{max} ва энг кичик ω_{min} қийматлари орқали ифодаланувчи нотекислик коэффициенти d билан баҳоланади, яъни

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{\bar{y}}} \qquad (46)$$

бу ерда $\omega_{\bar{y}} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}$ — ўртача бурчак тезлик.

Бошланғич бўғин тезлигининг ўзгариб туриши қўшимча динамик юкланишларни келтириб чиқаради,натижада механизм ва машина агрегати қисмларининг ишлаш қобилияти ва ишончлилиги камаяди.

Ишлаб чиқаришда қўлланиладиган машиналар учун амалий синовлар ёрдамида δ нинг рухсат этилган қийматлари белгилаб қўйилган, масалан, металлга ишлов берувчи дастгоҳлар учун *0,02—0,04*, йигирув машиналари учун *0,01—0,02*, автомобиль двигателлари учун *0,01—0,02* ва ҳ.к.

Агар механизм ҳаракатининг нотекислик коэффициенти δ қиймати рухсат этилган қийматларидан кўпроқ чиқса, уни камайтириш учун механизм таркибига маховик кўринишида тайёрланган қўшимча айланма масса киритилади.

Нотекислик коэффициенти δ қийматини рухсат этилган чегараларга келтириш учун керак бўлган қўшимча масса қиймати Виттенбауэр диаграммасидан фойдаланиб аниқланиши мумкин.

(46) формуладан

$$\omega_{max} - \omega_{min} = \delta \cdot \omega_{\bar{y}};\ \omega_{max} = (1 + 0,5\delta)\omega_{\bar{y}};\ \omega_{min} = (1 - 0,5\delta)\omega_{\bar{y}}.$$

Бу ердан

$$\omega^2_{max} = \left(1 + \delta + 0,25\delta^2\right)\omega^2_{\bar{y}};\ \omega^2_{min} = \left(1 - \delta + 0,25\delta^2\right)\omega^2_{\bar{y}}.$$

$0,25\,\delta^2$ кичик қиймат бўлгани учун уни олиб ташласак:

$$\omega^2_{max} = (1 + \delta)\omega^2_{\bar{y}};\ \omega^2_{min} = (1 - \delta)\omega^2_{\bar{y}}.$$

Ушбу ифодаларни (25) га қўйиб, ҳосил қиламиз

$$tg\varphi_{max} = \frac{\mu_I}{2\mu_T}(1 + \delta)\,\omega^2_{yI};\ tg\varphi_{min} = \frac{\mu_\varphi}{2\mu_T}(1 - \delta)\,\omega^2_{y\varphi}.$$

Виттенбауэр диаграммасига I_k ўқига нисбатан φ_{max} ва φ_{min} бурчаклари остида уринмалар ўтказамиз. Бу уринмаларнинг кесишиш нуқтаси $T=T(I_k)$ графиги нотекислик коэффициенти δ керакли қийматларини таъминлайдиган янги координаталар маркази $O_м$ ҳолатини беради. $O_м$ нуқтасидан эски ордината ўқигача бўлган масофа маховикнинг килирилаётган инерция моментини μ_I масштабида ифодалайди, яъни

$$I_k = (O_м m)\ m_I \tag{47}$$

6. МЕХАНИЗМЛАРНИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ЙЎЛ БИЛАН ТЕКШИРИШ

Назарий йўл билан олинган натижаларнинг тўғрилиги бу катталикларни фақат табиий ҳолда бевосита механизмнинг ўзидан ўлчаб тасдиқланиши мумкин. Бироқ ўлчаниши керак бўлган баъзи катталикларнинг қиймати бир-бирига ёки тасодифий катталикларга шунчалик боғ-

лиқки, кўпинча маълум қабул қилишлардан фойдаланишга тўғри келади. Масалан, пахта териш машинаси шпиндели тишининг иши унинг барабани, юритмалари, ўзининг иши ҳамда климатик шароитлар ва ҳ.к.га боғлиқ бўлади. Бунда биринчи учта таъсирни назарий йўл билан аниқлаш мумкин бўлса кейингилари фақат тажриба йўли билан топилади. Табиатдаги ҳодисаларни бевосита ўлчаш имконияти бор бўлганда бу идеал ҳол бўларди. Кўпинча амалда бунинг иложи йўқ, шунинг учун экспериментал тадқиқотларнинг юқори усуллари ишлаб чиқилган:

1. Имитация моделлари. Бу моделлар табиий ҳодисаларга энг яқин шароитларни ҳосил қилиш учун мўлжалланган. Имитация моделлари тасодифий катталиклар таъсирини тўла ҳисобга олиш имкониятини беради.

2. Математик моделлар. Улар ўтаётган жараёнларнинг мураккаб математик ифодалари бўлган ҳолларда кўпроқ қулайдир.

3. Ноэлектрик катталикларни электр усули билан ўлчаш.

4. Тавсифнома (характеристика)ларни бевосита ўлчаш учун турли асбобларни қўллаш.

Табиийки, бу усулларнинг ҳар бири яна ўзининг турлари тўпламига эга.

Қишлоқ хўжалигида ҳозирги кунда машина ва механизмларнинг тавсифномаларини (тезликлар, тезланишлар, ейилишлар, аниқликлар ва ҳ.к.) бевосита ўлчаш усуллари энг кўп тарқалган. Бунинг учун турли чизғичлар, штангенциркуллар, тахометрлар, тезлаштириб кинога олиш ва ҳоказолар қўлланилади. Сўнгги пайтларда электр бўлмаган катталикларни электр йўли билан ўлчаш усуллари ривожланиб бормоқда. Бу ерда асосан датчиклар, осциллографлар ва турли асбоблар ишлатилади. Бу асбобларнинг бир қисми билан лаборатория машғулотларида танишилади.

Математик моделлаштириш усуллари қўлланилганда ҳозирги пайтда ЭҲМ лардан фойдаланилади. Буларга асосан ҳисобий усуллар, оптимизация усуллари киради.

Механизмларни экспериментал тадқиқот қилишда моделлаштириш иккита йўл орқали амалга оширилади:

— аналогли электрон машиналарини қўллаш;

— рақамли ЭҲМни қўллаш.

Нотекислик коэффициенти δ қийматини рухсат этилган чегараларга келтириш учун керак бўлган қўшимча масса қиймати Виттенбауэр диаграммасидан фойдаланиб аниқланиши мумкин.

(46) формуладан

$$\omega_{max} - \omega_{min} = \delta \cdot \omega_{\bar{y}};\ \omega_{max} = (1 + 0,5\delta)\,\omega_{\bar{y}};\ \omega_{min} = (1 - 0,5\delta)\,\omega_{\bar{y}}.$$

Бу ердан

$$\omega^2_{max} = \left(1 + \delta + 0,25\delta^2\right)\omega^2_{\bar{y}};\ \omega^2_{min} = \left(1 - \delta + 0,25\delta^2\right)\omega^2_{\bar{y}}.$$

$0,25\,\delta^2$ кичик қиймат бўлгани учун уни олиб ташласак:

$$\omega^2_{max} = (1 + \delta)\omega^2_{\bar{y}};\ \omega^2_{min} = (1 - \delta)\omega^2_{\bar{y}}.$$

Ушбу ифодаларни (25) га қўйиб, ҳосил қиламиз

$$tg\varphi_{max} = \frac{\mu_I}{2\mu_T}\left(1 + \delta\right)\omega^2_{yI};\ tg\varphi_{min} = \frac{\mu_\varphi}{2\mu_T}\left(1 - \delta\right)\omega^2_{y\varphi}.$$

Виттенбауэр диаграммасига I_k ўқига нисбатан φ_{max} ва φ_{min} бурчаклари остида уринмалар ўтказамиз. Бу уринмаларнинг кесишиш нуқтаси $T=T(I_k)$ графиги нотекислик коэффициенти δ керакли қийматларини таъминлайдиган янги координаталар маркази $O_м$ ҳолатини беради. $O_м$ нуқтасидан эски ордината ўқигача бўлган масофа маховикнинг қилирилаётган инерция моментини μ_I масштабида ифодалайди, яъни

$$I_k = (O_м m)\, m_I \tag{47}$$

6. МЕХАНИЗМЛАРНИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ЙЎЛ БИЛАН ТЕКШИРИШ

Назарий йўл билан олинган натижаларнинг тўғрилигини бу катталикларни фақат табиий ҳолда бевосита механизмнинг ўзидан ўлчаб тасдиқланиши мумкин. Бироқ ўлчаниши керак бўлган баъзи катталикларнинг қиймати бир-бирига ёки тасодифий катталикларга шунчалик боғ-

лицки, кўпинча маълум қабул қилишлардан фойдаланишга тўғри келади. Масалан, пахта териш машинаси шпинделі тишининг иши унинг барабани, юритмалари, ўзининг иши ҳамда климатик шароитлар ва ҳ.к.га боғлиқ бўлади. Бунда биринчи учта таъсирни назарий йўл билан аниқлаш мумкин бўлса кейингилари фақат тажриба йўли билан топилади. Табиатдаги ҳодисаларни бевосита ўлчаш имконияти бор бўлганда бу идеал ҳол бўларди. Кўпинча амалда бунинг иложи йўқ, шунинг учун экспериментал тадқиқотларнинг юқори усуллари ишлаб чиқилган:

1. Имитация моделлари. Бу моделлар табиий ҳодисаларга энг яқин шароитларни ҳосил қилиш учун мўлжалланган. Имитация моделлари тасодифий катталиклар таъсирини тўла ҳисобга олиш имкониятини беради.

2. Математик моделлар. Улар ўтаётган жараёнларнинг мураккаб математик ифодалари бўлган ҳолларда кўпроқ қулайдир.

3. Ноэлектрик катталикларни электр усули билан ўлчаш.

4. Тавсифнома (характеристика)ларни бевосита ўлчаш учун турли асбобларни қўллаш.

Табиийки, бу усулларнинг ҳар бири яна ўзининг турлари тўпламига эга.

Қишлоқ хўжалигида ҳозирги кунда машина ва механизмларнинг тавсифномаларини (тезликлар, тезланишлар, ейилишлар, аниқликлар ва ҳ.к.) бевосита ўлчаш усуллари энг кўп тарқалган. Бунинг учун турли чизғичлар, штангенциркуллар, тахометрлар, тезлаштириб кинога олиш ва ҳоказолар қўлланилади. Сўнгги пайтларда электр бўлмаган катталикларни электр йўли билан ўлчаш усуллари ривожланиб бормоқда. Бу ерда асосан датчиклар, осциллографлар ва турли асбоблар ишлатилади. Бу асбобларнинг бир қисми билан лаборатория машғулотларида танишилади.

Математик моделлаштириш усуллари қўлланилганда ҳозирги пайтда ЭҲМ лардан фойдаланилади. Буларга асосан ҳисобий усуллар, оптимизация усуллари киради.

Механизмларни экспериментал тадқиқот қилишда моделлаштириш иккита йўл орқали амалга оширилади:

— аналогли электрон машиналарини қўллаш;

— рақамли ЭҲМни қўллаш.

Аналогли машиналар тўхтовсиз жараёнларда рўй бераётган ўзгаришларни кўздан кечиришга имконият беради ва шунинг учун механизмлар параметрларининг турли ўзгариш графикларини текшириш мумкин бўлади.

Рақамли ЭҲМ амалларни дискрет қийматлар билан бажаради, шунинг учун натижаларни рақамлар кўринишида беради. Специфик (махсус) тадқиқотларда рақамли-аналогли машиналар ҳам қўлланилади.

ЭҲМни қўллаш у ёки бу рақамли усулдан фойдаланиш билан боғлиқ.

Механизмларнинг тадқиқотида, масалан, уларни синтез қилишда қуйидаги усуллар ишлатилади:

— интерполяциялаш;

— квадратли яқинлашиш;

— энг яхши (Чебишев бўйича) яқинлашиш.

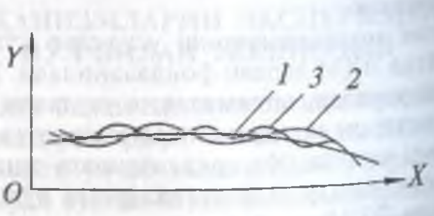
Интерполяциялаш усули берилган ва олинган (ҳосил қилинадиган) эгри чизиқларнинг белгиланган нуқталарда мос келишини таъминлайди (7.1-расм).

Ҳосил қилинадиган деганда механизм шатуни нуқтасининг қандайдир берилган чизиққа мос келувчи эгри чизиғи тушунилади.

Квадратли яқинлашиш усули ҳосил қилинадиган эгри чизиқнинг берилганга нисбатан ўртача квадратик оғиши (хатолиги)нинг минимал қийматини таъминлайди.

Чебишев бўйича яқинлашиш деб ҳам аталувчи энг қулай яқинлашиш усули ҳосил қилинадиган чизиқнинг берилганига нисбатан кичик ва бир шароитда оғишини таъминлайди.

Ҳозирги кунда саноқли эксперимент учун яна кўпгина янги усуллар мавжуд. Уларнинг ичида янги итерацион усулни (қаранг: Г.Ш.Зокиров. Синтез плоских механизмов на ЭВМ. Ташкент, Изд-во "Фан", 1972.) ва оп-



7.1-расм

тимизациялаш усуллари ўз навбатида жуда кўп кўриниш-ларга (модификацияларга) эга ва масаланинг оптимал (назарий томондан ундан яхшилаб бўлмайдиган) ечимини беради.

Бугунги кунда машинасозликда бир вақтнинг ўзида бир нечта мақсадга эришишни таъминлайдиган кўп мезонли оптимизациялаш (машинасозликда олиб борилаётган ишлар) қўлланилмоқда.

Экспериментал тадқиқотлар соҳаси бўйича энг катта ютуқ сифатида имитацион моделлардан фойдаланиш усуллари ҳисобланади. Бу мақсадларда ҳозир АСУТПлар ишлаб чиқилган. (Қаранг: Г. Ш. Зокиров, Р. Х. Аюпов "Алгоритмизация построения математических моделей непрерывных технологических процессов". Ташкент, изд-во "Фан". 1996).

7. МЕХАНИЗМЛАРНИ СИНТЕЗ (БАРПО) ҚИЛИШ

Машиналарнинг уларда бажариладиган жараёнларга мос равишда белгиланган талабларга ва шартларга жавоб берадиган механизмларини синтез қилиш машина ва механизмлар назариясининг асосий муаммоларидан биридир. Талаблар ва шартларнинг бажарилиши аниқлиги синтез натижаларининг мезони ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан синтез қилишнинг ҳозиргача ишлаб чиқилган усуллари орасида алгебраик усуллар қадрлироқ саналади, чунки улар геометрик усулларга нисбатан биринчидан, аниқроқ, иккинчидан, умумийроқ, яъни механизмларни умумлаштирилган синфларга бўлиб синтез қилиш мумкин, учинчидан, ҳисоблаш техникасидан фойдаланиш имконини беради.

Ҳозирги пайтда алгебраик усуллар ичида текис механизмларни берилган талаб функциясига кетма-кет яқинлашиб бориш (яқинлаштириш) йўли билан синтезлаш усуллари кенг ривожланган. Яқинлаштириб синтезлаш масаласи текис механизмларни икки синфга бўлиб ечилади:

1) йўналтириш механизмлари синтези;
2) узатиш механизмлари синтези.

Биринчи синф масаласи қуйидагиларни ўз ичига олади.

Текисликда қандайдир $y_1=f_1(x)$ эгри чизиғи берилган. Шайинининг нуқтаси муайян аниқлик билан берилган эгри чизиқни чизувчи механизмни синтез қилиш талаб қилинади. Табиийки, бу эгри чизиқ x ва y координаталарининг жадвалий қийматлари ёки унинг тенгламаси орқали берилган бўлиши мумкин.

Бу масалани ечиш учун, аввал шайиннинг нуқтаси қандайдир, масалан бошқа $y_2=f_2(x)$ эгри чизиқ чизувчи текис механизм (шарнирли тўрт бўғинлик, кривошипли-шайинли, кулисали ва ш.ў.) танланади. Берилган y_1 функцияни олинган y_2 га тенглаштирилиб ва қуйида кўрсатилган яқинлаштириш усулларининг биридан фойдаланиб, механизмнинг изланган параметрлари топилади.

Иккинчи масала биринчисидан шу билан фарқ қиладики, бу ерда синтез қилинувчи механизм етакланувчи бўғин силжишининг етакловчи бўғин силжишига нисбати ҳолат функцияси $\Psi=f(\varphi)$, ёки бошқа физик катталиклар ўртасидаги муносабат кўринишида берилган боғлиқликни келтириб чиқариши лозим бўлади.

Атоқли математик ва механик П.Л.Чебишев алгебраик усулларнинг асосчиси саналади. Шайинининг нуқтаси чизган эгри чизиғи тўғри чизиққа яқинлаштирилган симметрик шарнирли тўрт бўғинли механизмни синтез қилиш бўйича ишлар унга тегишлидир. Шатунининг эгри чизиғи айлана ёйига яқинлаштирилган шарнирли тўрт бўғинли механизмни синтез қилиш масаласини ечишда улушли айирма усулини ҳам у биринчи бўлиб қўллаган.

Улушли айирма деганда, берилган функциядан четга чиқишни параметрик улушга кўпайтирганда ҳосил бўладиган катталик тушунилади, яъни

$$\Delta q = \Delta n \cdot q_в \tag{1}$$

бу ерда Δq — улушлар фарқи;

Δn — берилган функциядан четга чиқиш ;

q_p — ўзгармас параметрларга боғлиқ ва ўзгармас катталикдан озгина фарқ қилувчи параметрик улуш.

Параметрик улушни Чебишев қуйидаги ифода орқали аниқлаган

$$q_r = R + R_м \tag{2}$$

бу ерда R — шатун эгри чизиғи яқинлаштириши керак бўлган радиуси;

$R_{ш}$ — ушбу айлана марказидан шатун эгри чизиғи нуқталаригача бўлган ўзгарувчан масофа.

Шундай қилиб, Δq, нолга қанчалик яқинлашган сари Δn қиймати ҳам шунчалик камая боради, чунки у Δq га нисбатан $R+R_{ш} \approx 2R$ марта камдир.

Симметрик бўлмаган ва кўп бўғинли тўғри чизиқли йўналтириш механизмларини синтез қилиш масалаларини Чебишев Δn ифодасини кўрсаткичли қаторга ёйиш орқали [94,96-98], тишли ғилдиракларнинг профилини яратиш масалаларини [95] ечишга эса Δn кўрсаткичли қаторга ёйилганидан кейин, унинг параметрларини энг яхши яқинлашиш шарти асосида аниқлаштирган.

Бевосита Чебишев усуллари билан ечиладиган масалалар доираси чекланган бўлгани учун бошқа усуллар ишлаб чиқила бошланган.

Н.И.Левитский ва Г.Каранов механизмларни синтез қилиш масалаларини ечиш учун функцияларни квадратик яқинлаштиришни таклиф қилганлар.

З.Ш.Блох, Е.П.Новодворский, Ф.Фрейденштейн ва К.Зикер ишларида функцияларни интерполяциялаштириш усули қўлланилган.

М.В.Семенов томонидан гармоник таҳлил қилиш усули, А.Свобода ва И.Ш.Пинекнер томонидан эса берилган функциядан четга чиқишларнинг аналитик ифодасини қаторга ёйиш усули ишлаб чиқилган.

Н.И.Левитский, шарнирли тўрт бўғинликни шайин ва коромисло орасидаги шарнирида қўшимча бўғин-сирпангич киритилиб, ҳосил қилинган беш бўғинли механизм деб қараб, улушланган фарқни қуйидаги кўринишда ифодалаган

$$\Delta q = B^2 - B_{\varphi}^2, \qquad (3)$$

бу ерда B^2 — тўрт бўғинли механизм шайинининг узунлиги; $B_{ф}$ — ўзгартирилган беш бўғинли механизмдаги шайиннинг ўзгарувчан узунлиги.

(3) ифодада параметрик улуш тенг бўлади

$$q_p = B + B_{ф} \approx 2B;$$

берилган функциядан четга чиқиш эса

$$\Delta n = B - B_{\phi} \qquad (4)$$

Н.И.Левитский усули бўйича улушланган фарқ умумий ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\Delta q_i = A\left[\sum_{j=0}^{j=n} P_j f_j\left(x_i\right) - F\left(x_i\right)\right], \qquad (5)$$

$$j = 0,1,2,...,n; \; i = 0,1,2,..., m,$$

бу ерда A, P_j — изланган параметрларга боғлиқ бўлган номаълум коэффициентлар;

$f_j(x_i)$ — берилган параметрлар орқали ифодаланган маълум функциялар.

Одатда, агар $m = n$ бўлса, (5) формула умумлаштирилган номинал кўринишига келади ва номаълум коэффициентларга нисбатан чизиқли алгебраик тенгламалар тизимини ифодалайди. Агар $m<n$ бўлса, коэффициентларнинг бир қисми бошқалари билан чизиқли бўлмаган боғланишга тушиб қолади ва шу сабабли (5) ифода чизиқли бўлмаган тенгламалар тизими кўринишига эга бўлади.

Бу усул Н.И.Левитский ва унинг шогирдлари томонидан ривожлантирилиб, фазовий механизмлар синтезида қўлланилган.

Ҳисоблаш техникасининг кенг ишлатила бошланиши механизмларни синтез қилишда қўйиладиган барча чекланишларни эътиборга олиш имконини берди. Бу чекланишлар қуйидаги шартлардан келиб чиқади:

1) динамик шартлар (керакли босим бурчаклари, юқори Ф.И.К. ва бошқ.);

2) конструктив (конструкцияга киритиш мумкин бўлган ўлчамлар, кривошипнинг бурилувчанлиги ва бошқ.):

3) технологик (керакли жараённи тахминлаш, тайёрлаш ва йиғиш қулайлиги ва бошқ.).

Синтез қилиш турли вариантларни кўриш ва танлаш имкониятларига ҳам боғлиқ бўлади. Бу имкониятлар ўз навбатида, икки гуруҳга бўлинади. Уларни шартли равишда ички ва ташқи имкониятлар деб аташ мумкин.

Ички имкониятлар фақат берилган турдаги механизмга тегишли синтез масалаларини ечиш билан боғлиқ бўлади ва бошланғич маълумотларни ўзгартиришни талаб қилмайди. Бу имкониятларга қуйидагилар киради:

1) Турли ҳисоблаш усулларини қўллаш имконияти (масалан, берилган функцияни механизмда ҳосил қилиш аниқлигини интерполяция усулида олишга муваффақ бўлинмаса, унда бошқа усулни, жумладан, функцияга квадратик равишда ёки энг яхши яқинлаша бориш усулларини қўллаш мумкинлиги);

2) синтез ҳисобларида ҳосил бўладиган ва механизмнинг турли тавсифдаги параметрларини берадиган даражали тенгламаларнинг ҳамма ҳақиқий илдизларидан фойдаланиш мумкинлиги;

3) топилган механизмни қайта ўзгартириш мумкинлиги.

Бошланғич маълумотларни бирор тарзда ўзгартиришда ҳосил бўладиган имкониятлар ташқи имкониятлар ҳисобланади. Уларни қуйидаги йўллар билан қўллаш мумкин:

1) Механизмнинг бошланғич маълумотларда берилган боғланмаган, яъни синтез қилинадиган параметрларини турлича ўзгартириш йўли билан (масалан, тўртбўғинли шарнирли йўналтирувчи механизмни кинематик схемасидаги бешта параметри бўйича синтез қилишда улардан тўрттасини, яъни *r*, *c*, *x* , *y* ларни турлича ўзгартириш);

2) берилган битта функцияни ҳосил қилиш учун турли турдаги механизмларни синтез қилиш йўли билан (масалан, логарифмик функцияни ҳосил қилиш учун тўрт бўғинли шарнирли узатиш механизм ва кулисали механизмдан фойдаланиш).

Юқорида кўрсатилган чеклашлар ва имкониятларнинг ҳаммаси механизмларни алгоритмлаш йўли билан синтез қилишда тўла равишда қамраб олиниши мумкин.

7.1. Механизмларни синтез қилиш масалаларини ечишнинг асосий усуллари

Механизмларни синтез қилишнинг юқорида кўрсатиб ўтилган усулларининг, функцияларининг (интерполяция-

лаш уларни квадратик ва энг мақбул яқинлаштириш) ҳар бири алоҳида ўзига хос операцияларга (амалларга) эга.

Интерполяциялаш усулида бажариладиган операцияларни (амалларни) кўриб чиқайлик.

Механизмлар синтез масалаларини ечишда алгебраик тенгламаларнинг ҳам чизиқли, ҳам ночизиқли тизимлари билан иш кўришга тўғри келади. Биринчи турдаги тизимларни ечиш учун ЭҲМ ларга умумий дастурлар ишлаб чиқилган, алгебраик тенгламаларнинг ночизиқли тизимлари учун эса ҳар бир кўрилаётган ҳолда янги дастур тузиш керак бўлади. Шунинг учун ночизиқли тизимларни бир неча чизиқли тизимга келтириб [47] ечиш маъқул.

7.1.1. Алгебраик тенгламалар тизимини ажратиш

Қуйидаги тенгламалар тизимини кўриб чиқайлик

$$\begin{array}{c} a_{00}x_{00} + a_{01}x_1 + \ldots + a_{0n}x_n = в_{00}y_0 + в_{01}y_1 + \ldots + в_{0m}y_m \\ a_{10}x_{00} + a_{11}x_1 + \ldots + a_{1n}x_n = в_{10}y_0 + в_{11}y_1 + \ldots + в_{1m}y_m \\ \hline a_{n0}x_{00} + a_{n1}x_1 + \ldots + a_{nn}x_n = в_{n0}y_0 + в_{n1}y_0 + \ldots + в_{n1}y_1 \ldots + в_{nm}y_m \end{array} \qquad (6)$$

ёки қисқартирилган ҳолда,

$$AX = BУ, \qquad (7)$$

бу ерда матрицалар

$$\left. \begin{array}{l} A = \left[a_{ij} \right] \\ B = \left[a_{i\varsigma} \right] \end{array} \right\} \qquad (8)$$

$i = 0,1,...,n;\ j = 0,1,...n;\ \xi=0,1...m$

векторлар эса

$$\begin{array}{l} X= (\ x_1,\ x_2,\ ...,\ x_n\ ) \\ Y= (\ y_1,\ y_2,...\ y_n\ ) \end{array} \qquad (9)$$

(6) тизимни X га нисбатан ечиш учун унинг ўнг қисмини ташкил этувчи ҳадлар деб қабул қиламиз ва қатор ўзгартириш амалларини бажариб [47]ҳосил қиламиз:

$$
\begin{aligned}
x_0 &= C_{00}\,y_{00} + C_{01}\,y_1 + \ldots + C_{0m}\,y_m \\
x_1 &= C_{10}\,y_{10} + C_{11}\,y_{11} + \ldots + C_{1m}\,y_m \\
x_n &= C_{n0}\,y_n + C_{n1}\,y_1 + \ldots + C_{nm}\,y_m,
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

яъни $X = CУ$,

бу ерда $C = [c_{i\,\xi}]$

(6) ва (10) ларни таққослаш кўрсатадики, C матрицанинг биринчи устунини аниқлаш учун қуйидаги тенгламалар тизимини c_{i0} га нисбатан ечиш керак:

$$
\begin{aligned}
&a_{00}C_{00} + a_{01}C_{10} + \ldots + a_{0n}C_{n0} = в_{00} \\
&a_{10}C_{00} + a_{11}C_{10} + \ldots + a_{1n}C_{n0} = в_{10} \\
&a_{n0}C_{00} + a_{n1}C_{10} + \ldots + a_{nn}C_{n0} = в_{n0}
\end{aligned}
\qquad (11)
$$

(11) тизими B матрицанинг биринчи устунини озод ҳадлар устунига қўйиш билан ҳосил қилинган. (11) га ўхшаш ва озод ҳадлари ўрнига B матрицаси устунларини кетма-кет қўйиб ҳосил қилинган $(m + 1)$ та тизимларни ечиб, қидирилган C матрицанинг ҳамма элементларини аниқлаймиз.

Амалларнинг бундай кетма-кетликда бажарилиши алгебраик тенгламалар тизими (6) ни (11) га ўхшаш $(m + 1)$ та тизимга ажратиш билан тенгдир.

7.1.2. Функцияларни интерполяциялаш

Синтез масаласини интерполяциялаш усули билан ечиб, ҳосил қиламиз:

$$
\begin{aligned}
&a_{00}p_{00} + a_{01}p_1 + \ldots + a_{0n}p_{n0} = в_0 \\
&a_{10}p_{00} + a_{11}p_1 + \ldots + a_{1n}p_{n0} = в_1 \\
&am_0p_0 + a_{m1}p_{10} + \ldots + a_{mn}p_n = в_m
\end{aligned}
\qquad (12)
$$

Механизмлар синтези масалаларини ечишда, одатда агар (12) тизим тенгламаларининг сони номаълумлар сонига тенг бўлса, унда тизим номаълум $p_0, p_1, p_2, \ldots, p_n$ коэффициентларга нисбатан чизиқли ва уни исталган усул билан ечиш мумкин.

Бироқ, кўпинча тизим тенгламалари сони номаълум коэффициентлар бир-бирига ночизиқли боғланган ҳоллар учрайди. Масалан, шарнирли тўрт бўғинликни кинематик схеманинг бешта параметри *($m = 4$, $n = 6$)* бўйича синтез қилганда ва $в_o\ в_1 \ldots в_m = 0$ бўлганда

$$P_5 = -(p_0 p_2 + p_1 p_3)$$

$$P_6 = p_1 p_2 - p_0 p_3 \qquad (13)$$

Юқорида берилган алгебраик тенгламалар тизимини ажратиш усулидан фойдаланиб, чизиқли алгебраик тенгламаларнинг икки тизимини ҳосил қиламиз.

(13) шартларини бажарган ҳолда (12) нинг чап қисмидан ўнг қисмига иккита устунни ўтказамиз:

$$\begin{array}{l} a_{02} p_2 + a_{03} p_3 + \ldots + a_{06} p_6 = -a_{00} p_0 - a_{01} p_1 \\ a_{12} p_{12} + a_{13} p_{13} + \ldots + a_{16} p_6 = -a_{10} p_0 - a_{11} p_1 \\ \hline a_{42} p_2 + a_{43} p_3 + \ldots + a_{46} p_6 = -a_{40} p_0 - a_{41} p_1 \end{array} \qquad (14)$$

(14) тизимни p_2, p_3, ..., p_6 га нисбатан ечиб, (10) га ўхшаш тизимни оламиз:

$$\begin{array}{ll} p_2 = k_1 p_0 + k_2 p_1 & p_4 = k_5 p_0 + k_6 p_1 \\ p_3 = k_3 p_0 + k_4 p_1 & p_5 = k_7 p_0 + k_8 p_1 \end{array}$$

$$p_6 = k_9 p_0 + k_{10} p_1 \qquad (15)$$

бу ердаги тоқ индексли векторлар тенгламалар тизимининг номаълумларидир, яъни

$$\begin{array}{l} a_{02} k_1 + a_{03} k_3 + \ldots + a_{06} kg = -a_{00} \\ a_{12} k_1 + a_{13} k_3 + \ldots + a_{16} kg = -a_{10} \\ \hline a_{42} k_1 + a_{43} k_3 + \ldots + a_{46} kg = -a_{40} \end{array} \qquad (16)$$

жуфт индекслилари эса (16)га ўхшаш ва озод ҳадлари устунига ночизиқли алгебраик тенгламаларнинг (14) тизимида p_1 бўлгандаги коэффициентлар қўйилган тизимнинг номаълум параметрларидир.

Шундай қилиб, алгебраик тенгламаларнинг ночизиқли тизими иккита чизиқли тизимга келтирилди.

p_o, p_1, ..., p_6 ларни ҳисоблаш учун (13) тизимнинг биринчи тенгламасини иккинчисига бўламиз p_2, p_3, p_5 ва p_6 лар ўрнига (15) даги қийматларини қўйиб ва $\varepsilon = \frac{p_1}{p_0}$ белгилашни киритиб, ҳосил қиламиз:

$$\frac{k_7 + k_8 \cdot \varepsilon}{k_9 + k_{10} \cdot \varepsilon} = \frac{1 + \varepsilon \dfrac{k_3 + k_4 \cdot \varepsilon}{k_1 + k_2 \cdot \varepsilon}}{\dfrac{k_3 + k_4 \cdot \varepsilon}{k_1 + k_2 \cdot \varepsilon} - \varepsilon};$$

ўзгартиришлардан кейин

$$A_1\varepsilon^3 + A_2\,\varepsilon^2 + A_3\,\varepsilon + A_4 = 0 \qquad (17)$$

бу ерда

$$A_1 = \kappa_2\,\kappa_8 + \kappa_4\kappa_{10},$$
$$A_2 = (\kappa_2 + \kappa_3)\kappa_{10} + (\kappa_1 - \kappa_4)\,\kappa_8 + \kappa_2\kappa_7 + \kappa_4\kappa_9,$$
$$A_3 = (\kappa_2 + \kappa_3)\kappa_9 + (\kappa_7 + \kappa_{10})\,\kappa_1 - \kappa_4\kappa_7 - \kappa_3\kappa_8,$$
$$A_4 = \kappa_1\kappa_9 - \kappa_3\,\kappa_7$$

Ушбу куб даражадаги тенгламани ечиб, ҳамма ҳақиқий илдизларни оламиз. (15) тизимнинг охирги икки тенгламасига (13) дан p_5 ва p_6 қийматларини қўйиб, p_2 ва p_3 номаълумли иккита тенгламани ҳосил қиламиз, у ердан:

$$p_2 = \frac{k_{10}\varepsilon^2 + (k_9 - k_8)\cdot\varepsilon - k_7}{1 + \varepsilon^2},$$

$$p_3 = \frac{k_8\varepsilon^2 + (k_7 + k_{10})\varepsilon - k_9}{1 + \varepsilon^2}$$

Бу қийматларни олдинги икки тенглама (15) га қўйиб, p_o ва p_1 ни ва ундан кейин (15) тизимнинг бошқа ҳамма номаълумларини топамиз. Қайд қилиш кераккки, (17) куб да-

ражали тенгламанинг ҳақиқий илдизлари сонига боғлиқ равишда p_o , p_1 , ... , p_6 лар бир ёки учта қийматга эга бўлиши мумкин. Демак, механизмнинг қидирилаётган параметрларининг ҳар бири ҳам учта қийматга эга бўлиши мумкин.

Интерполяциялаш усули берилган ва яқинлашувчи функцияларнинг интерполяциялашнинг белгиланган нуқталаридагина мос келишини таъминлайди.

Бу нуқталар оралиғида эса берилган функциядан четга чиқиш анча катта қийматларга етиши мумкин. Шунинг учун механизмларнинг синтез масаласини ечишда номаълум кинематик параметрлар аниқлангандан сўнг яқинлашишнинг белгиланган чегараларида бир нечта нуқталар тўплами олинади ва уларга яқинлашувчи функциянинг берилган функциядан четга чиқиш даражаси ҳисоблаб текширилади.

Интерполяциялаш нуқталарининг жойлашишини ўзгартириб, четга чиқишлар катталигини камайтириш мумкин. Худди шундай самара қуйида берилган бошқа усуллар ёрдамида олиниши мумкин.

7.1.3. Матрицани матрицага бўлиш

(14) тизимнинг ечимини (16) тизим кўринишида ҳосил қилиш учун:

$$B = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \\ \dots & \dots \\ a_{40} & a_{41} \end{bmatrix} \text{ матрицани}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{02} & a_{03} & a_{06} \\ a_{12} & a_{13} & a_{16} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{42} & a_{43} & a_{46} \end{bmatrix} \text{ матрицага бўлиш}$$

лозим бўлади. Бир матрицани иккинчисига бўлиш усули муаллиф томонидан ишлаб чиқилган. Ушбу усулни кўриб чиқайлик.

$$A = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & \dots & a_{0m} \\ a_{10} & a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m0} & a_{m1} & & a_{mm} \end{bmatrix} \text{квадрат}$$

ва

$$B = \begin{bmatrix} b_{00} & b_{01} \dots b_{0n} \\ b_{10} & b_{11} \dots b_{1m} \\ \dots & \dots \\ b_{m0} & b_{m1} \; b_{mn} \end{bmatrix} \text{тўртбурчакли}$$

матрицалар берилган ва B матрицани A матрицага бўлиш керак бўлсин. A матрицани бўлувчи, B ни бўлинувчи ва C ни бўлинма деб атайлик, яъни

$$B : A = C \quad \text{ёки} \quad \frac{B}{A} = C.$$

Бунда матрица B устун матрицасидан ташкил топиши ва $n \geq m$ бўлиши мумкин, бироқ унинг қаторлари сони m матрица A қаторлари сони n дан катта бўлмаслиги лозим. Агар $B = 0$ бўлса, $C = 0$. Бундан ташқари, бўлинма матрицаси C даги устунлар сони матрица B даги устунлар сонига тенг.

A ва B матрицалар қуйидаги тенгламалар тизими орқали боғланган ва $n > m$ бўлсин:

$$\left.\begin{aligned} a_{00}x_0 + a_{01}x_1 + \dots + a_{0m}x_m &= b_{00}y_0 + b_{01}y_1 + \dots + b_{0n}y_n \\ a_{10}x_0 + a_{11}x_1 + \dots + a_{1m}x_m &= b_{10}y_0 + b_{11}y_1 + \dots + b_{1n}y_n \\ \hline a_{m0}x_0 + a_{m1}x_1 + \dots + a_{mm}x_m &= b_{m0}y_0 + b_{m1}y_0 + \dots + b_{m1}y_1 \dots + b_{mn}y_n \end{aligned}\right| \quad (18)$$

Умумий ҳолда (18) $Ax = By$ (19) шаклда ёзилиши мумкин. $|A| \neq 0$ бўлган ҳол учун (18) тенгламаларнинг ўнг томонини озод ҳадлар деб қабул этиб, ҳосил қиламиз:

$$X = \frac{\begin{vmatrix} (b_{00}y_0 + b_{01}y_1 + \ldots b_{0n}y_n)a_{01}a_{02}\ldots a_{0m} \\ (b_{10}y_0 + b_{11}y_1 + \ldots b_{1n}y_n)a_{11}a_{12}\ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ (b_{m0}y_0 + b_{m1}y_1 + \ldots b_{mn}y_n)a_{m1}a_{m2}\ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{00} & a_{01}\ldots a_{0m} \\ a_{10} & a_{11}\ldots a_{1m} \\ a_{m0} & a_{m1}\ldots a_{mm} \end{vmatrix}}$$

Аниқловчи D нинг K тартибдаги устунини $b_к$ ва $C_к$ элементлари билан алмаштирилганда ҳосил бўладиган $D(b)$ ва $D(c)$ аниқловчилар $b_к + c_к = a_к$ бўлганда $D = D(b) + D$ (©) кўриниш билан ўзаро боғланишини билдирувчи хусусиятидан фойдаланиб, қуйидагини оламиз:

$$X_0 = \frac{\begin{vmatrix} b_{00}y_0 + a_{01}a_{02}\ldots a_{0m} \\ b_{10}y_0 + a_{11}a_{12}\ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m0}y_0 + a_{m1}a_{m2}\ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} + \frac{\begin{vmatrix} b_{01}y_1 + a_{01}a_{02}\ldots a_{0m} \\ b_{11}y_1 + a_{11}a_{12}\ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m1}y_1 + a_{m1}a_{m2}\ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} +$$

$$+\ldots+ \frac{\begin{vmatrix} b_{0n}y_n + a_{01}a_{02}\ldots a_{0m} \\ b_{1n}y_n + a_{11}a_{12}\ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{mn}y_n + a_{m1}a_{m2}\ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|}$$

Аниқловчиларнинг бир устуни кўпайтувчисини бутун аниқловчи кўпайтувчиси сифатида қараш мумкинлиги ҳақидаги хусусиятга мос равишда ёзиш мумкин:

$$X_0 = \frac{\begin{vmatrix} b_{00}\, a_{01} a_{02} \ldots a_{0m} \\ b_{10}\, a_{11} a_{12} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m0}\, a_{m1} a_{m2} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_0 + \frac{\begin{vmatrix} b_{01}\, a_{01} a_{02} \ldots a_{0m} \\ b_{11}\, a_{11} a_{12} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m1}\, a_{m1} a_{m2} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_1 +$$

$$+ \ldots + \frac{\begin{vmatrix} b_{0n}\, a_{01} a_{02} \ldots a_{0m} \\ b_{1n}\, a_{11} a_{12} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{mn}\, a_{m1} a_{m2} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_n$$

Худди шундай:

$$X_1 = \frac{\begin{vmatrix} a_{00}\, (b_{00} y_0 + b_{01} y_1 + \ldots b_{0n} y_n)\, a_{02} a_{03} \ldots a_{0m} \\ a_{10}\, (b_{10} y_0 + b_{11} y_1 + \ldots b_{1n} y_n)\, a_{12} a_{13} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m0}\, (b_{m0} y_0 + b_{m1} y_1 + \ldots b_{mn} y_n)\, a_{m2} a_{m3} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|}$$

Ёки олдинги ҳолга ўхшаш ўзгартиришлардан кейин:

$$X_1 = \frac{\begin{vmatrix} a_{00}\, b_{00}\, a_{02} a_{03} \ldots a_{0m} \\ a_{10}\, b_{10}\, a_{12} a_{13} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m0}\, b_{m0}\, a_{m2} a_{m3} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_0 + \frac{\begin{vmatrix} a_{00}\, b_{01}\, a_{02} a_{03} \ldots a_{0m} \\ a_{10}\, b_{11}\, a_{12} a_{13} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m0}\, b_{m1}\, a_{m2} a_{m3} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_1 +$$

$$+ \ldots + \frac{\begin{vmatrix} a_{00}\, b_{0n}\, a_{02} a_{03} \ldots a_{0m} \\ a_{10}\, b_{11}\, a_{12} a_{13} \ldots a_{1m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m0}\, b_{mn}\, a_{m2} a_{m3} \ldots a_{mm} \end{vmatrix}}{|A|} y_n$$

$$X_m = \frac{\begin{vmatrix} a_{00}\, a_{01} \ldots a_{0(m-1)} & (b_{00} y_0 + b_{01} y_1 + \ldots b_{0n} y_n) \\ a_{10}\, a_{11} \ldots a_{1(m-1)} & (b_{10} y_0 + b_{11} y_1 + \ldots b_{1n} y_n) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m0}\, a_{m1} \ldots a_{m(m-1)} & (b_{m0} y_0 + b_{m1} y_1 + \ldots b_{mn} y_n) \end{vmatrix}}{|A|}$$

Олдинги ҳолларда бажарилган амалларни қайтариб ҳосил қиламиз:

$$X_m = \frac{\begin{vmatrix} a_{00} & a_{01} & \ldots & a_{0(m-1)} & b_{00} \\ a_{10} & a_{11} & \ldots & a_{1(m-1)} & b_{10} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m0} & a_{m1} & \ldots & a_{m(m-1)} & b_{m0} \end{vmatrix}}{|A|} y_0 + \frac{\begin{vmatrix} a_{00} & a_{01} & \ldots & a_{0(m-1)} & b_{01} \\ a_{10} & a_{11} & \ldots & a_{1(m-1)} & b_{11} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m0} & a_{m1} & \ldots & a_{m(m-1)} & b_{m1} \end{vmatrix}}{|A|} y_1 +$$

$$+ \ldots + \frac{\begin{vmatrix} a_{00} & a_{01} & \ldots & a_{0(m-1)} & b_{0n} \\ a_{10} & a_{11} & \ldots & a_{1(m-1)} & b_{1n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m0} & a_{m1} & \ldots & a_{m(m-1)} & b_{mn} \end{vmatrix}}{|A|} y_n$$

Ушбу ечимни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$C_{00} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} b_{00} & a_{01} a_{02} \ldots a_{0m} \\ b_{10} & a_{11} a_{12} \ldots a_{1m} \\ \ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m0} & a_{m1} a_{m2} \ldots a_{mm} \end{vmatrix} \quad C_{01} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} b_{01} & a_{01} a_{02} \ldots a_{0m} \\ b_{11} & a_{11} a_{12} \ldots a_{1m} \\ \ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{m1} & a_{m1} a_{m2} \ldots a_{mm} \end{vmatrix} \ldots$$

$$
\dots C_{0n} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} b_{0n} & a_{01} a_{02} \dots a_{0m} \\ b_{1n} & a_{11} a_{12} \dots a_{1m} \\ \dots & \dots\dots\dots\dots \\ b_{mn} & a_{m1} a_{m2} \dots a_{mm} \end{vmatrix}
$$

$$
C_{10} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} b_{00} a_{02} \dots a_{0m} \\ a_{10} b_{10} a_{12} \dots a_{1m} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} b_{m0} a_{m2} \dots a_{mm} \end{vmatrix} \quad C_{11} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} b_{01} a_{02} \dots a_{0m} \\ a_{10} b_{11} a_{12} \dots a_{1m} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} b_{m1} a_{m2} \dots a_{mm} \end{vmatrix} \dots
$$

$$
\dots C_{1n} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} b_{0n} a_{02} \dots a_{1m} \\ a_{10} b_{1n} a_{12} \dots a_{1m} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} b_{mn} a_{m1} \dots a_{mm} \end{vmatrix}
$$

$$
C_{m0} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} \; a_{01} \dots a_{0(m-1)} b_{00} \\ a_{10} \; a_{11} \dots a_{1(m-1)} b_{10} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} \; a_{m1} \dots a_{m(m-1)} b_{m0} \end{vmatrix} \quad C_{m1} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} \; a_{01} \dots a_{0(m-1)} b_{01} \\ a_{10} \; a_{11} \dots a_{1(m-1)} b_{11} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} \; a_{m1} \dots a_{m(m-1)} b_{m1} \end{vmatrix} \dots
$$

$$
\dots C_{mn} = \frac{1}{|A|}\begin{vmatrix} a_{00} \; a_{01} \dots a_{0(m-1)} b_{0n} \\ a_{10} \; a_{11} \dots a_{1(m-1)} b_{1n} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_{m0} \; a_{m1} \dots a_{m(m-1)} b_{mn} \end{vmatrix}
$$

Ёки қисқартирилган ҳолда:

$$
\begin{aligned} x_0 &= c_{00} y_0 + c_{01} y_1 + \dots + c_{0n} y_n \\ x_1 &= c_{10} y_0 + c_{11} y_1 + \dots + c_{1n} y_n \\ \hline x_m &= c_{m0} y_0 + c_{m1} y_1 + \dots + c_{mn} y_n \end{aligned} \qquad (20)
$$

Агар (19) дан вектор X қийматини аниқласак:

$$X = \frac{B}{A} Y = CY \qquad (21)$$

бўлади ва ҳосил қилинган C_{ij} элементлари (21) тенгламасининг C матрицасининг элементлари бўлади.

Шундай қилиб, матрица B ни квадрат матрица A га бўлганда, махражи A матрица элементларидан, сурати эса бу матрицанинг i тартибли устунини B матрицанинг j тартибдаги устуни билан алмаштириб ҳосил қилинган аниқловчиларнинг нисбати бўлган C_{ij} элементлари бор C матрицани оламиз.

(18) ва (20)ларни солиштириш шуни кўрсатадики, C матрицанинг биринчи устунини аниқлаш учун қуйидаги тенгламалар тизимини ечиш зарур:

$$\left.\begin{array}{l} a_{00}c_{00} + a_{01}c_{10} + \ldots + a_{0m}c_{m0} = b_{00} \\ a_{10}c_{00} + a_{11}c_{10} + \ldots + a_{1m}c_{m} = b_{10} \\ \hline a_{m0}c_{00} + a_{m10}c_{1} + \ldots + a_{mm}c_{m0} = b_{m0} \end{array}\right\} \qquad (22)$$

Тизим (22) B матрицанинг ноль тартибли устунини озод ҳадлар устунига қўйиш орқали ҳосил қилинади.

B матрица устунларини озод ҳадлар устунига кетма-кет қўйиш йўли билан олинган ва (22) га ўхшаш бўлган $(n + 1)$ — та тизимни ечиб қидирилаётган C матрицанинг ҳамма элементларини аниқлаймиз.

7.1.4. Функцияларни квадратик яқинлаштириш

Юқорида кўрилган масалаларда яқинлашувчи функция қуйидаги кўринишга эга:

$$F(x) = p_0 f_0(x) + p_1 f_1(x) + \ldots + p_6 f_6(x), \qquad (23)$$

бу ерда номаълум коэффициентлар p_5 ва p_6 (13) шартлардан аниқланади. $F(x) = 0$ ҳолни текширайлик. Қуйидаги йиғиндини:

$$S=\sum_{i=0}^{i=m}\left[\rho_0\oint_0(x_i)+\rho_1\oint_1(x_i)+\ldots+\rho_6\oint_6(x_i)\right]^2 \qquad (24)$$

минималлаштириш шартидан номаълум коэффициентларни топамиз, бунинг учун шартли минимумни топиш қоидасини қўллаймиз. Яъни p_o , p_1 , ... , p_6 ва Лагранж кўпайтувчиларини аниқлаш учун ёзамиз:

$$\frac{\partial\Phi}{\partial p_0}=0;\ \frac{\partial\Phi}{\partial p_1}=0;\ \frac{\partial\Phi}{\partial p_2}=0;$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial p_3}=0;\ \frac{\partial\Phi}{\partial p_4}=0;\ \frac{\partial\Phi}{\partial p_5}=0; \qquad (25)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial p_6}=0;$$

бу ерда

$$\Phi = S-\lambda(p_0p_2+p_1p_3+p_5)+\lambda_1(p_1p_2-p_0p_3-p_6) \qquad (26)$$

(1.25) тизими ёйилган ҳолда қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\begin{aligned}
&C_{00}\,p_0+C_{01}\,p_1+\ldots+C_{06}\,p_6-\lambda\,p_2-\lambda_1\,p_3=0\\
&C_{10}\,p_0+C_{11}\,p_1+\ldots C_{16}\,p_6-\lambda\,p_3-\lambda_1\,p_2=0\\
&C_{20}\,p_0+C_{21}\,p_1+\ldots+C_{26}\,p_6-\lambda p_0-\lambda_1\,p_1=0\\
&C_{30}\,p_0+C_{31}\,p_1+\ldots+C_{36}\,p_6-\lambda p_1-\lambda_1\,p_0=0 \qquad (27)\\
&C_{40}\,p_0+C_{41}\,p_1+\ldots+C_{46}\,p_6=0\\
&C_{50}\,p_0+C_{51}\,p_1+\ldots C_{56}\,p_6-\lambda=0\\
&C_{60}\,p_0+C_{61}\,p_1+\ldots+C_{66}\,p_6-\lambda_1=0
\end{aligned}$$

бу ерда

$$C_{lk}=C_{kl}=\sum_{l=0}^{l=m}\oint_k(x_e)\oint_e(x_e),$$

$$k=0,1\ldots,6; \qquad l=0,1\ldots,6.$$

λ ва λ_1 нолга тенг деб ҳисоблаб (27) тизимни биринчи яқинлашишида ечамиз.

Унда бу тизимнинг биринчи бешта тенгламаларининг ечими юқорида кўрсатилган ва (1.7) тизимга ўхшаш бўлган ночизиқли алгебраик тенгламалар тизимини беради [46].

Олинган тизимнинг номаълум коэффициентларини аниқлагандан сўнг (27) нинг охирги иккита тенгламаларидан λ ва λ_1 Лагранж кўпайтувчиларини топамиз.

Агар λ ва λ_1 нолдан (ёки илгари ва сифатида қабул қилинган ва нолга яқин бўлган қийматлардан) фарқ қилиб қолса, унда (27) тизим буни эътиборга олган ҳолда тузилади.

Бу жараённинг қийматлари нолга тенглашгунча (ёки қабул қилинган қийматларидан кам бўлгунча) давом эттирилади.

7.1.5. Функцияларни энг мақбул яқинлаштириш усули

Функцияларни энг мақбул яқинлаштириш усулидан фойдаланиб, қаралаётган интервал (оралиқ)нинг ҳамма нуқталарида берилган функциядан четга чиқишнинг минимал қийматини олиш мумкин.

Четга чиқиш

$$\Delta = P(x) - F(x) \tag{28}$$

ўзининг чегаравий қиймати L га етадиган нуқталаридаги X қийматини x_1, $x_2, \ldots, x_{n+2}$ орқали белгилайлик.

Унда Чебишев теоремаси асосида эга бўламиз:

$$\left.\begin{array}{l} \Delta(x_1) = \varepsilon L \\ \Delta(x_2) = -\varepsilon L \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \Delta(x_{n+2}) = (-1)^{n+1}\varepsilon L \end{array}\right\} \tag{29}$$

бу ерда $\varepsilon = 1$ ёки $\varepsilon = -1$.

Аргументлар x_1, $x_2, \ldots, x_{n+2}$ (28) айирманинг максимал ёки минимал қийматларига мос келгани учун бу нуқталардаги ҳосила нолга тенг бўлади, яъни

$$\Delta'(x_1) = 0$$

$$\Delta'(x_2) = 0$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (30)$$

$$\Delta'(x_{n+2}) = 0$$

Демак, (29) ва (30) тенгламаларнинг умумий сони $2n + 4$ ни ташкил қилади ва p_0 , p_1 ,..., p_n , x_1 , x_2 ,..., x_{n+2}, L номаълумларнинг умумий сонига тенг бўлади.

Яқинлашувчи функция (1.13) кўринишга эга бўлсин. Бу нарса аргумент $i + 1 = 6$ нуқтада берилганлигини билдиради.

P_0 , p_1 , ..., p_4 номаълум коэффициентлар ва чегаравий четга чиқиш L ни аниқлайлик. Бу номаълумлар қаралаётган ҳолда (1.19) тенгламалардан қуйидаги кўринишда ёзилиб ҳисоблаб топилади.

$$\left.\begin{aligned} a_{00}p_0 + a_{01}p_1 + \ldots + a_{06}p_6 - L = 0 \\ a_{01}p_0 + a_{11}p_1 + \ldots + a_{16}p_6 - L = 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{50}p_0 + a_{51}p_1 + \ldots + a_{56}p_6 + L = 0 \end{aligned}\right| \qquad (31)$$

(29) ва (31) тизимларни таққосласак, кейингисида номаълум L ортиқча бўлиб қолганлигини кўрамиз. Ундан ташқари, (31) да (29)га нисбатан битта тенглама кўп. (31) даги ҳар бир тенгламалар жуфти ўзаро қўшилса, ечими юқорида берилган (29) тизим бевосита ҳосил қилинади.

Функцияларнинг энг мақбул яқинлаштириш усулидан фойдаланилганда берилган функциядан четга чиқиш қурилаётган оралиқда галма-гал ишорасини ўзгартириб ўзининг чегаравий равон қийматига етади.

Юқорида кўрилаётган учта усулни уларнинг баъзи амалларининг умумийлигини ҳисобга олган ҳолда бирлаштириш универсал ҳисоблаш дастурини тузишга ва қўйилган масалаларни ЭҲМ да ечишда машинанинг хо-

тирасини тежашга ва умуман ҳисобларни соддалаштиришга имкон беради.

7.1.6. Итерациялаш усули

Текис пишангли механизмларда бўлакланган фарқ ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\Delta q_i = (x_Д, y_Д, ..., \omega, \eta, ..., a, в, ..., k, x_i, y_i), \quad (32)$$
$$i=1,2, ..., m.$$

бу ерда $X_д$ $У_Д$ — алоҳида олинган кўзгалмас нуқталар координатлари;

ω, η... — механизм бўғинларининг ўзаро жойлашишини ва кўзғалмас пойларнинг қабул қилинган координат ўқларига нисбатан четга чиқишларини тавсифловчи ўзгармас бурчак параметрлари;

$a, в, ..., k$ — механизм бўғинларининг узунликлари;

x_i, y_i — шатун эгри чизиғида берилган нуқта координаталари;

m — ҳисобланадиган параметрлар сони.

(32) формулада X_i ва $У_i$ ларнинг m нуқталардаги қийматлари маълум. Бошқа параметрларнинг ҳаммаси аниқланиши лозим. Юқорида келтирилган усуллардан фойдаланилганда ҳам бир вақтнинг ўзида ҳамма параметрларни аниқлаш мумкин эмас, шунинг учун параметрларнинг бир қисми берилган бўлиши керак.

Номаълумларнинг ҳаммаси ҳисобланаётганида улардан биттасини аниқлаш учун Вегстейн томонидан таклиф этилган усулдан фойдаланамиз.

X_i ва $У_i$ қийматларини m нуқталарда топамиз; (интерполяциялаш нуқталарида топамиз;) интерполяциялаш нуқталарини Чебишев полиномининг ноль тенг бўладиган нуқталарига мос равишда танлаб оламиз.

Қидирилаётган параметрларнинг ноль нуқталари бўйича яқинлашишдаги қийматлари сифатида қурилаётган механизмни кинематик схеманинг бир нечта параметрлари бўйича синтез қилишда олинган натижалардан фойдаланамиз. Бу биз шатун эгри чизиғининг бир турини бошқаси билан шартли алмаштираётганимизни билдиради.

Масалан, берилган эгри чизиқ 7.1-расмда келтирилган эгри чизиқ кўринишида бўлсин. Кинематик схемаси параметрларининг бир қисми [$(m\text{-}p)$ параметрлар] бўйича синтез натижасида шатунининг эгри чизиғи 2-чизиқ кўринишида бўлган механизм олинган. 2-чизиқ 1-чизиқ билан $m\text{-}p$ нуқталарда кесишади (бу ерда m — қурилаётган механизм кинематик схемасининг ҳамма параметрлари сони, p — ҳамма параметрлар сонидан кинематик схеманинг яқинлашиш йўли билан синтез қилишнинг алгебраик усуллари бўйича олдин аниқланган параметрлари сони орасидаги фарқ). Кинематик схемасининг ҳамма параметрлари бўйича синтез қилинган механизм 1-эгри чизиқ билан m нуқталарда кесишувчи шатун эгри чизиғи 3 га бўлади. Ноль бўйича яқинлашишда 3-эгри чизиқ тавсифномаси сифатида 2-чизиқ тавсифномасини қабул қилайлик.

Қидирилаётган параметрларни биринчи марта яқинлашишда аниқлаш учун (32) ни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$
\begin{aligned}
x_{Д1} &= \overline{X}_{ДО} + B_1 \Delta q_1 \\
У_{Д1} &= \overline{У}_{ДО} + B_2 \Delta q_2 \\
\omega_1 &= \overline{\omega}_o + B_e \Delta q_e \\
\eta_1 &= \overline{\eta}_o + B_{\ell+1} \Delta q_{e+1} \\
a_1 &= \overline{a}_o + B_k \Delta q_k \\
в_1 &= \overline{в}_o + B_{k+1} \Delta q_{k+1} \\
k_1 &= k_0 + B_m \Delta q_m
\end{aligned}
\qquad (33)
$$

бу ерда $\Delta q_1, \Delta q_2, ..., \Delta q_e, ..., \Delta q_k, ... \Delta q_m$ мос нуқталаридаги айирмалар; $\overline{X}_{ДО}, \overline{У}_{ДО}, ..., \omega_0, \eta_0, ..., a_0, ... в_0, ..., к_0$ — қидирилаётган параметрларнинг ноль бўйича яқинлашишдаги қийматлари; $B_1, B_2, ..., B, ..., B, ... B_m$ — яқинлашиш коэффициентлари.

(33) тизимда $\Delta q_m \to 0$ бўлганда $X_{Д1}, У_{Д1}, ..., \omega_1, \eta_1, a_1, ... в_1, ..., к_1$ катталиклар $X_{ДО}, У_{ДО}, ..., \omega_0, h_0, ..., a_0, ... в_0, ..., к_0$ ларга яқин бўлади. Биринчи яқинлашишда қуйидаги тенгликларни қабул қиламиз:

$$\overline{X}_{Д1} = X_{Д1} \quad \overline{\omega}_1 = \omega_1 \quad \overline{a}_1 = a_0 \quad \overline{k}_1 = k_1$$
$$\overline{У}_{Д1} = У_{Д1} \quad \overline{\eta}_1 = \eta_1 \quad \overline{в}_1 = в_1 \tag{34}$$

Параметрларни биринчи яқинлашишда аниқлаб, уларни нолинчи яқинлашишдаги қийматлари билан солиштирамиз:

$$\varepsilon_1 < \left|\frac{\overline{X}_{D1} - \overline{X}_{D0}}{\overline{X}_{D0}}\right|$$
$$\varepsilon_2 < \left|\frac{\overline{Y}_{D1} - \overline{Y}_{D0}}{\overline{Y}_{D0}}\right|$$

$$\varepsilon_1 < \left|\frac{\overline{\omega}_1 - \overline{\omega}_0}{\overline{\omega}_0}\right|$$
$$\varepsilon_{\ell+1} < \left|\frac{\overline{\eta}_1 - \overline{\eta}_0}{\overline{\eta}_0}\right|$$
$$\varepsilon_k < \left|\frac{\overline{a}_1 - \overline{a}_0}{\overline{a}_0}\right|$$
$$\varepsilon_{k+1} < \left|\frac{\overline{B}_1 - \overline{B}_0}{\overline{B}_0}\right|$$
$$\overline{\varepsilon}_m < \left|\frac{\overline{k}_1 - \overline{k}_0}{\overline{k}_0}\right| \tag{35}$$

Бу ерда $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_\ell, \ldots, \varepsilon_k, \ldots, \varepsilon_m$ — нолга яқин, қуйимлар майдони ярми қийматининг ушбу параметр ўлчамига кўпайтмасига тенг бўлган катталиклар.

(35) тенгсизликлар бажарилган ҳолда биринчи яқинлашиш билан топилган қийматларни изланган қийматлар сифатида санаш мумкин. Агар қандайдир параметр учун (35) шарт бажарилмаса, қуйидаги яқинлашишни амалга оширамиз:

$$
\begin{aligned}
X_{Дn} &= \overline{X}_{Д(n-1)} + B_1 \Delta q_{1(n-1)} \\
У_{Дn} &= \overline{У}_{Д(n-1)} + B_2 \Delta q_{2(n-1)} \\
\omega_n &= \overline{\omega}_{(n-1)} + B_e \Delta q_{e(n-1)} \\
\eta_n &= \overline{\eta}_{(n-1)} + B_{e+1} \Delta q_{(I+1)(n+1)} \\
a_n &= \overline{a}_{(n-1)} + B_k \Delta q_{k(n-1)} \\
в_n &= \overline{в}_o + B_{(k+1)} \Delta q_{(k+1)(n-1)} \\
k_n &= k_{(n-1)} + B_m \Delta q_{m(n-1)}
\end{aligned}
\qquad (36)
$$

бу ерда $\Delta q_{1\,(n-1)}$, $\Delta q_{2\,(n-1)}$, ..., $\Delta q_{l\,(n-1)}$,..., $\Delta q_{k\,(n-1)}$,..., $\Delta q_{m\,(n-1)}$ — *1,2,...,m* нуқталардаги (1.22) бўйича номаълум параметрлар ўрнига уларнинг *(n-1)* яқинлашишда олинган қийматларини қўйиб ҳисобланган ўртача (взвешенная) фарқ.

Сўнгра изланаётган параметрларни *n*-чи яқинлашишдаги қийматларини топамиз:

$$
\overline{x}_{Dn} = \overline{x}_{Dn} - \frac{\left[x_{Dn} - x_{D(n-1)}\right]\left[x_{Dn} - \overline{x}_{Dn(n-1)}\right]}{x_{Dn} - x_{D(n-1)} - \overline{x}_{D(n-1)} + \overline{x}_{D(n-2)}}
$$

$$
\overline{y}_{Dn} = \overline{y}_{Dn} - \frac{\left[y_{Dn} - y_{D(n-1)}\right]\left[y_{Dn} - \overline{y}_{D(n-1)}\right]}{y_{Dn} - y_{D(n-1)} - \overline{y}_{D(n-1)} + \overline{y}_{D(n-2)}}
$$

$$
\overline{\omega}_n = \omega_n - \frac{\left[\omega_n - \omega_{(n-1)}\right]\left[\omega_n - \overline{\omega}_{(n-1)}\right]}{\omega_n - \omega_{(n-1)} - \overline{\omega}_{(n-1)} + \overline{\omega}_{(n-2)}}
$$

$$
\overline{\eta}_n = \eta_n - \frac{\left[\eta_n - \eta_{(n-1)}\right]\left[\eta_n - \overline{\eta}_{(n-1)}\right]}{\eta_n - \eta_{(n-1)} - \overline{\eta}_{(n-1)} + \overline{\eta}_{(n-2)}}
$$

$$
\overline{a}_n = a_n - \frac{\left[a_n - a_{(n-1)}\right]\left[a_n - \overline{a}_{(n-1)}\right]}{a_n - a_{(n-1)} - \overline{a}_{(n-1)} + \overline{a}_{(n-2)}}
$$

$$
\overline{b}_n = b_n - \frac{\left[b_n - b_{(n-1)}\right]\left[b_n - \overline{b}_{(n-1)}\right]}{b_n - b_{(n-1)} - \overline{b}_{(n-1)} + \overline{b}_{(n-2)}}
$$

$$k = k_n - \frac{\left[k_n - k_{(n-1)}\right]\left[k_n - \bar{k}_{(n-1)}\right]}{k_n - k_{(n-1)} - \bar{k}_{(n-1)} + \bar{k}_{(n-2)}}$$

Бу катталикларни (32) га қўйиб, Δq нинг m нуқталардаги қийматларини аниқлаймиз ва яна (35) тенгсизликларни текшириб кўрамиз. Агар улардан биронтаси қониқтирилмай қолса,

$$\omega_{(n-1)} \rightarrow \omega_{(n-2)}$$

$$\omega_n \rightarrow \omega_{(n-1)}$$

$$\omega_n \rightarrow \omega_{(n-1)}$$

кўринишдаги ўрнига қўйиш амалини бажариш ва (36) тизимни текширишдан бошлаб (35) тенгсизликларнинг барчасини қониқтирилмагунча ҳисоблаш жараёнининг ҳаммасини қайтариш зарур.

7.2. Механизмларни синтезлаш масалалари синфини ечишни алгоритмлаш

Ҳар қандай машина ёки механизмни лойиҳалашда кўп сонли ўзаро қарама-қарши бўлган шартларнинг қониқтирилишини талаб қиладиган, яъни кўп мезонли масала юзага келади. Бундай масалани ечиш учун уни кўриб чиқиш тартибининг маълум бир тизимга солинишига асосланган ва механизмни лойиҳалаш жараёнининг ўзини автоматлаштиришга мўлжалланган алгоритмлаш йўли билан амалга оширилиши мумкин.

Алгоритмлаш йўлининг моҳияти шундан иборатки, механизмларни синтез қилиш масалаларининг мажмуи бир-бирига боғланган ва муайян кетма-кетликда ечиладиган блоклардан иборат қандайдир тизим деб қаралади.

Блоклар сифатида механизмларни синтезлаш масалаларининг синфи қабул қилинади. Блокнинг ичида эса реализация қилиниш шартлари бир-бирига яқин боғланган алоҳида масалалар ечилади.

Вазифанинг бундай қўйилиши натижасида исталган масалага қўйилган чеклашлар охирига келиб бутун тизимнинг ечими натижаларида ўз аксини топади.

Алгоритмлаш йўлини реализациялашнинг бош шарти механизмларни синтезлашнинг масалалари мажмуини ечиш жараёнининг ҳамма босқичларини автоматлаштиришдан иборатдир.

Ушбу тизимда блоклар, яъни масалалар синфи сифатида қуйидагилар қабул қилинган: 1) механизмларни кинематик синтезлаш; 2) механизмларни динамик синтезлаш; 3) механизмларнинг аниқлигини текшириш.

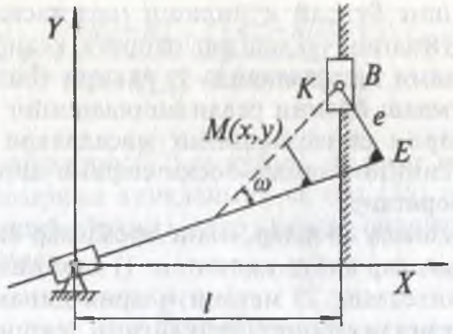
Биринчи блок ечимининг натижалари иккинчи блокни ечишда ноль билан яқинлашиб қидира оладиган кинематик параметрлар сифатида фойдаланилади.

Иккинчи блок бўлган динамик синтезлаш натижалари эса лойиҳаланган механизм аниқлигини баҳолашда ишлатилади. Агар бунда аниқликка қўйилган чеклашлар қониқтирилмаган бўлса, у ҳолда биринчи блокни қайта ечишдан бошлаб итерациялаш жараёни қайтадан бажарилади.

Алгоритмлаш йўли механизмлар синтези масалаларининг мажмуини қандайдир тизим деб қараса ҳам, у алоҳида олинган локал масалаларини ҳам ечишга имкон беради. Бу нарса берилган шартлар механизмлар синтезининг алоҳида масалаларини ечишни талаб қилган ҳолларда амалга оширилади.

Ҳар бир блок синтез масалаларининг маълум бир сатҳларга бўлинадиган катта доирасини ўз ичига олади. Масалан, кинематик синтез масалалари (битта эркинлик даражали механизмлар учун) қуйидаги сатҳлар бўйича бўлинади:

I.1. Йўналтирувчи механизмлар.
2. Узатиш механизмлари.
II.1. Тақрибан йўналтирувчи механизмлар.
2. Аниқ йўналтирувчи механизмлар.
III.1. Текис ричагли механизмлар.
2. Қўшма (комбинациялаштирилган) механизмлар.
3. Фазовий механизмлар.
IV.1. Кўп бўғинли механизмлар.
V.1. 1-5 модификацияли иккинчи синф механизмлари.



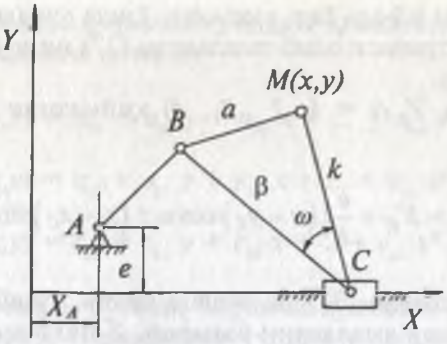
7.2-расм

VI.1. Кинематик схема параметрларининг бир қисми бўйича.
2. Кинематик схеманинг ҳамма параметрлари бўйича.
VII.1. Функцияларни интерполяциялаш усули бўйича.
VIII.1. Квадрат яқинлашиш усули бўйича.
2. Энг мақбул яқинлашиш усули бўйича.
IX.1. Янги итерацион усул бўйича.
2. Оптималлаштириш усули бўйича.
X.1. Қайта каррали интерполяциялаш усули бўйича.

Алгоритмлаш йўлини реализациялаш масаланинг ва уни ечишда қўлланиладиган усулнинг турига боғлиқ бўлмаган ҳолда ҳамма блокларнинг бир хил операциялари (операциялари туркуми) русумлаштириладиган ҳар бир сатҳини ўз ичига олувчи алгоритмга мувофиқ амалга оширилади. Ушбу йўлнинг йириклаштирилган босқичлари қуйидагилардан иборат бўлади:

1. Энг содда механизмлар шатун эгри чизиқларининг тенгламаларини ёки ҳолат функцияларини шакллантириш. Бунда механизмларнинг ўзини ҳам, уларнинг шатун эгри чизиқларини (ҳолат функцияларини) ҳам шакллантириш жараёни маълум бир алгоритмларга асосан амалга оширилади.

Масалан, барча модификациядаги иккинчи синф механизмларини шакллантириш учун беш модификациядаги иккинчи синф гуруҳларини биринчи синф механизмига улаш алгоритмини бериш етарлидир.



7.3-расм

Шатун эгри чизиқларининг тенгламаларини тузишнинг ЭҲМ да бажарилиши гуруҳларидан фойдаланиб олинган реккурент муносабатларидан фойдаланиш йўли билан амалга оширилади.

7.3-расмда тасвирланган биринчи турдаги икки боғланишли гуруҳ учун ёзиш мумкин.

$$F_1 = X_B + X_B^2 \cdot Z_1 + Z_2, \quad F_2 = X_B + X_B^2 \cdot Z_3 + X_4, \qquad (37)$$

бу ерда

$$Z_1 = -2X_e, \; Z_2^2 = X_e + \left(Y_B - Y_e\right)^2 - B^2; \; Z_2 = -2x;$$

$$Z_4 = X + \left(Y_B - Y\right)^2 - в^2 - к^2 + 2вк \cdot \cos\omega$$

(1) тизим результантасини нолга тенглаштириб:

$$R\left(F_1, F_2\right) = \begin{vmatrix} 1 & Z_1 & Z_2 & 0 \\ 0 & 1 & Z_1 & Z_2 \\ 1 & Z_3 & Z_4 & 0 \\ 0 & 1 & Z_3 & Z_4 \end{vmatrix}$$

ҳосил қиламиз:

$$(Z_2 - Z_4)^2 + (Z_1 - Z_3)\,(Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3) = 0. \qquad (38)$$

Охирги ифода бир вақтнинг ўзида ҳамма даражали X_e ташкил этувчиси олиб ташланган (37) нинг биргаликдаги ечимидир.

(38) га Z_i $(i = 1, 2, 3, 4)$ қийматини қўйиб ҳосил қиламиз:

$$У_B = У_C + \frac{в}{R}\left[(y - y_C)\cos\omega \pm (x - x_C)\sin\omega\right] \quad (39)$$

$У_в$ га нисбатан (37) га ўхшаш тизим тузиб ва юқорида келтирилган амалларни бажариб, $X_в$ нинг қуйидаги кўринишдаги қийматини оламиз:

$$X_B = X_C + \frac{в}{R}\left[(x - x_C)\cos\omega \pm (y - y_C)\sin\omega\right] \quad (40)$$

X_c ва $У_c$ қийматларини аниқлаш ҳам результантани ҳисоблаш билан якунланади.

II турдаги икки боғланишли гуруҳга реккурент муносабатларни тузиш учун С нуқтага чизиқли ҳаракат бериш етарли, яъни (39) ва (40) да X_c ва $У_c$ лар ўрнига уларнинг қийматларини қўйиш керак:

$$X_C = x \pm \sqrt{R^2 - Y^2}, \quad У_C = 0$$

III, IV ва V турдаги икки богланишли гуруҳларнинг реккурент муносабатлари ҳам шу тарзда тузилади.

Реккурент муносабатлар тузилгандан сўнг биринчи беш модификациядаги иккинчи синф механизмлари учун шатун эгри чизиқлари тенгламаларини чиқазиш босқичига ўтилади, бунда B нуқтаси учун тўғри чизиқ ёки айлана тенгламалари ёзилади ва уларга мос реккурент муносабатлардаги $X_в$ ва $У_в$ қийматлари қўйилади.

Кўп бўғинли механизмлар шатун эгри чизиқларининг тенгламалари реккурент муносабатлардан кўп марта қайта фойдаланиш йўли билан тузилади.

Шундай қилиб, шатун эгри чизиқларини ЭҲМ да чиқазиш босқичида результанталарни ҳисоблаш ва ўрнига қўйишдан иборат иккита стандарт алгоритм бажарилади.

Ўрнига қўйиш алгоритми қуйидаги қоидаға биноан автоматлаштирилиши мумкин:

$$F_1\,(x,y) = a_{00} + a_{01}\,y + a_{10}\,x + \ldots + a_{no}\,x^n\,,$$

$$F_2\,(x,y) = в_{00} + в_{01}\,y + в_{10}\,x + \ldots + в_{no}\,x^m,$$

$$F_3\,(x,y) = c_{00} + c_{01}\,y + c_{10}\,x + \ldots + c_{no}\,x^R\,,$$

ифодалар берилган бўлсин, биринчи кўпҳадни иккинчисига кўпайтириш натижасини учинчи кўпҳадга автомат равишда қўшиш талаб қилинсин.

Ҳосил қиламиз:

$$F_1\,(x,y) \cdot F_2\,(x,y) + F_3\,(x,y) = d_{00} + d_{01}\,y + d_{10}\,x + \ldots + d_{10}\,x^l,$$

бу ерда $l = max\,(n + m,\, R)$;

$$d_{ij} = \sum_{g+h=i} \sum_{s+t=j} a_{gs} в_{ht} + c_{ij}\,,$$

Натижада текис пишангли механизмлар шатун эгри чизиқларининг юқорида келтирилган усул билан чиқазилган тенгламалари қуйидаги кўринишни олади:

$$F\,(\Im, \psi, \chi_1\,, \chi_2\,, \ldots\,, \chi_m\,) = 0$$

бу ерда — $\chi_1\,, \chi_2\,, \ldots\,, \chi_m$ — қурилаётган механизм кинематик схемасининг мустақил параметрлари.

2. Энг содда масалаларни ечиш усулини танлаш.

Энг содда масалалар сифатида биринчи беш модификациядаги иккинчи синф механизмларини кинематик схемасининг учта, тўртта ва бешта параметрлари бўйича кинематик синтез қилиш масалалари танлаб олинади.

Берилган шартларга кўра интерполяциялаш, квадратик ва энг яхши яқинлашиш усулларидан бири танлаб олинади.

3. Юқорида кўрсатилган масалаларни кинематик схеманинг ҳамма параметрлари бўйича ечиш. Бунинг учун янги итерацион усул ёки оптималлаштириш усули қўлланилади. Бунда юқоридаги масалаларнинг ечим натижа-

лари нолли яқинлашиш билан қидирилаётган параметрлар сифатида фойдаланилади.

Бу масалани реализациялаш учун

$$\Delta q_i = F(x_i, y_i, r_1, r_2, \ldots, r_m), \; i = 1, 2, \ldots, m$$

нисбий фарқ қуйидаги кўринишга келтирилади:

$$r_{in} = r_{(i-1)n} + A\,\Delta_{qn},$$

бу ерда r_{in} — қидирилаётган n-чи параметрнинг i-чи яқинлашишдаги қиймати;

A — яқинлашиш коэффициенти;

Δ_{qn} — нисбий фарқнинг n-чи нуқтадаги қиймати.

4. Юқорида кўрсатилган масалаларни қайта интерполяциялаш билан ечиш. Бу ҳолда қуйидаги муносабатлардан фойдаланилади: икки қайта интерполяциялашда

$$r_{in} = \bar{r}_{(i-1)n} + A\Delta_{qn}, \; r_{il} = r_{(i-1)l} + Ad\Delta_{ql}$$

уч қайта интерполяциялашда

$$r_{in} = \bar{r}_{(i-1)n} + A\Delta_{qn}, \; r_{il} = \bar{r}_{(i-1)l} + Ad\Delta_{ql}$$

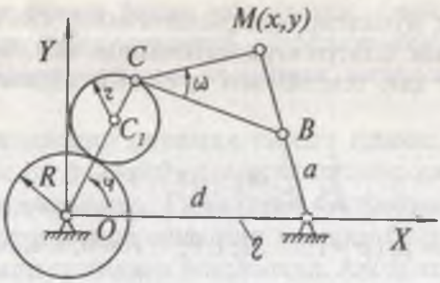
$$r_{ip} = \bar{r}_{(i-1)p} + Ad\Delta_{qp}$$

бу ерда n, l, p — қайта интерполяциялаш тугунларининг нуқталари.

5. Кўп бўғинли механизмларнинг синтези масалаларини ечишга ўтиш. Бу нарса 3 банд масалалари янги итерацион усул ёки оптималлаштириш усули ёрдамида ечилгандан сўнг амалга оширилиши мумкин. Бунда ечим алгоритми 1 бандда келтирилган ва 3 бандда ишлатилган алгоритмлардан биргаликда фойдаланишдан иборат бўлади.

Юқоридаги Δq_i ифодадаги m қиймати кўриб чиқилган механизмлардагидан кўп ва $m = 3R$ бўлади, бу ерда R — қўзғалувчан бўғинлар сони.

6. Комбинациялаштирилган механизм синтези масаласини ечиш. Бунда нисбий фарқларнинг ифодасини тузиш икки босқични ўз ичига олади. Бу масалани биринчи турдаги икки боғланишли гуруҳни планетар механизмга



7.4-расм

улашдан ҳосил бўлган комбинациялаштирилган механизмни (7.4-расм) синтезлаш мисолида кўриб чиқамиз.

Планетар механизм сателлитининг С нуқтаси координатлари қуйидаги шартга кўра ҳисоблаб топилади:

$$X_c = (R + r)\cos y - \chi r \cos \frac{R + r}{r} y;$$

$$У_c = (R + r)\sin y - \chi r \sin \frac{R + r}{r} y$$

Нисбий фарқнинг натижавий ифодасини тузиш учун бу қийматларни (39) ва (40) ифодаларга қўйиб, ҳосил қиламиз:

$$\Delta q = a^2 - (x_e - d\cos\eta)^2 - (y_e - d\sin\eta)^2$$

Сўнгра юқорида келтирилган алгоритмлардан фойдаланиб, ушбу масалани ЭҲМда реализациялаш мумкин.

7. Фазовий механизмлар синтези масалаларини ечиш. Нисбий фарқлар ифодаси шарнирларининг конструкцияси (тузилмаси) ҳали маълум бўлмаган абстракт (хаёлий) механизм учун тузилади. Сўнгра ҳар бир муайян механизм учун бу тузилмаларни аниқлаштириб тўғрилаш йўли билан уларни шакллантириш алгоритмларига қўшимчалар киритилади. Нисбий фарқларнинг охирги ифодалари текис механизмлар нисбий фарқларининг ифодаларидан учинчи ўзгарувчан координата z борлиги билан фарқ қилади. Шунинг учун фазовий механизмларни синтез қилиш масалаларини ечиш алгоритми текис механизмларга ўхшаш бўлади.

8. Аниқ йўналтирувчи механизмлар синтези масалаларини ечиш. Шатун эгри чизиғининг ҳам, берилган эгри чизиқнинг ҳам тенгламаси қуйидаги кўринишга келтирилади:

$$\sum_{R=0}^{p}\sum_{I=0}^{R}\alpha_{(k-I)I}x^{R-1}y^{I}=0$$

$$R=p,(p-1),\ldots,2,1,0;\quad I=0,1,2,\ldots,R,$$

бу ерда p — кўпҳад даражаси;

$a_{(k-I)I}$—тенглама коэффициентлари (шатун эгри чизиғи учун механизмнинг қидирилаётган параметрларига боғлиқ бўлади).

Шатун эгри чизиғи ва берилган траектория тенгламаларининг коэффициентларини ўзаро мувофиқлаштириб қуйидаги кўринишдаги алгебраик тенгламалар тизимини ҳосил қиламиз:

$$f_1(r_1,r_2,\ldots,r_m,\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n)=0$$

$$f_2(r_1,r_2,\ldots,r_m,\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n)=0$$

$$f_1(r_1,r_2,\ldots,r_m,\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n)=0$$

ундан

$$\frac{D(f_1,f_2,\ldots,f_m)}{D(r_1,r_2,\ldots,r_m)}=\begin{vmatrix}\frac{df_1}{dr_1} & \frac{df_1}{dr_2} & \ldots & \frac{df_1}{dr_m}\\ \frac{df_2}{dr_1} & \frac{df_2}{dr_2} & \ldots & \frac{df_2}{dr_m}\\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ \frac{df_m}{dr_1} & \frac{df_m}{dr_2} & & \frac{df_m}{dr_m}\end{vmatrix}$$

якобианни текшириш йўли билан m -та мустақил тенглама танлаб олинади.

Ушбу масалани машинада ечишнинг кейинги алгоритми тақрибий йўналтирувчи механизмларни кинематик схеманинг барча параметрлари бўйича синтез қилиш

масаласининг ечими билан мос келади, фақат бу ҳолда параметрларни аниқлаштириб тўғрилаш доираси ушбу ўлчам қўйимлари майдони ярмининг чегарасида ётиши зарур.

9. Механизмларни динамик синтез қилиш масаласини ечиш. Масалани ечиш механизмларнинг иккинчи тур Лагранж тенгламалари, Гамильтон-Остроградский ёки бошқа усуллар асосида олиниши мумкин бўлган ҳаракат тенгламаларини тузишдан бошланади. Алгоритмлаш нуқтаи назаридан қуйидаги шаклдаги тенглама энг қулай ҳисобланади:

$$\dot{\Im}_k \cdot \dot{\omega} + d\,T/dy = M_k \cdot$$

Ушбу тенгламани

$$A(r_j, y)\ddot{Y} + B(r_j, y)\dot{Y}^2 + C(r_j, y) = 0\,.$$

кўринишда олиб, уни Рунге-Кутта усули бўйича ечамиз, бу ерда r_j — механизмнинг кинематик ва динамик параметрлари ; $У$ — умумлаштирилган координата.

Нисбий фарқ ифодасини

$$\Delta q_j = У_з - У_н$$

кўринишда ёзиб, бу ерда $У_з$ — умумлаштирилган координатанинг берилган қиймати; $У_н$ — умумлаштирилган координатанинг ҳаракат дифференциал тенгламасини ечиш натижасида олинган қиймати; минималлаштирувчи функция ифодасини тузамиз:

$$D = \sqrt{\sum_1^k \Delta_q^2} \to \min\,.$$

Оптималлаштириш ва Рунге-Кутта усулларидан кўп марта фойдаланиш йўли билан механизмнинг берилган шартларга жавоб берувчи оптимал параметрларини аниқлаймиз.

Шуни айтиш керакки, кинематик синтез қилиш масалаларининг ечими натижалари бу ерда кинематик параметрларнинг нолга яқинлашишидаги қийматлари сифатида фойдаланилади.

Динамик синтез қилишда масаланинг қўйилишига боғлиқ равишда берилган вақт оралиғида жадалланиш ёки тормозланишни таъминлаш, механизмнинг барқарор ҳаракатини таъминловчи оптимал тавсифномаларини аниқлаш ва ҳоказолар каби масалаларни ечиш мумкин.

10. Механизмларни кинематик ва динамик синтезлаш масалалари ечилгандан сўнг уларнинг аниқлигини баҳолаш блоки амалга оширилади. Бунинг учун шатун эгри чизиғининг (32) тенгламасидан ҳар бир параметр бўйича қуйидаги кўринишдаги ҳосила олинади:

$$\frac{dF\left(x, y, r_1, r_2, \ldots, r_R, r_{k+1}, \ldots, r_m\right)}{dr_{ik}} =$$

$$= \frac{1}{2h}\left\{F\left[x, y, r_1, r_2, \ldots, \left(r_R + h\right), r_{k+1}, \ldots, r_m\right] - \right.$$

$$\left. -F\left[x, y, r_1, r_2, \ldots, \left(r_R - h\right), r_{R+1}, \ldots, r_m\right]\right\}$$

Худди шу каби, шатун эгри чизиғи тенгламасидан координаталар бўйича ҳосилалар олиб, уларнинг қийматларини координата бўйича чегаравий хатоликни билдирувчи қуйидаги ифодага қўямиз:

$$\delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{d}{dr_i}F\left(x, y, r_i\right)\right]^2 \cdot \delta_i^2} \Big/ \frac{d}{dy}F\left(x, y, r_i\right)$$

Шу йўл билан бошқа координата ёки нормал бўйича чегаравий хатоликларни ҳам аниқлаш мумкин.

Агар аниқликни баҳолаш натижалари бошланғич қўйилган шартларни қониқтирмаса, бажарилган синтез ишларининг бутун циклини энг содда механизмнинг кинематик синтезидан бошлаб қайтадан бажарамиз.

7.3. Текис ричагли (пишангли) механизмлар асосидаги аниқ йўналтирувчи механизмлар синтези

7.3.1. Масаланинг қўйилиши

Аниқ йўналтирувчи механизмларнинг синтези масаласи қуйидагича қўйилган бўлади: синтез қилинувчи механизм нуқтаси чизиши керак бўлган траекториянинг тенгламаси берилган бўлиб, бирор бўғиннинг (масалан, шатуннинг) нуқтаси ҳеч қандай хатоликсиз, яъни аниқ ушбу траекторияни чизувчи механизмнинг параметрларини топиш керак.

Текисликда ётувчи эгри чизиқни ҳосил қилиб берувчи аниқ йўналтирувчи механизм синтези масаласини кўриб чиқайлик [55].

Берилган траекториянинг тенгламаси

$$F_1 (x, y, a_1,a_2,..., a_n) = 0, \qquad (41)$$

танланган механизм шатуни нуқтасининг траекторияси тенгламаси эса

$$F (x, y, r_1,r_2,...r_m) = 0 \qquad (42)$$

кўринишда бўлсин, бу ерда x, y — берилган траектория нуқталарининг координатлари:

$a_1,a_2,..., a_n$ — берилган траектория тенгламасининг коэффициентлари;

$r_1,r_2,...r_m$ — механизмнинг аниқланиши керак бўлган параметрлари.

(42) ифодаси текис механизм шатуни эгри чизиғининг тенгламаси ҳисобланади.

Синтез масаласини ечиш учун берилган ва механизмнинг шатунидан олиниши мумкин бўлган эгри чизиқларнинг тенгламалари ўртасида механизмнинг изланаётган параметрларини берилган траектория тенгламаси коэффициентлари орқали ифодалаш имконини берувчи боғланишни аниқлаш керак бўлади. Бунинг учун (41) ва (42) тенгламаларни битта координатлар тизимига келтириб ёзиш зарур. Бунда траектория тенгламаси (41) параметрик шаклда ҳам, тўғри бурчакли координатлар тизимида ҳам берилган бўлиши мумкин.

(41) ва (42) тенгламалар қандай берилишидан қатъи назар, уларни даражали полиномлар (кўпҳадлар) шаклига келтириш мумкин.

Шатун эгри чизигини умумий ҳолда қуйидаги даражали кўпҳад кўринишида тасвирлаш қулай бўлади:

$$\sum_{k=0}^{\rho}\sum_{\ell=0}^{k} a_{(k-\ell)\ell}\, x^{k-\ell} y^{\ell} = 0$$

$$k = \rho, (\rho-1), (\rho-2), ...2,1,0 \qquad (43)$$

$$\ell = 0,1,2...,k$$

бу ерда ρ — кўпҳад даражаси;

$a_{(k-\ell)\ell}$ — шатун эгри чизиғи тенгламасининг механизмнинг изланаётган параметрларига боғлиқ коэффициентлари.

Берилган траектория тенгламасини худди шундай кўринишга келтирамиз, яъни

$$\sum_{i=0}^{q}\sum_{j=0}^{i} b_{(i-j)}\, x^{i-j} y^{j} = 0$$

$$j = q, (q-1), (q-2), ...2,1,0 \qquad (44)$$

$$j = 0,1,2...,i$$

бу ерда q — кўпҳад даражаси;

$b_{(i-j)j}$ — тенглама коэффициентлари.

Табиийки

$$b_{(i-j)j} = f(a_1, a_2, ...a_n)$$

бу ерда $a_1, a_2, ..., a_n$ — (1) тенгламанинг коэффициентлари.

Энди $r_1, r_2, ..., r_n$ параметрларни $a_1, a_2, ..., a_n$ коэффициентлар орқали ифодалаш қолди.

7.3.2. Текис ричагли механизмлар шатуни эгри чизиғининг тенгламаларини чиқазиш

Кулисали механизм (7.2-расм) M ва B нуқталари орасида қуйидаги боғланишлар мавжуд:

$$X_B = x \pm k\left(x\cos\omega - y\sin\omega\right)\frac{\sqrt{\rho^2-\left(e-k\sin\omega\right)^2}}{\rho^2}+$$

$$+k\left(e-k\sin\omega\right)\frac{x\sin\omega + y\cos\omega}{\rho^2};$$

$$Y_B = y \pm k\left(x\sin\omega - y\cos\omega\right)\frac{\sqrt{\rho^2\left(e-k\sin\omega\right)^2}}{\rho^2}-$$

$$-k\left(e-k\sin\omega\right)\frac{x\cos\omega - y\sin\omega}{\rho^2}; \qquad (45)$$

бу ерда *e, r,ω — M* нуқтанинг шатунда жойлашиш ўрнини белгиловчи параметрлар.

Агар механизмнинг *B* нуқтаси *OУ* ўқига параллел тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилса

$$X_B - \ell = 0 \qquad (46)$$

X_B қийматларини (45) дан (46)га қўйиб, баъзи ўзгартиришлардан кейин шатун *M* нуқтаси эгри чизиғининг қуйидаги тенгламаларини оламиз:

$$\left[(\ell-x)\rho^2 k\left(e-k\sin\omega\right)\left(x\sin\omega+y\cos\omega\right)\right]^2-$$

$$-k\left(x\cos\omega-y\sin\omega\right)^2\left[\rho^2\left(e-k\sin\omega\right)^2\right]=0$$

Буни стандарт кўринишга келтириб, ҳосил қиламиз:

$$\sum_{k=0}^{4}\sum_{\ell=0}^{k} a_{(k-e)\ell}\,x^{k-e}y^{e}=0$$

$$k=4,\ 3,\ldots,0;$$

$$\ell=0,1,\ldots,4 \qquad (47)$$

(47) тенгламадаги ҳадлар сони

$$t=\frac{5(5+1)}{2}=15$$

Бироқ тенгламаларнинг биринчи қаторида иккинчи, тўртинчи ва бешинчи, иккинчи қаторида эса — иккинчи ва тўртинчи ҳадлар йўқ. Шунинг учун бу тенгламадаги ҳадларнинг умумий сони ўнга тенг, ундаги ҳадларнинг коэффициентлари қуйидаги қийматларга эга бўлади:

$$a_{40} = 1$$
$$a_{22} = 1$$
$$a_{30} = -2\ell$$
$$a_{12} = -2\ell$$
$$a_{20} = \ell^2 - k^2 - 2ke\sin\omega - 3k^2\sin^2\omega$$
$$a_{11} = 3ke\cos\omega$$
$$a_{02} = \ell^2 - k^2\sin\omega$$
$$a_{10} = 2k\ell e\sin\omega - 2k^2\ell\sin^2\omega$$
$$a_{01} = 2k\ell e\cos\omega - 2k^2\ell\sin\omega\cos\omega$$
$$a_{00} = k^2(\ell - k\sin\omega)^2$$

7.3.3. Кривошип — сирпанғичли механизм шатуни эгри чизиғининг тенгламаси

Механизм B ва M нуқталарининг координатлари орасидаги боғланиш қуйидаги кўринишга эга бўлади (7.3-расм).

$$X_B = X \pm \frac{в\cdot\sin\omega}{k}y \pm \frac{k - в\cdot\cos\omega}{k}\sqrt{k^2 - y^2}$$
$$Y_B = \frac{в\cdot\cos\omega}{k}y \pm \frac{в\cdot\sin\omega}{k}\sqrt{k^2 - y^2} \qquad (48)$$

Шатун эгри чизиғининг тенгламасини олиш учун ёзамиз:

$$\rho_B^2 - 2X_AX_B - 2ey_B + X_A^2 - e^2 - a^2 = 0 \qquad (49)$$

бу ерда ρ_B^2 (II.16)га биноан қуйидаги қийматга эга бўлади:

$$\rho^2 + 2X_A X - \frac{2}{k}\left[(\cos\omega - k)y + (X - X_A)b\sin\omega\right] -$$
$$-\frac{2}{k}\left[(y-e)b\sin\omega - (b\cos\omega - k)(X - X_A)\right]\cdot$$
$$\sqrt{k^2 - y^2} - X_A^2 - e^2 - b^2 + 2kb\cos\omega - k^2 + a^2 = 0 \quad (50)$$

(48) ва (49) ларни (50)га қўйиб, ҳосил қиламиз: бу ерда X_A — A шарнир координатаси;

e — дезаксиал қиймати;

$в$ — шатун узунлиги;

a — кривошип узунлиги;

$к,\omega$ — M нуқтанинг шатунда жойлашиш ўрнини белгиловчи параметрлар.

Ушбу механизм шатун эгри чизиғининг тўртинчи даражали алгебраик тенглама (II.7) кўринишидаги тенгламасини оламиз. Кўрилаётган ҳолда тенглама ҳадларининг сони 15 га тенг. Улардаги коэффициентлар қуйидагича бўлади:

$$a_{40} = 1;\ a_{31} = \frac{4}{k}b\sin\omega;\ a_{22} = \frac{4b^2}{k^2} - \frac{4b}{k}\cos\omega + 2;$$

$$a_{31} = \frac{4b}{k^2}\sin\omega\cdot\cos\omega;\ a_{04} = \frac{4b^2}{k^2} - \frac{4b}{k}\cos\omega + 1;$$

$$a_{30} = -4x_A;\ a_{21} = -\frac{12}{k}x_A b\sin\omega - \frac{4}{k}eb\cos\omega;$$

$$a_{12} = -\frac{4x_A b^2}{k^2} - \frac{4x_A b^2}{k^2}\sin^2\omega - \frac{4eb^2}{k^2}\sin\omega\cos\omega - \frac{4eb}{k}\sin\omega;$$

$$a_{03} = -\frac{4eb^2}{k^2} - \frac{4eb^2}{k^2}\cos^2\omega - \frac{4x_A b^2}{k^2}\cos\omega\sin\omega + \frac{4eb}{k}\cos\omega;$$

$$a_{20} = 6x_A^2 + 2e^2 + 2b^2 - 2k^2 - 2a^2 + 4kb\cos\omega - 4b^2\cos^2\omega;$$

$$a_{11} = \frac{12x_A^2 b}{k}\sin\omega + \frac{4be^2}{k}\sin\omega + \frac{4b^3}{k}\sin\omega - \frac{4a^2b}{k}\sin\omega +$$
$$+\frac{8x_A be}{k}\cos\omega - 4b^2\cos\omega\sin\omega;$$

$$a_{02} = \frac{4e^2b^2}{k^2} + \frac{4x_A^2b^2}{k^2} - \frac{4x_A^2b^2}{k}\cos\omega + \frac{4be^2}{k}\cos\omega +$$

$$+\frac{4b^3\cos\omega}{k} - \frac{4a^2b}{k}\cos\omega + \frac{8x_A^2b}{k}\sin\omega - 4b^2\cos^2\omega +$$

$$+8kb\cos\omega + 2x_A^2 - 2e^2 - 6b^2 - 2k^2 + 2a^2;$$

$$a_{10} = -4x_A^3 - 4x_Ae^2 + 4x_Aa^2 - 4x_Ab^2\sin^2\omega +$$

$$+4ebk\sin\omega - 4eb^2\cos\omega\sin\omega;$$

$$a_{01} = -\frac{4x_A^3b}{k}\sin\omega - \frac{4x_Abe^2}{k}\sin\omega\frac{4x_Ab^3}{k}\sin\omega +$$

$$+\frac{4x_A^2a^2b}{k}\sin\omega - \frac{4x_A^2be}{k}\cos\omega - \frac{4be^3}{k}\cos\omega -$$

$$-\frac{4b^3e}{k}\cos\omega + \frac{4a^2be}{k}\cos\omega + 4bek\cos\omega + 4x_Ab^2\sin\omega\cos\omega +$$

$$+4b^2e\cos^2\omega + 4b^2e;$$

$$a_{00} = 4k^2b^2\cos^2\omega - 4x_A^2b^2\cos^2\omega + 8x_A^2b^2\cos\omega\sin\omega -$$

$$-4e^2b^2\sin^2\omega + 4x_A^2bk\cos\omega - 4be^2k\cos\omega - 4b^3k\cos\omega -$$

$$-4bk^3\cos\omega + 4a^2bk\cos\omega - 8x_Abek\sin\omega + x_A^4 + e^4 + b^4 +$$

$$+k^4 + a^4 + 2x_A^2e^2 + 2x_A^2b^2 - 2x_A^2k^2 - 2x_A^2a^2 - 2b^2e^2 + 2e^2k^2 -$$

$$-2a^2e^2 + 2b^2k^2 - 2a^2b^2 - 2a^2k^2$$

7.3.4. Аниқ йўналтирувчи механизмлар синтези масаласини ечишнинг алгебраик усули

Синтез масаласини ечишни бошлашдан олдин берилган траекторияни келтириб чиқазиш имконияти борйўқлигини аниқлаб олиш зарур. Траектория тенгламаси (44) кўринишга келтирилган бўлсин. Ушбу траекторияни чиқазиш учун мўлжалланган механизмни танлаймиз ва унинг учун шатун эгри чизиғининг (43) кўринишдаги тенгламасини тузамиз. Бу икки тенгламага эга бўлиб, уларнинг даражаларини таққослаймиз.

Агар $q>p$ бўлса, танланган механизм берилган траекторияни чиқариб бера олмайди. Бошқа икки вариантни кўриб чиқайлик, яъни:

1) шатун эгри чизиғи алгебраик тенгламаси ва берилган траектория тенгламасининг даражалари бир хил $(q>p)$;

2) алгебраик тенглама даражаси берилган траектория тенгламаси даражасидан катта $(q>p)$.

Биринчи вариант бўйича механизмнинг қидирилаётган параметрларини аниқлаш учун иккала тенглама коэффициентларини тенглаштирамиз ва шатун эгри чизиғи тенгламаси коэффициентларини берилган тенглама коэффициентлари орқали ифодалаймиз.

Бунда учта ноль келиб чиқиши мумкин:

1) (44) тенглама қандайдир ҳадининг коэффициенти нолга тенг $(b_{mn} = 0)$, (43) тенгламанинг унга мос келувчи коэффициенти эса ноль эмас $(a_{mn} \neq 0)$. Бундай ҳолда a_{mn} = 0 қабул қиламиз.

2) агар $a_{mn} \neq 0$, $b_{mn}=0$ бўлса, қурилаётган механизм берилган траекторияни чиқаза олмайди;

3) $a_{mn} \neq 0$ ва $b_{mn} \neq 0$ *бўлса,* $a_{mn} = b_{mn}$ тенгликни қабул қиламиз.

$q=p$ бўлган иккинчи вариантда шатун эгри чизиғи тенгламасининг даражасини камайтириш ёки қидирилаётган параметрлар билан берилган траектория тенгламасининг коэффициентлари орасида боғланишни берадиган бошқа ечимларни топиш зарур.

Шатун эгри чизиғи тенгламаси

$$F(x,y) = 0, \tag{51}$$

берилган траектория тенгламаси эса

$$F_1([x,y) = 0 \tag{52}$$

кўринишга эга бўлсин.

(51) ни кўпҳадларда қуйидагича ахтарайлик:

$$F(x,y) = F_2(x,y) \cdot F_4(x,y) + A(x,y) = 0, \tag{53}$$

Бу ерда $F_2(x,y)$ — берилган траектория тенгламасининг юқори даражали ўзгарувчиларга эга бир нечта кадрлари;

$F_4(x,y)$ — кўпҳад $F(x,y)$ ни $F_2(x,y)$ га бўлишда ҳосил бўлган натижа;

$A(x,y)$ — бўлинма қолдиғи.

(52) ни $F_1 (x,y) = F_2 (x,y) + F_3 (x,y) = 0$ кўринишда ёзайлик, бу ердан

$$F_2 (x,y) = - A_3 (x,y). \tag{54}$$

(54) дан $F_2 (x,y)$ қийматини (III.7) га қўйиб ҳосил қиламиз.

$$F_3 (x,y) \cdot F_4 (x,y) + A (x,y) = 0 \tag{55}$$

(53) ва (55) ларни таққослаб (55) тенгламанинг даражаси (53) дан паст эканлигини кўриш мумкин. Демак, шатун эгри чизиғи тенгламасининг даражасини у берилган траектория тенгламаси даражасидан юқори бўлган ҳолларда камайтириш мумкин экан.

(55) ва (43) ларни таққослаб қуйидаги тенгламалар тизимини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} &C_{00} = B_{00} \; C_{11} = B_{11} \\ &C_{01} = B_{01} \; \underline{\qquad\qquad} \\ &C_{10} = B_{10} \; C_{q0} = B_{q0} \end{aligned} \tag{56}$$

бу ерда $C_{(i-j)j}$ — ҳам шатун эгри чизиғи, ҳам берилган траектория тенгламалари коэффициентларининг функциялари, яъни

$$C_{(i-j)j} = f\left[a(k-e)\ell, b(i-j)j\right]$$

ёки

$$C_{(i-j)j} = f\left[r_1, r_2, \ldots, r_m, a_1, a_2, \ldots, a_n\right].$$

Агар бундай йўл билан керакли натижани олиш мумкин бўлмаса, шатун эгри чизиғи тенгламасини бўлаклаймиз.

$$F (x,y) = F_1 (x,y) \cdot F_4 (x,y) + A (x,y) = 0$$

$F_1 (x,y) = 0$ бўлгани учун бўлаклаш натижасида ҳосил қиламиз:

$$A (x,y) = 0 \tag{57}$$

бунда агар бу ифода даражаси бўйича берилган тенгламага мос келса:

$$A(x,y) = F_1\ (x,y)$$

деб ёзиш ва ўзгарувчиларининг даражаси бир хил бўлган ҳадларнинг коэффициентларини бир-бирига тенг деб олиш мумкин.

(57) тенгламани ёйилган кўринишда умумий ҳолда қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\sum_{q=0}^{S}\sum_{h=0}^{q} d_{(q-h)h}\, x^{(q-h)} y^{h} \tag{58}$$

бу ерда $q=S,(S-1),(S-2),...,0;\ h=0,1,...,q.$

Юқоридаги формулалардан $S \leq r$ эканлиги кўриниб турибди. (58) тенглама x,y нинг исталган қийматларида ҳақли. Демак, ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} &d_{00} = 0\ d_{11} = 0 \\ &d_{01} = 0\ _____ \\ &d_{10} = 10\ d_{s0} = 0 \end{aligned} \tag{59}$$

Бу ерда $d(q\text{-}h)h$ коэффициентлари $C_{(1-j)j}$ коэффициентлари каби шатун эгри чизиғи ва берилган траектория тенгламалари коэффициентларининг функцияларидир.

Шундай қилиб, биринчи ҳолда ((56) тенгламалар ҳам, иккинчисида ((59) тенгламалар) ҳам чизиқли бўлмаган алгебраик тенгламалар системаларига эга бўламиз.

$$\begin{aligned} &f_1(r_1, r_2, \ldots, r_m, \quad a_1, a_2, \ldots, a_n) = 0 \\ &f_2(r_1, r_2, \ldots, r_m, \quad a_1, a_2, \ldots, a_n) = 0 \\ &f_n(r_1, r_2, \ldots, r_m, \quad a_1, a_2, \ldots, a_n) = 0 \end{aligned} \tag{60}$$

Тенгламаларнинг энг кўп сони (56) система ҳосил бўлади ва у тенг:

$$n = \frac{(a+1)(q+2)}{2}.$$

(59) системада эса:

$$n_1 = \frac{(S+1)(S+2)}{2}.$$

Масалани ечишда учта ҳол бўлиши мумкин:

1. Системадаги тенгламалар сони номаълумлар сонидан кам $(n<m)$. Бу ҳолда баъзи параметрлар қийматини қабул қилиш керак.

2. Тенгламалар сони номаълумлар сонига тенг $(n=m)$.

3. Тенгламалар сони номаълумлар сонидан ортиқ $(n>m)$.

Энг кўп учрайдиган охирги ҳолда системадан m — та тенгламани ажратиб олиш лозим. Бунда олинган натижалар (60) системанинг қолган тенгламаларини ҳам қониқтириши керак.

Кўрилган учта ҳолнинг ҳар бирида тенгламаларнинг бир-биридан мустақиллиги масаласи юзага келади. Бу масалани ечиш учун (60) системанинг m — та тенгламаларини ажратиб оламиз ва уларни текширамиз:

$$\frac{D(\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_m)}{D(r_1, r_2, \ldots, r_m)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \phi_1}{\partial r_1} & \frac{\partial \phi_1}{\partial r_2}, & \ldots, & \frac{\partial \phi_1}{\partial r_m} \\ \frac{\partial \phi_2}{\partial r_1} & \frac{\partial \phi_2}{\partial r_2}, & \ldots, & \frac{\partial \phi_2}{\partial r_m} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \frac{\partial \phi_m}{\partial r_1} & \frac{\partial \phi_m}{\partial r_2}, & \ldots, & \frac{\partial \phi_m}{\partial r_m} \end{vmatrix}$$

Агар тенгламалар якобиони нолга тенг бўлмаса, улар мустақилдир. Агарки, уларнинг якобиони нолга тенг чиқса, (60) дан танлаб олинган тенгламалардан исталганини ундаги кейинги $(m+1)$ тартибдаги тенглама билан алмаштириб, яна қайтадан текшириб кўрамиз.

Кўпинча қидирилаётган параметрларни аналитик усуллар ёрдамида аниқлаш мумкин.

Умумий ҳолда, (60) системани ечиш учун номаълумларни олиб ташлаш усулидан фойдаланиш мумкин. Масалан, бу системанинг биринчи икки тенгламаси қуйидаги кўринишга келтирилган бўлсин:

$$f_1 = \Theta + \Theta_1 r_1 + \Theta_2 r_1^2 + \ldots + \Theta_{n1} r_1^{n1}$$

$$f_1 = H_0 + H_2 r_1 + H_2 r_1^2 + \ldots + H_{n2} r_1^{n2}$$

бу ерда

$$\Theta = \Theta(r_2, r_3, \ldots, r_m,\ a_1, a_2, \ldots,\ a_n);$$

$$H = H(r_2, r_3, \ldots, r_m,\ a_1, a_2, \ldots,\ a_n)$$

ва кўп ҳадлар натижаларини топамиз:

$$R(f_1, f_2) = \begin{vmatrix} \Theta_0 \Theta_1 \ldots\ldots\ldots 0_{n1}\ 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 \Theta_0 \Theta_1 \ldots\ldots\ldots \Theta_{n1}\ 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 0\, \Theta_0\ \Theta_1 \ldots\ldots\ldots \Theta_n \\ H_0 H_1 \ldots\ldots\ldots H_{n2}\ 0 \ldots\ldots\ldots 0 \\ 0\, H_0 H_1 \ldots\ldots H_{n2}\ 0 \ldots\ldots\ldots 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 0\, H_0\ H_1 \ldots\ldots\ldots H_{n1} \end{vmatrix}$$

ёки

$$R(f_1, f_2) = z(r_2, r_3, \ldots, r_m,\ a_1, a_2, \ldots, a_n);$$

бу ерда r_1 номаълум (60) системанинг кўрилаётган икки тенгламасидан чиқазиб ташланди.

Худди шундай тарзда, система тенгламаларининг ҳар бир жуфтини кўриб чиқиб, унинг ҳамма тенгламаларидан номаълум r_1 параметрни чиқазиб ташлаймиз ва $r_2, r_3, \ldots, r_m,\ a_1, a_2, \ldots, a_n$ функцияси бўлган *(m-1)* тенгламаларни ҳосил қиламиз. Сўнгра бу тенгламалардан r_2 параметрини, кейин $r_3, \ldots r_{m-1}$ ни чиқазамиз. Шундай тарзда охирида r_m параметрга нисбатан кўпҳадни ҳосил қиламиз. Натижавий кўпҳаднинг даражаси, демак, унинг ечимлари сони (60) система кўпҳадлари даражаларининг кўпайтмасига тенг бўлади.

8. РОБОТ ВА МАНИПУЛЯТОРЛАР НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

8.1. Манипуляторлар ва саноат роботлари

Манипулятор деб, одам қўлининг ишчи функцияларини такрорлаш учун мўлжалланган техник қурилмага айтилади.

Манипуляторлар ҳар хил белгилар бўйича турларга бўлинади:

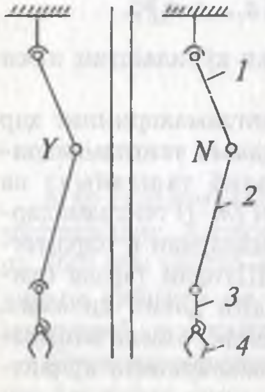
а) функциясига кўра: тақлид қилувчи ва бажарувчи:

б) бошқариш тизимига кўра: дастаки ва автоматик бошқариладиган:

в) қўзғалувчан даражасига кўра: битта ва бир нечта қўзғалувчанлик даражали.

Биринчи манипуляторнинг фақат функцияси эмас, балки кўриниши ҳам одам қўлига ўхшаб кетади. Кейинчалик кўп бўғинли манипуляторлар пайдо бўлиши билан уларнинг одам қўлига ўхшашлиги йўқолди, аммо ўхшаш фазовий ҳаракат ҳосил қилиш вазифаси сақлаб қолинди. Шу билан бирга айтиб ўтиш керакки, одамнинг битта қўли 34 та қўзғалувчанлик даражасига эга, демак, манипуляторларнинг қўзғалувчан даражаси, яъни тақлидчилик имкониятлари ҳали анча кам.

Мисол тариқасида бошқарувчи ва бажарувчи механизмлардан иборат тақлид қилувчи манипулятор схемаси (8.1-расм)ни кўриб чиқайлик. Тузилиши бўйича механизмларнинг иккаласи ҳам бир хил. Электрлаштирилган, электронли, магнитли, механик ёки бошқа боғланиш воситасида бажарувчи механизм бошқарувчи механизм ҳаракатларига тақлид қилади. Бундай механизмлардан кўпинча зарарли ёки етмайдиган муҳитларда фойдаланилади. Ундан ташқари, бошқарувчи механизм ташқи кўламий ўлчамлари бўйича бажарувчи механизмга нисбатан анча кичик бўлиши мумкин.



8.1-расм

Схемадан кўриниб турибдики, механизмлар одам қўлидаги ўхшаш

бўғинлардан иборат очиқ кинематик занжирдан ҳосил бўлган, бу ерда:

Тана *O* ва елка 1 боғланишидан ҳосил бўлган кинематик жуфт елка бўғини деб аталади.

Елка 1 ва билак 2 боғланишидан ҳосил бўлган кинематик жуфт тирсак бўғини дейилади.

Билак 2 ва панжа 3 дан ҳосил бўлган кинематик жуфт панжа бўғини деб аталади.

Манипулятор бармоғи 4 ўз навбатида, алоҳида механизм кўринишида ёки панжа билан қўзғалмас боғланган (масалан, магнитли бармоқ) бўлиши мумкин. Кейинги ҳолда 8.1-расмда кўрсатилган манипулятор схемаси 1, 2 ва 3 қўзғалувчан бўғинлардан ва учта кинематик жуфтдан иборат, бунда елка ва панжа бўғинлари 3 та эркинлик даражасига эга сферик жуфтлар, билак бўғини эса битта эркинлик даражасига эга V-синф айланма жуфт сифатида бажарилади. Механизм бундай схемада еттитадан эркинлик даражасига эга бўлади.

Автоматик бошқариладиган манипуляторларни **саноат роботлари** деб аталади. Одатдаги машина-автоматлардан улар очиқ кинематик занжирлардан тузилган механизмларнинг қўлланилиши, бўлак дастурларни бажаришга тезгина тўғрилаш имконияти борлиги ва ишчи органларнинг кенг диапазонда турли фазовий ҳаракатлар қилиши мумкинлиги билан фарқ қилади.

Саноат роботларининг структураси манипуляторлар структураси билан бир хил, шунинг учун уларни таҳлил қилишда манипуляторлар схемасининг таҳлили билан чекланиш мумкин.

Манипуляторлар назариясининг асосий қоидалари мускуллар қисқариши натижасида пайдо бўладиган биотоклар ёрдамида одам қўли ва оёғи ҳаракатларини ҳосил қилувчи механизмлар учун ҳам қўлланилиши мумкин.

8.2. Манипуляторларни бошқариш блок-схемалари ва даражалари

Автоматик бошқариладиган манипуляторларда қайтишли эргашувчи тизимлар қўлланилади. Бу тизимлар информацияни тескари томонга, яъни бажарувчи механизм-

8.2-расм

дан бошқарувчи мосламаларга узатувчи тескари боғланишга эга бўлади (8.2-расм).

8.3-расмда манипуляторларни автоматик бошқариш блок-схемаси келтирилган. Бу ерда бўғинлар ҳолати кузатгичлар сигналлари асосида ЭҲМ бошқарувчи курилмалар орқали манипулятор ишини тўғрилаб боради.

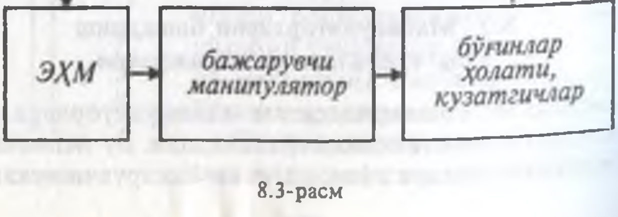
Манипуляторлар уч даражада бошқарилиши мумкин:

1. Биринчи даражали бошқаришда бошқариш дастури манипуляторнинг ҳар бир умумлаштирилган координатаси қийматларини белгилаб беради.

2. Иккинчи даражали бошқаришда: "олиш", "кўчириш", "эшикни очиш" ва шунга ўхшаш мураккаброқ операцияларнинг буйруқлари киритилади.

3. Учинчи даражали бошқаришда: "узелни йиғиш", "контейнерни бўшатиш" ва шу каби тугалланган жараёнларнинг буйруқлари киритилади.

Табиийки, учинчи даража иккинчи даражаларга, улар эса ўз навбатида, биринчи даражаларга бўлиниб юборилиши мумкин.



8.3-расм

8.3. Манипуляторларнинг ишчи ҳажми, чаққонлиги, хизмат қилиш зонаси, сервис бурчаги ва коэффициенти

Манипуляторнинг ишчи ҳажми деб, панжанинг барча мумкин бўлган ҳолатларини қамровчи сирт билан чегараланган ҳажмга айтилади.

Панжанинг ишчи ҳажмдаги ҳаракати (8.4-расм) тўрт синфга турланиши мумкин:

а) тўсиқсиз (бўш) ишчи ҳажмдаги эркин ҳаракат;

б) тўсиқли ишчи ҳажмдаги ҳаракат;

в) берилган эгри чизиқ бўйича ҳаракат;

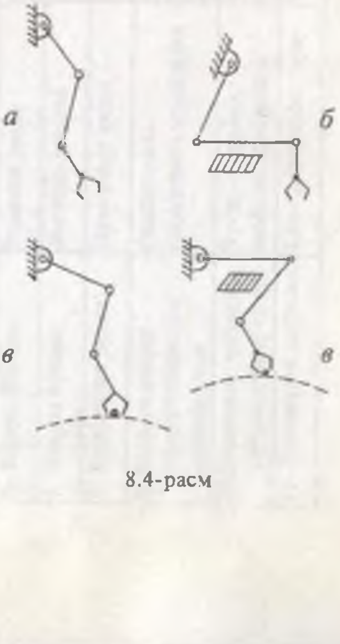
г) берилган эгри чизиқ бўйича тўсиқли ҳажмда ҳаракат.

Бундай тасниф А.Е.Кобринский ва Ю.А.Степаненко томонидан таклиф қилинган. Ҳозирги пайтда манипуляторларнинг турлари кенгайган, хусусан биз томондан кўп тўсиқлардан ўтувчи манипуляторлар синтези масалалари ечилган.

Манипуляторларнинг чаққонлиги деганда, унинг панжалари қўзғалмас бўлгандаги эркинлик даражаси тушунилади.

Фазонинг манипулятор иш жараёнида панжалари жойлашиши мумкин бўлган қисми **ишчи зона** деб аталади. Бу зона текислик, сирт, параллелепипед, шар ва цилиндр шаклида бўлиши мумкин. Ишчи зонанинг панжалари объект билан ишлаши қулай бўлган қисми хизмат қилиш зонаси дейилади ва манипулятор характеристикаси шу зонага мос равишда белгиланган бўлади.

Панжалар ишчи зонанинг ҳар бир нуқтасига қандайдир белгиланган моддий бурчак ичида яқинлашиши мумкин. Бу бурчак сервис бурчаги деб номланади, манипулятор бурчаги катталиги фазода 4 гача етиши мумкин. Шунинг учун нисбати сервис коэффициенти деб аталади ва унинг қиймати 0 дан 1 гача ўзгариши мумкин.



8.4-расм

8.4 Роботларни тайёрлаш ва қўллаш бўйича йиғма маълумотлар

Саноат роботлари Японияда энг кўп тараққий қилган, у ерда бу соҳа бўйича ишлар олиб борилмоқда (АҚШ да 1961 йилдан). Японияда 1973 йилдан роботларнинг ички бозори ҳажми 34 млн. доллар, 1980 йили 100 млн. долларни ташкил қилган бўлса, 1985 йилга келиб 1 млрд. долларга кўпайди.

1984 йилда экспорт қилинадиган роботлар сони қуйидагича бўлган:

Японияда	8000
АҚШ	6000
Германия	600
Италия	500
Швеция	800
Англия	400

Ўшанда дунёда ҳаммаси бўлиб 20 000 дан ортиқ роботлар ишлатиларди. Ҳозирга келиб Ўзбекистонда Асака шаҳрида чиқарилаётган автомашиналарнинг кузовлари фақатгина роботлар ёрдамида йиғилмоқда.

АТАМАЛАР ЛУҒАТИ

Ўзбекча	Русча	Немисча	Инглизча	Французча
1	2	3	4	5
1.Механизмлар структураси. 1.1 Умумий тушунчалар		Структура механизмов Общие понятия		
1.Механизм	Механизм	Getriebe; Mechanismus	Mechanism	Mécanisme
2.Гидравлик механизм	Гидравлический механизм	Hydraulisches Getriebe	Hydraulic mechanism	Mécanisme hydraulic
3.Пневматик механизм	Пневматический механизм	Pneumatisches Getriebe	Pnematic mechanism	
4.Механизм бўғини	Звено механизма	Glied; Getri-ebeglied	Link of amechanism	Chaînon de mécanisme
5.Пой	Стойка	Gestell	Frame	Support
6. Кириш бўғини	Входное звено	Antriebsglied	Input link	Chaînon d'entrée
7. Чиқиш бўғини	Выходное звено	Abtriebsglied	Output link	Chaînon de sortie
8. Бошланғич бўғин	Начальное звено		Initial link	Chaînon initial
9. Механизмнинг умумлаштирилган координатаси	Обобщенная координата механизма	Verallgemeinerte Koordinate eines Getriebes	Generalized coordinate of amechanism	Coordonnée généralisée de méca-nisme
10.Механизм эркинлик даражасининг сони	Число степеней свободы механизма	Getriebefre-iheitsgrad	Number of degrees of freedom of amechanism	Nombre de degreés de liberté du mécanisme
11. Кинематик жуфтлик	Кинематическая пара	Gelenk; Elementenpaar	Kinematic pair; pair	Couple cinématique

12. Кинематик жуфтлик элементи	Элемент кинематической пары	Gelenkelement	Element of akinematic pair	Couple cinématique
13. Кинематик занжир	Кинематическая цепь	Kinematische Kette	Kinematic chain	Chaîne cinématique
14. Берк кинематик занжир	Замкнутая кинематическая цепь	Geschlossene kinematische Kette	Cloce looped kinematic chain	Chaîne cinématique fermé
15. Беркитилмаган кинематик занжир	Незамкнутая кинематическая цепь	Offenek kinematische Kette	Open looped kinematic chain	Chaînô cinématique ouverte
16. Кинематик боғланиш	Кинематическое соединение		Kinematic joint	
17. Механизмнинг структуравий (тизими) схемаси	Структурная схема механизма	Typenchema	Type diagram of a mechanisme	Scheme structural de mécanisme
1.2. Кинематик жуфтликларнинг турлари			1.2. Виды кинематических пар.	
18. Бир ҳаракатли жуфтлик	Одноподвижная пара	Gelenk mit einem Gelenkfreiheitsgraden	One degree of freedom kinematic pair	Couple cinématique a un degré de mobilité
19. Икки ҳаракатли жуфтлик	Двухподвижная пара	Gelenk mit zwei Gelenkfreiheits-graden	Two degrees of freedom kinematic pa-ir	Couple cinématique a double mobilité
20. Уч ҳаракатли жуфтлик	Трехподвижная пара	Gelenk mit drei Gelenkfreiheits-graden	Three degrees of freedom kinematic pa-ir	Couple cinématique a trible mobilité
21. Тўрт ҳаракатли жуфтлик	Четырехподвижная пара	Gelenk mit vier Gelenkfreiheits-graden	Four degrees of freedom kinematic pa-ir	Couple cinématique a trible mobilité
22. Беш ҳаракатли жуфтлик	Пятиподвижная пара	Gelenk mit frnf Gelenkfreiheits-graden	Five degrees of freedom kinematic pair	Couple cinématique a quintuple mobilité

23. Кинематик жуфтлик синфи	Класс кинематической пары	Klasse der kinematischen Kette	Classe of a kinematic pair	Classe de couple cinématique
24. Илгарилаима ҳаракатли жуфтлик	Поступательная пара	Schubgelenk; Schiebepaar; Prismenpaar	Prismatic pair; rectilinear sliding pair	Couple prismatique; prismatique
25. Айланма ҳаракатли жуфтлик	Вращательная пара	Drehgelenk; Drehpaar; Rundlingspaar	Revolute pair; turning pair	Rotoide
26. Винтли ҳаракатли жуфтлик	Винтовая пара	Schraulgelenk; Schraubenpaar	Helikal pair; screw pair	Couple hélicoàidal
27. Цилиндрсимон икки ҳаракатли жуфтлик	Цилиндрическая пара	Drehschubgelenk; Kreiszylinderpaar; Zylinderpaar	Cylindrical pair	Verrou
28. Сфера бўйича икки ҳаракатли жуфтлик	Двухподвижная сферическая пара	Sphлrischer Gelenk mit zwei Gelenkfreiheitsgraden; Kugelgelenk mit zwei Gelenkfreiheitsgraden; Kugelpaar mit zwei Gelenkfreiheitsgraden	Two degrees of freedom spherical pair	Couple spherique a double mobilité
29. Сфера бўйича уч ҳаракатли жуфтлик	Трехподвижная сферическая пара		Three degrees of freedom spherical pair	Rotule
30. Текисликда уч ҳаракатли жуфтлик	Плоскостная пара	Ebene auf EbeneGelenk	Planar contact pair; planeandplane paik	Appui plan
31. Қуйи боғланишли жуфтлик	Низшая пара	Gelenk mit Flлchenberrhrung; niederes Elementenpaar	Lower pair	Couple inférieur

32. Олий боғланишли жуфтлик	Высшая пара	Gelenk mit Punktberrhrung oder mit Linienberrhrung; hиheres Elementenpaar	Higher pair	Couple supérieur
1.3. Механизмлар ва бўғинлар турлари		1.3.Виды механизмов и звеньев		
33. Текис ҳаракатли механизм	Плоский механизм	Ebenes Getriebe	Planar mechanism; Plane mechanism	Mécanisme plan
34. Сферик механизм	Сферический механизм	Sphärisches Getriebe	Spherical mechanism	Mécanisme sphérique
35. Пишангли механизм	Рычажный механизм	Koppelgetriebe; Gelenkgetriebe; Kurbel getriebe	Linkage	Mécanisme a barre
36. Шарнирли механизм	Шарнирный механизм	Gelenkgetriebe mit nur Drehgelenk	Linkage with revolute pair; pin mechanism; hinged mechanism	Mécanisme acticulé
37. Понасимон механизм	Клиновый механизм	Keilschubgetriebe	Cottered mechanism	
38. Кривошип	Кривошип	Kurbel	Crank	Manivelle
39. Коромисло	Коромысло	Schwinge	Rocker	Balancier
40. Шайин	Шатун	Koppel	Coupler; floating link	Bielle
41. Сирпанғич	Ползун	Schieber	Slider	Coulisseau
42. Кулиса	Кулиса	Schleife	Coulisse	Coulisse

43. Шарнирли тўрт бўғинлик	Шарнирный четырехзвенник	Viergelenkgetriebe	Four bar linage	Quadrilatere acticulé
44. Кривошип ва коромислоли механизм	Кривошипнокоромысловый механизм	Kurbelschwinge; Bodens-chubkurbel	Crankandocker mechanism	Mécanisme manivellbalancier
45. Икки кривошипли механизм	Двухкривошипный механизм	Doppelkurbel	Drag link mechanism; double crank mechanism	Mécanisme a double manivelle
46. Икки коромислоли механизм	Двухкоромысловый механизм	Doppelschwinge	Double rocker mechanism	Mécanisme a double balancier
47. Кривошип ва сирпанғичли механизм	Кривошипно-ползунный механизм	Schubkurbelgetriebe; Geradschubkurbel	Slidercrank mechanism	Mécanisme bielleanivelle
48. Коромисло-сирпанғичли механизм	Коромыслово-ползунный механизм	Schubschwinge	Sliderrocker mechanism	Mécanisme balanciercoulisseau
49. Кулисали механизм	Кулисный механизм	Kurbelschleife	Inverted slidercrank mechanism; coulisse mechanism	Mécanisme a coulisse
50. Муштак	Кулачок	Kurvenglied	Cam	Came
51. Муштакли механизм	Кулачковый механизм	Kurvengetriebe; Kurventrieb	Cam mechanism	Mécanisme a came
52. Узатиш механизми	Передаточный механизм	Ьbertragungsgetriebe	Drive	
53. Йўналтирувчи механизм	Направляюший механизм	Fьhrungsgetriebe	Path generating mechanism	
54. Тухташ	Выстой	Rast	Dwell	Arret
55. Қаламли механизм	Шаговый механизм	Schrittgetriebe	Stepping motion mechanism; step mechanism	

2. Механизмларни кинематик таҳлиллаш			2.Кинематический анализ механизмов	
56. Механизмни кинематик таҳлиллаш	Кинематический анализ механизма	Kinematische Getriebeanalyse	Kinematic analysis of a mechanism	Analyse cinématique de mécanisme
57. Механизмнинг кинематик схемаси	Кинематическая схема механизма	Kinematische Getriebeschema	Kinematic diagram of a mechanism	Scheme cinématique de mécanisme
58. Механизмнинг умумлаштирилган тезлиги	Обобщенная скорость механизма	Verallgemeinerte Geschwindigkeit	Generalized velocityof a mechanism	Vitesse généralisée du mécanisme
59. Шатун эгри чизиғи	Шатунная кривая	Koppelkurve	Couplercurve	
60. Бўғиннинг четки ҳолати	Крайнее положение звена	Totlage eines Gliedes	Extreme position of a link; limit position of a link	Position extreme de chaînon
61. Механизмнинг четки ҳолати	Крайнее положение механизма	Totlage eines Getriebes	Extreme position of a mechanism; limit position of amechanism	Position extreme de mécanisme
62. Масштаб коэффициенти	Масштабный коэффициент		Scale coefficient; scale factor	Facteur d'échelle
63. Узатиш нисбати	Передаточное отношение	Kbersetzungsverhдltnis	Transmission ratio	Rapport de tranmission; raison
64. Нуқта тезлигининг аналоги	Аналог скорости точки		Analog of the velocity of a point	Analogue de vitesse du point
65. Бўғин бурчак тезлигининг аналоги	Аналог угловой скорости звена		Analog of the angular velocity of alink	Analogue de vitesse angulere de chaînon

66. Нуқта тезланиши аналоги	Аналог ускорения точки		Analog of the acceleration of apoint	Analogue d'accèleration du point
67. Бўғин бурчак тезланишининг аналоги	Аналог углового ускорения звена		Analog of the angular acceleration of alink	Analogue d'accèleration angulere du chaînon
68. Чиқиш бўғини ўртача тезлигининг ўзгариш коэффициенти	Коэффициент изменения средней скорости выходного звена		Coefficient of increase of the average output velocity	Coefficient du majoration de la vitesse moyenne du chaînon de sortie
3.Механизмларни динамик таҳлилаш		*3.Динамический анализ механизмов.*		
69. Механизмни динамик таҳлилллаш	Динамический анализ механизма	Dynamische Getriebeanalyse	Dynamic analysis of a mechanism	Analyse dynamique de mécanisme
70. Келтирилган куч	Приведенная сила	Reduzierte Kraft	Reduced forse	Forse réduite
71. Келтирилган кучлар жуфтлиги	Приведенная пара сил	Reduziertes Kraftepaar	Reduced couple	Couple de forses réduit
72. Келтирилган кучлар моменти	Приведенный момент сил	Reduziertes Moment des Kraftepaares		Moment réduit
73. Механизмнинг келтирилган массаси	Привеленная масса механизма	Reduzierte Masse des Getriebes	Reduced mass of a mechanism; reduced mass	Masse réduite
74. Механизмнинг келтирилган инерция моменти	Приведенный момент инерции механизма	Reduziertes Trдgheitsmoment des Getriebes	Reduced moment of inertiaof a mechanism	Moment d'inertie réduit
75. Етакловчи бўғин	Ведущее звено		Driving link	Chaînon menant
76. Етакловчи бўғин	Ведомое звено		Driven link	Chaînon mené
77. Механизмнинг барқарор ҳаракати	Установившееся движение механизма	Stationдre Bewegung	Steady motion of a mechanism	Regime permanent de mécanisme

78. Механизм барқарор ҳаракатининг цикли (даври)	Цикл установившегося движения механизма	Zyklus der stationären Bewegung	Cycle of steady motion of amechanism	Cycle de regime permanent du mécanisme
79. Механизм ҳаракати нотекислигининг коэффициенти	Коэффициент неравномерности движения механизма	Ungleichförmigkeitsgrad des Getriebes	Coefficient of nonuniformity of motion	Coefficient d'irrégularité de mécanisme
80. Механизмнинг фойдали иши	Полезная работа механизма	Nutzkraftearbeit des Getriebes	Useful work of mechanism	Travail util
81. Механизмнинг цикли бўйича фойдали иш коэффициенти	Цикловой коэффициент полезного действия механизма		Cyclic efficiency of a mechanism	Rendement cyclique de mécanisme
82. Механизмнинг оний фойдали иш коэффициенти	Мгновенный коэффициент полезного действия механизма	Wirkungsgrad	Instantaneous efficiency of amechanism	Rendement instantané de mécanisme
4 Механизмларини синтезлаш (лойиҳалаш)			4.Синтез механизмов.	
83. Механизмни синтезлаш (лойиҳалаш)	Синтез механизма	Getriebesynthese	Synthesis of amechanism	Synthese de mécanisme
84. Механизмни аниқ синтезлаш (лойиҳалаш)	Точный синтез механизма	Exakte Getriebesynthese		Synthese précise du mécanisme
85. Механизмни тақрибан синтезлаш (лойиҳалаш)	Приближенный синтез механизма	Angenлherte Getriebesynthese	Approximate synthesis of amechanism	Synthese approchée du mécanisme
86. Механизм структурасини синтезлаш (лойиҳалаш)	Структурный синтез механизма	Typensynthese	Type synthesis of a mechanism	Synthese structurale du mécanisme

87. Механизмни кинематик синтезлаш (лойиҳалаш)	Кинематический синтез механизма	Kinematische Getriebesynthese	Kinematic synthesis of a mechanism	Synthese cinématique du mécanisme
88. Механизмни динамик синтезлаш (лойиҳалаш)	Динамический синтез механизма	Dynamische Getriebesynthese	Dynamic synthesis of a mechanism	Synthese dynamique du mécanisme
89. Механизмни интерполяциялаб синтезлаш (лойиҳалаш)	Интерполяционный синтез механизма	Interpolationsynthese des Getriebes	Interpolative synthesis of a mechanism; presicionpoint synthesis of amechanism	
90. Механизмни квадратик синтезлаш (лойиҳалаш)	Квадратический синтез механизма	Quadratsynthese des Getriebes	Leastsquare synthesis of a mechanism	
91. Механизмни Чебишев усулида синтезлаш (лойиҳалаш)	Синтез механизма по Чебышеву	Getriebesynthese von Tschebyschew	Chebyshev synthesis of a mechanism	Synthese de mécanisme d'apres Tchébychev
92. Механизмни оптималлаштириб синтезлаш (лойиҳалаш)	Оптимизационный синтез механизма	Optimierungssynthese des Getriebes	Optimization synthesis of amechanism	
93. Механизм синтезининг кириш параметрлари	Входные параметры синтеза механизма	Antriebsparameter der Getriebesynthese	Input parameters of mechanism synthesis	Parametres d'entrée de synthesâ du mécanisme
94. Механизм синтезининг чиқиш параметрлари	Выходные параметры синтеза механизма	Abtriebsparameter der Getriebesynthese	Output parameters of mechanism synthesis	Parametres de sortie de synthese du mécanisme
95. Механизмнинг ҳолат функциялари	Функция положения механизма	Lagefunktion eines Getriebes	Position function of a mechanism	Fonction de position du méchanisme

96. Берилган функция-дан четга чиқиш	Отклонение от заданной функции	Abweichung von der gegebenen Funktion	Deviation from the given function	
97. Хатоликлар салмоғи айирмаси	Взвешенная разность		Weighed difference	Difference ponderée
98. Айланувчи бўғинни тўла мувозанатлаш	Полное уравновешивание вращающегося звена	Vollständiger Massenausleich an einem rotienden Getriebegliede; vollständiger Auswucht	Complete balancing of a rotating link	Equilibrage complet du chaînon tournant en rotation
99. Айланувчи бўғинни статик мувозанатлаш	Статическое уравновешивание вращающегося звена	Tweilweiser statischer Massenausgleich an einem rotierenden Getriebegliede; statischer Auswucht	Static balancing of a rotating link	Equilibrage statique du chaînon en rotation
100. Мувозанатланган механизм	Уравновешенный механизм	Vollig ausgeglichenes Getriebe	Balanced mechanism	Mécanisme équilibré
101. Механизмни мувозанатлаш	Уравновешивание механизма	Massenausgleich an einem Getriebe	Balancing of amechanism	Éuilibrage de mécânisme
102. Механизм массаларини мувозанатлаш	Уравновешивание масс механизма		Balancing of mechanism masses	Équilibrage des masses du mécanisme
103. Механизм массаларини статик мувозанатлаш	Статическое уравновешивание масс механизма	Statischer Ausgleich der Getriebemassen	Static balancing of a mechanism mases	Équilibrage statique des masses du mécanisme
5. Машиналар назариясининг асослари			5.Основы теории машин.	
104. Машина	Машина	Maschine	Machine	Machine

105. Автомат машина	Машина-автомат		Automatic machine	Machine automatique
106. Энергетик машина	Энергетическая машина		Energy transforming machine; energy machine	Machine énergetique
107. Машина-двигатель	Машинадвигатель		Enginemachine; engine	Machine motrice; moteur
108. Машина генератор	Машина-генератор		Generaormachine; generator	Machine génératrice; générateur
109. Гидромашина	Гидромашина		Hydraulic machine	Machine hydraulique
110. Пневматик машина	Пневмомашина		Pneumatic machine	Machine pneumatique
111. Суюқлик насоси	Гидронасос		Hydraulic pump	Pompe hydraulique
112. Ҳаво насоси	Пневмонасос		Pneumatic pump	Pompe pneumatique
113. Гидравлик двигатель	Гидродвигатель		Hydraulic engine	Moteur hydraulique
114. Пневматик двигатель	Пневмодвигатель		Pneumatic engine	Moteur pneumatique
115. Технологик машина	Технологическая машина		Technological machine	Machine technologique
116. Транспорт машинаси	Транспортная машина		Transport machine	Machine transporter
117. Информация машинаси	Информационная машина		Informationalmachine	Machine d'information
118. Автоматик линия	Автоматическая линия		Automatic line; transfer line	Chaîne de fabrication automatique; linge automatisee

119. Машина юритмаси	Привод машины		Drive of amachine	Commande de machine; commande
120. Машинанинг бажарувчи органи	Исполнительный орган машины		Opperating member of a machine; opperating member	Organe d'exècution
121. Мантиқий элемент	Логический элемент			
122. Мантиқий механизм	Логический механизм		Logical mechanism	Mécanisme logiqueÿÿÿ
123. Ҳаракат такти	Такт движения		Tact of motion	Temps du mouvement
124. Мантиқий такт	Логический такт		Logical tact	Temps logique
125. Машина тактограммаси	Тактограмма машины		Tactogram of amachine	
126. Машина циклограммаси	Циклограмма машины		Cyclogram of amachine	Harmonogramme de ma-chine
127. Машина дастури	Программа машины		Programme for amachine	Programme de machine
128. Машинани бошқариш тизими	Система управления машины		Control system of a machine	Systeme de commande machine
129. Машинани вақт бўйича бошқариш тизими	Система управления машины по времени		Time control system of a machine	
130. Машинани йўл бўйича бошқариш тизими	Система управления машины по пути		Path control system of a machine	
131. Машинанг танлаб (бир тактли) бошқариш тизими	Избирательная система управления машины		Selective control system of amachine	
132. Машинани белгиланган кетма кетликда (кўп тактли) бошқариш тизими	Последовательностная система управления машины		Sequetial control system of amachine	
133. Машинани бошқариш тизимининг кириш қисми	Вход системы управления машины		Input of control system of amachine	Entrée de systeme commande de machine
134. Машинани бошқариш тизимининг чиқиш қисми	Выход системы управления машины		Output of control system of amachine	Sortie du systeme de commande de machine
135. Машинани бошқариш тизимининг сигнали	Сигнал системы управления машины		Signal of control system of amachine; signal of control system; signal	Signal du systeme de commande de machine
136. Кириш сигнали	Входной сигнал		Input signal	Signal d'entrée
137. Чикиш сигнали	Выходной сигнал		Output signal	Signal de sortie

МУНДАРИЖА

Кириш ...

1. Машина ва механизмлар тузилиш асослари ...
1.1. Асосий тушунчалар ва қоидалар ...
1.2. Механизм бўғинлари, кинематик жуфтлар ва боғланишлар ...
1.3. Кинематик занжирлар ва уларнинг қўзғалувчанлик даражаси ...
1.4. Стерженли механизмларнинг тузилиши (структураси) бўйича таснифи ...
1.4.1. Механизмларни ҳосил қилишнинг асосий тамойили (принципи) ...
1.4.2. Десир тузувчи гуруҳлари ...

2. Текисликда ҳаракат қилувчи пишангли механизмлар кинематикаси ...

2.1. Оний айланиш маркази (ОАМ) ...
2.2. Механизм бўғинларининг тезликлари орасидаги муносабатлар ...
2.3. Узатиш нисбатлари ...
2.4. Кинематик жуфтлар бўғинларининг тезлик ва тезланишларини графоаналитик усулда аниқлаш ...
2.5. Кинематик таҳлилнинг аналитик усули ...

3. Узатиш механизмларининг таҳлили ва синтези ...

3.1. Фрикцион (ишқаланиши) механизмлар ...
3.2. Эгилувчан бўғинли механизмлар ...
3.3. Тишли механизмлар ...
3.3.1. Узатиш сони ва нисбати ...
3.3.2. Ишлашишнинг асосий қонуни ва элементлари ...
3.3.3. Ғилдираклар тишлари йиғиндисининг минимал қиймати. ...
3.3.4. Тишларнинг дюймли тизимдаги ўлчамлари тўғрисида ...

3.4. Тишли илашмани қуриш 53
3.4.1. Эвольвентали профиллар геометрияси 53
3.4.2. Амалий илашиш чизиғи. Тишлар профилининг ишчи қисмлари 54
3.5. Планетар ва дифференциал механизмлар 55
3.5.1. Планетар ва дифференциал механизмларда узатиш нисбати 56
3.5.2. Ўқлари қўзғалувчан ғилдиракли тишли узатмаларда ўқдошлик, йиғилиш ва қўшничилик шартлари 59

4. Муштакли (кулачокли) механизмлар таҳлили ва синтези 61

4.1. Муштакли механизмларнинг турлари 64
4.2. Муштакли механизмларни кинематик таҳлил қилиш 64
4.2.1. Муштакли механизм чиқиш бўғини ҳаракат қонунини аниқлаш 64
4.2.2. Муштакли механизм нуқталарининг тезлик ва тезланишларини аниқлаш 70

5. Механизмлар динамикаси 71

5.1. Механизмларни кучлар таъсири бўйича ҳисоблаш масалалари 72
5.1.1. Механизм бўғинларига таъсир қилувчи кучлар 73
5.1.2. Бўғинларнинг инерция кучларини аниқлаш 74
5.1.3. Механизмларни кучлар режасини қуриш усули билан кучлар таъсири бўйича таҳлил қилиш 76
5.1.4. Етакловчи бўғинни кинетостатик ҳисоблаш (мувозанатлаш) 81
5.1.5. Кучлар ва моментларни келтириш 83
5.1.6. Жуковский пишанги (ричаги). 85
5.1.7. Келтирилган ва мувозанатловчи кучларни Жуковский усули билан аниқлаш 87
5.1.8. Кинематик жуфтликлардаги реакцияларни ишқаланиш кучларини ҳисобга олиб аниқлаш 88
5.1.9. Механизмнинг келтирилган массаси ва келтирилган инерция моменти 91
5.2. Механизмларда ишқаланиш 92
5.2.1. Ишқаланиш турлари 93
5.2.2. Мойланмаган жисмлардаги сирпаниш ишқаланиши 95

5.2.3. Илгариланма кинематик жуфтликдаги ишқаланиш
5.2.4. Думаланиш ишқаланиши 96
5.3. Кучлар, ишлар ва қувватлар диаграммалари. 98
5.4. Машина ва механизмларнинг ҳаракат режимлари. 100
5.5. Машинанинг энергия баланси тенгламаси 103
5.6. Механизмнинг фойдали иш коэффициенти. 104
5.7. Ҳаракат тенгламалари ва уларни текшириш. 107

6. Механизмларни экспериментал йўл билан текшириш. 114

7. Механизмларни синтез (барпо) қилиш 117

7.1. Механизмларни синтез қилиш масалаларини ечишнинг асосий усуллари 121
7.1.1. Алгебраик тенгламалар тизимини ажратиш 122
7.1.2. Функцияларни интерполяциялаш 123
7.1.3. Матрицани матрицага бўлиш 126
7.1.4. Функцияларни квадратик яқинлаштириш 132
7.1.5. Функцияларни энг мақбул яқинлаштириш усули .. 134
7.1.6. Итерациялаш усули 136
7.2. Механизмларни синтезлаш масалалари синфини ечишни алгоритмлаш 140
7.3. Текис ричагли (пишангли) механизмлар асосидаги аниқ йўналтирувчи механизмлар синтези 151
7.3.1. Масаланинг қўйилиши 151
7.3.2. Текис ричагли механизмлар шатуни эгри чизиғининг тенгламаларини чиқазиш. 152
7.3.3. Кривошип — сирпанғичли механизм шатуни эгри чизиғининг тенгламаси 154
7.3.4. Аниқ йўналтирувчи механизмлар синтези масаласини ечишнинг алгебраик усули 156

8. Робот ва манипуляторлар назариясиасоослари 162

8.1. Манипуляторлар ва саноат роботлари 162
8.2. Манипуляторларни бошқариш блоқ-схемалари ва даражалари 163
8.3. Манипуляторнинг ишчи ҳажми чаққонлиги, хизмат қилиш зонаси, сервис бурчаги ва коэффициенти .. 165
8.4. Роботларни тайёрлаш ва қўллаш бўйича йиғма маълумотлар 166
Атамалар луғати 167

Ғулом Шокирович Зокиров

МАШИНА ВА МЕХАНИЗМЛАР НАЗАРИЯСИ

Ўзбек тилида

Бадиий муҳаррир *Т. Қаноатов*
Техник муҳаррир *У. Ким*
Мусаҳиҳҳа *М. Юлдашева*
Компьютерда тайёрловчи *А. Юлдашева*

Теришга берилди 5.03.2001. Босишга рухсат этилди 25.04.2002.
Бичими $84x108^1/_{32}$. Шартли босма табоғи 9,66. Нашр. т. 8,08.
Нусхаси 2000. Буюртма № 88. Баҳоси шартнома асосида.

“Ўзбекистон” нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кўчаси,30.
Нашр.№ 45-2001.

Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот қўмитаси
1-босмахонасида босилди. 700002. Тошкент, Сағбон кўчаси,
1-берк куча, 2-уй.

34.41
3-74

Зокиров Г.Ш.

Машина ва механизмлар назарияси: Олий ўқув юртлари талабалари учун дарслик.— Т.: “Ўзбекистон”, 2002,— 184 б.

ББК 34.41 я73

№ 209—2002
Алишер Навоий номидаги
Ўзбекистон Республикаси
Давлат кутубхонаси

1875c