

Ҳ. Ҳ. УСМОНҲУЖАЕВ

УзФА корреспондент аъзоси, техника
фанлари доктори, профессор

МЕХАНИЗМ ВА МАШИНАЛАР НАЗАРИЯСИ

Ўзбекистон ССР Олий ва махсус ўрта таълим
министрлиги олий ўқув юртлари учун дарс-
лик сифатида тавсия этган.

ҚАЙТА ИШЛАНГАН ВА ТЎЛДИРИЛГАН ИККИНЧИ НАШРИ

Академик М. Т. Урозбоев таҳрири остида

«ЎҚИТУВЧИ» НАШРИЯТИ
Тошкент — 1970

«Механизм ва машиналар назарияси» дарслигининг иккинчи наъри аниқ тулдирилди ва кенгайтирилди. Дарслик икки қисмга иборат бўлиб, биринчи қисмда механизмларнинг тузилиши, кинематикаси, кинематиканинг график, графоаналитик ва аналитик методлари батафсил баён этилди.

Дарсликнинг иккинчи қисми механизмлар динамикасига бағишланиб, бунда, асосан, ясси механизмларнинг кинетостатикаси, кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш масалалари, берилган кўчлар таъсирдаги механизмларнинг ҳақиқий ҳаракат қонунини топиш, машина ва механизмлар назариясида электрон моделлашти оид ва бошқа материаллар берилган.

Китоб оддий техника ўқув юртлири учун дарслиқдир.

На узбекском языке

Усманходжаев Халим Хайдарович

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

2-е издание

Издательство «Ўқитувчи» — Ташкент — 1970

Редакторлар *А. Тўрашова, А. Аҳмедов*
Бадий редактор *А. И. Глушенина*
Техн. редактор *Э. Н. Вильданова*
Корректор *Г. Муратов*

Термига берилди 2/IX 1969 й. Босишига руҳсет этилди 17/IV-1970 й. Қогози 60×90³/₁₆.
Физик. б. л. 36,0. Наҳр. л. 36,7. Тиражи 10 000. Р96353.

«Ўқитувчи» нашриёти. Ташкент, Навоий кўчаси, 30. Шарҳнома 215-67 й. Ваҳоси 1 с.
Муқоваси 18 т.

ЎзССР Министрлар Совети Матбуот Давлат комитетининг Ташкент полиграфия комбинатида терилди, 1-босмаҳонасида босилди. Ташкент. Ҳамза кўчаси, 21. Зак. № 92.

Иибрано на Ташкентском полиграфкомбинате, отпечатано в типографии № 1 Госкомитета Советов Министров УССР по печати. Ташкент, Хамза, 21.

3—13—2

162. Ўқит. 70

АВТОРДАН

Бу китоб авторнинг 1950 йилдан Тошкент тўқимачилик институтида олиб борган педагогик фаолияти асосида ёзилиб, 1962 йилда нашр этилган дарсликнинг иккинчи нашридир.

Автор китобни ёзишда китоб тилининг мумкин қадар тушунарли бўлишига, ҳар бир шаклнинг имкони борича аниқ ва тегишли масштабда чизилишига ва бошқаларга катта эътибор берди.

Машина ва механизмлар назарияси фани соҳасида рус тилида ва бошқа тилларда бир қанча дарсликлар мавжуд бўлса ҳам, аммо ўзбек тилида бундай дарслик йўқлигини назарда тутиб, автор ёзган китоб 1962 йили нашр этилди. Китобнинг иккинчи нашрини тайёрлашда автор техника фанлари докторлари А. Е. Кобринский, Н. П. Раевский, А. В. Шляхтин, Н. М. Гусейнов ва Тошкент олий техника ўқув юрғларида татбиқий механикадан дарс бериб юрган техника фанлари кандидатлари, доцентлар Л. Е. Эфрос, В. Н. Нетёсов, техн. фан. доктори Д. И. Мошковнинг ҳамда китоб муҳокамасига бағишланиб, Тошкент шаҳрида ўтказилган конференция қатнашчиларининг қимматли маслаҳат ва мулоҳазаларини ҳисобга олди. ЎзФАнинг академиклари ҳурматли устоз Муҳаммаджон Тошевнич Урозбоев билан Халил Аҳмедович Раҳматуллиннинг қимматли кўрсатмалари китобни қайта ишлашда айниқса катта ёрдам берди.

Китобнинг иккинчи нашри икки қисмга, қисмлар эса бобларга бўлинди. Дарслик қайта ишланди ва унга кўнгина янгиликлар киритилди, масалан, II бобга тегишли 1-§, III бобга тегишли 4-§, IV бобга тегишли 10, 11, 12, 14, 15 ва 16-§ лар, V бобга тегишли 2 ва 3-§ лар, VII бобга тегишли 5-§, VIII бобга тегишли 2, 7, 8 ва 9-§ лар, IX бобга тегишли 5, 7, 8, 9 ва 10-§ лар, X бобга тегишли 5, 8-§ лар, XI бобга тегишли 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12-§ лар, XII бобга тегишли

2, 3- § лар, XIII бобга тегишли 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ва 11- § лар, XIV бобга тегишли 3- §, XVI боб ва XVIII боблар шулар жумласидандир.

Ушбу китобга ҳозирги замон илмий текшириш воситаси бўлган электрон моделлаш машиналари, автор томонидан яратилган янги универсал эпи-гипоциклограф асбоби, электрон моделни механизмлар кинематикаси ва динамикасини ўрганишга татбиқ қилиш масалаларининг киритилиши ўқувчиларнинг илмий тадқиқот соҳасида ишлатиладиган электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланишга кенг имкониётлар очиб беради.

Дарслик олий техника ўқув юр்தларининг программаси асосида ёзилган бўлса ҳам, аммо программа доирасидан бир оз четга чиқилди. Дарслик икки қисмдан иборат бўлиб, биринчи қисмида механизмларнинг тузилиши, кинематикаси, кинематиканинг график, графоаналитик ва аналитик методлари, механизм кинематик схемаларини синтезлаш батафсил баён этилди. Китобда механизмларнинг тузилиши ва кинематикасига мисоллар келтирилди. Дарсликнинг иккинчи қисми механизмлар динамикасига бағишланиб, бунда, асосан, механизмга таъсир этувчи кучлар классификацияси, кинетостатика, энергетик баланс, машиналар ҳаракатининг бир меъёрда бўлишини таъминлаш ва массаларни мувозантлаш масалалари баён этилди.

Китобда эластик боғланишли механизмларнинг ҳаракат дифференциал тенгламаларини тузишда Лагранж тенгламасидан фойдаланиш йўллари кўрсатилди. Айниқса эластик боғланишли механизмларнинг мувозанат ҳолатлари атрофида кичик тебраниш ҳолатларини тасвирловчи дифференциал тенгламаларни тузиш методлари батафсил келтирилди.

Бу китоб, асосан, олий техника ўқув юр்தлари учун дарслик бўлиб, ундан педагогика институтларининг инженерлик педагогика факультетлари, институтларнинг сиртқи ва кечки бўлим студентлари билан бир қаторда, илмий текшириш институтларида ишлайдиган илмий ходимлар ва аспирантлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Китобнинг бу нашрига оид фикр ва мулоҳазаларнинг Ўзбекистон Фанлар академияси Механика ва зилзилага бардош берувчи ишбоғлар институтига ўки «Ўқитувчи» нашриёти умумтехника адабиёти редакциясига кўрсатилиши алғимос қилинади.

КИРИШ

«Кузатишлар асосида назария яратин, назария орқали эса кузаташ натижаларини тузатиб бориш ҳақиқатни топишнинг энг яхши усулидир».

М. В. Ломоносов

Жамият тараққиёти ишлаб чиқариш даражасига, ишлаб чиқаришдаги машина ва механизмларнинг техника жиҳатидан қанчалик такомиллашганлигига, бу машина ҳамда механизмларни бевосита ёки билвосита бошқариб турувчи кадрлар малакасига боғлиқдир. Жамиятда меҳнат унуми қанча тез ошиб борса, жамият шунча илдам қадамлар билан олға боради. Меҳнат унумининг ошиб бориши эса бир қанча факторларга, яъни жамиятда фан ва техниканинг ҳолатига, ишлаб чиқариш процессларининг яхши ташкил этилишига, шу ишлаб чиқариш процессларида ишлайдиган ишчилар малакасининг даражасига, меҳнаткашларнинг маданий ва илмий савиясига, уларнинг меҳнатга онгли муносабатда бўлишига ва, ниҳоят, шу жамиятдаги табиий шароитга боғлиқдир.

В. И. Ленин ҳар бир янги жамиятнинг эски жамият устидан галаба қозониши учун меҳнат унумини ошириш катта аҳамиятга эга эканлигини уқтириб, бундай деган эди:

«Меҳнат унуми янги ижтимоий тузумнинг энгиб чиқиши учун, оқибат натижада энг муҳим, энг асосий нарсадир».
(В. И. Ленин, Асарлар, 29-том. ЎзССР Давлат нашриёти, 1953, 442-бет.)

Меҳнат унумини ошириш йўлидаги асосий омиллардан бири ишлаб чиқаришни техника жиҳатидан такомиллаштириш, ишлаб чиқаришга янги машина ва механизмлар жорий қилиб, унинг техника даражасини ошириб боришдан иборатдир.

Табиёт фанлари ичида механика фани техниканинг илмий асосларидан биридир. Саноат ва техниканинг инсталлан соҳасида турли конструкциялар, машиналар, асбоблар, турли қаттиқ ва суюқлик массалари, газлар, сепилувчан муҳитлар ёки уларнинг аралашмалари билан иш олиб боришга тўғри

кезади. Бу айтилганлар маълум технологик процесда бир-биринга нисбатан доимо ва ўзаро ҳаракатда бўлганликларидан, шу процесснинг нормал боришини таъминловчи машина ёки конструкцияни яратиш ва ҳисоблашга тўғри келади. Бунинг учун машина таркибидаги ҳаракатланувчи звеноларнинг ва объект материалларининг механик хоссаларини чуқур ўрганиш зарурдир. Айниқса, процесснинг яхши боришини таъминлаш учун машина элементларининг ҳаракат вақтидаги ўзгаришларини (деформацияланишларини) ҳисобга олмоқ лозимдир.

Шунинг учун машина механикаси турли процессларда қатнашувчи механизм ва машиналар ҳаракатини назарий ва экспериментал ўрганиб, уларнинг иш органларининг объект билан алоқасидаги ҳаракат қонуниятларини топиш билан шуғулланади.

Механика қадимий фанлардан бўлишига қарамай, у ўзининг вужудга келаётган янгидан-янги тармоқлари билан ҳамон навқирон фанлардан бўлиб қолаётир. Механиканинг асосий қисмлари алоҳида фан тармоқлари бўлиб, ҳозирги замон қудратли техникасининг назарий асосини ташкил этади. У асосан икки қисмдан иборат:

1. Назарий механика — бунда интервал система ҳаракатининг умумий қонуниятлари ва хоссалари ўрганилади.

2. Тадбиқий механика — фаннинг бу тармоғида механик системани бошқариш процеслари ўрганилади. Тадбиқий механикада — механиканинг умумий қонуниятлари асосида механик система ҳаракатини бошқариш усуллари, бу ҳаракатга тегишли ва керакли бўлган хоссаларни киритиш йўллари ўрганилади. Шунинг учун тадбиқий механикани бошқарилувчи процесслар ҳақидаги фан деб атасак бўлади.

Тадбиқий механикада ўрганиладиган илмий масалалардан қуйидагиларга тўхтаб ўтамиз:

1. Тебранишлар ва автоматик меъёрлаш ҳамда бошқариш назарияси.

2. Механизм ва машиналар назарияси.

3. Учиш ва сузиш аппаратлари ҳаракатини автоматик бошқариш назарияси.

Буларнинг биринчисида берилган ҳаракатнинг хоссасини ёки бошқарилувчи объектдаги иш процессларини таъминловчи бошқарувчи таъсирлар ва автоматик системаларни тузиш масалалари ҳал этилади. Шунинг учун тебранишлар назарияси автоматик бошқариш техникасининг илмий асосини ташкил этади. Автоматик бошқариш процесси кўпинча икки қарама-қарши кучнинг, яъни таъсир қилувчи ва бошқарилувчи кучларнинг тўхтовсиз алоқасини маълум тартибда сақ-

лашдан иборат. Бунинг натижасида бошқарилувчи система берилган режим атрофида тебраниш ҳолатида бўлади.

Процесснинг бошқарилишида иштарок этаётган двигателъ ёки механик узатмалар ишончли ишлаши лозим. Агар процесс яхши бошқарилса-ю, унда қатнашувчи механизмлар ишончли ҳаракат қилмаса, у ҳолда, яхши ташкил этилган бошқариш қонунининг аҳамияти қолмайди. Шунинг учун бошқарилувчи процесслар назариясида механик узатмаларни ёки автоматик системаларнинг ижрочи механизмларини чуқур ўрганиш лозим бўлади. Худди шу масала билан талбиқий механиканинг машина ва механизмлар назарияси шугулланади. Бу фанда асосан икки йўналишда иш олиб борилади. Булар кинематик ва динамик йўналишлардир. Бунда механизмлар ҳаракати вибрацияни, кинематик жуфт элементларидаги ишқаланишни, звенолар деформациясини ҳамда уларнинг конструктив томонларини ҳисобга олган ҳолда ўрганилади.

Учинчи қисмида эса, асосан, ўз-ўзидан ҳаракатланадиган кемалар, самолётлар, вертолётлар ва ракеталарни автоматик юргизиш масалалари ҳал этилади. Бошқача қилиб айтганда, фаннинг бу тармоғи — учиш ва сузиш аппаратлари ҳаракатини бошқаришнинг илмий асосларини ёритиш билан шугулланади.

Машиналар яратишда асосан қуйидаги талаблар қўйилади:

1. Техника талаблари — бунда асосан машина иш унумининг юқори бўлиши, аниқ ҳаракат қилиши ва сифатли маҳсулот ишлаб чиқариши талаб этилади.

2. Конструкциянинг рационал бўлиши — бунда машинанинг ортқча огирликдаги қисмлари бўлмаслиги, материалларни тўғри танлаш ва деталлардаги ҳақиқий кучланиш оптимал бўлиши талаб қилинади.

Машина ёки механизмларни уларнинг параметрлари бўйича текшириш зарур. Масалан, қуйидаги параметрлар гуруппаларини ёслатиб ўтамиз:

1. Конструктив параметрлар — максимал куч ва қувват, сиғиш, тезлик, тезланиш, звенолардаги кучланиш, габарит ўлчамлар ва огирликлар.

2. Технологик параметрлар — фойдали қаршиллик кучлари ёки қувват, маҳсулотнинг ўлчов чегарасини таъминловчи машина ҳаракати ва иш органининг айланиш сони, кесувчи асбобларнинг салт юриш тезлиги, берилган циклни бажариш аниқлиги, узелнинг қаттиқлиги ва ҳ. к.

3. Энергетик параметрлар — энергия сарфи, унинг механизмда йўқолиши, машина узелларининг фойдали иш коэффицентлари.

4. Иқтисодий параметрлар — машина узелларини ишлаб чиқаришда тайёрлаш нархи, уларни бошқариш ва ремонт нархи, ҳаракатга келтириш учун сарфланган энергия баҳоси ва ҳоказо.

Назарий механика техника тармоқларининг илмий асосини ташкил этганлиги учун, унинг қонусларини билиш бўлажак инженерларнинг мақсад йўлида тўғри иш тутишини ва уларнинг ижодий интуцияларини тартибга солиди. Инженерлик «сезгиси», мураккаб масалаларни интуитив топиш институтда берилаётган қимматли илмларни қунт билан ўқиш процессида рўёбга чиқиши, такомиллашиб бориши турган гап.

Машинасозлик саноати халқ хўжалигимизнинг турли тармоқларига машина, механизмлар ва турли асбоб-ускуналар етказиб беради. Шунинг учун ҳам машинасозлик саноати оғир саноатнинг юраги деб аталади.

Машина ва механизмларнинг моддий бойликлар ишлаб чиқаришдаги аҳамияти ҳозирги кунда ҳар қачонгидан ҳам ошиб бормоқда. Машина саноатимизнинг турли соҳаларида қўл меҳнати ўрнини босмоқда. Машина ва механизмлар оғир саноатда, ўрмон хўжалигида, авиация саноатида, енгил, тўқимачилик, озиқ-овқат саноати ва социалистик хўжалигимизнинг бошқа тармоқларида зўр самаралар билан ишлатилмоқда.

Техника тараққиёти масаласи, асосан, қўл меҳнати билан бажариладиган ишларни машинада бажаришнинг рационал формаларини ўз ичига олади. Ҳар қандай механизм ва машина таркибига турли тарзда ҳаракат қилувчи қисмлар (звенолар) кирди.

Механизм ва машиналар назариясида, асосан, қуйидаги иккита проблема ҳал қилинади:

1. Механизмлар анализи — бунда мавжуд механизмлар кинематик ва динамик жиҳатдан текширилади.

2. Механизмлар синтези — бунда бизга керак бўлган, яъни маълум технологик процессни бажаришда ишлатиладиган механизм звеноларининг ҳаракат қонуни берилган бўлади ва шу ҳаракат қонунини амалга оширувчи механизм яратиш талаб этилади.

Механизмлар анализидан, асосан технологик мақсадлар учун фойдаланилади; мутахассис технологлар учун механизмнинг айрим нуқталари ҳаракат қонунини билиш катта аҳамиятга эгадир. Мутахассис машинасозлар учун синтез проблемасининг аҳамияти фоят каттадир; аммо машиналаштирилган ишлаб чиқаришга онгли равишда раҳбарлик қилиш ва машиналардан унумли фойдаланиш учун, шу ишлаб чиқа-

ришдаги механизм ва машиналарнинг кинематик схемаларини яхши туза билиш, унинг таркибидаги айрим звеноларнинг ҳаракат қонуналарини билиш ва ундан мақсадга мувофиқ равишда фойдалана олиш иккала мутахассисга ҳам тааллуқлидир. Турли мақсадларни амалга оширмоқ учун яратилган турли иншоотлар ва ускуналарни, асосан, иккита катта группага бўлиш мумкин; булардан биринчисига қисмлари бир-бирига нисбатан қўзғалмайдиган, иккинчисига эса қисмлари бир-бирига нисбатан қўзғала оладиган қурилмалар киради. Биринчи группа қурилмаларига ҳар хил иншоотлар кирса, иккинчи группа қурилмаларига турли машина ва механизмлар киради.

Қисмлари нисбий ҳаракатда бўладиган иншоотлар механикаси билан, асосан, механизм ва машиналар назарияси деб аталувчи фан шугулланади. Назарий механика (қаттиқ жисм механикаси, суюқлик механикаси) қондалари машина ва механизмларга бевосита татбиқ этилганлиги учун, механизм ва машиналар назарияси фани машиналар механикаси деб ҳам аталади.

Инсон бирор ишни бажариши учун маълум тартибда ҳаракат қилиши керак бўлади. Ҳар қандай машина ёки механизмнинг ҳаракати ҳам инсоннинг маълум ишни бажариш процессидаги ҳаракатидан олинган. Масалан, тикув машинасида бир чок тикиш керак бўлганда машина ниниси газламани тешиши ва ишни ўтказиши, шундан кейин, тикилган чок нина тагида қолмаслиги учун унинг ҳаракатда бўлиши ва тикилган кийимнинг чоки нина тагидан чиқиб, унинг ўрнига газламанинг тикилмаган ери узлуксиз келиб туриши керак бўлади. Яна бир мисол: автомат тўқув станогини олайлик, бу автоматла арқоқ ва танда иплари ўзаро тўқилиб, газлама ҳосил бўлади; тўқилган бу газлама доимо ҳаракатда бўлиши шарт.

Юқорида келтирилган мисоллардан икки хил маҳсулотнинг бажарилишида инсон (тикувчи ва тўқувчи) ҳаракати билан машина ҳаракати орасида ўхшашлик борлигини сезиш қийин эмас.

Ҳар қандай машина энергия ҳосил қилмайди, балки энергия ишлатади ёки бир тур энергияни бошқа тур энергияга айлантиради.

Машина ишлаб чиқариш процесси ёки энергияни ўзгартириш процесси билан боғлиқ бўлган ва фойдали иш бажариш учун мўлжалланган механизм ёки механизмлар мажмундир. Бошқача қилиб айтганда, қаршилиқ кучини ҳаракатлангивучи бошқа бир куч билан енга оладиган ҳар қандай механизм ёки механизмлар мажмуи *машина* деб аталади. Машина, асосан, инсоннинг иш бажариш қобилиятини оширувчи механик системадан иборатдир.

Машина сўзи французча *machine* ва латинча *machina* сўзларидан олинган бўлиб, маъноси иншоот демакдир.

Механизм сўзи грек *mechané* сўзидан олинган; бу сўз кураол ёки иншоотни англатади.

Бундан бир неча йиллар муқаддам машина ҳаётида жуда катта, қизиқ ва ажойиб сифат ўзгаришлар содир бўлди. Биз илгарилари машина инсоннинг бажарадиган ишини осонлаштирувчи, унинг меҳнат қобилиятини оширувчи ва умуман инсон қўл меҳнатини осонлаштириш учун хизмат қиладиган механик система деб қараган бўлсак, эндиликда эса машина инсоннинг фақат ишлаб чиқариш жараёнидаги қобилиятининггина эмас, балки унинг ақлий (интеллектуал) соҳадаги ишларини ҳам бажара олади ва баъзи ҳолларда эса машина инсоннинг физиологик вазифасини бажариш учун хизмат қилмоқда.

Академик И. И. Артоблевскийнинг ҳозирги кунда машина ҳақидаги тушунча бутунлай бошқача, илгариги тушунчага инсбатан катта сифат ўзгаришли тушунчалар борлиги тўғрисидаги айтган гапларини сиз ҳурматли ўқувчиларга эслатиб ўтишни лозим топдик.

Ҳақиқатан, шу кунгача барча машиналарни асосан энергетик, транспорт ва технологик гуруҳларга бўлиб ўқитилган бўлса, эндиликда эса бу етарли бўлмай қолди. Ҳозир контрол-бошқарувчи машиналар ва устқурмалар; математик ва кибернетик машиналар ҳаётимизга кириб бормоқда. Контрол-бошқарувчи машиналар — машина системаси мажмуасида маҳсулот олишда қатнашаётган объектларни контрол қилиш ва бошқариш ишларини, математик машиналар эса турли тиндаги логик операцияларни бажаради, аммо кибернетик машиналар инсоннинг баъзи органларининг ишини ҳам бажаради, яъни протез мосламалар, сунъий юрак, сунъий буйрак вазифасини бажарадиган ва образларни пайқаб оладиган машиналар шулар жумласидандир.

Шундай қилиб, биз юқорида айтиб ўтган учта ишлаб чиқариш машиналарига қўшимча ўлароқ яна учта: контрол-бошқарувчи ва математик машиналар, кибернетик машиналар ҳамда мосламалар киради.

Шундай қилиб, машинага биз қуйидагича таъриф берсак бўлади:

«Машина инсон меҳнатини осонлаштириш ва унумдорлигини ошириш, ишлаб чиқаришнинг интеллектуал (ақлий) ҳамда физиологик вазифаларини бажариш йўлида ишлатиладиган ва инсон томонидан яратилган сунъий мосламалар».

Машинага берилган янги таъриф билан ҳозирги таъриф ўртасида сиртдан қараганда унчалик катта фарқ бўлмаса ҳам, аммо машина ҳаётига киритилган мазмун жуда ҳам зўр имкониятларни очиб беради.

Биз машинага берилган янги таъриф асосида ҳозирги ишлаб чиқаришга қанчалик маданият киритилиши ҳамда қандай асосий техникавий йўналишларни ҳал этиш кераклигини имкон борича таърифлаб ўтмоқчимиз. Бу таъриф замирида зўр имкониятлар ётади, бу таъриф билан машина тўғрисидаги тушунчамизга сифат ўзгаришлар киритилади. Шундай қилиб, бу таъриф билан ишлаб чиқаришда иштирок этадиган алоҳида машинадан автоматик машиналар системасига ўтиш проблемаси ҳал этилади. Бундай автоматик машиналар системаси энергетик, транспорт, технологик, контрол-бошқарув ҳамда математик машиналарнинг рационал йиғиндисидан иборат бўлмоғи лозим.

Шундай қилиб, автоматлашган ишлаб чиқаришдаги ишларни бажариш учун ишлатиладиган автоматик машиналар системасини яратиш ҳозирги куннинг ва келажакнинг бош вазифаси бўлмоғи лозим.

Бу жуда мураккаб техникавий масала бўлиб, уни бажаришда қуйидаги диалектик қарама-қаршиликлар борлигини академик И. И. Артоболовский уқтириб ўтади: бир томондан автоматик машиналар системаси мураккаблашади ва мустақкамлаштирилади, аммо бундай қимматбаҳо техниканинг тежамли ишлаши, шу автоматлашган машиналар системасидан олинаётган маҳсулотнинг ўзгармас ва кўплаб чиқарилишидандир. Иккинчи томондан ҳар қандай техникавий процесс ишлаб чиқариладиган маҳсулотнинг доимо ўзгариб ва янгиланиб боришини талаб қилади.

Бу икки қарама-қаршиликни фақат маневрлашган автоматик машиналар системасини яратиш билан ҳал этиш мумкин. Маневрлашган автоматик машиналар системасини янги маҳсулот ишлаб чиқаришга тез ва осонлик билан ўтказиш мумкин бўлади.

Мана шундай маневрлашган автоматик машиналар системасини яратиш, асосан фаннинг турли тармоқлари орқали олиб борилиши керак.

Автоматик ишлаб чиқариш процессларининг оптимал вариантларини топиш, уларни математик тенгламалар ёрдамида фойдаланиш ва моделлаштириш ишларини бажаришнинг талаб этади. Бундай мураккаб масалаларни ҳал этишда фаннинг математика, электроника, механика, физика, химия ва бошқа тармоқларидан фойдаланиш лозим. Автоматик машиналар яратиш фани тобора ривож топиши лозим. Ҳозирги

автоматлар механик, электрик, электрон, пневматик ва гидравлик системаларни ўз ичига олган мураккаб комплекс системадан иборат. Янги маневрлашган ва автоматлашган ишлаб чиқаришни вужудга келтириш учун аввало ишлаб чиқариладиган маҳсулотнинг тегишли конструкторийси, шу маҳсулотни ишлаб чиқариш учун ишлатиладиган автоматлашган линиянинг оптимал бўлиши ва уларни бошқаришнинг рационал системаси бўлмоғи лозим. Автомат машиналар яратиш назарияси ҳозирги кунда физика ва химия каби фанларни ўз ичига олмақда, аналитик методлардан, масалан, информация назариясидан фойдаланиш кенг ривож топмоқда. «Автомат» сўзини аниқ таърифлаш автоматларни информация потокларига қараб бўлишда информациян усул янги натижа беради ва бермоқда.

Ҳозирги кунда берилган программани бажарадиган ва шу программани бажариш вақтида технологик процесс параметрларини оптималлаб боровчи, ўргатувчи машиналар (обучающиеся машины) яратиш идеяси катта имкониятларни очиб бермоқда. Ўз-ўзидан мослашувчи системаларнинг автомат машиналарга татбиқи натижасида бу системалар берилган программадаги назарий хатоларни тўғрилаш учун ўз-ўзидан автоматик равишда тузатиш киритиш хусусиятига эга бўлади.

Машинасозликда янги материалларнинг жорий қилиниши муносабати билан янгидан-янги технология, бутунлай янги структурали кинематик ва динамик хусусиятларга эга бўлган автоматик машиналар яратиш масаласи туғилди, традицион технология бутунлай ўзгартириб юборилди. Машина структурасида сифат ўзгаришлар содир бўлди.

Физика ютуқлари автомат машиналар яратишда бутунлай янги имкониятлар очиб берди. Масалан, материалларни ишлашда кучли ёруклик генераторларининг ишлатилиши, берилган шаклни олиш учун порглаш эффектидан фойдаланилиши, узатиш механизмларининг ўрнини босадиган чала ўтказгичли, вентиляторнинг ишлатилиши бизнинг машина ҳақидаги илгариги тушунчамизни кенгайтиради.

Бироқ электрон ҳисоблаш машинаси ёрдамида оптимал параметрга эга бўлган автоматларнинг синтезлаш масаласини гўла ҳал этмоқ учун технологик процесслар ва лойиҳалаш процессларини алтернативлаштириш ишлаб чиқиш керак. Бунинг маъноси шуки, шу процессларни математикалаштириш, автомат машиналар ва автоматик линияларни синтезлаш проблемаси билан боғлиқ бўлган масалаларни оптимал ҳал этиш методикасини ишлаб чиқишдан иборат.

Шундай қилиб, ишлаб чиқариш процессларида ишлатиладиган машина дунёсида илмий-техника революциясини амалга ошириш процесси бормоқда. Бу масалаларнинг ҳал этилиши бизни янгидан-янги сифат поғоналарига кўтаради, чунки янги поғонага чиқиш ва унда дадил туриш — яратувчи инсонда сифат ўзгаришларсиз асло мумкин эмас. Янги поғонага кўтарилган машина инсонга янгидан-янги мураккаб масалаларни қўя бошлайди. Юқорида баён қилинганлардан хулоса қилиб айтганда машина фақат энергияни қабул этиб, маҳсулот ишлаб чиқарадиган мослама бўлибгина қолмай, балки ишлаб чиқариш процесси учун керак бўладиган информацияларни ҳам ишлай олади, яъни бу соҳада ҳам инсон ўрнини босади. Бугунги машина — сифат ўзгаришларга эга бўлган, бутунлай янги машинадир.

Юқорида баён этилганлардан энди механик системаларнинг мавжуд усулларидан воз кечиш керак экан, деган хулоса асло келиб чиқмайди, аксинча, машиналашган процессларнинг пухта, узлуксиз ишлаши учун улар таркибидagi машина қисмларини илмий жиҳатдан тўғри ҳисоблаш, уларнинг пухта, ишончли ишлашини таъминлаш бобида ҳали кўп-лаб ишлар қилиниши талаб этилади.

Машиналарни, асосан, қуйидагиларга бўлиш мумкин:

1. Машина-двигателлар, яъни ҳаракатга келтирувчи машиналар (бу машиналари, ички ёнув машиналари). Бу машиналар воситаси билан энергия турларидан бири айланма ҳаракатда бўлган валнинг ёки илгариланма ҳаракатда бўлган ползуннинг механик энергиясига айлантирилади.

2. Иш машиналари, яъни машина қуроллар. Бундай машиналарда материалнинг (хом ашёнинг) шакли, ҳолати ёки хоссаси ўзгартирилади.

3. Ўзгартирувчи машиналар. Бу машиналар ёрдами билан бир тур энергия бошқа тур энергияга айлантирилади; бундай машиналарга генераторлар мисол бўла олади. Масалан, генератор ёрдами билан механик энергия электр энергиясига айлантирилади.

Асосий ишни машинанинг иш органи бажаради. Масалан, тикув машинасининг иш органи унинг ивваси, пахта териш машинасининг иш органи шпинделлар аппарати, ер қазиниш машинасининг иш органи унинг ковши (кураги) ва бошқалар. Машинанинг иш органи маълум фойдали иш бажариши учун, аввало, бу машинани ҳаракатга келтирувчи куч иш бажариши керак. Масалан, велосипедни ҳаракатга келтириш учун унинг педалига маълум куч билан босиш зарур бўлади. Демак, ҳар бир машина таркибидa унинг иш органини ҳаракатга келтирувчи қисм ҳам бўлиши керак экан. Машинада иш

органига ҳаракатлантирувчи кучдан ҳаракат узатувчи механизм ҳам бўлиши лозим. Юқорида айтилган уч қисм бирга қўшилганда машина агрегати ҳосил бўлади.

Ҳар қандай машина маълум фойдали иш бажаради. Ана шу туфайли ишни бажариш учун машинада қуйидаги асосий белгилар бўлиши: 1) машина маълум тартибда тузилган бўлиши; 2) унинг қисмлари маълум тартибда ҳаракатланиши; 3) машина тегишли фойдали механик иш бажариши шарт.

Машинада шу уч белгидан фақат иккитаси бўлиб, учинчиси бўлмаса, у ҳолда, машина механизмга айланади. Демак, механизм фойдали иш бажармайди ва энергияни бир турдан бошқа турга айлантормайди. Механизмнинг вазифаси маълум тартибда ҳаракат қилиш ёки ҳаракатни узатишдан иборат, холос.

Шундай қилиб, механизм воситасида маълум ҳаракат ҳосил қилиниши ёки бирор ҳаракат ўзгартирилиши мумкин.

Механизм ҳаракати вақтида шу механизм звеноларида содир бўладиган қўзғалиш, тезлик, тезланиш, инерция кучларининг ўзгариш қонуनларини маълум бир давр ичида ўрганиш — механизм ва машиналар назарияси фанининг асосий ташкил этади. Механизмдаги айрим нуқталарнинг юрганиши — тезлиги, тезланиши, шу механизм таркибига кирувчи айрим звеноларнинг бурчак тезликлари, бурчак тезланишлари ва уларнинг инерция кучлари, инерция кучининг моментлари ва бошқа катталиклар физик катталиклар бўлиб, улар шу механизмда мавжуд процесснинг характери билдиради. Ана шу физик катталикларни топиш ва уларнинг ўзгариш қонунларини ўрганиш механизм ва машиналар назариясининг энг асосий масаласидир.

Механизм ва машиналар назариясини ўрганишда, аввало, шу механизм таркибига кирувчи қисмлар (звенолар) абсолют қаттиқ jismlar деб, уларнинг ҳаракати вақтида шу қисмларда ҳеч бир деформация бўлмайди деб фараз қилинади. Механизм ва машиналар назариясининг кинематика бобини ўрганишда механизм таркибидаги етакловчи звенонинг (масалан, кривошипнинг) бир минут ичидаги айланиш сони ўзгармас деб қабул қилинади.

Механизм ва машиналар назариясида физик катталикларнинг ўлчов birliklari ихтиёрий бўлса ҳам, ammo узунлик ўлчов бирлиги сифатида метр, вақт ўлчов бирлиги сифатида секунд, куч ўлчов бирлиги сифатида килограмм қабул қилинади. Қолган барча мураккаб физик катталиклар ана шу асосий физик катталикларга қараб олинади. Мураккаб катталиклар билан асосий катталиклар орасидаги boglanishi

ифодаловчи формулалар *ўлчовлар (бирликлар) формуласи* деб аталади. Ҳар бир катталиқнинг ўзига хос ўлчови бўлиб, унинг ўзгаришини асосий катталиқларнинг ўзгаришига қараб билиш мумкин. Масалан, узунлик (S) ўлчови метр ҳисобида, вақт (t) ўлчови секунд ҳисобида олинса, тезлик (v) нинг ўлчов бирлиги қуйидагича бўлади:

$$v = \frac{s}{t} \left[\frac{м}{сек} \right].$$

Бу ифода йўл бирлиги k марта кўпайса, тезлик бирлиги ҳам k марта кўпайишини билдиради.

Механизм ва машиналар назарияси техникадаги конкрет масалаларни ҳал қилишда қаттиқ ва суюқ жисмлар механикасининг қонуи-қондаларини татбиқ этади.

Механизм ва машиналар назарияси фанининг ривожланишида назарий механика (айниқса, қаттиқ жисмлар механикаси) билан бир қаторда математика, геометрия ва чизма геометрия фанларининг аҳамияти гоят каттадир.

Механизм ва машиналар назарияси фанини ўрганиш олдидан, бу фанининг ривожланиш тарихи билан қисқача танишиб чиқамиз. Механизм ва машиналар назарияси фанининг ривожланиши кишилик жамияти маданияти тарихи билан боғлиқдир. Қадимги замонлардан бери сақланиб келаётган ажойиб биволар ва архитектура ёдгорликлари ўша замон халқларида машина ва механизмлар ҳақида зўр тушунча бўлганлигидан далолат беради.

Эрамиздан 287 йил муқаддам Сицилия оролидаги Сиракузи шаҳрида туғилган машҳур олим Архимед қирққа яқин ҳар хил механизм ва машиналар яратди. Полиспаст, тишли ғилдиракни ҳаракатга келтирувчи чексиз винтлар (червяклар), Архимед винти ва ричагли ҳар хил механизмлар ана шулар жумласидандир.

Архимед ричаглар назариясини яратиб, жаҳон фани тарихида ўлмас ном қолдирди. Унинг бу соҳадаги кашфиёти механикада «олтин қонда» номи билан юритилади.

XV асрнинг охири ва XVI асрнинг бошида яшаган итальян олими ва rassоми Леонардо да Винчининг назарий ва амалий механика соҳасида қилган ишлари гоят диққатга сазовордир. Улуғ олим статика соҳасида Архимед ишларини давом эттириб, ричаглар назарияси, жисмларнинг огирлик марказини топиш, жисмларнинг қия текисликдаги ҳаракати, кучларни қўшиш ва ажратиш, ишқаланиш коэффициентини вниқлаш, зарблар назарияси, жисмлар ҳаракати инерциясига оид ишлар қилди.

Машхур италян олими Галилео Галилей (1564—1642) ёшлик чоғларидаёқ эрамиздан илгари ўтган математикларнинг ва, айниқса, Архимеднинг асарларини яхшилаб ўқиди ва натижада ўзинчоқ машиналар қурди. У маятникнинг тебраниш қонунини, жисмнинг ўз оғирлиги таъсирида ҳаракатланиш қонуларини ва бошқаларни кашф этиб, механика фанига, айниқса динамикага асос солган эди. Галилей бўшлиқда жисмларнинг тушиш қонуларини аниқлаб бериш билан бир қаторда, бир текис ҳаракатланмайдиган нуқтанинг тўғри чизиqli ҳаракати вақтида тезлик ва тезланишлар бўлишини биринчи бўлиб механикага киритган улуг олимдир. У динамиканинг биринчи қонуни бўлган инерция қонунини таърифлаб берди ва бўшлиқда горизонтга нисбатан маълум бурчак остида отилган жисм траекториясининг параболадан иборат бўлишини кўрсатди.

Галилей Стевиннинг мумкин бўлган кўчишлар соҳасидаги текширишларига қўшимча ўлароқ қия текислик устида юритилган мулоҳазалари асосида — нимаки кучдан ютса, у тезликдан йўқотади, деган механиканинг олтин қондаси таърифини яратади.

Француз математиги Блез Паскаль (1623 — 1662) 18 ёшида арифмометр ясади, кейинроқ эса суюқликлар мувозанати масалаларини ҳал қилиб, физика фанида ўлмас ном қолдирди. Паскалнинг бу ишлари асосида гидравлик процесслар барпо этилди.

Машхур инглиз олими Исаак Ньютон (1643—1727) механика соҳасида шундай қонуларни кашф этдики, бу қонулар илмий ва амалий масалаларни ҳал қилишда гоят катта роль ўйнади. Ньютон топган қонулар ҳозирда ҳам ўз аҳамиятини, кучини сақлаб келмоқда.

У ўзининг «Нагураал фалсафанинг математик асослари» («*Philosophical naturalis principia mathematica*») деган машхур асарида механиканинг асосий классик қонуларини таърифлади ва динамикани систематик равишда баён этди. Айниқса, Ньютон томонидан очилган таъсир ва акс таъсир қонуни материал нуқта динамикасида механик системалар (ёки механизмлар) динамикасига ўтиш йўлини очиб берди. Ньютон бутун олам тортилиш қонунини яратди.

У механик система ҳаракат мақдорининг ўзгариши фақат ташқи кучлар билан аниқланишини айтди. Аммо классик механика қонулари тезлиги ёруғлик тезлигига яқинлашган жисмлар ҳаракатига қўй келмайди, лекин тезлиги кичик жисм ҳаракатига релятивик ва классик механика қонулари қўлланилишидан келиб чиқадиган натижалар бир эканлиги тажрибада тасдиқланди.

XVIII асрда Францияда Вокансон, Швецияда ота-бола Дро, Россияда Кулибин ажойиб механизмлар яратдилар. Буларнинг ва бошқа бир қанча механикларнинг ишлари ўша давр олимларининг машиналар барпо этиш соҳасидаги ишларига асос бўлди.

Кинетик энергиянинг ўзгариши тўғрисидаги теорема (қонуни)нинг Иоган Бернулли (1667—1748) ва Даниил Бернулли (1700—1782) лар томонидан ишлаб чиқилиши механик система динамикасини ривожлантирди.

Россия академиясининг академиги Леонард Эйлер бу соҳада биринчи илмий асарини — турбиналар назариясини яратди.

А. Эйлер билан Даниил Бернулли айни бир вақтда ҳаракат миқдори моментининг ўзгариши тўғрисидаги теоремани таърифлаб бердилар.

Петербург Фаилар Академиясининг академиги Я. Герман динамика масалаларини статика масалаларига келтирувчи механика принципини ишлаб чиқди. Бу принцип Я. Герман томонидан 1716 йилда топилди, у кинестатика методининг ўзидир (у Петербург принципини деб ҳам аталади).

Кейинчалик (1737) Эйлер бу принципни умумлаштиради ва эгилувчан jismlar тебранишини ўрганиш учун қўллади. Даламбер кейинроқ (1743 й.) Даламбер принципини деб ном олган механика принципини айтиб ўтди. Бу принцип алоқали системалар (механизмлар) механикасининг ривожига асос бўлиб қолди.

Даламбер принципини Герман ва Эйлер методларини ривожлантирди ва мураккаб алоқали механик системалар динамикасини ўрганишга йўл очди.

1771 йилда машҳур француз олими Кулон «Оддий машиналар назарияси» деган асарини ёзди.

1794 йилда кўзга кўринган француз олими Гаспар Монж Парижда политехника мактаби ташкил этди; бу мактабда жаҳонда биринчи марта механизмлар назарияси курси ўқитила бошлади. Париж политехника мактаби Европада машинашunoslik фанининг ривожланишига асос бўлди.

1722 йилда Россияда Г. Г. Скорняков-Писаревнинг «Статика фани, яъни механика» деган китоби босилиб чиқди. Бу китоб босилиб чиққандан 16 йил ўтгач, Петербург академиги И. В. Крафтнинг «Россия ёшларининг ўрганиши учун оддий ва мураккаб машиналар тўғрисида қисқача қўлланма» деган китоби нашр этилди. 1774 йилда рус олими-механиги С. К. Котельниковнинг «Жисмлар ҳаракати ва мувозанати тўғрисидаги таълимот» деган китоби босилиб чиқди.

Машхур рус математиги ва механиги академик Пафнутий Львович Чебишев механизмлар назарияси соҳасида кўпгина ишлар қилди. Чебишев ўзининг «Параллелограммлар номи билан машхур бўлган механизмлар назарияси» деган асари, тўғри чизиқли йўналтирувчи механизмлар, регулятор механизмлари соҳасидаги асарлари билан машина ва механизмлар назарияси фанини бойитди. П. Л. Чебишев механизмлар синтези, яъни механизм ва машиналар назарияси фанининг механизмлар лойиҳалаш ҳақидаги иккинчи проблемасига асос солган олим эди. Бу олим математик аппаратни техниканинг энг асосий масалаларидан бирига — механизмлар назариясига моҳирлик билан татбиқ этди. Унинг механизмлар структурасини аниқловчи машхур формуласи механизмлар назариясини ўрганишда асосий формулалардан биридир.

Совет Иттифоқи Коммунистик партияси ва Совет ҳукумати академик П. Л. Чебишевнинг рус фақи соҳасида қилган ҳоят катта хизматларига юксак баҳо бериб, 1944 йилда унинг вафот этганига 50 йил тўлишини махсус қарор билан нишонлади. СССР Фаилар академиясининг техника бўлими механизмлар назарияси соҳасидаги нодир асарлар учун Чебишев мукофоти белгилади. Совет олими академик И. И. Артоблевскийнинг механизмлар соҳасида қилган катта хизматлари учун унга Чебишев мукофоти берилди.

XIX асрда яшаган прогрессив рус олимларидан академик М. В. Остроградский, олим-механик Н. А. Вишнеградский ва профессор Н. П. Петров назарий механикани механизм ва машиналар назариясига татбиқ қилиш соҳасида фанга катта ҳисса қўшдилар. И. А. Вишнеградский (1831—1895) машина динамикасининг асосий масалаларидан бири — автоматик ростлаш назариясини яратди. Петербург технология институтининг профессори Н. П. Петров «Машиналардаги ишқаланиш ва бу ишқаланишга сурков мойларининг таъсири» деган ажойиб асар ёзди.

Мумкин бўлган кўчишлар назарияси машина ва механизмлар динамикасини ўрганишда жуда қулай усулдир. Бу принципни биринчи марта Стевин (1548—1620) деган олим юзага чиқарди. Кейинроқ Лагранж (1736—1813) Герман, Эйлер ва Даламбер принципларини биргалаштириб, уларни статиканинг умумий принципи, яъни мумкин бўлган кўчишлар принципи билан боғлади ва уларга амалий масалаларни ҳал этишда ўнгайлик туғдирадиган кўриниш киритди. Кўпгина олимлар мумкин бўлган кўчишлар принципининг илмий исботи билан шугулландилар; Иоган Бернулли, Фурье, Пуассон, Ампер ва Лагранж шулар жумласидандир.

Галилей теги ўзгарувчан ҳаракат динамика қонуларини, Лагранж эса мумкин бўлган кўчишлар (виртуал кўчишлар) принципини очиб бердилар, Кориолис механик ҳаракатлардаги ўзаро таъсирнинг чуқур сирриётини тушунтириб берди. Ҳозирги кунда механик ҳаракатнинг янги қонуниятларини очиш ва исталган ҳаракат қонуларини олиш учун ишлатиладиган механик системалар (ёки механизмлар) яратиш устида ишламоқ керак.

И. А. Вишнеградскийнинг шогирди В. Л. Кирпичев (1845—1913) текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар кинематикаси соҳасида кўнгина ишлар қилди. Унинг «Механика ҳақида суҳбатлар» деган китобда механиканинг асосий масалалари оддий ва тушунарли қилиб баён этилган.

Рус авиациясининг отаси Николай Егорович Жуковский (1847—1921) механизм ва машиналар назарияси фанига катта ҳисса қўнди. Унинг «Динамиканинг кинематик занжирлар ҳақидаги масалаларини ричаг тўғрисидаги масалаларга келтириш» деган асари машина динамикаси масалаларини осонлик билан ҳал қилиш имконини берди. Н. Е. Жуковскийнинг «Ассур механизми тўғрисида», «Винт ва гайка кесимларида босимнинг тарқалиши» деган ва бошқа асарлари машина ва механизмлар динамикасини ривожлантиришда асосий йўлашма бўлди.

Машҳур механиклардан И. В. Мещерский (1859—1935) ўзининг «Ўзгарувчан массали нукта динамикаси» (1897) деган машҳур иши билан ракеталар ҳаракатига асос солди — ўзгарувчан массали жисм механикасини яратди. Совет олимларидан К. Э. Циолковский (1857—1935) эса реактив ҳаракатни ҳисоблаш асосларини ишлаб чиқиб, ҳозирги куннинг актуал проблемаларини ҳал этиб берди. Марҳум В. Т. Костицин ҳам ўзгарувчи массали жисм ҳаракатини механизм ва машиналар назариясига татбиқ этишда бирмунча ишлар қилди.

Рус профессори П. И. Сомовнинг (1852 йилда туғилган, вафот этган йили маълум эмас) механизмлар геометрик анализи ва синтезига оид асарлари, Н. И. Мерцаловнинг (1860—1948) «Етти звенели фазовий кинематик занжирнинг тезликларини топиш» деган асари ва бошқа асарлари механизм ва машиналар назарияси фанини ривожлантиришда катта роль ўйнади.

Қишлоқ хўжалиги машиналари механикаси соҳасида академик В. П. Горячкиннинг (1868—1935) хизматлари гоят каттадир.

Петербург политехника институтининг профессори Леонид Владимирович Ассур (1878—1920) текисликда ҳаракат қи-

лувчи стерженли механизмларнинг тузилиши ва классификациясига оид катта-катта ишлар қилди. Л. В. Ассур қуйи жуфтлардан таркиб топган ва текисликда ҳаракат қиладиган стерженли механизмларнинг тузилиш қонунини топди ва текис механизмларни маълум класс ҳамда тартибларга бўлди.

Совет олимларидан академик И. И. Артоболовский, СССР Фанлар академиясининг корреспондент аъзоси марҳум В. В. Добровольский, академик Н. Г. Бруевич, профессор С. И. Артоболовский, профессор А. П. Малишев, В. Т. Костицин, профессор Г. Г. Баранов, Л. Е. Левинсон, Н. И. Қолчин, Я. Л. Геронимус, В. Зиновьев, С. Н. Кожевников ва бошқа олимлар механизм ва машиналар назарияси фанига катта ҳисса қўшдилар ва қўшмоқдалар.

Шестерняларнинг янги илашиш қонуини топган совет олими марҳум М. Н. Новиков бу соҳада жуда катта ўзгариш ясади. Механизм ва машиналар назарияси фанига киритган ғоят катта янгиликлари учун М. Н. Новиковга Ленин мукофоти берилди. Тишли гилдиракларнинг бундан 200 йиллар чамаси муқаддам Л. Эйлер таклиф этган эвольвентали илашуви тишли узатмаларда бутун дунёда ҳозирга қадар ишлатилиб келди. Эвольвента бўйича илашишнинг камчилиги шундан иборатки, унда тиш профилларининг контакт нуқтасидаги зўриқни катта бўлади. Бундай илашиш ихчам машина ва механизмлар қуришга тўсқинлик қилар, шунинг учун механизмлар габаритини катталаштиришга тўғри келар эди.

Совет олимлари тишли илашишнинг катта кучларга бардош берувчи ихчам механизмлар қуришга имконият туғдирадиган янги, рационал шаклларини топиш соҳасида кўп йиллар мобайнида иш олиб бордилар. Тишли илашишнинг ана шундай шаклинин биринчи бўлиб М. Н. Новиков топди. Илашишнинг М. Н. Новиков таклиф этган янги шакли эвольвента бўйича илашишга қараганда 2—3 марта кўп кучга бардош беради ва, шу билан бирга, ихчам механизмлар ясаш ва металлларни тежашга имконият туғдирарди.

Ҳозирги вақтда кўпгина заводлар М. Н. Новиков система-сидаги илашишни ўрганиб, ана шундай илашадиган тишли гилдираклар ишлаб чиқмоқдалар.

Кейинги кунларда М. Н. Новиков илашиши тўғрисидаги масала бир қанча адабиётда ёритилди ва дарсликларга ҳам киритилди.

МЕХАНИЗМЛАРНИНГ АСОСИЙ ТУРЛАРИ, ТУЗИЛИШИ, КЛАССИФИКАЦИЯСИ ВА КИНЕМАТИКАСИ

I б о б.

МЕХАНИЗМЛАРНИНГ АСОСИЙ ТУРЛАРИ

Машиналарнинг ишлатилаётган барча механизмларни конструкторнинг назари қарай, асосан, қуйидаги гуруҳларга бўлиш мумкин:

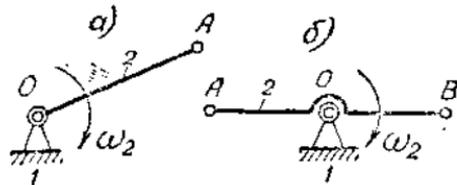
1. Ричагли механизмлар.
2. Кулачокли механизмлар.
3. Иккестерияли (тишли ёлдиракли) механизмлар.
4. Винтли ва топали механизмлар.
5. Фрикцион механизмлар.
6. Эгилувчан звеноли механизмлар.
7. Гидравлик ва пневматик механизмлар.
8. Электрик механизмлар.

1-§. Ричагли механизмлар

Ричагли механизмлар ҳозирги замон машина ва механизмларида жуда кўп ишлатилади. Бундай механизмлар *стерженли механизмлар* деб ҳам аталади.

Ҳозирги замон машина, механизм ёки асбобларида ишлатиладиган ричагли механизмлар орасида энг оддийси икки звеноли механизмдир (1. 1-шакл, а).

Бу механизм, асосан, қўзғалмас ўқ (O) атрафида айланувчи звено (2) дан иборатдир. Икки елкали ричаг ҳам шундай механизмлар турига киради (1. 1-шакл, б).

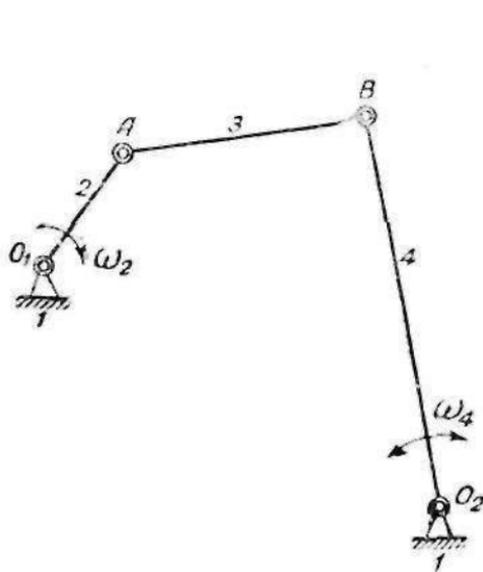


1.1-шакл. Икки звеноли механизмлар:
1 — қўзғалмас ағдас; 2 — қўзғалувчи звено.

1. 1-шакл, а ва б да тасвирланган механизмларнинг иккала-си ҳам асосан иккита звенодан иборатдир. 1. 1-шакл, а даги

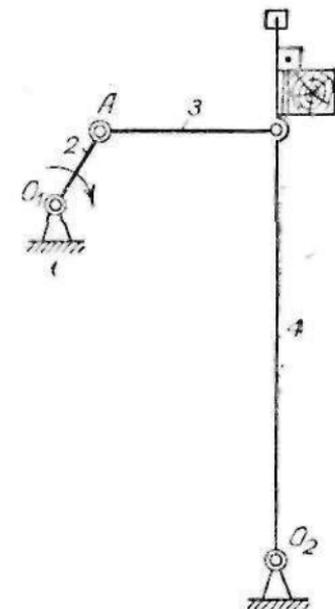
механизмнинг қўзғалувчи OA звеноси бир елкали ричагдан иборат бўлса, 1. 1-шакл, б даги механизмнинг қўзғалувчи AB звеноси икки елкали ричагдан иборатдир. Бу механизмларнинг иккаласи ҳам бирор ω_2 бурчак тезлиги билан айланади. Шаклдаги стрелка OA ва AB звеноларнинг соат стрелкаси айланган томонга айланишини билдиради.

Бу хилдаги механизмлар ҳозирги замон машиналарида, айниқса, ротацион машиналарда (айланама ҳаракат қилувчи машиналарда) ишлатилади. Масалан, электр моторлари, турбиналар, ҳар хил вентиляторлар, шамол двигателлари ва бошқалар ана шундай машиналар жумласига киради. Электр моторининг статори қўзғалмас звено бўлиб, ротори қўзғалувчи звенодир.



1.2-шакл. Тўрт звеноли механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — тирсакли вал (кривошип); 3 — шатун; 4 — қоромисло.



1.3-шакл. Тўқув станогия батан механизмнинг умумий кинематик схемаси:

1 — қўзғалмас звено; 2 — тирсакли вал; 3 — шатун; 4 — батан.

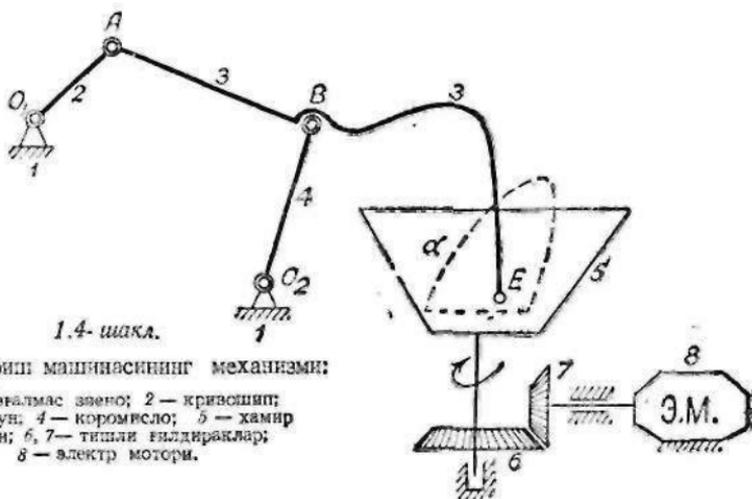
Ричагли бундан мураккаброқ механизмлар ҳозирги замон тўқув автоматларининг ва юк кўтариш кранларининг асосий механизми бўлган ва техниканинг турли тармоқларида кўплаб ишлатиладиган тўрт звеноли механизмдир (1. 2-шакл).

Бу механизм, асосан, бир-бирига шарнирлар воситасида боғланган тўртта звенодан иборатдир.

1. 2-шаклда кўрсатилган механизмнинг шарнирлари O_1 , A , B , O_2 ҳарфлари билан, звенолари эса 1, 2, 3, 4 рақамлари билан белгиланган. 1 звено қўзғалмас звено ёки *стойка* деб, 2 звено *кривошип* (360° га тўла айланувчи звено), 3 звено *шатун* (мураккаб ҳаракат қилувчи звено) ва 4 звено *коромисло* деб аталади.

Бу механизм таркибида битта кривошип, битта коромисло бўлгани учун, тўрт звеноли бундай механизм шарнирли *кривошип-коромислоли механизм* деб аталади. Бундай механизмлар ип газлама, шойи, юнг ва каноп тўқималар тўқийдиган автомат станокларнинг асосини ташкил этади. Тўқув автоматларидаги тўрт звеноли шарнирли кривошип-коромислоли механизм *батанли механизм* дейилади.

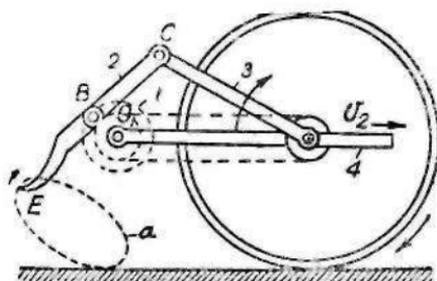
1. 3-шаклда тўқув станогини батан механизмининг умумий кинематик схемаси кўрсатилган.



Бундай механизмлар хамир қорили машиналарида ҳам ишлатилади (1. 4-шакл). Механизмининг хамир қорувчи панжаси (3) шатун билан бир бутун бўлиб, унинг учи (E) хамир қозонида α траектория бўйлаб ҳаракатланади. Хамир қозони ҳам, ўз навбатида, вертикал ўқ атрафида айланади. Шундай қилиб, қозонда хамир қорилади.

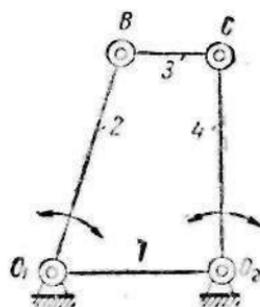
Яна бир мисол тариқасида қишлоқ хўжалигида ишлатиладиган пичан ағдарилш машинасининг механизмининг оламиз (1. 5-шакл). Шаклдаги механизмининг 1 звеноси кривошип, 2 звеноси пичан ағдарилш шатуни ва 3 звеноси коромисло, филдирак ўқига ўриятилган 4 планка қўзғалмас звенодир.

Тўрт звеноли механизм таркибида битта кривошип ва битта коремисло бўлмай, уларнинг иккаласи ҳам кривошип бўлса, яъни



1.5-шакл. Пичан аёлариш
машинчасининг механизми:

1 — кривошип; 2 — пичан аёлариш шатуни;
3 — коремисло; 4 — планка.

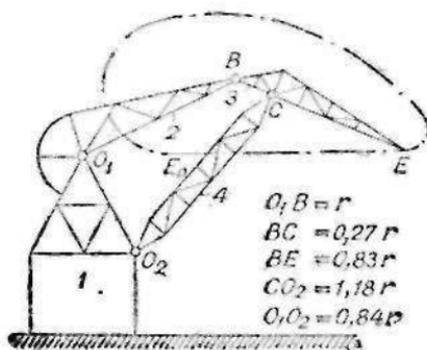


1.6-шакл. Икки
коремислоли механизм:

1 — қўғалмас звено;
2, 4 — коремислолар;
3 — шатув.

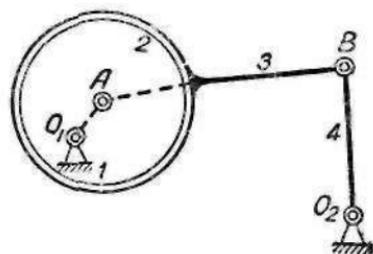
улар 360° га айлана олса, у ҳолда, тўрт звеноли бундай механизм *икки кривошипли механизм* деб аталади. Бу механизмлар сув насосларида ишлатилади.

Тўрт звеноли механизм таркибига кирувчи етакловчи звено — кривошип ўрнига коремисло бўлса, у ҳолда, бу механизм шарнирли *икки коремислоли механизм* деб аталади (1. 6-шакл). Икки коремислоли механизмлардаги звеноларнинг узунликлари турлича комбинацияда олинган янги механизмлар техниканинг кўпгина соҳаларида ҳаракатлар узатишда ишлатилади.



1.7-шакл. Қўтарини қўтарининг
механизми:

1 — қўғалмас звено; 2, 4 — коремислолар;
3 — шатув.



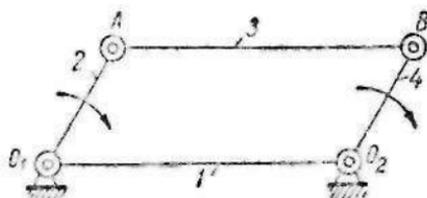
1.8-шакл. Эксентрикли
механизм:

1 — қўғалмас звено; 2 — эксентрик;
3 — шатув; 4 — коремисло.

Бундай механизмдаги O_1B ва O_2C коремислолар фақат O_1 ва O_2 ўқлар атрофида тебранма ҳаракат қилади, ҳолос. Бу механизмлар юк кўтариш кранларида ишлатилади (1. 7-шакл).

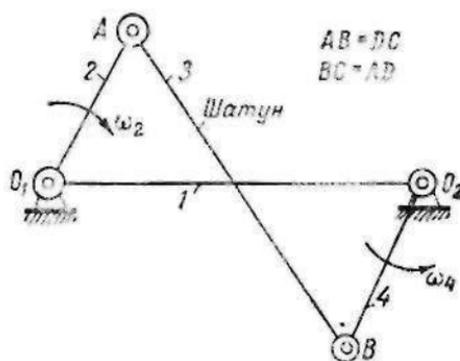
Тўрт звеноли механизмларнинг хили жуда кўп. Булардан бирига мисол қилиб, шарнирли тўрт звеноли механизмни олайлик (1. 8-шакл). Бу механизм юқорида баён қилинган тўрт звеноли механизмга қуйидагича ўзгартириш киритиш йўли билан ҳосил қилинган O_1ABO_2 — тўрт звеноли механизмнинг A шарниридаги цаифани (айланадиган қисм) катталаштириб, унинг радиуси O_1A кривошипидан катта қилинса, у вақтда цаифа эксцентрикка айланади. Шундай қилиб, янги олинган эксцентрикли механизмнинг ҳаракати O_1ABO_2 тўрт звеноли механизм ҳаракатига ўхшаш бўлади.

Шарнирли тўрт звеноли механизмнинг хусусий кўриниши шарнирли параллелограмм механизмдир (1. 9-шакл). Бу механизмнинг O_1A ва O_2B кривошиплари бир хилдаги бурчак тезлик билан айланади, AB шатуни эса тўғри чизиқли илгарилема ҳаракатда бўлади. AB шатунидаги исталган нуқтанинг траекторияси радиуси $O_1A = O_2B$ бўлган айланадир. Бу механизм таркибига кирувчи звенолардан O_1A ва O_2B звеноларнинг ўқлари бир тўғри чизиқда ётса, у ҳолда, шарнирли параллелограмм ҳаракатида поаниқлик пайдо бўлади. Кривошиплардан бири шу вазиятдан ўтиб, ўз йўналишида айлангач, ҳаракат яна эскича давом эта бошлайди. Кривошиплардан бири ўзининг олдинги йўналишига тескари айланса, у ҳолда шарнирли параллелограмм механизм шарнирли антипараллелограмм механизмга айланади (1. 10-шакл).



1.9-шакл. Шарнирли параллелограмм механизми:

1 — қўзғалмас звено; 2, 4 — кривошиплар;
3 — шатуни.

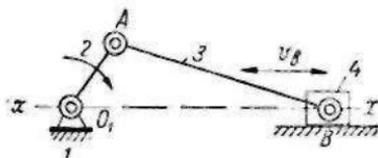


1.10-шакл. Шарнирли антипараллелограмм механизми:

1 — қўзғалмас звено; 2, 4 — кривошиплар;
3 — шатуни.

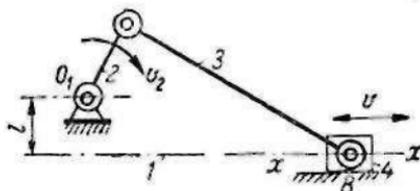
Шарнирли параллелограмм ва антипараллелограмм механизмлар ҳозирги замон машиналарида кўплаб ишлатилади. Масалан, шундай механизмлар муфтларда ва рандалаш станокларида учрайди.

Шарнирли тўрт звеноли механизмдаги коромисло ўрнига ползун ўрнатиб, уни қўзғалмас йўналтирувчи бўйлаб ҳаракатга келтирсак, у ҳолда, бу механизм кривошип-шатунли механизмга айланади (1. 11-шакл).



1.11-шакл. Аксиал кривошип-шатунли механизм:

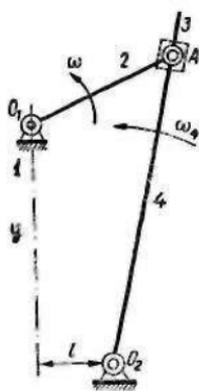
1 — қўзғалмас звено; 2 — кривошип; 3 — шатун; 4 — ползун.



1.12-шакл. Дезаксиал кривошип-шатунли механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — кривошип; 3 — шатун; 4 — ползун.

Кривошип-шатунли механизм ҳозирги замон техникасида поршенли ҳар хил двигателларда, компрессорларда, прессларда, насосларда ва бошқаларда жуда кўп ишлатилади. Агар ползун маркази (B) дан ўтувчи xx чизиги кривошип ўқи (O_1) дан ўтса, у ҳолда, бундай механизм аксиал (марказий) кривошип-шатунли механизм деб аталади (1. 11-шакл). Агар xx тўғри чизиги кривошипнинг айланиш нуқтаси (O_1) дан юқори ёки пастдан ўтса, бундай механизм дезаксиал кривошип-шатунли механизм деб аталади. l оралиқ дезаксиал дейилади (1. 12-шакл).



1.13-шакл. Кулисали механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — кривошип; 3 — тош; 4 — кулиса.

Агар тўрт звеноли шарнирли механизмдаги ползун деб аталувчи звенонинг йўналтирувчиси қўзғалувчан звено бўлса, у ҳолда, бундай механизм кулисали механизм деб аталади (1. 13-шакл).

2, 3, 4 звенолар O_1 ва O_2 ўқлари атрофида айланади; учинчи звено мураккаб ҳаракат қилади, унинг ҳаракати O атрофида бўладиган айланма ҳаракат билан 4 звено бўйлаб илгариллама ҳаракатдан иборатдир. Қўзғалувчи звено (4) да ҳаракат қилувчи 3 звено тош деб, қўзғалувчи йўналтирувчи (4) эса кулиса деб аталади.

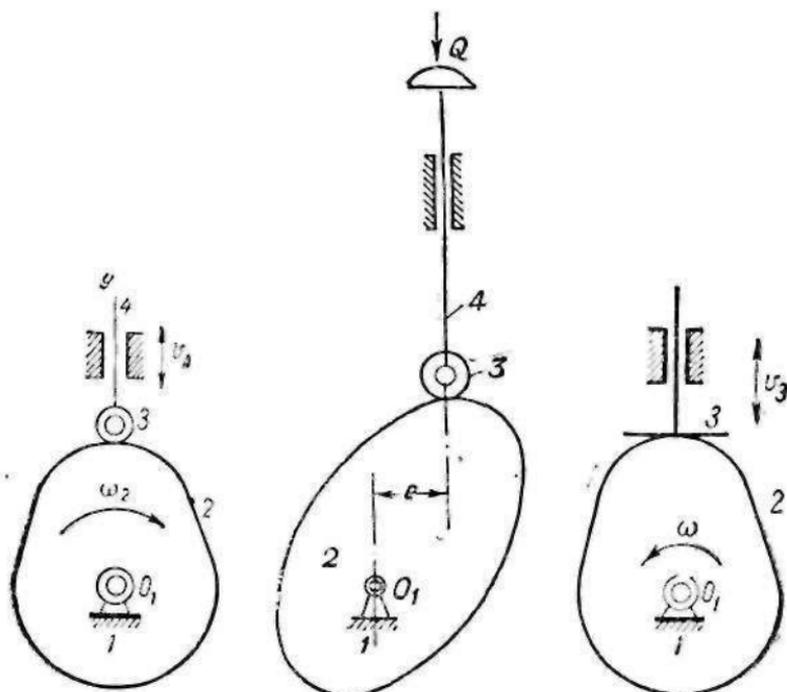
Кулисали механизмлар техниканинг турли тармоқларида, масалан, ротатив насосларда, тикув машиналарида, тўқув автомат-

ларида, танда ишлари ўралган ғалтакни ҳаракатлантирувчи механизмда, полиграфия машиналарида, равандалан станогиди ва бошқа соҳаларда кўп ишлатилади.

2- §. Кулачокли механизмлар

Кулачокли механизмлар техниканинг хилма-хил соҳаларида жуда кўп ишлатилади. Бундай механизмлар, айниқса, автоматик машиналар ишида жуда яхши натижалар беради.

2. 1- шаклда кулачокли энг оддий механизм кўрсатилган. Бу механизм, асосан, тўртга звенодан: қўзғалмас звено, қўзғалмас ўқ атрофида айланувчи звено (кулачок), ролик, тўғри чизиқ бўйлаб юқорига ва пастга ҳаракат қилиб турувчи звенодан (толкателдан) иборат; толкатель штанга деб ҳам аталади. Одатда, кулачокли механизм толкателига ўрнатилган ролик кулачок профи-



2.1- шакл. Аксиал кулачокли механизм:

1 — қўзғалмас звено;
2 — кулачок; 3 — ролик;
4 — толкатель.

2.2- шакл. Дезаксиал кулачокли механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — кулачок; 3 — ролик; 4 — толкатель; e — дезаксиал катталиги.

2.3- шакл. Текис толкателли кулачокли механизм:

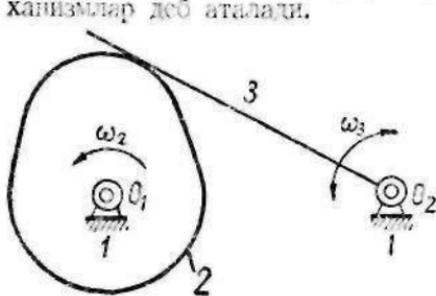
1 — қўзғалмас звено; 2 — кулачок; 3 — текис толкатель.

ли билан толкатель орасидаги ишқаланишни камайтириш учун ишлатилади. 2.1-шаклда кўрсатилган механизм толкательни, илгариларма-қайтма ҳаракат қилувчи кулачокли механизм деб аталади. Кулачокли бундай механизмларда кулачок ω_2 бурчак тезлиги билан айланса, толкатель маълум ораликқа (баландликка) кўтарилиб, яна олдинги вазиятга қайтиб келади.

Кулачокли механизмлар аксиал ва дезаксиал кулачокли механизмларга бўлинади. Толкательнинг ўқи кулачокнинг айланмиш ўқи (O_1) дан ўтса, кулачокли бундай механизм аксиал (марказий) кулачокли механизм деб аталади (2. 1-шакл); толкатель ўқи O_1 нуқтадан ўтмаса, у ҳолда механизм дезаксиал кулачокли механизм дейилади (2. 2-шакл).

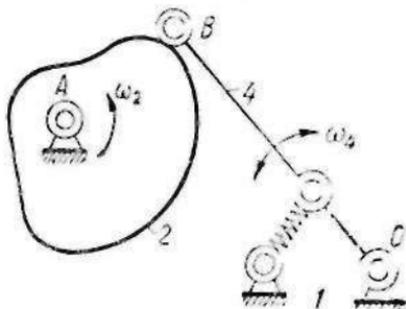
Кулачокли баъзи механизмларда толкатель билан кулачок бир-бирига ролик орқали уринмай, балки текислик орқали уринади, бундай кулачокли механизмлар текис толкательли кулачокли механизмлар деб аталади (2. 3-шакл).

Кўпинча, кулачокли механизмларда толкательларнинг кулачокка урилиб турадиган учидан ролик ва на текис тарелка бўлади, толкатель фақат ўткир учи билан кулачок профилига тегиб туради. Бундай механизмлар ўткир учли толкательли кулачокли механизмлар деб аталади.



2.4-шакл. Толкатель маълум ўқ атрофида теbranувчи кулачокли механизм.

1 — кўчалмас эвни; 2 — кулачок; 3 — толкатель.



2.5-шакл. Пружинили кулачокли механизм.

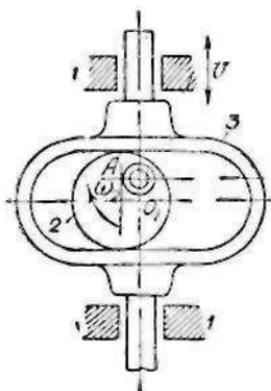
1 — кўчалмас эвни; 2 — кулачок; 3 — ролик; 4 — толкатель; F — пружина.

Ҳозирги замон техникасида юқоридан баён қилинган кулачокли механизмлардан ташқари, конструкциялари бошқача бўлган кулачокли механизмлар ҳам ишлатилади. Бундай механизмлардаги кулачок айланма ҳаракат қилганда, толкатель ҳам айланма ҳаракат қилади (маълум ўқ атрофида теbrанади) (2. 4 ва 2. 5-шакллар).

2. 4-шаклда кулачокнинг O_1 ўқ атрофида соат стрелкаси айланган томонга тесқари ω_2 бурчак тезлиги билан айланмиш кўрсатилган. Кулачок айланганда толкатель O_2 ўқ атрофида ω_3 бурчак тезлиги билан теbrанади.

Шундай кулачокли механизмларнинг бошқа бир тури 2. 5-шаклда тасвирланган.

Кулачокли механизмларнинг таркибига кирувчи толкателлар кулачок профилига доимо тегиб туриши учун толкатель маҳсуе пружина ёрдами билан профилга сиқиб қўйилади. Бундай бириктириш усули куч билан бириктириш деб аталади. Машина ва механизмлар таркибидаги кўнчилик звенолар бири-бирига куч воситасида бириктириб қўйилади. Механизмнинг куч билан бириктирилган звенолари, кўнчица, бириктирувчи куч ўзгариб турганидан бирикма унга пухта бўлмайди. Бундай ҳолларда пружиналарни ёки юкни доимо кузатиб туриш лозим бўлади. Шунинг учун баъзи ҳолларда толкатель билан кулачок кинематик бириктирилади (беркитилади) (2. 6-шакл). Шаклдаги кулачокли механизмда кулачок (2) ω_2 бурчак тезлиги билан айланса, толкатель (3) юқорига ва пастга бирор тезлик билан бориб-келиб туради. Толкательнинг тезлиги ўзгарувчан тезликдир, у билан биз дарсликнинг кинематика қисмида танишамиз.



2.6-шакл. Кинематик бириктирилган кулачокли механизм.

1 — қўғалмас звено; 2 — кулачок; 3 — толкатель.

3-§. Шестерняли (тишли гилдиракли) механизмлар

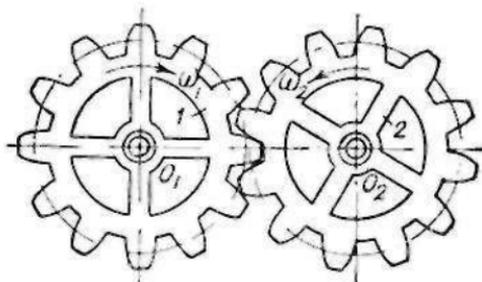
Ҳозирги замон техникасида ишлатиладиган механизм ва машиналарда бир валдан иккинчи валга (бир звенодан иккинчи звенога) айланма ҳаракат узатиш керак бўлади. Ҳаракат узатиладиган звенонинг бурчак тезлиги оддидан берилади, бу бурчак тезликини ҳосил қилиш учун тишли гилдираклардан таркиб тошган механизмлар ишлатилади. Ҳаракат узатишнинг бу тури шестерняли узатма деб аталади (3. 1-шакл).

Агар шаклда кўрсатилган тишли гилдираклардан бири соат стрелкаси юраётган томонга қараб ω_1 бурчак тезлиги билан айланса, иккинчиси унга тесқари томонга ω_2 бурчак тезлиги билан айланади.

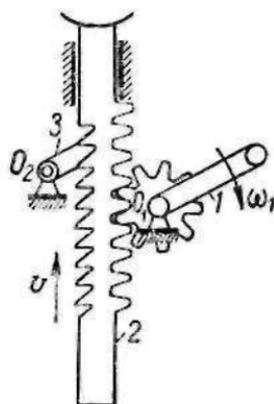
Шестерняли механизмга чуқурроқ назар ташланса, ҳар қайси шестерня айлана бўйлаб қўйилган бир неча кулачокдан иборат эканлигини кўриш қийин эмас. Айлана бўйлаб қўйилган ана шу кулачоклар шестерня тишлари деб, шестерня эса тишли звено ёки тишли гилдирак деб аталади. Тишлар ўрнатилган ана шу гилдиракнинг радиуси чексиз катта бўлса, у ҳолда, гилдирак айланаси тўғри чизик бўлиб қолади. Бундай тишли звенолар

тишли рейкалар дейилади. Ҳаракатни узатишнинг бундай хили *рейкали узатма* деб аталади (3. 2-шакл).

Шаклдаги 1 звенони қўлда стрелка билан кўрсатилган томонга қараб айлантирсак, унинг учига ўриятилган тишли гилдиракча

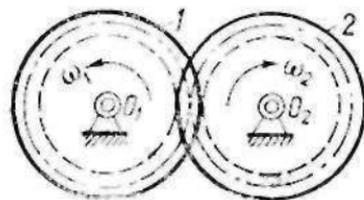


3.1-шакл. Шестеряли узатма:
1, 2 — шестерялар.



3.2-шакл. Рейкали узатма:
1 — даста; 2 — рейка; 3 — со-
бачка

ҳам O_1 ўқ атрофида айланади. Бунинг натижасида 2 рейка юқорига томон v тезлик билан кўтарилади. Рейка пасга тушиб кетмаслиги учун унинг чап томонида собачка деб аталувчи 3 звено ўриятилган, бу звено рейка юқори кўтарилганда унга йўл беради, ammo рейканинг пасга тушишига йўл қўймайди. Шаклда кўрсатилган механизм домкрат дейилади ва машиналарни маълум баландликка кўтариб туриш учун ишлатилади.



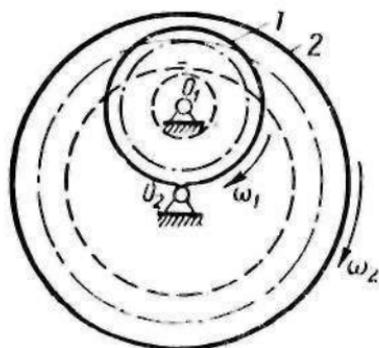
3.3-шакл. Сиртқи илашшиш:
1, 2 — тишли гилдираклар.

Тишли гилдираклар воситасида ҳаракат сир валдан иккинчи валга узатилади, яъни бир гилдиракнинг тишлари иккинчи гилдиракнинг тишлари билан доимо боғланганда бўлади. Шундай қилиб, иккита шестеря тишли илашшиш ҳосил қилади. Агар тишлар илашшишда цилиндрлик сиртларга ўриятилган тишлар шу цилиндрларнинг ўқларига параллел бўлса, тишли илашшишнинг

бу тури тўғри тишли цилиндрлик илашшиш деб аталади.

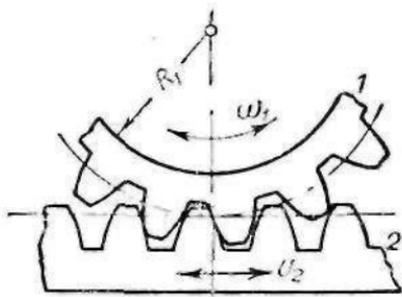
Цилиндрлик сиртларга тишларнинг қандай ўриятилишига қараб, тишли илашшишлар иккита бўлилади. Агар тишлар иккала звенодаги тишлар цилиндрнинг сиртқи юзасига ўриятилган бўлса, бун-

дай илашши *сиртки илашши* деб аталади (3. 3-шакл). Гилдираклардан бирининг тишлари цилиндрнинг ички юзасига жойлашган бўлса, бундай илашши *ички илашши* дейилади (3. 4-шакл). Гилдирак тишлари доиравий цилиндр сиртига жойлашган бўлса, бундай тишли гилдирак доиравий цилиндрлик гилдирак деб аталади. Цилиндрлик илашшида тишли гилдираклардан бири рейка бўлса, у ҳолда, илашши *рейкалик цилиндрлик илашши* бўлади (3. 5-шакл).



3.4 шакл. Ички илашши:

1 — сиртки шестерня; 2 — ички шестерня.



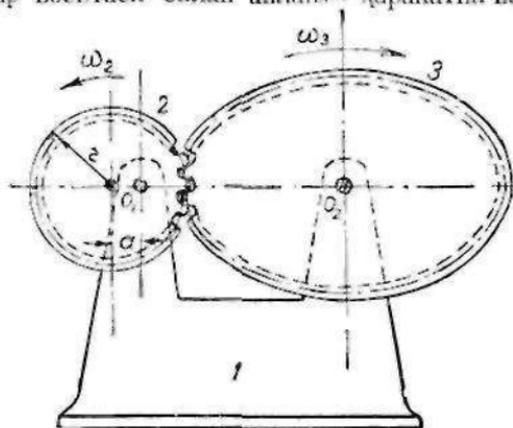
3.5- шакл. Рейкалик узатма:

1 — тишли гилдирак; 2 — рейка.

Сиртки тишли илашшида тишли гилдиракларнинг бурчак тезликлари икки хил ишорали — мусбат ва манфий ишорали бўлади, ички илашшида эса иккала гилдирак бир хил ишорали бурчак тезлиги билан айланади.

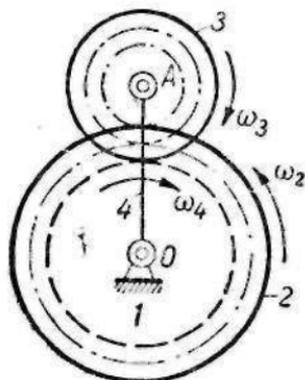
Демак, тишли звенолар воситаси билан айланма ҳаракатни илгариланма-қайтма ҳаракатга ёки, аксинча, илгариланма-қайтма ҳаракатни айланма ҳаракатга айлантириш мумкин экан.

Ҳозирги замон техникасида доира шаклида бўлмаган тишли гилдираклар ҳам кўп ишлатилади (3. 6-шакл). Бундай тишли гилдираклар доиравий-мас шестернялар деб аталади. Бу тишли



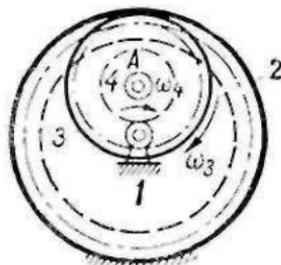
3.6- шакл.

илашши етакланувчи звенода ўзгарувчан бурчак ва чизиқ тезликлари ҳосил қилиш учун ишлатилади. Шаклда кўрсатилган иккита шестернянинг бири (2) эксцентрик, иккинчиси (3) эса эллиптик шестернядир, буларнинг иккаласи ҳам қўзғалмас O_1 ва O_2 ўқлар атрофида айланади ва бу шестернялар айланганда уларнинг боғланиш радиуслари ўзгариб туради. Ҳозирги машина ва механизмлардан баъзилари шестерняларининг ўқи қўзғалувчан бўлади.



3.7-шакл. Ташқи планетали дифференциал ёки планетар механизм:

1—қўзғалмас звено; 2—қўзғалувчи марказий шестерня; 3—сателлит; 4—водило.

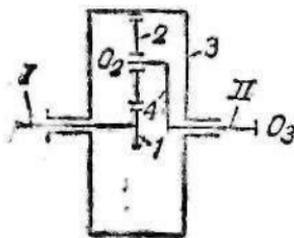


3.8-шакл. Ички планетали дифференциал ёки планетар механизм:

1—қўзғалмас звено; 2—қўзғалмас марказий шестерня; 3—сателлит; 4—водило.

Масалан 3. 7-шаклда кўрсатилган механизмдаги 3 шестернянинг ўқи 4 звенога ўриятилган, 4 звенонинг ўзи эса O_1 ўқ атрофида айланади.

3. 7-шаклда тасвирланган механизм таркибидagi 2 ва 3 шестернялар қўзғалувчан бўлса, механизм *шестерняли дифференциал механизм* деб, 2 шестерня қўзғалмас бўлса, механизм *шестерняли планетар механизм* деб аталади.



3.9-шакл. Редуктор:

1, 2, 3—шестернялар; 4—водило; I—марказий шестерня ўқи; II—водило ўқи.

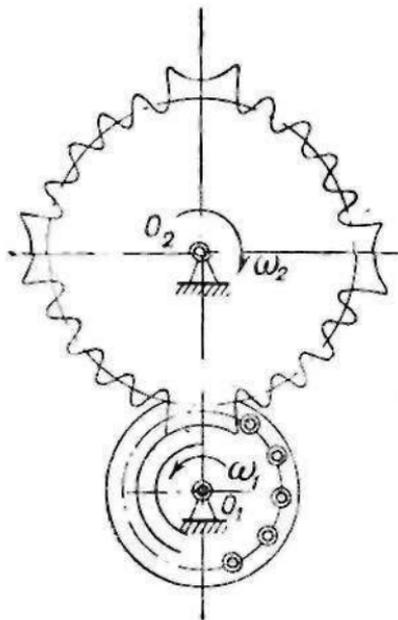
Дифференциал ва планетар механизмлар ташқи (3. 7-шакл) ва ички илашшили (3. 8-шакл) бўлиши мумкин. Дифференциал ва планетар механизмлар ҳозирги замон машиналарида ҳаракатларни қўшиш ва айриш учун ишлатилади.

Дифференциал ва планетар механизмлар ташқи (3. 7-шакл) ва ички илашшили (3. 8-шакл) бўлиши мумкин.

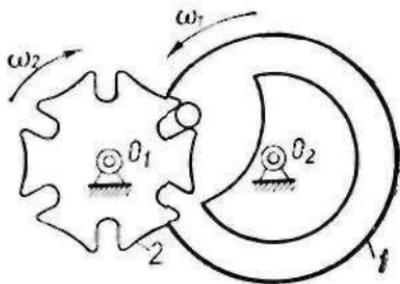
Дифференциал механизмларнинг габарити ихчам бўлиши билан бирга, етакланувчи звенода исталган тезлик ҳосил қилиш ҳам мумкин.

Дифференциал ва планетар механизмлар эпитциклик механизмлар деб ҳам аталади. Сателлитнинг маркази (A нуқта) O_1A радиуси α ёйида айланса, сателлитдаги бирор B нуқта γ траекторияда ҳаракатланади.

Бир неча жуфт шестернядан иборат мураккаб узатма *редуктор* деб аталади. 3. 9-шаклда шундай редукторлардан бири кўрсатилган. Бу редукторда 1 валнинг айланма ҳаракати 1, 2, 3 шестернялар ёрдами билан II валга узатилади. 2 шестерня II валга ўрнатилган 4 звенода ҳаракат қилади. Агар 1 вал билан 3 шестерня айланма ҳаракат қилса, 2 ва 3 шестерня орқали 4 водило ҳаракатга келади. Бу редуктор планетар ёки дифференциал редуктор бўлиши мумкин. Агар 1 шестерня айланиб, 3 шестерня қўзғалмас бўлса, ёки 3 шестерня айланиб, 1 шестерня қўзғалмас бўлса, у ҳолда, редуктор планетар редуктор бўлади.



3.10- шакл. Юлдузчали механизм.



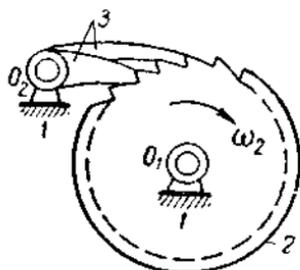
3.11- шакл. Мальтик крестли механизм.

Агар 1 ва 3 шестернялар қўзғалувчан бўлса, у ҳолда, редуктор дифференциал редуктор бўлади. Агар водило қўзғалмас бўлса, у ҳолда, редуктор оддий редуктор бўлади.

Цилиндрик тишлар ўрнига учли тишлари бўладиган юлдузчали механизмлар ҳам шестерняли механизмларга киради (3. 10-шакл).

Бу гуруҳа механизмларга мальтик крестли механизм (3. 11-шакл) ва храповикли механизм (3. 12-шакл) ҳам киради. Храповикли механизм таркибида храповик деб аталувчи тишли гилдирак бўлади. Тишлари бир томонга қия бўлган шестерня храповик деб аталади. Собачка деб аталувчи звено храповикни соат стрел-

касига тескари томонга айланиб кетишига йўл қўймайди. 3. 12-шаклдаги храповик фақат ўнг томонга (соат стрелкаси айландиган томонга) айланиши мумкин. Соат стрелкасига тескари айланишига собачкалар йўл қўймайди.



3.12- шакл. Храповикли механизм.

1 — қўзғалмас элени; 2 — храповик;
3 — собачкалар.

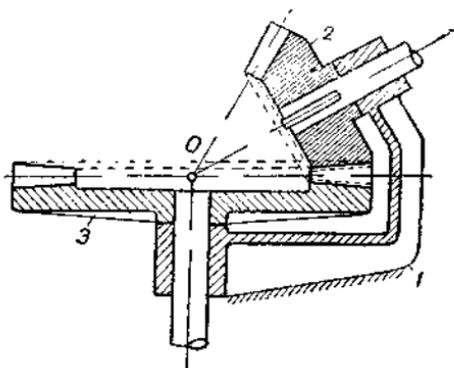
ли механизмлар таркибига кирадиган шестерняларнинг ўқлари бир-бирига параллел бўлмайди. Бундай механизмларда, асосан, уч ҳол бўлиши мумкин.

Биринчи ҳолда тишли гилдиракларнинг ўқлари бир-бири билан кесишади; иккинчи ҳолда ўқлар кесишмайди; аммо бир-бирига тик бўлиб, бир-бири устидан бўлади; учинчи ҳолда ўқлар бир-бири билан кесишмайди ва бир-бирига тик ҳам бўлмайди.

Агар ўқлар бир-бири билан кесишиб ўтса, бундай механизм конус шестерняли механизм деб аталади (3. 13- шакл).

Конус шестернялар, худди цилиндрлик шестернялар каби, ички ва сиртқи илашишли бўлади. Техникада винтли механизмлар ҳам кўп учрайди (3. 14-шакл).

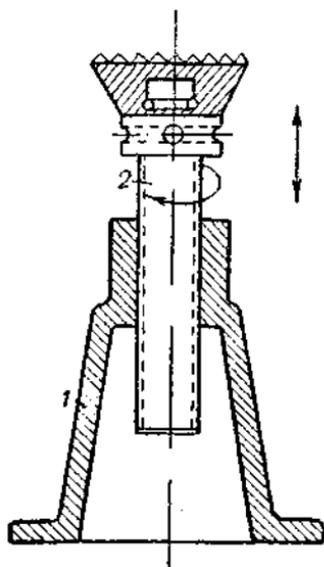
Винтли механизмдаги кичик гилдирак тишлари сонини камайтирсак, у ҳолда, гилдиракнинг тишлари винт кесими ҳосил қилади. Бу эса винт гилдиракли механизмнинг хусусий ҳолига айланади ва червякли механизм ёки червякли узатма



3.13- шакл. Конус шестерняли механизм.

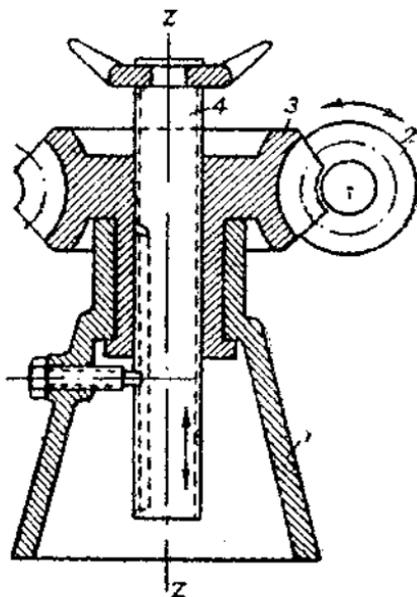
1 — қўзғалмас элени; 2, 3 — конус шестернялар.

деб аталади. 3 гилдирак червяк гилдираги дейилади. Червякнинг тишлари червякнинг кирими деб аталади. Червяклар улардаги йўллар сонига қараб, бир киримли, икки киримли, уч киримли ва ҳоказо бўлиши мумкин (3. 15-шакл).



3.14-шакл. Винтли механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — винт.



3.15-шакл. Червякли механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — червяк; 3 — червяк гилдираги; 4 — вилат.

Ҳозирги замон машина ва механизмларидаги ҳаракатлар бир звенодан иккинчи звенога гиперборондли ва гипондли тишли гилдираклар воситаси билан узатилади. Бундай механизмлар гиперборондли ва гипондли узатмалар деб аталади (3. 16-шакл).

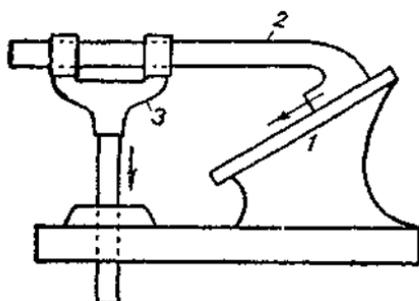
Гиперборондли шестернялар тайёрлаш анча қийин. Шунинг учун бундай шестернялар винтли ёки гипондли (винт кесимли конуссимон) шестернялар билан алмаштирилади. Гипондли бу механизмлар, кўпинча, двигателлардаги узатмаларда ишлатилади.



3.16-шакл. Гипондли узатма.

4-§. Винтли ва понали механизмлар

Ҳозирги замон техникасининг турли соҳаларида понали механизмлар жуда кўп ишлатилади. Звенолари фақат илгариллама (тўғри чизиқли) ҳаракат қилувчи механизмлар понали механизмлар

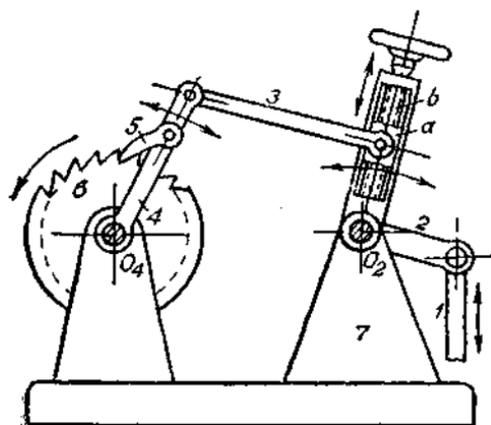


4.1-шакл. Понали механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2, 3 — қўзғалувчи звенолар.

деб аталади (4. 1-шакл). Шаклдаги 1 қия текисликда 2 звено пастга томон сирпанса, 3 звено вертикал тўғри чизиқ бўйлаб пастга тушади. Агар 1 звенода 2 звено юқорига томон сирпанса, у ҳолда, 3 звено вертикал тўғри чизиқ бўйлаб юқорига кўтарилади (4. 1-шакл).

Механизм таркибига кирувчи айрим звенолар винтсимон ҳаракат қилса, бундай механизмлар винтли ме-



4.2-шакл. Храповик-винтли механизм:

1, 2, 3, 4 — қўзғалувчи звенолар; 5 — собачка; 6 — храповик.

нанизмлар деб аталади (4. 2-шакл). Винтли механизм звенолари винтли жуфтлар воситасида бир-бири билан боғланади. Шаклдаги 2 звено бурчакли ричаг бўлиб, бу ричагнинг бир елкаси 3 звено билан туташган. Агар ричаг елкаси узун ёки қисқа қилинмоқчи бўлса, маховик ўнгга ёки чапга бурилади. Бу механизм таркибида храповик (6) ва винт (a, b) бўлгани учун, уни храповик-винтли механизм деса ҳам бўлади.

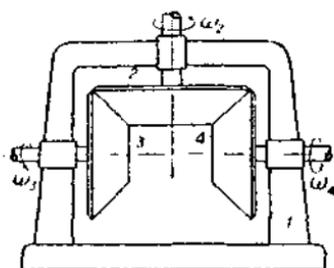
5-§. Фрикцион механизмлар

Ишқаланиш кучининг ёрдами билан ҳар қандай звенонинг ҳаракати тўхтатилиши ёки тўхтаб турган звено ҳаракатга келтирилиши мумкин. Ишқаланиш кучларининг фойдали ва зарарли томонлари китобнинг динамика бобларида баён этилади. Ишқала-

ини кучлари ёрдами билан ҳаракатга келтирилувчи ёки тўхтатилувчи механизмлар фриクション механизмлар деб аталади.

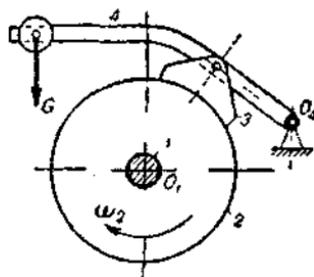
Агар 2 звено ω_2 бурчак тезлиги билан айланса, 3, 4 звенолар ҳам тегишлича ω_3 ва ω_4 бурчак тезликлари билан айланади (5. 1-шакл).

ω_2 бурчак тезлиги билан айланаётган дискни O_4 атрофида айланувчи 4 ричакка ўриatilган 3 колодкани босиб тўхтатиш мумкин (5. 2-шакл), чунки колодка билан дискнинг орасида ишқаланиш кучи ҳосил бўлади.



5.1-шакл. Фриクション узатма:

1 — қўғалмас звено; 2, 3, 4 — қўғалувчи конус ёлдирақлар.



5.2-шакл. Колодкали тормоз:

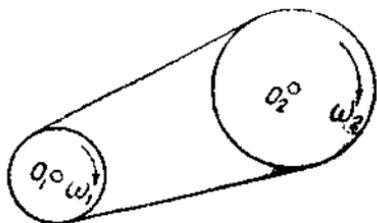
1 — вал; 2 — диск; 3 — колодка; 4 — ричак.

Фриクション механизмлар техниканинг турли тармоқларида механизм звеноларининг бурчак тезликларини бир меъёрда ўзгартириш учун ҳар хил конус узатмаларда, баъзи муфталарда ва турли тормозларда кўп ишлатилади.

6-§. Эгилувчан звеноли механизмлар

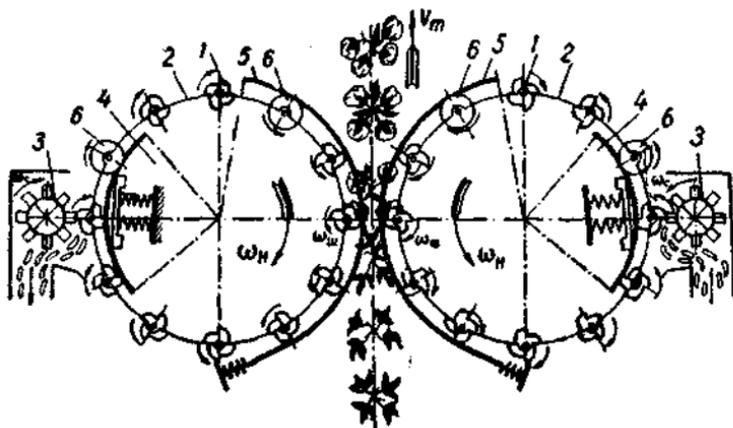
Биз ҳозиргача қаттиқ звенолардан иборат механизмларни баён қилдик. Аммо ҳозирги замон техникасида эгилувчан звеноларни (арқонлар, тасмалар, венталар, занжирлар, трослар га бошқаларини) ўз ичига олувчи механизмлар ҳам кўп ишлатилади (6. 1-шакл).

Эгилувчан звеноли механизмлар ёрдами билан ўқлари етакловчи звено ўқига параллел ва айқашиб ўтувчи звеноларга ҳаракат узатилади. Бундай механизмлар тўқимачилик саноатида йнгирув, тўқув машиналарида айниқса кўп учрайди. Эгилувчан звенолар оралиқ звено сифатида ишлатилади.

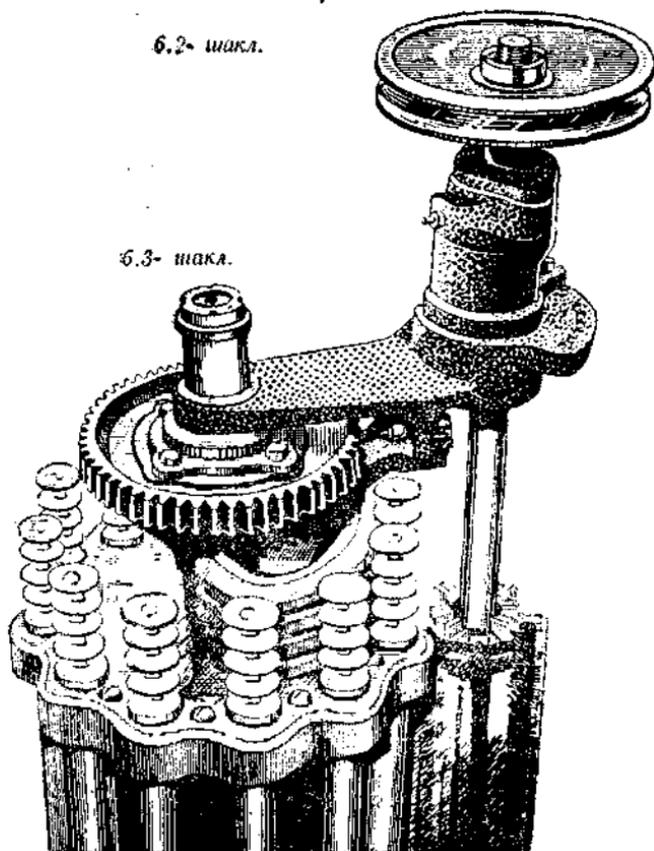


6.1-шакл.

Тасмали узатма.



6.2- шакл.

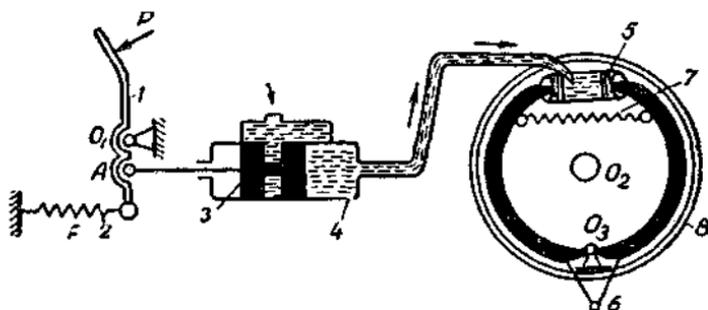


6.3- шакл.

Эгилувчан звеноли механизмларга мисол тариқасида ҳозирги вертикал шпинделли пахта териш машинасининг шпинделини ҳаракатга келтирувчи механизмнинг принципитал схемасини (6.2-шакл) ёки унинг асл кўринишини (6.3-шакл) келтириш мумкин.

7-§. Гидравлик ва пневматик механизмлар

Ҳаракат узатишда оралиқ восита сифатидагина қаттиқ ёки эгилувчан звенолар ишлатилиб қолмай, кўпинча, суюқлик ва газлар ҳам ишлатилади. Таркибига суюқлик ёки газ кирган механизмлар ҳозирги замон техникасининг турли тармоқларида кўп учрайди. Техникада бундай механизмлар гидравлик жиҳозланган ёки пневматик жиҳозланган механизмлар деб аталади (7.1-шакл).



7.1-шакл. Гидравлик механизм:

1 — рычаг; 2 — пружина; 3 — шток; 4 — цилиндр; 5 — цилиндр; 6 — колодкалар; 7 — пружина; 8 — тормоз барабани.

Шаклда ҳозирги замон автомобилларида ишлатиладиган гидравлик тормознинг кинематик схемаси кўрсатилган. Агар машина тўхта-тилиши лозим бўлса, шофёр оёғи билан (P куч билан) тормоз педалига босади, бунда тормоз рычаги (1) O_1 ўқ атрафида соат стрелкаси айланган томонга тескари айланиб, рычагнинг A жойидан уланган тормоз поршенининг штоғи ўнг томонга юради ва тормоз цилиндри (4) даги суюқлик 5 цилиндрга ўтади. Цилиндрдаги поршенчалар ўнгга ва чапга ҳаракатланиб, 6 колодкани O_2 ўқ атрафида ўнгга ва чапга айлантиради. Колодкалар тормоз барабанига тегиб, филдиракни тўختата бошлайди. 7 пружина тормоз колодкаларини тормоз барабанидан ажратиб учун хизмат қилади.

Гидравлик ва пневматик механизмлар автомобилларнинг тормозларида, буғ қозонидаги суюқлик баландлигини бир меъёрда сақлаб туришда ва бошқа кўпгина соҳаларда ишлатилади.

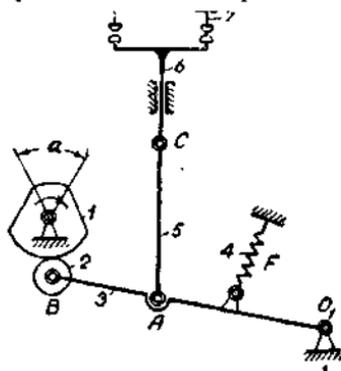
8-§. Электрик механизмлар

Ҳозирги замон техникасининг турли тармоқларида таркибига электрик элементлар кирган механизмлар жуда кўп ишлатилади. Бундай механизмларнинг электрик жиҳозлари қаттиқ, эгилувчан

ва суяқ муҳитлар вазифасини ўтайди. 8. 1-шаклда тўқимачилик фабрикаларининг тайёрлов бўлимида ишлатиладиган ип ўраш машиналарининг двигателларини максимал ва минимал вақт ичида ишлаб туриш процессини тартибга солиш механизми кўрсатилган. Электрик механизмлар тўқув, ип охорлов ва тўқимачилик саноатининг турли машиналарида кўп ишлатилади.

Бундай электрик механизмларнинг афзаллиги шундаки, уларнинг таркибига кирадиган етакланувчи звенолар электрик жиҳозлар ёрдами билан тез тўхталиши ёки тез ҳаракатга келтирилиши мумкин. Электрик механизмлар контрол ишларида

ва турли процессларни ёзиб олиш ишларида айниқса самарали натижалар беради.



8.1-шакл. Электрик механизм:

1 — кулачок; 2 — ролик; 3 — рычаг; 4 — пружина; 5 — тортиқ; 6 — контакт кнопкалари ўрнатилган аъво; 7 — контактлар.

II боб.

МЕХАНИЗМАРНИНГ ТУЗИЛИШИ

1-§. Боғланишлар тўғрисида умумий тушунча

Қўйилган кучлар таъсирида ихтиёрый ҳаракат қиладиган материал нуқта эркин нуқта деб аталади. Агар шу таъсир этувчи кучлар маълум бўлса, у ҳолда материал нуқта траекторияси ҳаракатнинг бошланғич шартларига боғлиқ бўлади. Материал нуқтанинг фазодаги ҳаракати, бирор геометрик ва кинематик характердаги шартлар билан чеклаб қўйилса, бундай материал нуқта эркин нуқта деб аталади. Нуқтанинг эркин ҳаракатини чеклаб турувчи шартлар (шароитлар) боғланишлар деб аталади.

Оддий геометрик характердаги боғланишга ҳаво оқими кучлари таъсирида пахтанинг ҳаракатини йўналтирувчи трубалар мисол бўла олади.

Қўйилган боғланишларга тўлиқ механик характеристика бериш учун боғланишлар турли белгиларига қараб маълум классларга ажратилади. Шу нуқтан назардан боғланишлар қуйидагиларга бўлинади:

1. Голономли боғланишлар — материал нуқтага қўйилган боғланишлар унинг фазодаги ҳаракатигагина чек қўйиб, тезлигини чекламаса, бундай боғланишлар голономли ёки гометрик боғланишлар деб аталади. Материал нуқта тенгламаси $\psi(x, y, z) = 0$ бўлган фақат бирор сирт устида ҳаракатланса, у ҳолда шу сиртнинг тенгламаси боғланиш тенгламаси деб аталади. Бу ҳолда материал нуқтанинг координаталари ихтиёрий бўлмай, нуқтанинг шу сирт устида доимий қолиши таъминланиши учун, бу координаталар тенгламани қаноатлантириши керак. Голономли боғланишларга бўйсунадиган механик системалар голономли системалар деб аталади. $\psi(x, y, z) = 0$ кўринишидаги голономли боғланиш тезликнинг йўналишини чеклаши ҳам мумкин, яъни тезлик сиртнинг исталган томонига йўналмай, балки унинг маълум бир соҳаси бўйлаб йўналган бўлади. Голономли боғланиш интегралланувчи боғланиш бўлади. Нуқтанинг тезлиги ҳамма вақт сиртга уринма бўлади.

2. Голономсиз боғланишлар. Устида материал нуқта доимо ҳаракатланувчи сирт вақт ўтиши билан ўз шаклини ўзгартирса, у ҳолда шу сиртнинг тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\psi(x, y, z, t) = 0 \quad (2. 1)$$

(2. 1) боғланиш нуқта тезлигининг фақат уринма текисликка тик қисмига чек қўяди, уринма текисликда ётувчи тезлик ихтиёрий бўлиши мумкин. Бундай ҳолдаги боғланиш нуқтанинг ҳолатини ва унинг тезлигини чеклайди.

Шундай қилиб, агар материал нуқтага қўйилган боғланишлар унинг фазодаги ҳолатини ва тезлигини чекласа, у ҳолда бундай боғланишлар голономсиз ёки кинематик боғланишлар деб аталади.

Голономсиз боғланишларнинг математик ифодаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\psi\left(x, y, z, \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}, t\right) \quad (2. 2)$$

3. Ушлаб турувчи ёки ажралмас боғланишлар. Агар материал нуқта ҳаракатига, берилган боғланишлар тенгламасига бўйсуниб, у ҳамма вақт, шу сирт ёки чизик устида қолса, бундай боғланишлар ушлаб турувчи ёки ажралмас боғланишлар деб аталади. Бундай боғланишларнинг математик ифодалари (2. 1) ва (2. 2) кўринишда бўлиши мумкин.

4. Ушлаб турмовчи ёки ажралувчи боғланишлар материал нуқта ҳаракати вақтида сиртдан ёки чизиқдан ажралади. Бундай боғланишлар фақат фаза соҳасини чеклайди, холос ва материал нуқта шу чегарадан чиқмайди.

Агар координата боши R радиусли сфера марказига жойлашган бўлиб, материал нуқта сирт ичида ва сиртнинг ички тарафида ҳаракат қилса, у ҳолда боғланиш тенгламасининг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$R^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0 \quad (2. 3)$$

Агар материал нуқта сфера ташқарисида ҳаракатланса, унинг боғланиш тенгламаси қуйидаги математик кўринишда ёзилади:

$$R^2 - x^2 - y^2 - z^2 \leq 0 \quad (2. 4)$$

5. Стационар боғланишлар (ёки склероном боғланишлар). Бунда материал нуқтага қўйилган геометрик ёки кинематик боғланишлар вақтга ошқора боғлиқ бўлмайди, яъни улар ўз шаклини ва ҳолатини ўзгартирмайди. Масалан, айланада ҳаракатланувчи нуқта $x^2 + y^2 = R^2$ стационар боғланишга бўйсунади.

6. Стационармас боғланишлар (реоном боғланишлар). Бунда материал нуқтага қўйилган боғланиш, ошқора равишда, вақтга боғлиқ бўлади. Масалан, $R^2 \cdot (t - t_0)^2 - (x - v_0 \cdot t)^2 - y^2 = 0$ кўринишдаги боғланишда, нуқтанинг доимо маркази v_0 тезлик билан ox ўқида ҳаракатланувчи айланада қолиши учун, унинг радиуси вақтга пропорционал ўсиб туриши керак бўлар экан.

7. Идеал ва реал боғланишлар. Боғланиш эффектини реакция кучи билан алмаштириш мумкин. Агар ишқаланиш ҳисобга оливмаса, боғланиш сирти абсолют силлиқ бўлиб, реакция кучи сирт нормали бўйлаб йўналади. Бундай боғланиш идеал боғланиш деб аталади. Агар реакция кучи сирт нормалига маълум бурчак остида йўналса, у ҳолда сирт вадир-будур бўлади. Бундай боғланиш реал боғланиш деб аталади.

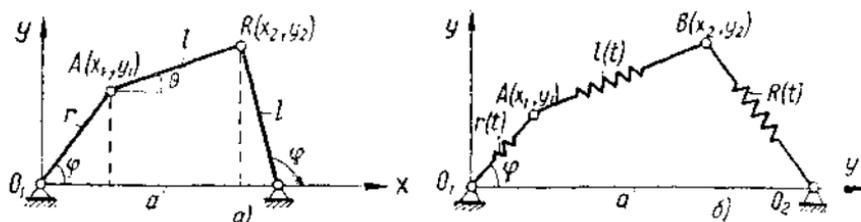
Мисол тариқасида қаттиқ звенолардан тузилган тўрт звеноли реал механизм озод бўлмаган стационар голономли система эканлигини уқтириб ўтамиз. Агар кривошипни r_1 , шатунни l , коромислонни r_2 ва қўзғалмас звенолар оралигини a билан белгиласак, у ҳолда боғланишлар тенгламалари қуйидагича бўлади:

$$x_1^2 + y_1^2 = r_1^2; (x_2 - a)^2 + y_2^2 = L; (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = l^2 \quad (2.5)$$

Худди шундай ўзгармас узунликка эга бўлган физик ва математик тебрангичлар ҳам стационар голономли механизм учун мисол бўла олади. Бундай механизмнинг боғланиш тенгламаси

$x^2 + y^2 = l^2$ бўлади. Агар тебрангич узунлиги ҳаракат вақтида ўзгарувчан бўлса, у стационарсиз голономли механизм бўлиб, боғланиш тенгلامаси $x^2 + y^2 = l^2(t)$ кўринишини олади (1.1-шакл а, б).

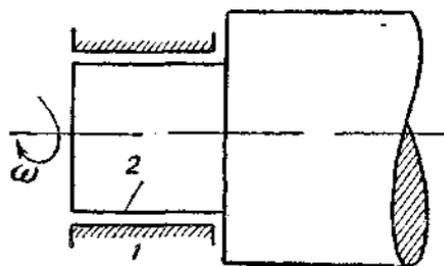
Энди кинематик жуфтлар ва уларнинг хоссалари тўғрисида қисқача маълумот бериб ўтамиз.



1.1-шакл.

Бирн иккинчисига ёки, аксинча, иккинчиси биринчисига нисбатан ҳаракат қила оладиган икки звенонинг қўшилмаси *кинематик жуфт* деб аталади. Икки звенонинг бир-бири билан қўшилган (тегишиб турган) ерлари жуфтнинг элементлари дейилади.

Ҳар қандай механизм ҳам бир неча звенонинг бир-бири билан



1.2-шакл. Айланма кинематик жуфт:

1 — подшипник; 2 — учи (шип).

маълум тартибда қўшилишидан ҳосил бўлади. Механизм таркибига кирувчи звеноларнинг ҳар бири маълум тартибда ҳаракат қилиши шарт. Агар система таркибига кирувчи звенолар маълум тартибда ҳаракат қилмаса, у ҳолда, бундай система механизм бўлмай, тартибсиз ҳаракат қилувчи система бўлади.

Механизм таркибига кирувчи звеноларнинг иккитаси

кинематик жуфт ҳосил қилади. Рус олимларидан Х. И. Гохман, А. П. Малишев, В. В. Добровольский ва И. И. Артоболевский кинематик жуфтлар назариясига асос солдилар.

Звеноларни кинематик жуфтлар орқали бир-бирига қўшиш йўллари хилма-хилдир. Масалан, валнинг учи (шип) подшипникда фақат айланма ҳаракат қилади (1.2-шакл). Бу ерда валнинг учи подшипник билан цилиндрик сўрт орқали қўшилиб, кинематик жуфт ҳосил қилади. Учнинг сўртқи цилиндрик юзаси подшип-

никнинг ички цилиндрик юзаси билан қўшилган. Иккала звено (уч билан подшипник) бир-бирига цилиндрик юза орқали тегиб туради. Ана шу тегиб турган сиртлар *жуфтнинг элементлари* деб аталади. Шаклдан кўриниб турибдики, вал подшипникда фақат айланма ҳаракат қила олади. Агар вал билан подшипник эркин звенолар деб қаралса, уларнинг эркинлик даражалари жуфтининг эркинлик даражасидан ортиқ бўлади. Шундай қилиб, иккита эркин звено (уч ва подшипник) бир-бири билан кинематик жуфт ҳосил қилиб, ўз эркинлик даражаларини йўқотади, бошқача қилиб айтганда, кинематик жуфт таркибига кирувчи звеноларнинг нисбий ҳаракатига маълум даражада чек қўйилади. Ана шу кинематик жуфт таркибига кирган звеноларнинг нисбий ҳаракатига қўйилган чек кинематик жуфтлардаги *боғланиш шартлари* деб аталади.

Боғланиш шартлари кинематик жуфтлардаги элементларга онд нуқталарнинг координаталари билан боғлиқ бўлган математик кўринишда берилган бўлиши ҳам мумкин. Механизм таркибига кирувчи звенолар илгариллама, айланма ва мураккаб ҳаракат қилиши мумкин. Ҳаракатнинг бундай турлари кинематик жуфтлар таркибидаги звеноларнинг нисбий ҳаракатларига қўйилган чекларга қараб бўлади.

Кинематик жуфтлар звеноларнинг нисбий ҳаракатига қўйилган чеклар (боғланишлар) сонига қараб классларга бўлинади.

2-§. Кинематик жуфтларнинг классификацияси

Совет олимларидан академик И. И. Артоболовский кинематик жуфтларни маълум классларга бўлиб, кинематик жуфтлар классификациясини тузди. Бу классификация кинематик жуфт таркибига кирувчи звеноларнинг нисбий ҳаракатига қўйилган чеклар сонига қараб тузилади. СССР Фанлар академиясининг корреспондент аъзоси марҳум В. В. Добровольский кинематик жуфт таркибига кирувчи звеноларнинг эркинлик даражасига қараб, уларни турларга бўлди. Фазода кинематик жуфтлар беш хил классга ёки беш хил турга, текисликда эса икки классга (икки турга) бўлинади.

Биз бу дарсликда академик И. И. Артоболовскийнинг кинематик жуфтлар классификацияси билан танишамиз.

Голономли боғланишга бўйсунувчи бирор объектнинг фазодаги ҳолатини аниқловчи, бир-бирига боғлиқсиз параметрлар сони шу объектнинг эркинлик даражаси дейилади. Декартнинг текисликдаги координаталар системасида озод нуқтанинг эркинлик даражаси иккига тенг, чунки нуқта координаталарини (вазиратини) бир-бирига боғлиқ бўлмаган x ва y лар аниқлайди. Агар шу нуқта фазода бўлса, унинг вазиратини бир-бирига боғлиқсиз x , y , z па-

раметрлари билан аниқлаб, эркинлик даражаси учта эканлигини билиш қийин эмас.

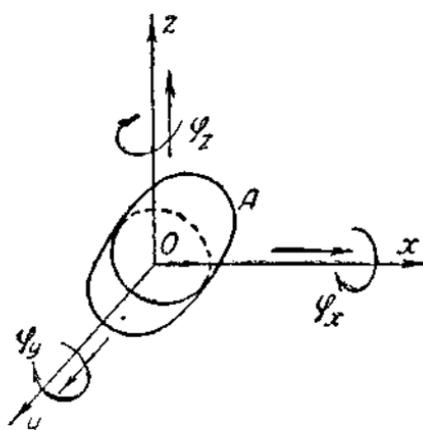
Агар озод жисм текисликда ҳаракат қилса, шу жисмга тегишли икки нуқтанинг ҳаракати бизга жисм ҳаракатининг тўла ифодаланиши қаттиқ жисм назарий механикасида маълум. Бу икки нуқта оралиги ўзгармас бўлиб, унинг боғланиш тенгламаси текисликда ва фазода қуйидагича ифодаланади:

$$\begin{aligned}(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 &= l^2 \\ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 &= l^2\end{aligned}\quad (2.6)$$

Икки нуқтанинг координаталари тўртта бўлиб, улар бир-бири билан (2.6) тенгламадаги боғланиш шarti орқали алоқада бўлади.

Демак, текисликдаги озод жисмнинг эркинлик даражаси учта тенг экан.

Эркин жисмнинг фазодаги вазияти уч нуқта билан ифодаланиши бизга маълум. Агар уч нуқта бир-бирига боғлиқсиз бўлса, уларнинг эркинлик даражаси 9 та бўлади. Учала нуқта бир-бирига учта тўғри чизиқ билан ва учала нуқта бир-бирига (2.6) тенгламадаги каби учта боғланиш тенгламаси билан боғланганлигини эътиборга олсак, фазодаги жисмнинг эркинлик даражаси 6 та эканлигини ҳисоблаб топиш қийин эмас.



2.1-шакл. Фазодаги эркин жисм.

Энди, кинематик жуфтлар таркибидаги звеноларнинг нисбий ҳаракатига қандай боғланишлар қўйилиши ва уларнинг сони қанча бўлишини текшириб чиқамиз.

Умумий ҳолда фазода ҳаракат қилаётган ҳар қандай қаттиқ жисмнинг эркинлик даражаси 6 та бўлиб, улардан учтаси x , y , z ўқлари бўйлаб

илгарилема ҳаракатдан, учтаси эса шу ўқлар атрофида айланма ҳаракатдан иборат бўлиши мумкин (2.1-шакл).

Шундай қилиб, фазодаги ҳар бир звено вазиятини 9 та координата орқали ифодаласак, текисликдаги звенонинг вазиятини 4 та координата орқали ифодалаш мумкин. Агар n та звено бўлса, у ҳолда, фазодаги n та звено вазияти $9n$ та координата орқали, текисликдаги n та звенонинг вазияти эса $4n$ та координата орқали ифодаланади.

Агар бу координаталар бир-бири билан ҳеч қандай боғланиш орқали чекланмаган бўлса, у ҳолда, текисликда уларнинг эркинлик даражалари $4n - n$ бўлиб, фазода $9n - 3n$ бўлади. Аксинча, текисликдаги звенолар системаси $4n$ та боғланиш орқали, фазодаги звенолар системаси эса $9n$ та боғланиш орқали чекланган бўлса, звенолар системаси қаттиқ жисмга айланади, яъни уларнинг эркинлик даражаси нолга тенг бўлади.

Шундай қилиб, системанинг қўзғалувчанлиги шу системанинг координаталари сони билан уларга қўйилган боғланишлар сонининг айирмаси орқали белгиланади. Бу айирма системанинг *эркинлик даражаси* деб аталади.

Бинобарин, абсолют қаттиқ жисмга ҳеч қандай чекланиш қўйилмаса, шу жисм ташлаб олинган x, y, z системасида олтига томонга ҳаракат қила олар экан. Агар шу эркин жисм бошқа бир жисм билан кинематик жуфт ҳосил қилса, унинг нисбий ҳаракатига маълум даражада чек қўйилади. Нисбий ҳаракатга қўйилган чеклар сони олтидан кам бўлиши керак. Агар олтига бўлса, кинематик жуфтлик хусусияти йўқолиб, жуфт қаттиқ, нисбий ҳаракатсиз жисмга айланади. Агар нисбий ҳаракатга қўйилган боғланишлар сони бирдан кичик бўлса, у ҳолда, кинематик жуфт бўлмайди, чунки, икки жисм бир-бирига жипсе ҳолда ҳаракатланади. Шундай қилиб, боғланишлар сони 1—5 чегарасида ўзгарар экан. Агар биз кинематик жуфт таркибдаги звенонинг нисбий ҳаракатидаги эркинлик даражасини H билан, боғланиш шартлари сонини C билан белгиласак, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$C + H = 6 \quad (2.7)$$

(2.7) формуладан кинематик жуфт звеносининг нисбий ҳаракатига қўйилган боғланиш шартлари билан шу жуфт звеноси нисбий ҳаракатининг эркинлик даражаси фақат 1 дан 5 гача ўзгаришини кўриш қийин эмас.

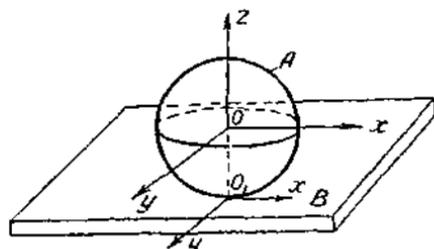
Бутун кинематик жуфтлар, улар таркибдаги звеноларнинг нисбий ҳаракатига қўйилган чеклар сонига қараб, бешта классга бўлинишини кўриб чиқамиз. (2.7) тенгламадан боғланишлар сонини аниқлаймиз:

$$C = 6 - H \quad (2.8)$$

(2.8) тенгламадан фойдаланиб, кинематик жуфтларнинг классларига оид мисолларни кўриб чиқамиз.

Текислик устида шар турибди, деб фараз қилайлик (2.2-шакл). Шар билан текислик биргаликда кинематик жуфт ҳосил қилади. Шар A ҳарфи билан, текислик эса B ҳарфи билан белгиланган. Шар текисликда учта x, y, z ўқлари атрофида айланма ҳаракат ва x, y ўқлари бўйлаб илгарилама ҳаракат қилиши мум-

кин. Шар z ўқи бўйлаб пастга томон ҳаракат қила олмайди, чунки, унинг ҳаракатига текислик тўсқинлик қилади. Демак, шар билан текислик орасида боғланиш ҳосил бўлди. Шарнинг фазодаги вазиятини ўзаро учта боғланиш тенгламаси билан боғланган 9 та координата орқали белгилаш мумкин.



2.2- шакл. I класс кинематик жуфт.

Шарни юқорига кўтариш ярамайди, акс ҳолда шар билан текислик орасидаги боғланиш бузилади ва жуфтлик йўқолади. Шундай қилиб, шарнинг 3 та ўқ атрофида айланма ва икки x , y ўқлари бўйлаб илгариланма ҳаракатини оламиз. Натижада, шар 5 хил ҳаракатда бўлади, бу эса шарнинг эркинлик даражаси сонини билдиради, бунда боғланиш тенгламалари сони қуйидагича бўлади:

$$C = 6 - N = 6 - 5 = 1$$

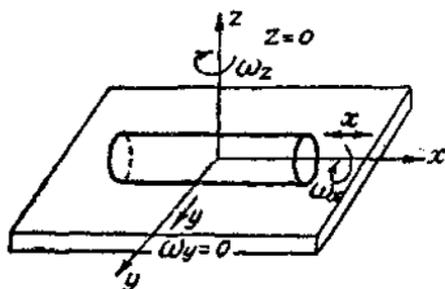
Шундай қилиб, шар билан текислик I класс жуфт ҳосил қилади.

Агар текислик устида цилиндр бўлса, бу цилиндр z ва x ўқлари атрофида айланма ҳаракат, x ва y ўқлари бўйлаб илгариланма ҳаракат қилади. Демак, кинематик жуфт звеноси бўлган цилиндрнинг эркинлик даражаси сони 4 га тенгдир (2. 3- шакл).

Цилиндрга қўйилган боғланиш шартларининг сони қуйидагича бўлади:

$$C = 6 - 4 = 2$$

Ўзиюбарин, баён қилинган кинематик жуфт II класс кинематик жуфтдир.



2.3- шакл. II класс кинематик жуфт.

I ва II класс кинематик жуфтлар баёнидан маълумки, кинематик жуфтларнинг қўзғалувчанлиги (H) жисм эркинлик даражаси билан боғланиш шартлари сони (C) нинг айирмасига тенг. Шундай қилиб, жуфтнинг қўзғалувчанлик даражаси сони етишмаган боғланиш шартлари сони бўлиб, боғланиш шартлари кинематик жуфтдаги звенолардан бирининг эркинлик даражасини камайтирувчи фактор экан.

Боғланишлар сони учга тенг бўлган кинематик жуфтни кўриб чиқайлик (2. 4-шакл). Сферик қобик ичига солинган шар бундай кинематик жуфтга мисол бўла олади.

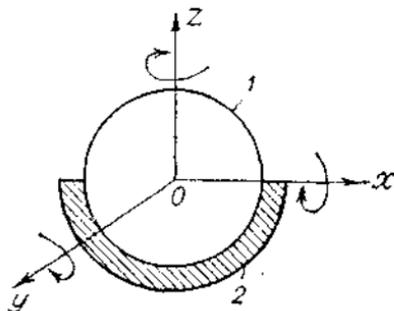
1 звено (шар) сиртқи юзаси билан 2 звенонинг ички юзасига доимо тегиб туриши ва звенолардан бири иккинчисига нисбатан фақат шу юзалар орқалигина нисбий ҳаракат қилиши мумкин. Бундай кинематик жуфт шарли шарнир деб аталади; бундай шарнир автомобиль, тикув машинаси ва бошқа машиналарда кўп ишлатилади.

1 звенонинг 2 звенoga нисбатан ёки 2 звенонинг 1 звенoga нисбатан ҳаракати фақат x , y , z ўқлари атрофида бўладиган айланма ҳаракатдан иборатдир. 1 звенонинг ёки 2 звенонинг нисбий илгариланма ҳаракатига чек қўйилган. Шундай қилиб, 2. 4-шаклда кўрсатилган кинематик жуфт звеносининг эркинлик даражаси учга тенгдир. Унга қўйилган боғланишлар сони қуйидагича бўлади:

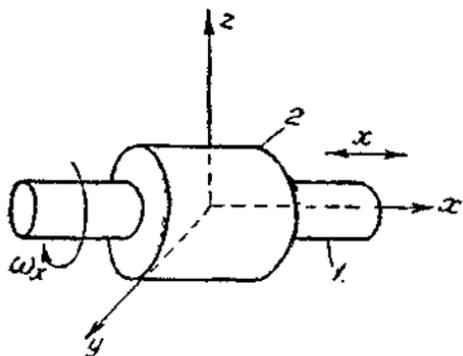
$$C = 6 - H = 6 - 3 = 3$$

Демак, ҳозиргина баён қилинган кинематик жуфт III класс жуфтга оид экан.

IV классга оид кинематик жуфтни кўриб чиқайлик. Ковак цилиндр ичига цилиндр жойланган, деб фараз қилайлик (2. 5-шакл). Шаклда кўрсатилган яхлит ва ковак цилиндрларнинг элементлари цилиндрик юзалар бўлиб, улардан бирининг



2.4-шакл. III класс кинематик жуфт.



2.5-шакл. IV класс кинематик жуфт.

юзаси (1 звеноники) сиртқи цилиндрик юза бўлса, иккинчисиники (2 звеноники) ички цилиндрик юзадир.

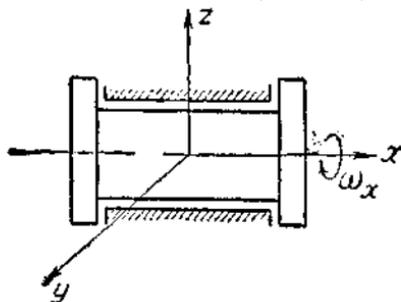
Иккала цилиндр ҳам кинематик жуфтнинг звенолари бўлиб, улар бир-бирига нисбатан фақат x ўқи атрофида айланма ҳаракат, шу ўқ бўйлаб эса илгариларча ҳаракат қила олади, холос. Демак, кинематик жуфт таркибидаги звенонинг эркинлик даражаси 2 га тенг экан. Эркинлик даражаси 2 га тенг бўлган кинематик жуфт звеносининг нисбий ҳаракатига қўйилган боғланишлар сони қуйидагича бўлади:

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

Бинобарин, бу кинематик жуфт IV классга оид экан.

V классга оид кинематик жуфтлар билан танишиб ўтайлик. Бунақа жуфтлар ҳозирги замон машина ва механизмларида жуда кўп учрайди.

V класс кинематик жуфтнинг кўриб чиқамиз (2. 6-шакл). Агар шу кинематик жуфт элементларидан бирининг нисбий ҳаракатига яна бир чек қўйсак, у ҳолда, жуфт звеносининг эркинлик даражаси (H) фақат битга бўлиб қолади. Агар x ўқи бўйлаб илгариларча ҳаракатига чек қўйсак, у ҳолда звено фақат шу ўқ атрофида айланади, борди-ю, айланма ҳаракатига чек қўйсак, звено фақат x ўқи бўйлаб илгариларча ҳаракат қилади (2. 6-шакл). Шундай қилиб, кинематик жуфт звеносига қўйилган боғланиш шартларининг сони қуйидагича бўлади:



2.6-шакл. V класс кинематик жуфт.

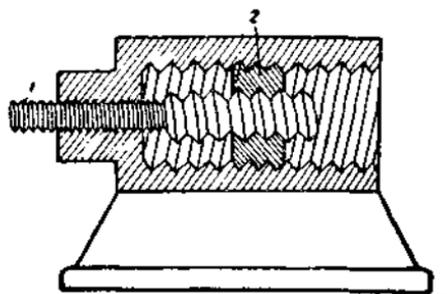
$$C = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

Демак, 2. 6-шаклда кўрсатилган кинематик жуфт V классга оид экан.

Шаклда кўрсатилган V класс кинематик жуфтнинг элементлари ички ва сиртқи цилиндрик юзалар билан бир қаторда, уларнинг ён томонларига ўрнатилган чекланиш ташкил қилган текисликдан ҳам иборатдир.

Юқоридики баён қилинган кинематик жуфтлар таркибидаги звеноларнинг оний нисбий ҳаракатлари бир-бирига боғлиқ эмас. Аммо ҳозирги замон техникасида ишлатилаётган машина ва механизмлар таркибида звеноларнинг мумкин бўлган оний нисбий ҳаракатлари бир-бирига боғлиқ, яъни бир-бири билан бирор қўшимча тенглама орқали боғланган кинематик жуфтлар ҳам кўп учрайди. Масалан, 2. 5-шаклда кўрсатилган IV класс кинематик жуфтни

олайлик. Бу кинематик жуфтнинг таркибдаги звенолар бир-бирига нисбатан илгарилама ва айланма ҳаракат қилса ҳам, уларнинг нисбий ҳаракатлари бир-бири билан бирор қўшимча шарт орқали боғланмаган. Агар кинематик жуфтнинг (2. 5-шакл) таркибдаги звеноларнинг бири гайка ва иккинчиси винт бўлса (2. 7-шакл), гайка ёки винтнинг бир айланишига ихтиёрий илгариланма ҳаракат тўғри келмай, балки бу ҳаракат $h = f(\varphi)$ тенгламаси билан боғланган бўлади. Шундай қилиб, винтли жуфт ҳам V классга онддир. 2. 8-шаклдан қуйидаги тенгламани ёзамиз:



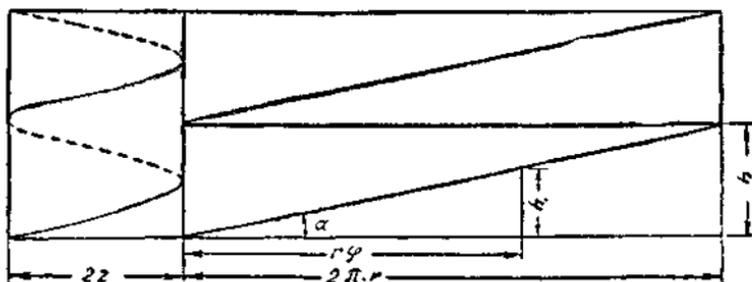
2.7- шакл. V класс винтли жуфт.

$$h_1 = h \cdot \frac{\varphi}{2\pi}$$

бу тенгламада h — винтнинг қадами;

φ — звенолардан бирининг айланиш бурчаги.

Агар 2. 7- шаклдаги винтни $\varphi = 2\pi$ га тўла айлантирсак, шу зveno (винт) xx ўқи бўйлаб $h_1 = h$ га кўтарилишини формуладан ҳисоблаб топиш қийин эмас.



2.8- шакл. Винтнинг ёйилмаси

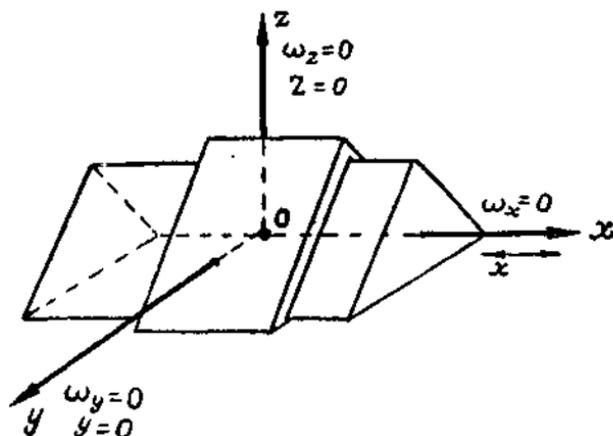
2. 8- шаклдан қуйидагиси ёзиш мумкин:

$$h_1 = \varphi \cdot r \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

α ва r ўзгармас сон бўлгани учун $r \cdot \operatorname{tg} \alpha = c = \operatorname{const}$ деб олиб, тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$h_1 = c \cdot \varphi. \quad (2. 4)$$

(2. 4) тенгламадан қуйидаги хулосани чиқариш мумкин: а) агар $\alpha = 0$ бўлса, $h_1 = 0$ бўлади, бу ҳолда, кинематик жуфт xx ўқи иттиқлигида фақат айланма ҳаракатда бўлади. Шундай қилиб, винтли жуфт юқорида кўриб ўтилган оддий айланма жуфтга айланади (2. 6-шакл); б) агар $\alpha = \frac{\pi}{2}$ бўлса, винт ўрама xx ўқига параллел, ($\text{tg } \alpha = \infty$) ва $r \cdot \varphi = 0$ бўлади. Демак, айланма ҳаракат бўлмай ($\varphi = 0$), фақат илгариланма ҳаракат қолади. Шундай қилиб, бу ҳол учун винтли кинематик жуфт ўрнига V класс илгариланма кинематик жуфт ҳосил бўлади (2. 9-шакл).



2.9-шакл. V класс илгариланма кинематик жуфт

Юқорида баён қилинган бешта класс кинематик жуфтларнинг биринчи классдан бошқаларининг ҳар хил кўринишлари бор. Бу кўринишлар кинематик жуфт таркибига кирувчи звенолар нисбий ҳаракатларининг айланма ёки илгариланма бўлишига боғлиқдир. Мисалан, II класс кинематик жуфтнинг икки хил кўриниши, III класс кинематик жуфтнинг уч хил кўриниши, IV класс кинематик жуфтнинг икки хил кўриниши ва V класс кинематик жуфтнинг уч хил кўриниши бўлади (айланма, илгариланма ҳамда иттиқли жуфтлар).

Кинематик жуфтлар қуйи ва олий жуфтларга бўлинади. Кинематик жуфт элементлари бир-бирига текислик ёки сирт орқали тегишиб турса, бундай жуфт қуйи кинематик жуфт деб, агар элементлари нуқта ёки чизиқ орқали тегишиб турса, бундай жуфт олий кинематик жуфт деб аталади.

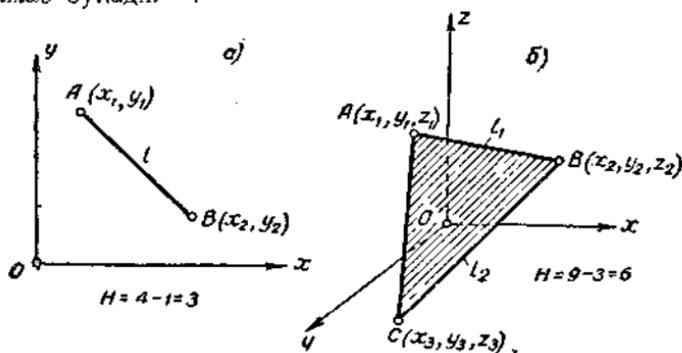
Кинематик жуфтлардаги элементлар бир-бирига доимо тегиб туриши учун жуфтлар ёпиқ бўлиши керак. Кинематик жуфтлар

икки йўл билан, яъни кинематик ва куч орқали ёпилиши 2- параграфда айтиб ўтилган эди.

Жуфт шу жуфт элементларининг конструкцияси орқали кинематик ёпилади. Жуфтларни куч билан ёпиш оғирлик кучлари, пружиналар ва бошқа воситалар орқали амалга оширилади (2. 5-шакл, 1 боб). 1 бобдаги 2.5-шаклда толкатель деб аталувчи 4 звенонинг B нуқтасидаги роликни пружинанинг F кучи кулачок профилига доимо сиқиб туради.

Кинематик жуфтларнинг нормал ишлаши учун уларнинг кинематик ёпилиши шарт. Кинематик бириктирилган жуфтлар куч билан ёпилган жуфтлардан афзалдир.

Олий кинематик жуфтлардаги боғланиш нуқталарининг бири-бирига nisbatan олинган ҳаракат траекториялари турлича бўлади. Масалан, тўғри чизиқ билан доира олий жуфт ҳосил қилиб, уларнинг тегишиб турган нуқтаси доиранинг тўғри чизиққа nisbatan ҳаракатида циклоида чиқса, тўғри чизиқнинг доирага nisbatan ҳаракатида эвольвента чиқади. Қуйи жуфтларда бундай ҳолат бўлмайди. Шунинг учун, nisбий ҳаракатдаги боғланиш нуқтаси траекториясига кўра, қуйи жуфтлар қайтар, олий жуфтлар эса қайтмас бўлади.



2.11-шакл. Эркин жисмнинг текисликдаги ва фазодаги вазиятини белгиловчи координаталар.

2. 11-шакл, а да текисликдаги эркин жисм вазиятини белгиловчи икки нуқта берилган. Бу икки нуқта бири-бири билан (2.6) тенгламадаги боғланиш шarti орқали боғланган. Агар A ва B нуқталарининг умумий координаталари сонидан боғланиш сони айирилса, текисликдаги эркин жисмнинг эркинлик даражаси чиқади.

2. 11-шакл, б да фазодаги эркин жисм учун кўрсатилган A , B , C нуқталар бири-бири билан (2.6) тенгламадаги каби, аммо 3 та боғланиш шarti орқали боғланган.

3-§. Деталь ва звенолар. Кинематик жуфтларнинг шартли белгилари

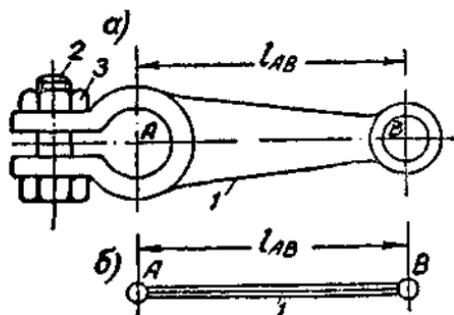
Ҳар қандай машина ёки механизм айрим қисмлардан иборат бўлади. Ана шу қисмлар деталлар деб аталади. Деталлар жумласига болт, гайка, винг, шестерня, шкив ва бошқа қисмлар кирadi. Ҳар бир деталнинг махсус йўл билан ҳисоблаб топилган ўлчамлари бўлади. Масалан, туқув автоматининг тирсақли валини олсак, бу вал маълум узунликка, диаметрга, тирсақ радиусига ва оғирликка эгадир.

Машина ва механизмлар таркибида оғирлиги ва ҳажми жуда ҳам кичик деталлар билан бир қаторда салмоқи жуда ҳам катта бўлган деталлар ҳам кўпчилик учрайди. Масалан, Биртектонин ГЭС турбинаси шпидерининг оғирлиги 420 тонна бўлиб, турбина валининг диаметри 1,5 метр, унинг узунлиги эса 12,5 метр. Шундай прокат станлари борки, улардаги сиқувчи валнинг (блониинг) оғирлиги 29550 килограмм, шеврон тишли валнинг оғирлиги 23500 кг дан 26000 кг гача бўлади.

Бир ёки бир неча деталнинг мустақкам бирикмаси звено бўлади (3. 1-шакл). Звенонинг хусусий ҳоли деталдир. 3. 1-шакл, а да шатун деб аталувчи звено тасвирланган. Бу звено асосан уч қисмдан (уч деталдан): шатун (1), болт (2) ва гайка (3) дан иборат. 3. 1-шакл, б да шу звенонинг кинематик схемаси тасвирланган. Бундан буён механизмларнинг таркибидаги деталь ёки звенолар схемасини чизишда улар ана шундай шартли белгилар билан тасвирланади.

Механизмлар назариясини ўрганишда, асосан, механизмнинг кинематик схемаларини туза билиш катта аҳамиятга эгадир. Одатда, механизм таркибидаги звенолар (ёки деталлар) ва кинематик жуфтлар конструктив жиҳатдан ишлаб чиқилган ва технологик процессга мослаштирилган махсус шаклларга (конфигурацияларга) мувофиқлаштирилади. Деталлар, звенолар ёки кинематик жуфтларнинг конструктив шакллари бизни қизиқтирмайди. 3. 2-шаклда звено, деталлар ва уларнинг схематик тасвири кўрсатилган.

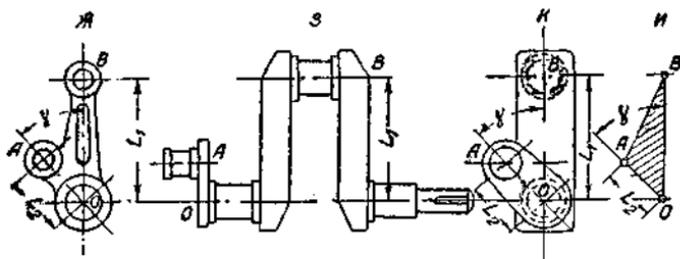
Биз механизмларнинг кинематик схемасини ўрганишдан аввал, улар таркибига кирувчи звено, звенолар туркуми ва техникада



3.1-шакл. Звено (а) ва унинг кинематик схемаси (б).

кўп учрайдиган айрим механизмларнинг шартли кинематик тасвирлари билан танишиб чиқсак, маъқулроқ бўлади. Бундай кинематик схемалар I-жадвалда кўрсатилган.

Дарсликнинг навбатдаги бобларига ўтишдан аввал, китобхонга I-жадвалда кўрсатилган шартли белгилар билан танишиб чи-

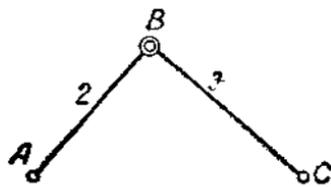


8.2-шакл. Деталлар (ж, з, к) ва уларнинг схематик тасвири (и).

қиш тавсия қилинади. Китобхон жадвалдаги шартли белгилар билан танишиб чиқса, звенолар, элементар механизмлар ва кинематик занжирлар тўғрисида тўла тасаввурга эга бўлади.

4-§. Кинематик занжирлар ва уларнинг турлари

Бир неча звенонинг кинематик жуфтлар воситаси билан бирикишидан (боғланишидан) ҳосил бўлган қўзғалувчи система *кинематик занжир* деб аталади. Масалан, 2 ва 3 звенолар V класс айланма кинематик жуфт орқали *B* нуқтада боғланиб, кинематик занжир ҳосил қилади (4. 1-шакл).



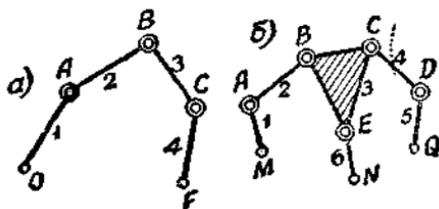
4.1-шакл. Икки поводокли группа.

Шаклда кўрсатилган звеноларда икки ҳол бўлиши мумкин: биринчидан, звеноларнинг иккаласи ҳам қўзғалувчан бўлиб, бир-бирига нисбатан айланма ҳаракат қила олади ва, иккинчидан, звеноларнинг бири қўзғалмас бўлиб, иккинчиси биринчисига нисбатан (ёки, аксинча, биринчиси иккинчисига нисбатан) *B* шарнир воситасида айланма ҳаракат қилади. Шаклдаги кинематик занжир занжирлар (ичида энг оддийси бўлиб, бундай кинематик занжирлар ҳозирги замон машина ва механизмлари таркибида жуда кўп учрайди.

Юқорида баён этилган занжирдаги кинематик жуфт ўз тузилишига кўра, олий ва қуйи жуфт бўлиши мумкин. *A* ва *C* кинематик жуфтларнинг элементлари эркин элементлардир.

Кинематик занжирлар, таркибидаги звенолар хилига кўра оддий ва мураккаб занжирларга бўлинади. Агар кинематик занжир таркибига кирувчи звеноларнинг бири фақат иккитадан кинематик жуфтга кирса, бундай занжир *оддий* занжир деб, кинематик занжир таркибидаги звеноларнинг бири иккитадан ортиқ кинематик жуфтга қўшилса, бундай занжир *мураккаб* занжир деб аталади (4. 2-шакл, *a* ва *b*).

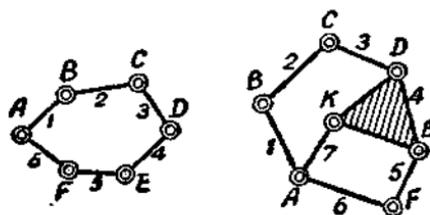
4. 2-шакл, *a* даги кинематик занжир 4. 1-шаклдаги кинематик занжирнинг *A* ва *C* эркин элементларига *1* ва *4* звеноларнинг қўшилишидан ҳосил бўлган. Шундай қилиб, ҳосил қилинган *4* звеноли кинематик занжир оддий очиқ занжир бўлиб, унинг *O* ва *F* элементлари ҳам эркин элементлардир. 4.2-шакл, *b* да эркин элементлар *M*, *N* ва *Q* лардир.



4.2-шакл. Оддий (*a*) ва мураккаб (*b*) очиқ кинематик занжирлар.

4. 2-шаклдаги тасвирга кўра, мураккаб кинематик занжирлар таркибида базисли звено бўлади, бу звено уч еридан кинематик жуфтга қўшилиши мумкин.

Занжирлар очиқ ва ёпиқ кинематик занжирларга бўлинади. Оддий ва мураккаб очиқ занжирлар 4. 2-шакл *a* ва *b* да кўрсатилган. Кинематик занжирлар таркибига кирувчи ҳар бир звено энг камида иккита кинематик жуфтга қўшилса, бундай занжирлар ёпиқ занжирлар деб аталади (4. 3-шакл).



4.3-шакл. Оддий ва мураккаб ёпиқ кинематик занжирлар.

Ёпиқ кинематик занжирларда эркин элементларнинг бўлмаслиги шаклдан кўриниб турибди. 4. 3-шаклдаги оддий ёпиқ кинематик занжир олтига звено ва олтига кинематик жуфтдан иборатдир.

4. 3-шаклдаги мураккаб ёпиқ кинематик занжирда звенолар сони *7* та, кинематик жуфтлар сони эса *8* та, чунки *A* нуқтада *1*, *6*, *7* звенолар кинематик жуфт ҳосил қилган. Бундай ҳолларда *A* нуқтада иккита кинематик жуфт бўлади.

Шартли белгилар

Тартиб номери	Белгиларнинг тури	Шартли белгилар	Тартиб номери	Белгиларнинг тури	Шартли белгилар
1	Бир томонга тўғри чизиқли йўналиш		12	Кривошип (2)нинг қўзғалмас звено (1) билан V кл. айланма кинематик жуфт орқали бирикishi	
2	Тўғри чизиқли алгариланма-қайтар ҳаракат		13	Звенонинг қўзғалмас звено билан шарли шарнир орқали бирикishi	
8	Бир томонга бўладиган айланма ҳаракат		14	Валли ўқ бўйлаб сирғанишидан сақлаш (фиксациялаш)	
4	Ўқ атрофида бўладиган тебранма ҳаракат		15	Тирсакли валнинг шатун билан бирикishi	
5	Валларнинг подшипникда айланиши		16	Шагун билан ползуннинг V кл. айланма жуфт орқали бирикishi	
6	Ползуннинг қўзғалмас йўналтирувчида тўғри чизиқли ҳаракати		17	Цилиндрик (a) ва конус (б) шестернялар	
7	Қўзғалмас звено		18	Гидравликнинг валга қаттиқ (a) ва бўш ўриятилиши (б)	
8	Икки звенонинг қўзғалмас бирикishi		19	Тасмални узатма	
9	Икки звенонинг V кл. айланма кинематик жуфт орқали бирикishi (шарнирли бирикма)		20	Запжирли узатма	
10	Икки звенонинг шарли шарнир орқали бирикishi				
11	Базисли звенонинг V кл. айланма кинематик жуфт орқали бирикishi				

1- жадвалнинг давоми.

Тартиб номери	Белгиларнинг тури	Шартли белгилар	Тартиб номери	Белгиларнинг тури	Шартли белгилар
21	Эркин элементли группа (A, C)		24	Рейкали меҳанизм	
22	Кулисалли группа		25	Кулисалли меҳанизм	
23	Кулачочли меҳанизм		26	Кривошип-шатунли меҳанизм	

5- §. Кинематик занжирнинг эркинлик даражаси

Кинематик занжирлар бир неча звенонинг кинематик жуфтлар воситасида бириктиридан ҳосил бўлиши юқорида айтиб ўтилган эди (II боб, 4- §). Рус олимларидан профессор П. И. Сомов кинематик занжирларнинг тузилиш назариясига асос солди.

Кинематик занжирнинг қўзғалувчанлик даражасини H десак, H билан кинематик занжир таркибидаги звенолар сони K ва турли класс кинематик жуфтлар сони орасидаги боғланишни аниқлаймиз. Кинематик занжир таркибига кириши лозим бўлган звенолар сонини K деб фараз қилайлик. K та звенонинг ҳар бири фазода олти эркинлик даражасига эга эканлиги бизга маълум (2- параграфга қаранг, II боб).

K та звенонинг кинематик жуфтларга киришмасидан илгари умумий эркинлик даражаси $6 \cdot K$ бўлади. Агар K та звенодан тузилган кинематик занжир таркибида юқорида (2- параграфда) баён этилган I, II, III, IV ва V класс кинематик жуфтлар бор деб фараз қилсак ва шу кинематик жуфтлар сонини тегишлича P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ва P_5 ҳарфлари билан белгиласак, у ҳолда, кинематик занжирнинг умумий эркинлик даражаси қуйидаги формула билан аниқланади:

$$H = 6 \cdot K - 5 \cdot P_5 - 4 \cdot P_4 - 3 \cdot P_3 - 2 \cdot P_2 - 1 \cdot P_1 \quad (2.9)$$

бу формулада: H — кинематик занжирнинг эркинлик даражаси;

K — кинематик занжир таркибига кирувчи звеноларнинг умумий сони;

- P_5 — кинематик занжир таркибидаги V класс кинематик жуфтлар сони (уларнинг ҳар бири 5 тадан эркинлик даражасини йўқотади);
- P_4 — кинематик занжир таркибидаги IV класс кинематик жуфтлар сони (уларнинг ҳар бирига 4 тадан боғланиш қўйилган);
- P_3 — кинематик занжир таркибидаги III класс кинематик жуфтлар сони (уларнинг ҳар бирига 3 тадан боғланиш қўйилган);
- P_2 — кинематик занжир таркибидаги II класс кинематик жуфтлар сони (уларнинг ҳар бирига 2 тадан боғланиш қўйилган);
- P_1 — кинематик занжир таркибидаги I класс кинематик жуфтлар сони (уларнинг ҳар бирига 1 тадан боғланиш қўйилган).

Агар кинематик занжир текисликда бўлса, у ҳолда, (2. 9) формула қуйидагича ёзилади:

$$H = 3 \cdot K - 2 \cdot P_5 - 1 \cdot P_4 \quad (2. 10)$$

Ҳозирги замон техникасида учрайдиган кинематик занжирлар таркибига кирувчи звенолардан бири қўзғалмас бўлиб, фазода олти эркинлик даражасини йўқотса, текисликда учта эркинлик даражасини йўқотади. Демак, бир звеноси қўзғалмас бўлган кинематик занжирнинг қўзғалувчанлик даражаси қуйидагича аниқланади:

$$W = H - 6 = 6 \cdot (K - 1) - 5 \cdot P_5 - 4 \cdot P_4 - 3 \cdot P_3 - 2 \cdot P_2 - 1 \cdot P_1$$

$K - 1 = n$ деб олсак, юқоридаги тенглама қуйидагича ёзилади:

$$W = 6 \cdot n - 5 \cdot P_5 - 4 \cdot P_4 - 3 \cdot P_3 - 2 \cdot P_2 - 1 \cdot P_1 \quad (2. 11)$$

бу ерда, W — бир звеноси қўзғалмас бўлган кинематик занжирнинг қўзғалувчанлик даражаси;

n — кинематик занжирдаги қўзғалувчан звенолар сони.

(2. 11) формула бир звеноси қўзғалмас бўлган кинематик занжирнинг умумий ҳолдаги қўзғалувчанлик формуласи ёки структура формуласи деб аталади. Бу формула Сомов-Малишев формуласидир.

6. §. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмларнинг тузилиш формуласи (академик П. А. Чебишев формуласи)

Кинематик занжирлар таркибига кирувчи звенолардан бирини маҳкамлаб қўйиш йўли билан механизмлар ҳосил қилинади. Ҳар қандай механизмда ҳаракат қонуни берилган звенолар ва ҳаракат қонуналарини топиш лозим бўлган звенолар бўлади. Шундай қилиб, ҳаракат қонунари берилган (маълум бўлган) звенолар *етакловчи звенолар*, *етакловчи звенолар* ҳаракат қонунарига қараб

аниқланиши лозим бўлган барча звенолар *етакланувчи звенолар* деб аталади. Демак, ҳар бир механизмда етакловчи ва етакланувчи звенолар бўлар экан. Энди, механизмга қуйидагича таъриф бериш мумкин:

Кинематик занжир таркибига кирувчи қўзғалмас бирор звенога нисбатан бир ёки бир неча звено муайян тартибда ҳаракатланган вақтда занжирнинг қолган звенолари ҳам маълум тартибли ҳаракат қилса, бундай кинематик занжир механизм деб аталади.

Текисликда ҳаракат қилувчи механизмларнинг тузилиши, кинематикаси ва динамикаси билангина танишиб чиқамиз. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмни қуйидагича таърифлаймиз.

Механизмлар таркибидаги барча звенолар бир текисликда ёки бир-бирига параллел текисликларда ҳаракат қилса, бундай механизмлар текисликда ҳаракат қилувчи (текис) механизмлар деб аталади.

Бундай механизмларнинг тузилиш формуласини рус академиги П. Л. Чебишев 1869 йилда жаҳонда биринчи бўлиб ишботлади. Бу формула қуйидагича ёзилади:

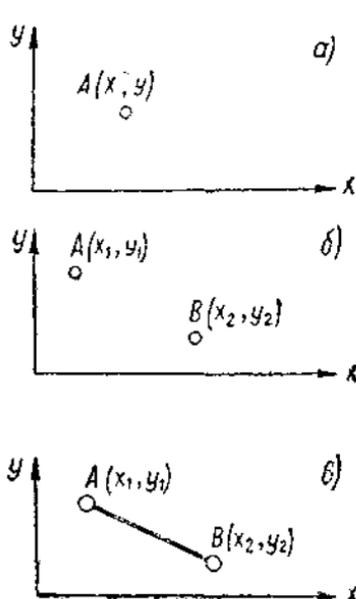
$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - 1 \cdot P_4 \quad (2. 12)$$

- бу ерда, W — текис механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси;
 n — текис механизм таркибидаги қўзғалувчи звенолар сони;
 P_5 — V класс (текисликда II класс) кинематик жуфтлар сони;
 P_4 — IV класс (текисликда I класс) кинематик жуфтлар сони.

(2. 12) формула академик П. Л. Чебишев формуласи ёки текис механизмларнинг тузилиш формуласи ёхуд текис механизмларнинг қўзғалувчанлик даражасини аниқловчи формула деб аталади.

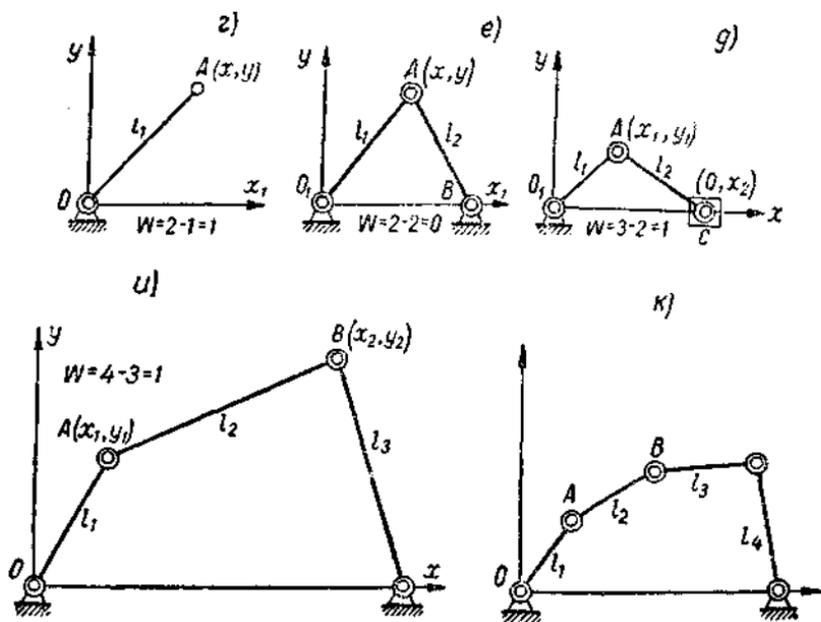
Юқорида (5-параграфга қаралсин) ишбот қилинган (2. 11) формула фазода ҳаракатланувчи (фазовий) механизмлар учун умумий бўлган тузилиш формуласидир.

Чебишевнинг тузилиш формуласидан фойдаланиб, ҳар қандай механик системанинг механизм ёки механизм эмаслигини аниқлаб оламиз. Агар қўзғалувчи звенолар сони билан кинематик жуфтлар сони аниқланиб, Чебишевнинг тузилиш формуласи асосида ҳисоблаганда системанинг қўзғалувчанлик даражаси ноль бўлса, бундай системанинг бирорта звеноси ҳам ҳаракат қила олмайди, бу эса системанинг ферма эканлигини билдиради. Агар механик системанинг қўзғалувчанлик даражаси бирга тенг ($W = 1$) бўлса, бу система битта етакловчи звенога эга механизм бўлади. Агар



берилган механик системанинг қўзғалувчанлик даражаси иккита тенг ($W = 2$) бўлса, система механизм бўлиб, унинг етакловчи звеноси иккитадир. Мабодо, механик системанинг қўзғалувчанлик даражаси учга тенг ($W = 3$) бўлса, унинг етакловчи звеноси учга бўлгандагина қолган звенolari аниқ ва маълум тартибда ҳаракатда бўлади. Демак, бундай механик системалар механизм бўлади.

Қўзғалувчанлик тўғрисидаги масалани янада ривожлантириш учун 6. 1-шаклдаги бир неча ҳолни текшириб чиқамиз. Нуқтанинг вазиятини иккита координата орқали белгилаш мумкин (6. 1-шакл, а). Бир-бирига боғлиқсиз икки нуқта вазиятини тўртта



6.1-шакл. Қўзғалувчанлик даражаси турлича бўлган системалар.

координата билан белгилаш мумкин (6. 1-шакл, б). Агар икки нуқта тўғри чизик билан бирлаштирилса, бу нуқталар орасида боғланиш ҳосил бўлади, бу боғланишнинг тенгламаси бизга маълум. Бу ҳол учун унинг эркинлик даражаси $H = 3$ бўлади (6. 1-шакл, в). Агар икки нуқта O , A ва бу нуқталардан бири қўзғалмас бўлса (6. 1-шакл, г), у ҳолда, қўзғалувчанлик даражаси $W = 2 - 1 = 1$ бўлади. Агар уч нуқтанинг иккитаси қўзғалмас бўлса (6. 1-шакл, е), улар иккита боғланиш тенгламаси билан боғланган бўлади, бу системанинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 2 - 2 = 0$ бўлади. Агар 6. 1-шакл, d даги системанинг қўзғалувчанлик даражасини координаталар орқали топмоқчи бўлсак, унда учта координата (x_1 , y_1 , x_2) бўлади; боғланиш тенгламалари сони эса 2 га тенгдир, қўзғалувчанлик даражаси: $W = 3 - 2 = 1$. 6. 1-шакл, u да системанинг координаталари тўртта бўлиб, боғланиш тенгламалари 3 га тенгдир. Шунинг учун унинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 4 - 3 = 1$ бўлади. 6. 1-шакл, k даги системанинг олтига қўзғалувчан координаталари бор, улар 4 та боғланиш тенгламаси орқали бир-бири билан боғланган, шунинг учун системанинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 6 - 4 = 2$ дир.

Текисликда ҳаракат қилувчи механизмларнинг хили жуда кўп. Юқорида баён этилган тузилиш формуласидан маълумки, текисликда ҳаракатланувчи механизмлар таркибига кирган звенолар бир-бири билан фақат V класс қўйи жуфтлар (айланма ва илгариллама жуфтлар) ва IV класс олий жуфтлар ҳосил қила олади. Кинематик жуфтлар назарияси баён этилганда (2-параграфга қараган) олий жуфтларнинг элементлари нуқта ёки чизик, қўйи жуфтларнинг элементлари эса сирт ёки текислик бўлиши айтиб ўтилган эди.

Ҳар қандай механизм таркибидаги исталган олий жуфтни маълум шарт асосида қўйи жуфт билан алмаштириш мумкин. Демак, берилган олий ва қўйи жуфтли механизмни фақат V класс қўйи жуфтга эга бўлган эквивалент механизм билан алмаштирса бўлади. Алмаштилган бундай кинематик занжирлар *кинематик эквивалент системалар* деб аталади. Жуфтларнинг алмаштирилишида, биричидан иккала жуфт звеноларининг нисбий ҳаракатига қўйилган боғланиш шартларининг сони бир-бирига тенг бўлиши ва, иккинчидан, текшириляётган звено олий нисбий ҳаракатининг характери сақланиши шартдир. Ана шу шартлар бажарилса, иккала механизмнинг ҳаракат қонувлари бирдек бўлади.

Ҳар бир IV класс кинематик жуфт звеноларига қўйилган боғланиш шартларининг сони бирга, алмаштурувчи V класс кинематик жуфтники эса иккига тенгдир. V класс жуфтлардан тузилган алмаштурувчи механизм звеноларининг сони (n) билан V класс жуфтлар сони (P_6) орасидаги боғланиш қўйидагича бўлиши:

$$3n - 2P_3 = -1,$$

яъни боғланиш шартлари сони эркинлик даражаси сонидан битта кўп бўлиши керак. У вақтда:

$$P_3 = \frac{3n + 1}{2} \quad (2. 13)$$

бўлади. (2. 13) формуладан кўриниб турибдики, жуфтларнинг сони бутун сон бўлиши учун алмашинувчи звеноларнинг энг кичик сони бирга тенг бўлиши керак. Шундай қилиб, ҳар бир IV класс олий жуфтни икки еридан V класс кинематик жуфтлар ҳосил қиладиган битта звено билан алмаштириш мумкин эканлиги аниқланди.

Масалани ойдинлаштириш учун толкатели илгариланма ҳаракат қилувчи кулачокли механизмни оламиз (6, 4-шакл, а га қаранг). Шаклда кўрсатилган механизм роликли ва роликсиз бўлиши мумкин. Кулачок профили билан толкателнинг учи IV класс олий жуфт ҳосил қилиши шаклдан кўриниб турибди. Агар бу жуфтнинг ўрнига V класс жуфт қўйиладиган бўлса, у ҳолда, уни 2 та V класс жуфт ҳосил қиладиган бир звено билан алмаштириш керак. Бунинг учун кулачок элементининг эгрилик радиусини топамиз. Радиуснинг бир учи жуфт элементларининг уриниб турган В нуқтасида бўлса, эгрилик радиусининг маркази А нуқтада бўлади. Демак, алмашинувчи звено АВ эгрилик радиуси бўлиб, у А ва В нуқталарда толкатель ва кулачок профилининг оний эгрилик маркази билан V класс кинематик жуфтлар ҳосил қилиши керак. Шундай қилиб, шаклда кўрсатилган кулачокли механизм ўрнига O_1AB кривошип-шатунли механизмни оламиз. Янги бу O_1AB механизмнинг оний ҳаракати алмашинувчи механизмнинг ҳам оний ҳаракатига эквивалентдир (6, 4-шакл, а ва б). АВ звено кривошип-шатунли механизм учун шатун ролини ўйнаса, кулачокли механизм учун кулачок профилидаги В нуқтасининг оний эгрилик радиусини билдиради.

Эквивалент механизмнинг мавжудлиги ўзгарувчандир, яъни шаклда тасвирланган эквивалент механизмлар (кулачокли механизм билан кривошип-шатунли механизм) фақат кулачокли механизмнинг оний вазияти учунгина эквивалентдир. Агар кулачокли механизм вазияти ўзгарса, бу вазиятга эквивалент бўлган кривошип-шатунли механизмнинг кинематик ўлчовлари ҳам бошқача бўлади, чунки кулачокнинг турли вазиятлари учун унинг толкатель билан боғланиш нуқтаси эгрилик радиуси турли узунликда бўлади.

Шундай қилиб, таркибида IV класс олий жуфтлар бўлган текис механизмлар таркибида фақат V класс қуйи жуфтлар бўлган текис механизмлар билан алмаштирилса, бундай системалар

қуйи жуфтли механизмлар бўлиб, улар учун Чебишев формуласи қуйидагича ёзилади:

$$W = 3n - 2P_3 \quad (2.14)$$

Шуни эсда тутиш керакки, эквивалент механизмлар кулачокли механизмнинг турли вариантлари учун тузилиш жиҳатидан фарқ қилмаса ҳам, ammo уларнинг кинематикаси ва динамикасини ўрганишда фарқи каттадир. Бундай ҳоллар механизмлар кинематикасида айтиб ўтилади.

МАСАЛАЛАР

1-масала. Икки звенодан тузилган рычагли механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин (1. 1-шакл, 1 боб).

Еч и ш: $n = 1$; $P_3 = 1$; $P_4 = 0$ демак:

$$W = 3n - 2P_3 - P_4 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

Бу механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси бирга тенг экан. Унда 1 — қўзғалмас звено (стойка), 2 — қўзғалувчан звено, яъни кривошип.

2-масала. Шарнирли тўрт звеноли механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин (1. 2-шакл, 1 боб).

Еч и ш: $n = 3$; $P_3 = 4$; $P_4 = 0$, демак:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Бу механизмнинг ҳам қўзғалувчанлик даражаси 1 га тенг. Механизмнинг 2 звеноли кривошип бўлиб, шу етакловчи звенонинг ҳаракат қонуни (минутига айланми сони ёки бурчак тезлиги) маълум бўлса, қолган 3 ва 4 звенолари маълум тартибда ҳаракат қилади.

3-масала. 1. 8-шакл (1 боб)да кўрсатилган механизмнинг эркинлик даражаси топилсин.

Еч и ш: бу механизм эксцентрикли механизмлар группасига киради. Қўзғалувчи звенолари сони $n = 3$; $P_3 = 4$; $P_4 = 0$, демак:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

4-масала. 1. 11-шакл (1 боб)да кўрсатилган механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин.

Еч и ш: $n = 3$; $P_3 = 4$ (3 та айланма V класс кинематик жуфт ва 1 та V класс илгариланма жуфт); $P_4 = 0$, демак:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

5-масала. 1. 13-шакл (1 боб)да кўрсатилган кулисали механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин.

Еч и ш: $n = 3$; $P_3 = 4$ (3 та айланма V класс кинематик жуфт ва 1 та илгариланма V класс кинематик жуфт, бу жуфт 3 звено билан 4 звенони боғлавди); $P_4 = 0$, демак:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

6-масала. 2. 6-шакл (1 боб)да кўрсатилган кулачокли механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин.

Еч и ш: бу механизм учта (1, 2, 3) звенодан тузилган; бу звенолардан биринчиси қўзғалмас звенодир, демак, қўзғалувчи звенолар сони $n = 2$, $P_3 = 2$

(1 та айланма V класс ва 1 та илгарилма V класс жуфтлар); $P_4=1$, яъни иккинчи звено билан учинчи звено A нуктада (аслида чизиқда) IV класс жуфтини ташкил этади, демак:

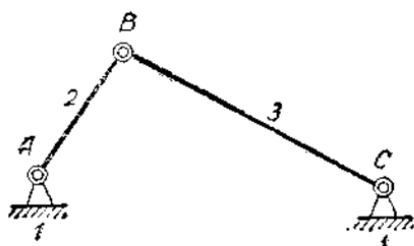
$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1$$

7-масала. 6. 2-шаклда кўрсатилган уч звенодан тузилган системанинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин.

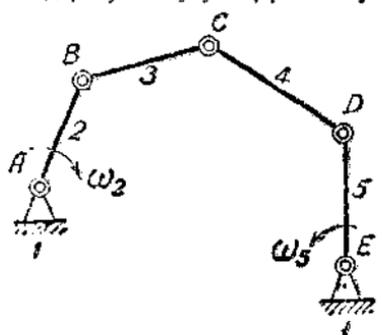
Ечиш: $n = 2$; $P_3 = 3$; $P_4 = 4$, демак:

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Шаклдаги 2 звено A ўқ атрофида B нуктада чизган айлана бўйлаб айланмоқчи бўлса, 3 звенонинг B нуктаси C ўқ атрофида B нукта BC радиус билан чизган ёйда юриши керак. Бу мумкин эмас. Шаклда кўрсатилган механик системанинг тузилиши бунга йўл қўймайдя, шунинг учун ҳаракат бўла



6.2-шакл. Қўзғалувчанлик даражаси ноль бўлган механизм.



6.3-шакл. Қўзғалувчанлик даражаси 2 бўлган механизм.

олмайди. Иккинчи томондан олганда, бу система қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг бўлганидан ҳам механизм эмас, балки бикир система, яъни фермадир.

8-масала. 6. 3-шаклда кўрсатилган механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси топилсин.

Ечиш: шаклдаги механик системанинг звенолари сони 5 та бўлиб, уларнинг бири қўзғалмасдир; кинематик жуфтлар сони ҳам 5 тадир.

Кинематик жуфтлар қуйидагича таркиб топган:

A нуктада 1 звено билан 2 звено бириккан;

B нуктада 2 звено билан 3 звено бириккан;

C нуктада 3 звено билан 4 звено бириккан;

D нуктада 4 звено билан 5 звено бириккан;

E нуктада 5 звено билан 1 звено биришиб, V класс айланма кинематик жуфтлар ҳосил қилган. Бу ҳолда IV класс кинематик жуфт йўқ.

Шунинг учун қуйидагидек бўлади: $P_5 = 5$; $n = 4$.

Буларни Чебишев формуласига қўйиб, системанинг қўзғалувчанлик даражасини аниқлаймиз:

$$W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 5 = 2$$

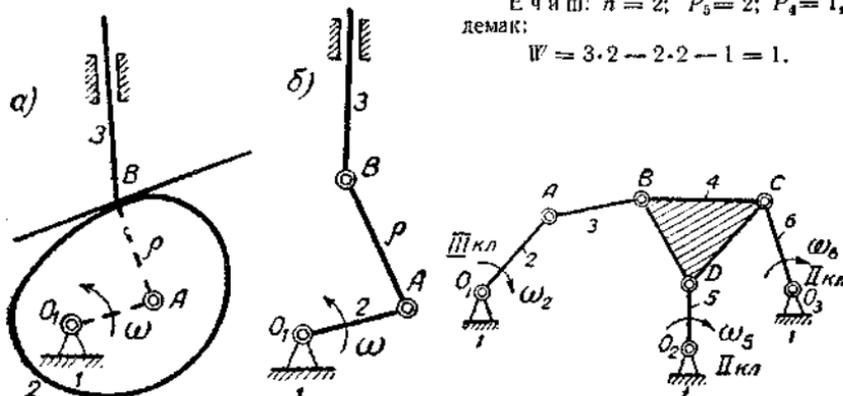
Демак, 6. 3-шаклдаги система қўзғалувчанлик даражаси 2 бўлган механизм экан. Бу механизмнинг ётақловчи звеноси иккита, ҳаракат қонунин ҳам

иккитадир. $W = 1$ бўлса, система механизмлик хусусиятини йўқотиб, ноаниқ ҳаракат қилувчи системага айланади.

9-масала. 6. 4-шакл, а да кўрсатилган система механизм ёки механизм эмаслиги аниқлансин.

Е ч я ш: $n = 2$; $P_3 = 2$; $P_4 = 1$,
демак:

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1.$$



6.4-шакл. Кулачокли механизм (а) ва унга эквивалент бўлган кривошип-шатури механизм (б).

6.5-шакл. Қўзғалувчанлик даражаси 3 бўлган механизм.

Бу механизм қўзғалувчанлик даражаси 1 га тенг бўлган кулачокли механизмдир.

10-масала. 6. 5-шаклда кўрсатилган механик системанинг қўзғалувчанлик даражаси топилин.

Е ч я ш: $n = 7$; $P_3 = 9$; $P_4 = 0$, демак:

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 9 = 3.$$

Бинобарин, бу система механизмдир.

III б о б.

МЕХАНИЗМЛАРНИНГ КЛАССИФИКАЦИЯСИ

1-§. Механизмларнинг рационал классификациясига нисбатан қўйиладиган талаблар

Механизм ва машиналар назарияси тараққиётининг дастлабки даврларида механизмларнинг тузилиши ва классификацияси соҳасида кўпгина олимлар ишлади. XVIII асрнинг охирида француз олимларидан Гаспар Монж механизмларни ҳаракат узатиш турига кўра классификация қилишга уринди. XIX асрнинг биринчи ярмида (1841 йилда) Америка олими Виллис ўзининг механизмлар назариясига бағишланган асарида механизмларни узати-

лувчи тезликлар нисбати принципига асосланиб классификация қилмоқчи бўлди.

XIX асрнинг иккинчи ярмида (1875 йилда) немис олимларидан Рело ўзининг кинематик жуфтлар ва кинематик занжирлар тўғрисидаги таълимотида мавжуд механизмлар орасида тузилиш жиҳатидан ўхшашлик борлигини кўрсатиб ўтди.

1869 йилда машҳур рус математики ва механиги академик П. Л. Чебишев боғланиш шартлари сони ва қўзғалувчанлик даражасига асосланган кинематик занжирларнинг тузилиш формуласини жаҳонда биринчи бўлиб чиқарди. Кейинроқ, худди шундай тузилиш формуласини немис олими О. Мор ва француз олими Леви ҳам исбот этдилар. Олимлардан Бурмestr ва Мор ишнини эслатиб ўтамиз. Бурмestr механизмларнинг ўзида, овий айланиш марказидан фойдаланиб, тезлик ва тезланишлар планларини тузган бўлса Мор тезлик ва тезланиш планларини тузишни ишлаб чиқди. Механизмлар назариясида бу методларнинг ҳар иккаласи ҳам механизмнинг турига қараб қўлланилиши мумкин.

Бу соҳада рус олимларидан профессор Сомовнинг ишлари диққатга сазовордир. Унинг 1888 йилда ёзган «Кинематик занжирларнинг эркинлик даражаси тўғрисида» деган китоби механизмлар назариясини ёритишда катта ўрин тутди.

Нихоят, 1914—1918 йилларда рус олими Л. В. Ассур механизмларнинг классификациясига оид янги ва чуқур мазмунли китоб ёзди. Петроград политехника институтининг профессори Л. В. Ассур тузган механизмлар классификацияси ўша вақтгача бўлган механизм классификациялари ичда энг маъқулдир. Бу классификациядан фойдаланиб, янги механизмлар яратиш мумкин бўлди. Ассур классификацияси механизмларни кинематик ва кинетостатик текшириш методлари билан жуда боғлиқдир. Ассур ўзи бараҳат вақтда фақат қуйи жуфтлардан тузилган, текисликда ҳаракатланадиган механизмлар классификациясини ярата олди, холос. Л. В. Ассурнинг 1913—1918 йилларда ёзилган «Текисликда ҳаракат қилувчи стержеъли механизмларни уларнинг тузилиш ва классификацияси нуқтаи назардан текшириш» деган китоби механизмлар классификациясига асос бўлди.

Механизмлар классификацияси шу механизмларнинг вазифаларига (функционал белгиларига) кўра тузилса ҳам бўларди, аммо бундай классификация мавжуд барча механизмларни ўз ичига ололмас эди, чунки асоси бир бўлган ва ҳозирги замон техникасида энг кўп тарқалган механизмлардан — кривошип-шатунли, тўрт звеноли, планетар, дифференциал ва бошқа механизмлар техниканинг турли тармоқларида турлича технологик процессларда ишлатилади. Масалан, кривошип-шатунли механизм автомобилсозликда, авиация саноатида, тракторсозликда ва саноатнинг бошқа тармоқларида ички ёнув машинасининг асосий механизмидир. Яна

бир мисол: тўрт звеноли шарнирли (текисликда ҳаракат қилувчи) механизм тўқимачилик sanoатида ҳозирги замон тўқув автоматларининг асосий механизми бўлиб, ҳар хил газламалар тўқишда асосий вазифани бажаради (бу механизм тўқимачилик sanoатида батанли механизм деб аталади); худди шу механизмнинг ўзи юк кўтариш кранларида ва техниканинг бошқа тармоқларида турли вазифаларни ўтайди. Шунинг учун, механизмларнинг функционал классификацияси асоси бир хил бўлган механизмларнинг ҳар соҳада такрорланишга олиб борар эди. Бундай классификация конструкторлик ишидагина баъзи қулайликлар туғдириши мумкин.

Ассур классификацияси тузилиш жиҳатидан илмий равишда асосланган классификациядир. Бу классификацияга мувофиқ, механизмлар ҳар бирининг маълум текшириш методи бўлган группаларга бўлинади. Л. В. Ассурнинг механизмлар классификацияси назарияси соҳасида қилган бу ишлари механизм ва машиналар назарияси фанининг ривожини учун катта йўл очиб берди.

Совет олимларидан академик И. И. Артоболовский ва СССР Фанлар академиясининг корреспондент аъзоси В. В. Добровольский (1956 йилда вафот этган) Л. В. Ассур ғояларини ривожлантириб, барча механизмларнинг тўла классификациясини яратдилар. Уларнинг классификацияларига мувофиқ, барча механизмлар асосан бешта группага бўлинади. В. В. Добровольский бу группа механизмларни беш туркумга ажратган бўлса, И. И. Артоболовский беш хил гуруҳга бўлди. Механизмларнинг ана шу группалари улар таркибига кинематик жуфтлар орқали қўшилмаган звеноларнинг ҳаракатига қўйилган умумий боғланишлар сонига қараб боғлланади. Агар механизм звеноларига ҳеч қандай умумий боғланиш қўйилмаган бўлса, бундай механизм воқинчи гуруҳга (В. В. Добровольский бўйича бешинчи туркумга) тааллуқли бўлади; агар механизмнинг барча звеноларига битта умумий боғланиш қўйилган бўлса, бундай механизм биринчи гуруҳга (В. В. Добровольский бўйича тўртинчи туркумга) киради; иккинчи умумий боғланиш қўйилса, механизм иккинчи гуруҳга, учта умумий боғланиш қўйилса, учинчи гуруҳга тааллуқли бўлади ва ҳоказо. Ўшан этилганлардан маълумки, механизмлар гуруҳининг тартиб рақами механизмлар звенолари кинематик жуфтларга кирмаган ҳолларда уларга қўйилган умумий боғланишлар сони билан, туркумларнинг тартиб рақами эса қолган эркинлик даражаси сони билан белгиланади. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар И. И. Артоболовскийнинг классификациясига биноан учинчи гуруҳга киради. Бундай механизмлардаги айланма кинематик жуфтларнинг ўқлари бир-бирига параллелдир (шарнирли тўрт звеноли механизмга қаранг). Айланма кинематик жуфтларнинг ўқлари бир нуқтада кесилган механизмлар *сферик механизмлар* деб аталади. Сферик механизмларнинг шарнир нуқталари фақат сферада

(шар сиртида) ҳаракат қилади; улар ҳам механизмларнинг учинчи гуруҳига киради. Сферик механизмларнинг тузилиш формуласи П. Л. Чебишев формуласининг худди ўзидир. Бундай ўхшашликни биринчи бўлиб И. И. Артоболевский киритди. Биз И. И. Артоболевский классификациясига биноан, қуйидаги беш гуруҳ механизмлар учун асосий тузилиш формуласини оламиз.

Нолинчи гуруҳга тегишли механизмлар таркибида умумий ҳолда беш хил класс кинематик жуфт бўлади:

$$W_0 = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1 \quad (3. 1)$$

Биринчи гуруҳга оид механизмлар таркибига кирувчи звеноларга битта умумий боғланиш қўйилади. Механизмнинг тузилиш формуласи қуйидагича бўлади:

$$W_1 = 5n - 4P_5 - 3P_4 - 2P_3 - P_2 \quad (3. 2)$$

Демак, биринчи гуруҳга кирувчи механизмлар таркибида, умумий ҳолда, I класс кинематик жуфтлар бўлмас экан.

Иккинчи гуруҳга тегишли механизмлар учун тузилиш формуласи қуйидагича бўлади:

$$W_2 = 4n - 3P_5 - 2P_4 - P_3 \quad (3. 3)$$

(3. 3) формуладан кўриниб турибдики, иккинчи гуруҳга тегишли механизмлар таркибида умумий ҳолда I ва II класс кинематик жуфтлар бўлмас экан.

Учинчи гуруҳга тегишли механизмнинг тузилиш формуласи қуйидагича бўлади:

$$W_3 = 3n - 2P_5 - P_4 \quad (3. 4)$$

Тўртинчи гуруҳга тегишли механизмларнинг тузилиш формуласи қуйидагича бўлади:

$$W_4 = 2n - P_5 \quad (3. 5)$$

Тўртинчи гуруҳ механизмлари таркибига фақат V класс айланма, илгариланма ёки винтли кинематик жуфтлар кириши (3. 5) формуладан кўриниб турибди.

Шундай қилиб, нолинчи гуруҳга тегишли механизмлар таркибида, умумий ҳолда, беш хил кинематик жуфт бўлиши, хусусий ҳолда эса фақат ҳар хил текисликларда ҳаракат қилувчи фақат V класс кинематик жуфтлар бўлиши кифоя экан. Худди шунингдек, биринчи, иккинчи, учинчи гуруҳга оид механизмлар ҳам фақат V класс айланма, илгариланма ёки винт жуфтлардан тузилиши мумкин.

Л. В. Ассур гоёларини текисликда ҳаракат қилувчи олий жуфтли механизмлар ва фазода ҳаракат қилувчи механизмлар учун татбиқ этиб ривожлантирган олимлар В. В. Добровольский, И. И.

Артоболовский, Н. Г. Бруевич ва Г. Г. Барановдир. И. И. Артоболовский сферик механизмларни текшириш ва ҳар хил класс кинематик жуфтларни фақат V класс қуйи жуфт билан алмаштириш методларини ривожлантирди. В. В. Добровольский сферик механизмлар назарияси ва илгарилама кинематик жуфтлардангина тузилган механизмлар назарияси билан шуғулланди. Н. Г. Бруевич пассив боғланишларнинг мавжудлик белгиларини аниқлаб берди.

2-§. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар классификацияси

Биз ҳозирги кунда ишлатилаётган механизмлар ва машиналарнинг хили биргина тўқимачилик саноатида 2000 дан ортиқ эканлигини айтиб ўтган эдик. Бундай хил машина ва механизмлар саноатнинг турли тармоқларида жуда ҳам кўп учрайди. Техниканинг бундан кейинги тараққиётида бундай механизмлар янада орта боради. Барча механизмларни текшириш, уларни кинематик ва динамик нуқтаи назардан ўрганиш учун уларни маълум классификацияга бўлиш ва ҳар қайси классга тегишли механизмларни ўрганишнинг маълум методларини яратиш лозим бўлади.

Техникада учрайдиган барча механизмларни уларнинг эркинлик даражалари сонига қараб асосан қуйидаги учта классга бўлиш мумкин:

1. I класс механизмлар. Бу классга эркинлик даражаси 1 га тенг бўлган механизмлар киради. Бу механизмлар техникада жуда кўп тарқалган. Масалан, тўқув автомат станоклари таркибидаги асосий механизмлардан батан механизми, тикув машиналарининг асосий механизми, барча планетар механизмлар, барча қулачокли механизмлар шулар жумласидандир.

2. II класс механизмлар. Бу классга эркинлик даражаси 2 га тенг бўлган механизмлар киради. Улар техникада жуда кўп тарқалган бўлиб, буларга — дифференциал механизмлар, беш винюли механизмлар ва шунга ўхшаш механизмлар киради.

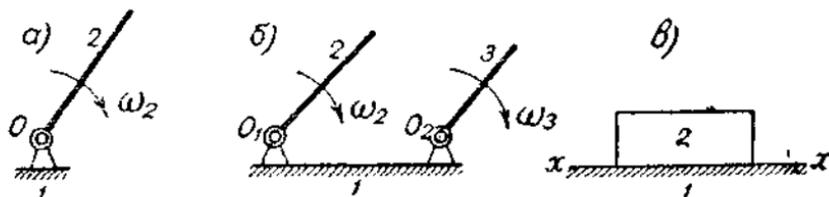
3. III класс механизмлар. Бундай механизмлар группасига эркинлик даражаси 3 та ва ундан ҳам ортиқ бўлган механизмлар киради.

1-параграфда механизмлар беш гуруҳга бўлиб чиқилган эди. Шу гуруҳлар ичида учинчи гуруҳ механизмлари текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар эканлиги ҳам айтиб ўтилган эди. Бундан буён, текисликда ҳаракат қилувчи механизмларнинг ҳосил қилиниши, кинематикаси ва динамикаси билан танишиб чиқамиз.

Механизмларнинг ҳосил қилинишига оид асосий принципни А. В. Ассур биринчи марта ишлаб чиқди; уни қуйидагича таърифини мумкин:

Ҳар қандай механизм етакловчи звено билан (ёки етакловчи звенолар билан) қўзғалмас звенога (стойкага) қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг бўлган кинематик занжирларни (группаларни) кетма-кет қўша бориб ҳосил қилиниши мумкин.

Ҳақиқатан ҳам ҳар қандай механизмнинг таркибига қўзғалмас звеносининг ҳаракат қонуни маълум бўлган (одатда етакловчи звено ёки звеноларнинг ҳаракат қонунилари берилган бўлади) етакловчи звено ёки звенолар ва ҳаракат қонунини топши лозим бўлган етакланувчи звенолар кирadi. Шундай қилиб, етакланувчи звеноларнинг ҳаракат қонунилари етакловчи звенонинг ёки звеноларнинг ҳаракат қонунилари билан механизмнинг тузилишига боғлиқдир.



2.1-шакл. I класс I-тартибли механизм.

Ҳар қандай механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси (эркинлик даражаси) шу механизмнинг етакловчи звенолари сонига тенг бўлади. Агар механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси бирга тенг бўлса, у ҳолда, унинг етакловчи звеноси ҳам битта бўлади, агар механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси иккита тенг ($W = 2$) бўлса, унинг етакловчи звенолари иккита бўлади ва ҳоказо.

Л. В. Ассур қўзғалмас звено билан V класс кинематик жуфт ҳосил қилувчи, яъни етакловчи звено билан қўзғалмас звенони (стойкани) шартли равишда I класс I-тартибли механизм деб атади (2.1-шакл, а, б ва в).

2.1-шакл, а да 2 звено қўзғалмас звено (I) га нисбатан ω_2 бурчак тезлиги билан айланмоқда. I звено билан 2 звено бирга қўшилиб, O нуқтада V класс айланма кинематик жуфт ҳосил қилади.

2.1-шакл, б да 2 ва 3 звенолар қўзғалмас звено (I) билан O_1 ва O_2 нуқталарда V класс кинематик жуфт ҳосил қилади. 2 звено ўз ўқи O_1 атрофида ω_2 , 3 звено эса ўз ўқи O_2 атрофида ω_3 бурчак тезликлари билан айланади. 2.1-шакл, в да 2 звено I звенога нисбатан фақат илгариллама-қайтар ҳаракат қила олади. I ва 2 звенолар ўзаро V класс илгариллама жуфт ҳосил қилади.

Ҳақиқатан 2.1-шакл, а, б, в ларда уч хил I класс механизмлар кўрсатилган. Шаклдаги ҳар бир механизмнинг қўзғалувчанлик даражасини аниқлаб оламиз; 2.1-шакл, а даги механизм қўз-

галмас звено (1) билан етакловчи звено (2) дан иборат, демак, Чебишев формуласига биноан:

$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

бўлади. Бинобарин, бу система етакловчи звеноси битта бўлган механизм экан (унинг қўзғалувчанлик даражаси бирга тенг); 2.1-шакл, б даги механизм қўзғалмас звено (1) билан 2 ва 3 етакловчи (қўзғалувчи) звенолардан тузилган, унинг қўзғалувчанлик даражаси:

$$W = 3 \cdot n - 2P_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 = 2$$

бўлади. Демак, бу етакловчи звеноси иккита бўлган механизм экан (унинг қўзғалувчанлик даражаси иккига тенг); 2.1-шакл, в даги механизм ползун (2) билан қўзғалмас йўналтирувчи (1) дан иборатдир, унинг қўзғалувчанлик даражаси қуйидагича бўлади:

$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

Л. В. Ассурнинг механизмлар ҳосил қилиниши тўғрисидаги таълимотига биноан, янги механизмлар 2.1-шакл, а, б, в ларда кўрсатилган I класс механизмларнинг етакловчи звеноларига қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг бўлган группалар (ёки кинематик занжирлар) қўшиш йўли билан ҳосил қилинади. Демак, қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг бўлган текис кинематик занжирларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$W_{\text{гр}} = 3n - 2P_5 - P_4 = 0$$

Л. В. Ассур таркибига фақат қуйи кинематик жуфтлар кирган группаларни текшириб чиқди, у ҳолда, бундай группаларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$3n - 2P_5 = 0 \quad (3.7)$$

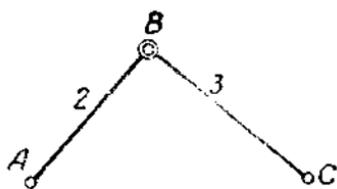
Ҳ" (3.7) тенглама қўзғалувчанлик даражаси ноль бўлган группалар (кинематик занжирлар) таркибидаги звенолар сонин билан V класс кинематик жуфтлар орасидаги боғланишни ифода қилади. (3.7) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$P_5 = \frac{3}{2}n \quad (3.8)$$

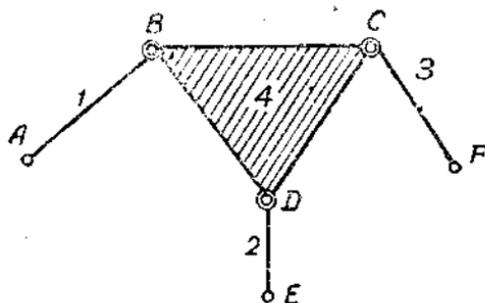
Группалардаги звенолар сонин жуфт сонлардан, яъни 2, 4, 6, 8, . . . лардан, V класс кинематик жуфтлар сонин эса, тегишлича, 3, 6, 9, 12, 15, . . . лардан иборат эканлиги (3.8) формуладан кўришиб турибди. Звеноси иккита, V класс қуйи кинематик жуфтлари сонин учта бўлган группани кўриб ўтамиз (2.2-шакл).

Бу группанинг иккита эркин элементи (А ва С) бор, бу элементлар орқали группага янги звенолар қўшиш мумкин.

2.2-шаклда кўрсатилган кинематик занжирнинг (группанинг) қўзғалувчанлик даражаси нолга тенг ($W = 0$). Бу группа *икки поводокли* группа деб аталади. Группалар классларга бўлинади. Шаклда A ва C кинематик жуфт элементлари бўшдир, уларни бошқа элементлар билан қўшиш мумкин; 1 ва 2 звенолар ўз



2.2-шакл. II класс группа.



2.3-шакл. III класс группаси.

элементлари билан қўшилиб, айланма кинематик жуфт ҳосил қилади.

Звенолар сони 4 га, V класс кинематик жуфтлар сони 6 га тенг бўлган кинематик занжирни кўриб чиқайлик (2.3-шакл). Бу кинематик занжирнинг эркин элементлари сони A , E ва F орқали белгиланган.

Демак, эркин жуфт элементлари учта бўлгани учун бу хил очик кинематик занжир *уч поводокли группа* ёки III класс группа деб аталади.

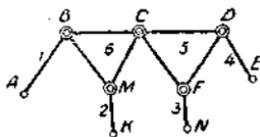
Икки поводокли группада кинематик жуфтларнинг эркин элементлари иккита бўлгани учун, у II класс 2-тартибли группа деб аталган эди.

Академик И. И. Артоболовский таркибида иккита звено ва учта V класс кинематик жуфт бўлган группани II класс 2-тартибли группа деб атади.

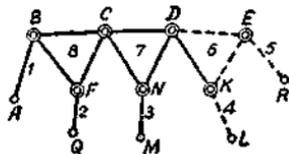
Худди шу тартибда, $n = 6$; $P_5 = 9$ бўлган очик кинематик занжирни кўриб чиқамиз (2.4-шакл.) Бундай кинематик занжир 2.3-шаклда кўрсатилган уч поводокли группанинг 3 поводогини (3 звенони) ўстириш йўли билан ҳосил қилиниши мумкин. Бу хилдаги очик кинематик занжирда иккита базисли звенолар бўлиб (5 ва 6 звенолар), уларнинг ҳар бири учтадан эркин элементи билан тегишли $1, 2, 3, 4$ звенолар орқали B, M, F ва D, V класс айланма кинематик жуфтларни ҳосил қилган. 5 ва 6 базисли звенолар бир-бири билан C эркин элементлари орқали қўшилиб, V класс айланма кинематик жуфт ҳосил қилган.

Бундай очиқ кинематик занжирдаги A, K, N, E жуфт элементлари эркин бўлгани учун у тўрт поводокли группа деб аталади (поводоклар 1, 2, 3 ва 4 звенолардир).

Ана шундай йўл билан 5, 6 ва ҳоказо поводокли группаларни ҳосил қилиш мумкин (2.5-шакл). Бу ерда беш поводокли Ассур группаси кўрсатилган. Бу группанинг эркин элементлари 1, 2, 3, 4 ва 5 звенолардаги A, Q, M, L ва R лардир.



2.4-шакл. III класс группа (тўрт поводокли группа).



2.5-шакл. III класс группа (беш поводокли группа).

2.5-шаклдаги очиқ кинематик занжирда базисли учта звено бор, улар бир-бирига C ва D элементлари орқали, поводоклар эса B, F, N, K, E элементлари орқали қўшилган. Бу группадagi A, Q, M, L, R элементлар кинематик жуфтларнинг эркин элементларидир. бу элементлар қўшилиб янги механизм ҳосил қилади.

Юқорида баён этилган 2, 3, 4, 5, . . . - тартибли группалар Ассур группалари деб аталади. Агар группа таркибида иккита звено ва учта V класс жуфт бўлса, бундай группа II класс ва 2-тартибли группа деб ёки икки поводокли группа деб аталади.

Таркибига фақат II класс 2-тартибли группалар кирган механизмлар II класс механизмлар деб аталади. Бундай механизмлар I класс (ёки бошланғич) механизмларга II класс 2-тартибли Ассур группасини қўшиш йўли билан ҳосил қилинади (2.6-шакл). 2.6-шаклда кўрсатилган механизм билан танишиб ўтган эдик. Бу механизм тўрт звеноли механизм бўлиб, ҳозирги замон техникасида энг кўп учрайдиган механизмлардан биридир.

Шаклдаги тўрт звеноли механизм қуйидаги йўл билан ҳосил қилинади:

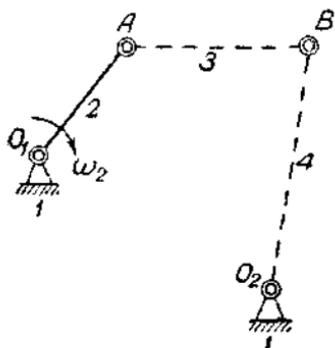
I класс механизмга (1, 2 звеноларга) II класс 2-тартибли Ассур группаси қўшилади (3, 4 звенолар), натижада II класс механизм ҳосил бўлади.

Таркибида учта поводок ва базисли звено бўлган мураккаб кинематик очиқ занжир (2.3-шакл) III класс 3-тартибли группа деб аталади. Таркибида III класс 3-тартибли группалар бўлган механизмлар III класс механизмлар деб аталади (2.7-шакл).

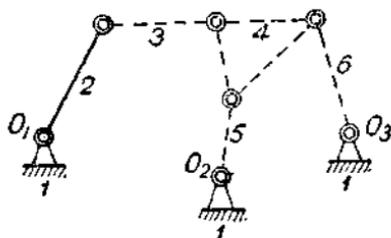
Бундай механизмлар ҳам ҳозирги замон машиналари таркибида кўп учрайди.

2.7-шаклдаги механизм қуйидаги йўл билан ҳосил қилинади:

I класс механизмга (1, 2 звенолар) III класс 3-тартибли Ассур группаси қўшилади (3, 4, 5, 6 звенолар), натижада III класс механизм ҳосил бўлади.



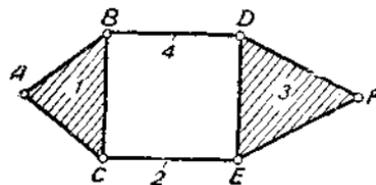
2.6-шакл. II класс механизм.



2.7-шакл. III класс механизм.

III класс 3-тартибли группа ўз элементлари билан I класс механизмга қўшилиб, янги — III класс механизмни ҳосил қилади.

Тўртта звеноси ва олтига V класс кинематик жуфти бўлган ёпиқ кинематик занжирни кўриб чиқамиз (2.8-шакл). Бу қўзғалувчи ёпиқ системадир.



2.8-шакл. IV класс ёпиқ контур.

Шаклдан кўришиб туришча, ёпиқ контурнинг базисли звеноларидаги кинематик жуфтнинг A ва F элементлари эркиндир. Ёпиқ контурнинг A ва F эркин элементлари контурнинг нисбий ҳаракатига таъсир этмайди. Контурнинг исталган звеносига нисбатан қўзғалувчи эканлигини билиш ва тузилиш формуласидан фойдаланиб, қўзғалувчанлик даражасини топиш қийин эмас.

Шундай қилиб, бу ёпиқ контурдаги эркин элементлардан биричи (A ни) I класс механизм кривошняидаги эркин элемент билан, иккинчисини қўзғалмас звенодаги элемент билан қўшиб, янги механизм ҳосил қилиш мумкин.

2.8-шаклдаги ёпиқ кинематик занжирда базисли иккита звено (ABC ва EDF) бўлиб, CBDE контурнинг нисбий қўзғалувчанлик даражаси бирга тенгдир. Шундай ёпиқ контурли группалар IV класс 2-тартибли группалар деб аталади. Бундай груп-

2-жадвал

Текисликда ҳаракатланувчи механизмларнинг классификацияси

Тартиб номери	Поводоклар соғи	Кинематик жуфтлардаги эркин элементлар соғи	Ассур групписи		Группанинг кинематик схемаси	Группанинг Ассур бўйича классаси	Группанинг Артоболелескав бўйича классаси	Группанинг Кустануновичлик даражаси $W = 3n - 2P_3 - P_4$	Усоқ бўлган механизмнинг кинематик схемаси	Механизмнинг кустануновичлик даражаси $W = 3n - 2P_3 - P_4$			Механизмлар классификацияси ва тартиби	
			Группадаги звенолар соғи	Группадаги кинематик жуфтлар соғи						класс	класс	тартиб	Артоболелескав бўйича	Ассур бўйича
I	—	—	—	—		—	—	—		I	I	I	—	—
II	2	2(A,C)	2	3		I	II	0		I	II	I	2	—
III	2	2(A,XX)	2	3		I	II	0		I	II	I	2	—
VI	2	2(A,B)	2	3		I	II	0		I	II	I	2	—
V	2	2(A,XX)	2	3		I	II	0		I	II	I	2	—
VI	3	3(A1F4E)	4	6		I	III	0		I	III	I	3	—
VII	4	4(A, B, C, D)	6	9		I	III	0		I	III	I	4	—
VIII	2	2(XX, УУ)	2	3		I	II	0		I	II	I	2	—

палар асосий механизмга A ва F элементлари билан қўшилади ва, натижада, 2.9-шаклда кўрсатилган механизм ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, Ассур группаларини ўстириш йўли билан назарий жиҳатдан турли класс группалар ҳосил қилиш мумкин. Ҳосил қилинган янги группаларни бошланғич механизмга қўшиш йўли билан турли классларга оид янгидан-янги механизмлар ҳосил қилиш мумкин.

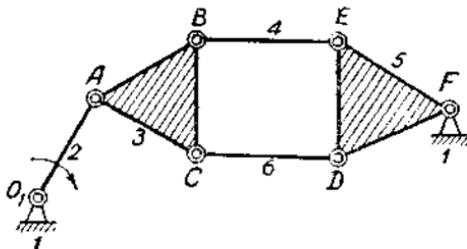
Шундай қилиб, таркибида IV класс 2-тартибли группалар бўлган механизмлар IV класс механизмлар деб аталади.

Шу тартибда ёпиқ контурлар тузилиб, улардан ҳар бирининг номи ўз класс билан юритилади. Масалан, ҳар бир контур класс шу контурни ҳосил қилган звеноларнинг жуфтлари билан белгиланади. Группанинг класс билан шу группа таркибига кирувчи энг юқори классли контур класс билан юритилади. Группанинг тартиби группадаги асосий механизмга қўшилувчи эркин элементлар сонига тенг бўлади.

Агар бир механизм таркибида I, II, III ва IV класс группалар бўлса, шу механизм класс билан энг юқори классли группа номи билан юритилади.

Ҳозирги замон техникасида энг кўп тарқалган механизмлар II, III класс механизмлардир. Шунинг учун биз, асосан, II ва III класс механизмлар билан танишиб ўтамиз.

Группа ва механизмлар классификацияси 2-жадвалда кўрсатилган.



2.9-шакл. IV класс механизм.

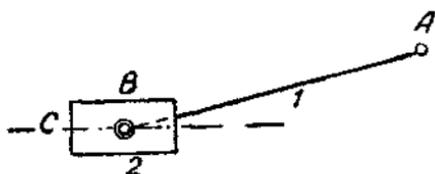
3-§. Қуйи кинематик жуфтли II класс 2-тартибли группанинг модификациялари

Машина ва механизмлар ҳозирги замон техникасининг асосидир. Техниканинг турли тармоқларида таркибига II класс 2-тартибли группалар кирган механизмлар жуда кўп учрайди. Шунинг учун ҳам Ассур группасига алоҳида тўхталиб ўтамиз.

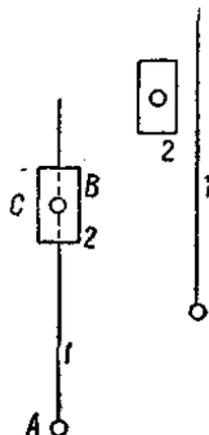
Агар бу группада иккита звено ва учта айланма жуфт бўлса, бундай группа II класс 1-тур группа деб аталади (2.2-шакл). Бу группани асосий механизмга қўшиш йўли билан V класс айланма жуфтли ҳар хил II класс механизмлар, масалан, тўрт звеноли, беш звеноли, олти звеноли, саккиз звеноли ва шу каби механизмлар ҳосил қилинади.

Агар группа таркибида иккита эвено, иккита айланма ва битта илгариланма жуфт бўлса, бундай группа II класс 2-тур группа деб аталади (3.1-шакл). Бундай группаларни асосий механизмга қўшиш йўли билан V класс айланма ва илгариланма кинематик жуфтлари бўлган ҳар хил II класс механизмлар ҳосил қилинади (1.11-шакл, I боб). 1.11-шаклда кривошип-шатушли механизм кўрсатилган.

Кривошип-шатушли механизмларнинг ҳар хил турлари машинасозликда хилма-хил ички ёнув двигателларида, тикув ва тўқув машиналарида кўп ишлатилади. Бу механизм ташқи кўриниши жиҳатидан оддий бўлса ҳам, ammo уни ҳали жуда кўп текшириш керак.

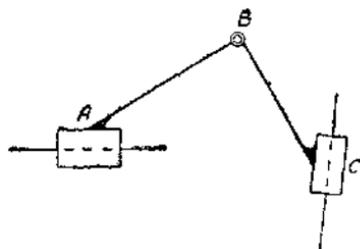


3.1-шакл. II класс 2-тур группа.

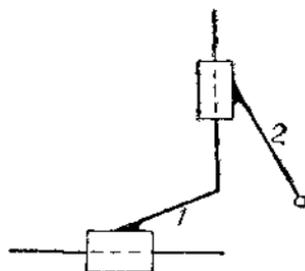


3.2-шакл. II класс 3-тур группа.

Агар II класс 1-тур группанинг ўрта шарнирини (айланма жуфтни) илгариланма жуфт билан алмаштирсак, ҳосил бўлган группа II класс 3-тур Ассур группаси деб аталади (3.2-шакл).



3.3-шакл. II класс 4-тур группа.



3.4-шакл. II класс 5-тур группа.

Бундай группаларни асосий механизмга қўшиш йўли билан V класс айланма ва илгариланма жуфтлари бўлган кулисали ҳар хил механизмлар ҳосил қилинади. Кулисали бундай механизмлардин бири 1. 13-шакл (I боб) да кўрсатилган.

Кулисали механизмлар ҳам техниканинг турли тармоқларида — тикув, тўқув, рандалаш ва йиғирув машиналарида ишлатилади.

Агар учта айланма жуфти бўлган II класс 2-тартибли группанинг икки четки айланма жуфтларини илгариланма жуфтлар билан алмаштирсак, II класс 4-тур группа ҳосил бўлади (3.3-шакл).

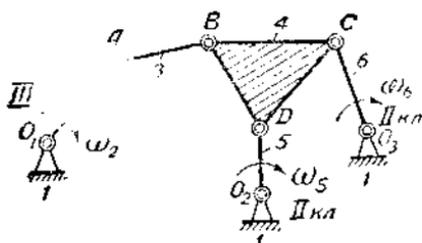
Нихоят, 1-тур II класс 2-тартибли Ассур группасининг четки ва ўрта айланма жуфтларини илгариланма жуфтлар билан алмаштирсак, II класс 5-тур группа ҳосил бўлади (3.4-шакл). Шундай қилиб, 3-турга оид текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар таркибида беш хил тур II класс группалар бўлар экан.

Ҳозирги замон техникасида ишлатилаётган механизмларнинг кўпчилиги II класс механизмлардир.

11-масала. 3.5-шаклда кўрсатилган системанинг қайси класс механиккага оид эканлиги, унинг тузилиши ва қўзғалувчанлик даражаси аниқлансин.

Ечиши: а) аввало, шаклда кўрсатилган система механизм ёки механизм вазислигини билиб оламиз. Чебишев формуласидан:

$$W = 3.5 - 2.7 = 1$$



3.5-шакл. III класс механизм

елиб чиқади.

Демак, берилган система механизм экан: б) агар етакловчи звено (2) бўлса, механизм қайси классга киришни аниқлаб оламиз, I класс механизм (1, 2) га уч поволокли III класс группа (3, 4, 5, 6 — Ассур группаси) қўшилади демак, бу система III класс механизм экан; в) агар етакловчи звено 5 бўлса, механизм қайси классга кириди? I класс механизм (1, 5) га II класс 2-тартибли группа (4, 6), яна II класс 2-тартибли группа (3, 2) қўшилади, демак, бу система II класс механизм экан; г) агар етакловчи звено 6 бўлса, I класс механизм (1, 6) га II класс 2-тартибли группа (4, 5), яна II класс 2-тартибли группа (3, 2) қўшилади, демак, $O_2CDO_2BAO_1$ система II класс механизм экан. Ана шу б, в ва г пунктлар механизмнинг тузилиши анализи деб аталади.

4-§. Фазовий ва текис механизмлар тузилиш формуласининг ишлатилиши тўғрисида баъзи бир мулоҳазалар

Биз Сомов — Малишевнинг қуйндаги формуласи билан танишиб ўтган эдик:

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

Бу формула 1887 йилда П. И. Сомов томонидан бир оз бошқачароқ кўринишда берилган бўлиб, 1923 йилда А. П. Малишев томонидан ривожлантирилди. Агар кинематик занжир фақат V

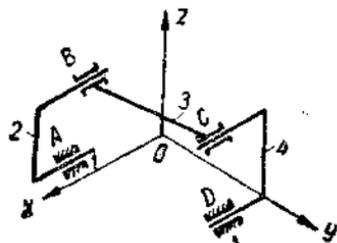
класс жуфтлардан ташкил топса, у ҳолда тузилиш формуласи қуйидаги кўринишда бўлади:

$$W = 6n - 5P_5 - \dots \quad (3.9)$$

Энди Сомов — Малишев формуласидан академик Чибишев формуласини, яъни текис механизмнинг тузилиш формуласини ёки бошқа кўринишли механизмларни олиш мумкин. Бу масала механизм таркибидаги звенолар ва кинематик жуфтларга умумий чекланишлар қўйиш билан олиб борилади. Масалан, механизм таркибида фақат V класс кинематик жуфтлар бўлсин, уларнинг ўқлари бир-бирларига параллел бўлсин, ёки уларнинг ҳаммаси бир нуқтада кесишсин ва ҳоказо талабларни қўйиш билан турли тип механизмлар ҳосил қилинади. Механизмга қўйилган бундай умумий чекланишлар механизмнинг ҳаракат характерини бутунлай ўзгиртириб юборади.

Масалан, механизм таркибидаги кинематик жуфтлар V класс бўлиб, уларнинг ўқлари бир-бирларига параллел бўлсин деган умумий чекланиш киритайлик.

Бундай қўйилмас координаталар системасидаги x ўқи кинематик жуфтлар ўқига параллел қилиб танлаб олинган. z, y ўқлари жуфт ўқларга тик текисликда ётади. Бундай ҳолда 2, 3, 4-звеноларнинг исталган нуқта OZY текислигига параллел ҳаракатланади. Бундай ҳолда, механизм звеноларига қандай умумий чекланиш қўйилишини кўриб чиқамиз: улар z, y ўқлари атрофида айлана олмайди, x ўқи бўйлаб илгариланма ҳаракат қила олмайди, шунинг учун 6 та эркин ҳаракатдан 3 тасини бижара олмайди. Улар фақат x ва унга параллел ўқлар атрофида айланиш билан z, y ўқлар бўйлаб илгариланма ҳаракат қила олади, холос. AB, CD звенолар x ўқи атрофида айланади, BC шатун мураккаб ҳаракатда бўлиб, u, x ўқи атрофида айланма ва z, y ўқлари бўйлаб илгариланма ҳаракат қилади. Шундай қилиб, агар механизм звеноларининг ҳаракатига умуман учта чек қўйилган бўлса, у ҳолда бу нарса айрим звено эркинлик даражаларини ва умуман механизмнинг қўзғалувчанлик даражасини тоғишда ҳисобга олиниши керак бўлади. Агар n — қўзғалувчи звенолар умумий эркинлик даражаси $6n$ бўлса, ҳозирги механизм учун $(6 - 3)n = 3n$ бўлади. Худди шунга ўхшаш $5P_5 - V$ класс кинематик жуфтлар томонидан қўйилган боғланишлар ўрнига $(5 - 3)P_5 = 2P_5$ боғланиш бўлади, чунки учта боғланиш сони кинематик жуфт ўқларининг параллеллик шартини томонидан қўйилган.



4.1-шакл.

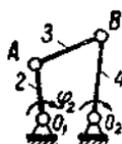
Шундай қилиб, баён қилинган механизмнинг тузилиш формуласи қуйидагича бўлади:

$$W = (6 - 3)n - (5 - 3)P_5 - (4 - 3)P_4 - (3 - 3)P_3$$

ёки

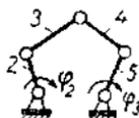
$$W = 3n - 2P_5 - P_4$$

Бу текис механизмларнинг умумий кўриниши учун тузилиш формуласидир. Бу формулага I, II ва III класс кинематик жуфтлар кирмайди, чунки улар учта ва ундан ҳам кўп нисбий ҳаракат қилади. 4.2, 4.3, 4.4- шаклларда уч хил механизм тури берилган.



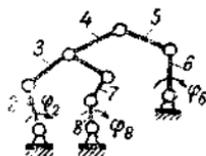
$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 = \varphi_2(t) \\ W = 1 \end{aligned} \right\}$$

4.2- шакл.



$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 = \varphi_2(t) \\ \varphi_5 = \varphi_5(t) \end{aligned} \right\} W = 2$$

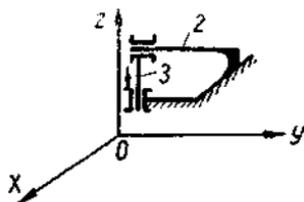
4.3- шакл.



$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 = \varphi_2(t) \\ \varphi_6 = \varphi_6(t) \\ \varphi_8 = \varphi_8(t) \end{aligned} \right\} W = 3$$

4.4- шакл.

4.5- шаклдаги механизм фақат илгариланма ҳаракат қиладиган V класс кинематик жуфтлардан ташкил топган икки звеноли ($n=2$) механизмдир. Кинематик жуфтнинг ҳаракат ўқлари OZY текислигига параллелдир. Звенолар нисбий ҳаракатининг эркинлиги умумий ҳолда 2 тадир: z ва y ўқлари бўйлаб илгариланма ҳаракат қилади. Шундай қилиб,



4.5- шакл.

кинематик жуфт ўқларининг ozu текисликка параллеллик шартидан 4 ни умумий формуладан ажратиш кераклигини билдиради:

$$W = (6 - 4)n - (5 - 4)P_5 - (4 - 4)P_4 = 2n - P_5$$

Бу формула 1937 йилда СССР Фанлар Академиясининг корреспондент аъзоси В. В. Добровольский томонидан чиқарилиб, у Добровольский формуласи деб аталади.

Самолётнинг шасси механизмини кўрамиз. Бу 4 звеноли фазо механизмдир (4.6- шакл).

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

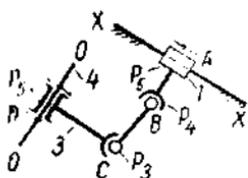
$$= 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 1$$

$$n = 3, P_5 = 2, P_4 = 1, P_3 = 1.$$

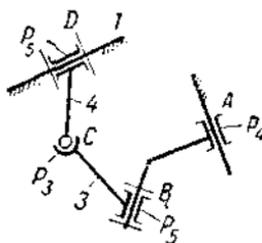
$$P_5 = (4 + 1)_{xx} + (4 + 3)_0$$

$$P_4 = (1 + 2)_B = 1 \quad P_3 = (2 + 3)_C = 1$$

2-чиро ортиқча эркинлик даражасига эга, чунки у ўз CB ўқи атрофида айланиши олади, шунинг учун III класс жуфтлардан бирини IV класс жуфтига ўтказамиз.



4.6-шакл.



4.7-шакл.

Автопилотнинг 4 звеноли руль бошқармаси механизми билан танишамиз (4.7-шакл).

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3$$

$$W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 1$$

IV б о б.

ТЕКИСЛИҚДА ҲАРАКАТЛАНУВЧИ МЕХАНИЗМЛАР КИНЕМАТИКАСИНИ ГРАФИҚ ВА АНАЛИТИК ТЕКШИРИШ МЕТОДЛАРИ

1-§. Механизмлар кинематикасининг асосий масалалари

Механизмлар кинематикаси алоҳида фан бўлиб, у асосан механизмлар кинематикасини ушунг ҳаракати билан боғлиқ бўлган кучларни ҳисобга олмаган ҳолда ўрганadi.

Механизмлар кинематикасида, асосан, механизмлар ҳолатлари тушулади, механизм звеноларидаги нуқталарнинг траекториялари ва бу звенолардаги нуқталарнинг қизққли силжиши, тезлиги ва тежллишилари, звеноларнинг эса бурчак силжиши, тезлиги ва тежллишилари топилади.

Кинематикани ўрганишнинг аналитик, график ва графоаналитик методлари бўлиб, буларнинг ҳам ўзига хос хиллари бор. Масалан, аналитик методда ёпиқ векторли контурлар методи, тўғри бурчакли координаталар методи ва тригонометрик методлар бор.

Ҳозирги куннинг актуал масалаларидан бири барча иш процессларини машиналаштиришдан иборатдир. Машиналаштиришнинг олий формаси эса автоматлаштиришдир. Ҳар қандай механизм таркибидagi ҳар бир звенонинг ҳаракат қонунларини билмай туриб, шу механизмга кинематик жиҳатдан тўғри баҳо бериб бўлмайди. Ҳар қандай механизм маълум тартибда ҳаракат қилиши шарт, бу ҳаракат механизм таркибидagi етакловчи звенонинг ҳаракат қонунига боғлиқ бўлади. Механизмлардаги ана шу ҳаракатларни ўрганиш механизмлар кинематикасининг асосий масаласидир.

Текисликда ҳаракат қилувчи кўп звеноли механизмлардан кўпининг таркибидagi звено ҳаракатлари, умуман, уч хил бўлиши мумкин:

1. Механизм таркибидagi звенолар фақат маълум ўқ атрофида айланма ҳаракат қила олади. Масалан, кривошип, коромисло, тишли ва фрикцион гилдирак ва бошқалар ана шундай звенолардир.

2. Механизм звенолари фақат илгариланма-қайтар (тўғри чизикли) ҳаракатда бўлиши мумкин. Ползувчи золотник, кулиса ва бошқалар шундай звенолар жумласига кирилади.

3. Механизм звенолари айланма ва илгариланма ҳаракатдан иборат мураккаб текис ҳаракат қилиши мумкин. Шатун, тош ва бошқалар шундай звеноларга мисол бўла олади.

Ҳаракатни ўрганар эканмиз, унинг абсолют ва nisбий эканлигига эътибор беришимиз лозим. Ҳар қандай қўзғалмас звенога nisбатан олинган ҳаракат абсолют ҳаракат деб, қўзғалувчи системага (звенога) nisбатан олинган ҳаракат эса nisбий ҳаракат деб аталади. Қўзғалмас ўқ атрофида айланувчи звенонинг oний айланувчи маркази шу айланувчи ўқда бўлади; бу марказ абсолют ҳаракатдаги oний марказ деб, шу звенонинг ҳаракати қўзғалувчан бирор звенога nisбатан олинса, nisбий ҳаракатдаги oний марказ деб аталади.

Ҳақиқатан, табиатда абсолют ҳаракат mavjud эмас, chunki ҳар қандай звенонинг ҳаракати ҳам қўзғалувчан системага nisбатан олинади. Ер шарни ўз ўқи атрофида бир суткада (24 соатда) бир марта айланиб чиқади, бунинг устига қуёш атрофида ҳам айланади. Шунинг учун барча абсолют ҳаракатлар ҳам nisбий бўлади.

Масала равшан бўлиши учун, 4 звеноли шарнирли механизмдаги абсолют ва nisбий oний марказларни текшириб чиқамиз (1.1-шакл). O_1ABO_2 механизми тўртта — 1, 2, 3 ва 4 звенодан иборат бўлиб, бу звеноларнинг номлари: O_1O_2 — қўзғалмас звено

(1), O_1A — кривошип (2), AB — шатун (3) ва O_2B — коромисло (4) дир. Кривошипнинг оний айланиш маркази O_1 нуқтада ётади; уни P_{31} билан белгилаб, абсолют ҳаракатдаги оний марказ деб атаймиш. Худди шунга ўхшаш, 4 звенонинг ҳам абсолют оний айланиш маркази O_2 нуқтада бўлади, уни P_{41} орқали белгилаймиз.

Кривошип (2) ҳам, коромисло (4) ҳам қўзғалмас звено бўлган 1 га нисбатан ҳаракатланмоқда. Шатуннинг (3 звено) 2 звенюга нисбатан оний айланиш маркази A нуқтада бўлади; бу марказ нисбий ҳаракатдаги оний айланиш маркази деб аталади (P_{32}). Коромислонинг шатунга нисбатан оний айланиш маркази B нуқтада бўлади, уни P_{43} орқали белгилаймиз. Оний айланиш марказларини топилганинг назарий механикада берилган теоремасидан фойдаланиб, яъни звенонинг оний айланиш маркази унинг траекторияларига маълум нуқтада ўтказилган нормалларнинг кесишув жойида бўлишини эътиборга оламиз-да, O_1A ва O_2B ларини A ва B нуқталар траекториясига ўтказилган нормаллар деб давом эттириб, AB звенонинг P_{31} оний айланиш маркази ҳосил қиламиз. Бу марказ шатуннинг қўзғалмас звенюга нисбатан оний айланиш марказидир.

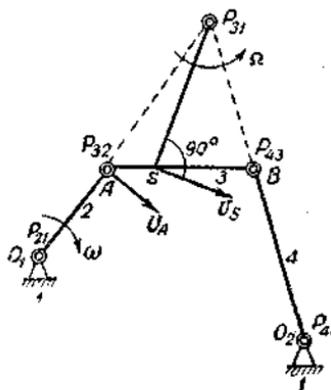
Механизм звеноларининг абсолют оний айланиш маркази қўзғалмасдир, нисбий оний айланиш маркази эса звенонинг ҳолатига қариб ўзгаради. Биз, 1.1-шаклдан AB шатуннинг P_{31} оний марказ итрофида айланишидан ҳосил бўлган оний бурчак тезлигини топи оламиз:

$$\omega_{31} = \frac{v_A}{AP_{31}} = \frac{v_B}{BP_{31}} \quad [\text{сек}^{-1}] \quad (4.1)$$

(4.1) формуладан фойдаланиб, AB шатуннинг оний айланиш маркази итрофида айланиш бурчак тезлиги аниқланса, у ҳолда, шу оний шатуннинг исталган S нуқтаси чизиқли тезлигини қуйидагича топиш мумкин:

$$v_s = \omega_{31} \cdot \overline{P_{31}S} \quad [\text{мсек}^{-1}]$$

Бу ерда $\overline{P_{31}S}$ — P_{31} оний айланиш марказидан S гача бўлган масофа.



1.1-шакл. Тўрт звенولي механизм:

1 — қўзғалмас звено; 2 — кривошип; 3 — шатун; 4 — коромисло.

Яна бир мисолни кўриб чиқайлик. 1.2-шаклда кривошип-шатунли механизм кўрсатилган. Механизмдаги 3 звенонинг қўзғалмас звенога нисбати оний бурчак тезлиги ω_{31} ни ва шатундаги исталган S нуқтанинг тезлигини аналитик йўл билан топиш мумкин. Бунинг учун шатундаги исталган нуқтани оний айланиш маркази (P_{31}) билан туташтирамиз. Тегишли v_A ва v_B тезликларини $\overline{P_{31} \rightarrow A}$ ва $\overline{P_{31} \rightarrow B}$ радиусларга бўлиб, шатуннинг оний айланиш бурчак тезлиги (ω_{31}) ни чиқарамиз. Шатуннинг нисбий оний айланиш маркази шатуннинг турли ҳолатлари учун турлича ўринни олади, яъни P_{31} нуқта бирор эгри чизиқда ётади (1.2-шаклдаги β эгри чизиқ).

Шатуннинг оний айланиш маркази атрофида айланиш оний бурчак тезлиги қуйидагича бўлади:

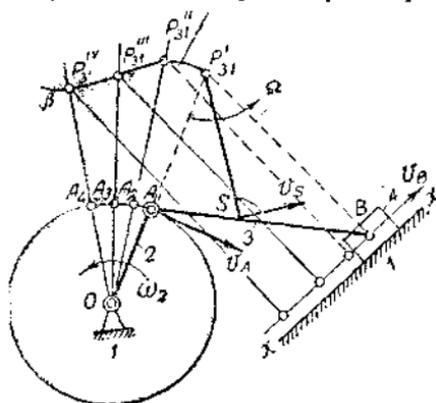
$$\omega_{31} = \frac{v_A}{P_{31}A} = \frac{v_B}{P_{31}B}$$

Шатундаги исталган S нуқтанинг оний чизиқли тезлиги:

$$v_s = \omega_{31} \cdot \overline{P_{31}S}$$

бўлади.

Механизмнинг ҳар хил вазиятлари учун нисбий оний айланиш маркази ҳар хил нуқтада бўлади. Агар шу нуқталарни туташтирсак, оний марказ траекторияси келиб чиқади. Бу траектория *центроида* деб аталади. Ҳар қандай центроида оний айланиш марказларининг геометрик ўринидир (P_{31} нуқта ҳамма вақт шу центроида устида ётади).



1.2-шакл. Кривошип-шатунли механизм:

1 — қўзғалмас вазно; 2 — кривошип; 3 — шатун; 4 — ползун; x, y — йўналишувчи.

звенолари (ёки механизмнинг ўзи) унинг бир вазияти иккинчи вазиятидан ўзгача бўлади. Шундай қилиб, бу механизм таркибдаги звеноларнинг бурчак тезликла-

Ҳар қандай механизм ҳам даврий ҳаракат қилади, яъни механизм барча звеноларининг ҳаракати маълум вақт ўтгач такрорланиб туради. Масалан, кривошип-шатунли механизмни олсак, бу механизм ползун ва шатуннинг ҳаракати (1.2-шакл) кривошипнинг ҳар бир айланишидан сўнг такрорланади, бошқача қилиб айтганда, кривошипнинг бир марта айланиши ичда механизм звеносиз вазиятларни эгаллайди, унинг бир вазияти иккинчи вазиятидан ўзгача бўлади. Шундай қилиб, бу механизм таркибдаги звеноларнинг бурчак тезликла-

ри, тезланишлари ва шу звено нуқталарининг қизиқли тезлик ва тезланишлари ҳам механизм вазиятига қараб ўзгариб боради. Шундай қилиб, ҳисоблаш ишини қривошипнинг бирор O_1A_0 вазиятидан боғласак, бу қривошип бир марта айланиб, ўзининг аввалги O_1A_0 вазиятига келиш даври ичида звенолар тезлиги турлича бўлади, қривошипнинг иккинчи айланишида биринчи айланишидаги ҳаракат — тезлик ва тезланишлар яна такрорланаверади. Шунинг учун ҳам механизмлар кинематикасини ўрганишда етакловчи звенонинг бир айланиш даври ичидаги звенолар ҳаракатини ўрганиш кифоя, чунки навбатдаги айланишлар биринчи айланишга ўхшаш бўлаверади.

2-§. Механизмларнинг турли вазиятдаги планларини тузиши

Механизмларнинг ҳар хил вазиятларини топишдан аввал, механизм масштаби тўғрисида тўхтаб ўтишга тўғри келади. Кўпинча, механизмлар маълум масштаб асосида чизилади. Бундан мақсад, механизм звеноларининг узунлик ўлчовлари жуда кичик бўлса, уларни катталаштириб, катта бўлса, кичрайтириб чизишдан иборатдир.

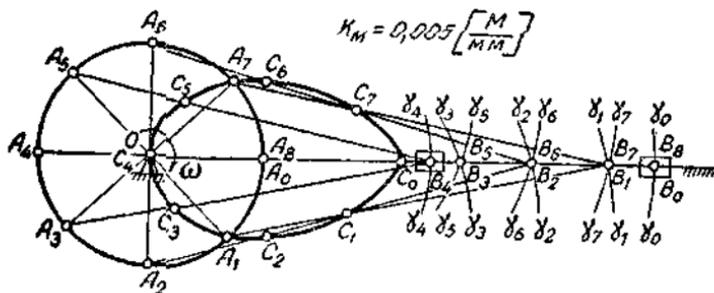
Масалан, авиация двигателининг O_1AB акснел қривошип-шатунли механизми берилган бўлсин (2.1-шакл).

Бу механизм звеноларининг узунлик ўлчовлари қуйидагичадир:

$l_{O_1A} = 95 \text{ мм} = 0,095 \text{ м}$ — қривошипнинг ҳақиқий узунлиги;

$l_{AB} = 340 \text{ мм} = 0,340 \text{ м}$ — шатуннинг ҳақиқий узунлиги;

$l_{AC} = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$ — шатун оғирлик марказининг A нуқтадан бўлган оралиғининг ҳақиқий узунлиги.



2.1-шакл. Қривошип-шатунли механизм.

Ҳар қандай механизмни қоғозда тасвирлаш ана шу масштаб асосида олиб борилгани учун ҳам биз масштаб ҳақида тўла тасавурига эга бўлмоғимиз лозим. Машинасозлик чизмачилигида

масштаб қўйиш машина ва механизмлар назариясидагидек бўлма-са ҳам, лекин оқибат натижаси бир хилдир.

Механизм звеноларини K_m масштабда 2.1-шаклдагидек қилиб чизамиз. Механизм масштаби (K_m) қуйидаги формула билан топилади:

$$K_m = \frac{l_{AB}}{AB} \quad (4.2)$$

бу ерда AB — шатун узунлигининг масштаб катталиги, бу кесмани шу кесма чизиладиган қоғоз сатҳига қараб танлаймиз. Бизнинг мисолимизда $AB = 68$ мм, у ҳолда механизм масштаби қуйидагича бўлади:

$$K_m = \frac{0,34}{68} = 0,005$$

Демак, AB кесманинг (қоғозга чизиладиган кесманинг) ҳар 1 мм узунлигида 0,005 м, яъни 5 мм ҳақиқий узунлик бор экан. Шундай қилиб, механизмдаги қолган звено — кривошипнинг масштаб катталиги, яъни қоғозга чизиладиган узунлиги қуйидагича бўлади:

$$OA = \frac{l_{OA}}{K_m} = \frac{0,095}{0,005} = 19 \text{ мм}$$

Тасвирланган шаклдаги механизм ўз катталигидан беш марта кичик қилиб чизилганини $K_m = 0,005 \left[\frac{\text{м}}{\text{мм}} \right]$ масштабдан билиш мумкин.

Ҳисоблаш ишларини механизмнинг ноль (OA_0B_0) вазиятидан бошлаймиз. Механизмнинг бошланғич (ноль) вазияти қуйидагича топилади:

$$L = OA + AB = 0,087 \text{ м}$$

Шундай қилиб, механизм кривошипнинг айланиш маркази (O) дан ўнг томонга $L = 87$ мм узунликдаги радиус билан $\gamma_0\gamma_0$ ёйини чизамиз. Бу ёйнинг ползуи йўналтирувчиси xx билан кесишув нуқтасини B_0 орқали белгилаймиз, O марказ билан B ни туташтирамиз ва OB_0 нинг α ёйи билан кесишув нуқтасини A_0 орқали белгилаймиз. Шундай қилиб, OA_0B_0 аксиал кривошип-шатунли механизмнинг бошланғич (ноль) вазияти топилади.

Механизм OA кривошип A нуқтасининг траекторияси α айланадан иборатдир. Бу α айланани механизмнинг ноль вазиятидан бошлаб тенг (8, 12, 18, 24, 36, 48) бўлақларга бўламиз. α айлана қанча кўп бўлақка бўлинса, механизмнинг ҳам α айланадаги A нуқтаси вазиятига тегишли вазиятлари шунча кўп бўлади (механизмнинг кривошипнинг $OA_0, OA_1, OA_2, \dots, OA_n$ вазиятларига тўғри келадиган вазиятлари $OA_0B_0, OA_1B_1, \dots, OA_nB_n$ бў-

лади). 2.1-шаклда α айланани кривошипнинг OA_0 вазиятидан бошлаб тенг саккиз бўлакка бўлдик, холос.

Биз механизмнинг янги вазиятларини топнишда унинг звеноларида ҳеч қандай деформация (ёки ўзгариш) бўлмайди, яъни барча звенолар абсолют қаттиқ жисмдан ясалган, деб фараз қиламиз. Механизмнинг янги OA_1B_1 вазиятини ҳосил қилиш учун $A_1B_1 = A_0B_0$ шатуп узунлигини радиус қилиб, α ёйдаги A_1 нуқтани марказ қилиб олиб, xx йўналтирувчи билан кесишгунча ёй чизамиз. Бу yy , ёйнинг xx йўналтирувчи билан кесишув нуқтаси ползуinning B_1 вазиятини беради. Шундай қилиб, кривошип OA_0 вазиятдан соат стрелкаси юрган томонга 45° бурилиб, OA_1 вазиятга келганда (ёки кривошипнинг A_0 нуқтаси α ёйда A_0A_1 йўл юрганда) механизмнинг ползуни xx йўналтирувчида B_0B_1 йўлни босар экан.

Агар кривошип OA_1 вазиятдан OA_2 вазиятга ўтса, у ҳолда, ползун B_1 вазиятдан B_2 вазиятга ўтади ёки A_1 нуқта яна 45° га бурилиб A_1A_2 йўлни ўтганда ползун B_1B_2 йўлни босиб ўтади. A нуқта A_2 дан A_3 га ўтса, ползун B_2 дан B_3 га ўтади ва, ниҳоят, A_3 нуқта A_4 га ўтса, ползун B_3 дан B_4 га ўтади.

Шундай қилиб, кривошипнинг A нуқтаси A_0 вазиятдан A_4 вазиятга ўтса, яъни у 180° га бурилса, ползун ўнг томонда энг чекка B_0 вазиятдан чап томондаги энг чекка B_4 вазиятга ўтиб, B_0B_4 максимал йўлни босиб ўтган бўлади (2.1-шакл).

Кривошип OA_4 вазиятдан соат стрелкаси юрган томон айланиб, OA_5 вазиятга ўтганда B_4 нуқта яна ўнгга қайтиб, B_5 вазиятини эгаллайди, кривошип OA_6 вазиятга ўтганда ползун B_5 вазиятдан B_6 вазиятга келади, буида B_5, B_6 йўлни ўтади. Агар кривошип OA_6 дан OA_7 вазиятга, ползуinning B_6 нуқтаси B_7 ва OA_8 (ёки OA_0) вазиятга ўтса, ползун B_7 вазиятдан B_8 (ёки B_0) вазиятга ўтади. Кривошипнинг A нуқтаси қатор A_1, A_2, \dots, A_8 вазиятларини ўтса (яъни бир марта тўла айлansa, ползуinning маркази (B) энг чекки B_0 ҳолатдан B_1, B_2, \dots нуқталар орқали чапга — B_4 нуқтага, яна ўнг томонга юриб, B_5, B_6, B_7 ва $B_8(B_0)$ нуқталар орқали ўзининг аввалги вазиятига келади.

Агар ползун маркази босиб ўтган B_0, B_1, \dots, B_8 нуқталарини бир-бири билан туташтирсак, $B_0B_4B_8$ тўғри чизиқ B нуқтасининг траекториясини беради. A нуқта траекторияси айлана, B нуқта траекторияси эса тўғри чизиқ эканлиги шаклдан кўриниб турибди.

Ёрдию, AB шатувдаги бирор C нуқтанинг кривошип бир марта тўла айланганда чизган траекториясини топмоқчи бўлсак, у ҳолда, AC оралиқни ўлчаб, уни $A_0B_0, A_1B_1, \dots, A_7B_7$ узунлик планларининг A_0, A_1, \dots, A_7 учларидан бошлаб қўйиб, шатувдаги C нуқтанинг C_0, C_1, \dots, C_7 вазиятларини белгилаб оламиз. Агар шу нуқталарни бир-бири билан туташтирсак, эллипс

сингари β ёпиқ эгри чизик ҳосил бўлади. Ана шу β ёпиқ эгри чизик шатундаги C нуқтанинг траекториясидир.

Шатуннинг A нуқтаси айлана, B нуқтаси тўғри чизик экаллигини, A билан B нинг бирор оралиғида C нуқта эллипс каби траекториялар чизишини шаклдан кўриш қийин эмас. Шуни ҳам айтиш керакки, C нуқта A га яқинлашиб борса, унинг траекторияси айланага яқинлашади, C нуқта B га яқинлашиб борган сари, унинг траекторияси тўғри чизикка яқинлашиб боради.

Шундай қилиб, айлана, тўғри чизик ва овал шаклидаги траекториялар билан танишиб чиқдик. Механизм нуқталарининг ҳар хил траекторияларидан жуда кўп фойдаланилади. Масалан, ползунинг тўғри чизикли ҳаракатидан кривошипнинг айланма ҳаракатини ёки, аксинча, кривошипнинг айланма ҳаракатидан ползунинг тўғри чизикли ҳаракатини, коромислоли тўрт звеноли шарнирли механизмнинг шатувидаги нуқта траекториясидан автомат пон заводларида ҳамир қориш ишларида, айлана траектория ҳосил қиладиган звенолардан ҳар хил қўшилмаларни аралаштириш ишларида, ёй шаклидаги звено нуқтасининг траекториясидан ҳар хил храповикли узатмаларда, тўғри чизикли траекторияларидан тикиш машиналарида, пресшлаш ишларида фойдаланилади ва ҳоказо.

Шундай қилиб, ҳозирги замон механизм ва машиналар назариясининг асосий масалаларидан бири мақсадга мувофиқ траекториялар чизадиган механизм яратиш ва бу механизмлардан киши қўли билан бажарадиган ишларни бажаришда фойдаланишдан иборатдир.

3-§. Текисликда ҳаракатланувчи механизм звено нуқталарининг тезлик ва тезланишларини топиш

2-параграфда механизм нуқталарининг етакловчи звено тўла айланганда чизган траекториялари билан танишиб чиқдик. Механизмни тўла характерлаш учун шу механизм таркибидаги звено нуқталарининг чизик тезлиги, тезланиши ва шу звенонинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишларининг ўзгариш қонунларини билиш керак.

Текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар кинематикаси, асосан, уч хил усул билан ўрганилади. Кинематикани ўрганишнинг биринчи усули график кинематика бўлиб, бунда, асосан, нуқтанинг йўли, тезлиги ва тезланишининг вақтга нисбатан ўзгариш қонунлари график усулда текширилади.

Механизмлар кинематикасини график усулда ўрганиш механизмларнинг *график кинематикаси* деб аталади. Бу усулда, асосан, машҳур француз олими Рене Декартнинг (1596—1650)

координаталар системасидан фойдаланилади. График кинематиканинг афзаллиги шундаки, унда звено нуқталарининг тезликлари ва тезланишларининг скаляр ўзгариш қонувлари яққол кўриниб туради, ammo уларнинг векторнал ўзгариш қонувларини график кинематика методидан кўриб бўлмайди. Бу усулнинг камчилиги шундаки, йўл (ёки оралиқ) графикларидан тезлик ва тезланиш графикларига ўтишда бирмунча хатоликларга йўл қўйилиши мумкин.

Механизмларнинг график кинематикасини ўрганишда йўл графигидан ёки оралиқ графигидан тезлик графигини, тезлик графигидан тангенциал тезланиш графигини ҳосил қилишда график дифференциаллаш методларидан фойдаланилади (4-параграфга қarang).

Механизмлар кинематикасини ўрганишнинг иккинчи усули тезлик ва тезланишлар планидан фойдаланишдир. Механизмлар кинематикасини ўрганишнинг бундай усули механизмларнинг графоаналитик кинематикаси деб аталади. Бунда, асосан, ҳаракатларнинг вектор тенгламаларидан фойдаланилади, бу тенгламалар эса, асосан, график усулда ечилади. Бу усул тезликлар ва тезланишлар планидан фойдаланиш усули деб ҳам аталади.

Графоаналитик усулнинг афзаллиги шундаки, бунда, асосан, механизм звенолари нуқталарининг тезлиги ва тезланишнинг ҳам скаляр, ҳам векторнал қийматлари механизмнинг исталган вазияти учун маълум бўлади.

Ниҳоят, механизмлар кинематикасини аналитик усул билан ҳам ўрганиш мумкин. Аналитик усул жуда аниқ усуллардан бўлиб, уни кўп звеноли механизмларга татбиқ этиш анча қийин. Шунинг учун аналитик кинематика усули кам звеноли механизмларга (кривошип-шатунли, 4 звеноли кулисали механизмлар ва бошқаларга) татбиқ этилса, яхши натижалар беради, яъни бунда механизмнинг ҳар қандай вазияти учун исталган аниқликдаги физик катталикларни олиш мумкин. Аналитик усулдан катта аниқлик талаб этиладиган механизмлар учун фойдаланилади.

Аналитик кинематиканинг афзаллиги шундаки, бу усулда йўл, тезлик ва тезланишлар (математика тили билан айтганда функциялар) билан етакловчи звенонинг айланиш бурчаги ёки бир марта тўла айланиши учун кетган вақт (аргумент) орасидаги боғланиш биргина тенглама (ёки формула) орқали ифодаланади. Ammo аналитик кинематикада, график ва графоаналитик кинематикадаги сингари, физик катталикларнинг скаляр ҳамда векторнал ўзгариши яққол кўриниб турмайди. Кейинги кунларда электрон ҳисоблаш машиналарининг зўр бериб ривожлантирилиши аналитик кинематикадан фойдаланишни осонлаштиради.

4-§. Кинематик диаграммалар ёрдами билан механизмлар кинематикасини ўрганиш (график кинематика)

Механизмлар кинематикасини текширишда асосий шартлардан бири шуки етакловчи звено ёки звеноларнинг бир минут ичидаги айланиш сони (ёхуд бурчак тезликлари) ўзгармас катталиклар деб фараз қилинади. Бунинг аналитик ифодаси қуйидагичадир:

$$n = \text{const}$$

бўлгани учун:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

бўлади. Бурчак тезлиги ҳам ўзгармас катталик, яъни:

$$\omega = \text{const}$$

деб қаралади.

Ҳар қандай механизм ёки машина звенола рнинг ҳаракати даврий бўлиб, бошланғич ҳаракат маълум вақт ўтгач яна такрорланади ва звеноларнинг бу ҳаракати етакловчи звеноларнинг ҳаракат қонунлари билан боғлиқ бўлади. Механизм даври, кўпинча, етакловчи звенонинг бир марта тўла айланиши учун кетган вақтга тенг бўлади. Масалан, механизмнинг етакловчи звеноси ҳар минутда n марта айланса, унинг бир айланиши учун кетган T вақт (механизм даври) қуйидагича бўлади:

$$T = \frac{60 \left| \frac{\text{сек}}{\text{айл}} \right|}{n} \quad (4.3)$$

Механизмнинг бир секунд ичидаги айланишининг такрори эса $y = \frac{1}{T}$ орқали топилади. Бурчак тезлиги ёки y циклик такрор эса

$$\text{қуйидагича топилади: } \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi y = \frac{2\pi \cdot n}{60} \text{ рад/сек.}$$

Шундай қилиб, бурчак тезлиги деб аталувчи миқдор механизмнинг етакловчи звеносининг 2π секунд вақт ичидаги айланишлар сонини билдирар экан, яъни бунда вақт бирлиги сифатида секунд олинган. Айлана радиан ҳисобида 2π га тенг бўлгани учун такрор (бурчак тезлиги) ўлчовини бир секунддаги радианлар сони билан белгилаш одат қилинган. Механизм такрор ҳаракати шу даврдан сўнг қайтарила беради.

Демак, механизм тебранима ҳаракат қилар ва унинг (T) тебраниш даври (4.3) формула билан топилар экан. Шунинг учун ҳам ҳар қандай механизмдаги етакловчи звенонинг бир марта тўла айланишида айрим звено нуқтасининг ҳаракатланиш қонунларини билиш кифоя, чунки T даврдан кейинги ҳаракатлар худди шу ҳаракатнинг такроридан иборат бўлади.

График кинематикада иккита график ўрганилади — булар йўл ва оралиқ графикларидир. Йўл графиги давр ичида кўтарилиб борувчи график бўлиб, иккинчиси маълум вақтдан сўнг ўз вазиятга қайтувчи графикдир. Бундай графиклар чизиш учун, танлаб олинган декарт координаталар системасининг ординаталар ўқиға механизм звенолари айрим нуқталарининг ўтган йўллари ёки оралиқлари, абсцисса ўқиға эса етакловчи звенонинг бир марта тўла айланиши учун кетган вақт қўйилади. Иккала катталиқ ҳам маълум масштабда олиниб, булардан бири йўл ёки оралиқ масштаби (K_s), иккинчиси эса вақт масштаби (K_t) дейилади.

2.1-шаклда кўрсатилган аксиал кривошип-шатунли механизм ползуни B шарнир марказининг (ёки B нуқтасининг) траекторияси тўғри чизиқдан, AB шатундаги бирор C нуқтанинг траекторияси эса $C_0C_4C_8$ ёпиқ эгри чизиқдан иборатдир. Бу иккала траектория OA кривошипнинг A_0 вазиятидан бошлаб, бир марта тўла айланишда ҳосил бўлган.

Шундай қилиб, 2.1-шаклда механизмдаги B ва C нуқталарининг шу механизм даври ичидаги ҳаракат қонунини билмоқ (йўл ёки оралиқ графикларини ҳосил қилмоқ) учун, етакловчи звено OA_0 вазиятда деб қабул қиламиз. Демак, етакловчи звено OA_0 вазиятдан соат стрелкаси юрадиган томонга айланиб, бир давр (T вақт) ўтгач, яна ўз ҳолига қайтиб келади. Шу давр ичида етакловчи звено — кривошип чексиз вазиятларни босиб ўтади. Одатда, ҳаракат қонунини топиш учун кривошипдаги A нуқтанинг траекторияси (яъни айлана) тенг 8, 12, 16, 24, 36 ва ҳоказо бўлақларга бўлиниб, шу вазиятларга тегишли B ва C нуқталар аниқлаб чиқилади. Айлана қанчалик кўп бўлақларга бўлинса, нуқталарнинг траекториялари ҳам шунчалик аниқ бўлади.

2.1-шаклда A нуқтанинг траекториясини — айланани, тушуштириш осон бўлиши учун, саккизга тенг бўлақка бўламиз. Демак, OA кривошип механизмининг даври ичида OA_0 вазиятдан бошлаб OA_1, OA_2, \dots, OA_7 вазиятларни ўтгач, яна OA_0 ёки OA_8 вазиятга қайтиб келади. Кривошипнинг A нуқтаси A_0A_1 ёнига ўтса (45° бурчакка бурилган бўлади), у ҳолда, унга кетган вақт даврининг саккиздан бирига тенг бўлади ($t_1 = \frac{1}{8}T$).

Шу вақт ичида ползундаги B нуқта ўзининг B_0 вазиятидан B_1 вазиятга ўтиб, B_0B_1 йўлни (оралиқни) босади. Бу B_0B_1 оралиқнинг ҳақиқий катталигини S_{B_1} билан белгиласак, бу катталиқ иккидаги $\overline{B_0B_1}$ нинг механизм масштабига кўпайтирилганига тенг бўлади, яъни: $S_{B_1} = K_m \cdot \overline{B_0B_1}$. Агар кривошипнинг A нуқтаси A_1 вазиятдан A_2 вазиятга ўтса, у ҳолда, B_1 нуқта B_2 га кўчади ва B_1B_2 оралиқни босиб ўтади. Оралиқни B_0 вазиятдан ҳисобласак,

$\overline{B_0B_2} = B_0B_1 + B_1B_2$ бўлади. $\overline{B_0B_2}$ нинг ҳақиқий катталигини S_{B_2} деб белгиласак, $S_{B_2} = K_M (\overline{B_0B_1} + \overline{B_1B_2})$ бўлади.

Кривошип шу тарзда айланишни давом эттириб, унинг A нуқтаси A_3 вазиятига ўтса, B нуқта $S_{B_3} = K_M \cdot \overline{B_0B_3}$ ёки $K_M \cdot (\overline{B_0B_1} + \overline{B_1B_2} + \overline{B_2B_3})$ ва A нуқта A_4 га келганда B нуқта $S_{B_4} = K_M \cdot \overline{B_0B_4} = K_M (\overline{B_0B_1} + \overline{B_1B_2} + \overline{B_2B_3} + \overline{B_3B_4})$ максимал ораликни босиб ўтади. Демак, кривошип OA_0 вазиятдан бошлаб 180° га айланса, B нуқта B_0 вазиятдан B_4 га кўчиб, максимал ораликни босиб ўтар экан; механизмнинг OA_0B_0 вазияти сокин вазият деб, B_0, B_4 вазиятлар механизм B нуқтасининг чекка вазиятлари деб аталади.

Кривошипни OA_1 вазиятдан бошлаб айланишда давом эттирсак, механизмнинг B нуқтаси B_4 вазиятдан ўнг томонга юра бошлайди. Шу тарзда мулоҳазани давом эттириб:

$$S_{B_3} = K_M \cdot \overline{B_0B_3} = K_M (\overline{B_0B_4} - \overline{B_4B_3});$$

$$S_{B_6} = K_M (\overline{B_0B_6}) = K_M (\overline{B_0B_4} - \overline{B_4B_6} - \overline{B_5B_6});$$

$$S_{B_7} = K_M \cdot \overline{B_0B_7} = K_M (\overline{B_0B_4} - \overline{B_4B_5} - \overline{B_5B_6} - \overline{B_6B_7})$$

ва, ниҳоят:

$$S_{B_8} = K_M \cdot \overline{B_0B_8} = K_M (\overline{B_0B_4} - \overline{B_4B_8}) = 0$$

эканлигини кўриш қийин эмас, яъни $S_{B_8} = S_{B_8} = 0$ бўлади (2.1-шакл).

Шундай қилиб, кривошипнинг OA_0 вазиятидаги оралик ноль бўлиб, унинг бир марта тўла айланишида яна шу OA_0 вазиятга келади, яъни:

$$S_{B_8} = 0$$

бўлади.

Демак, кривошипнинг бир марта тўла айланишида B нуқта $S_{B_1}, S_{B_2}, \dots, S_{B_8}$ ораликларни босиб ўтар экан. Агар бу ораликлар жуда катта ёки жуда кичик бўлса, ёхуд чизма қоғозига сизмаса, улар K_{SB} масштабда кичик ёки катта қилиб чизилади. Ниҳоят, декарт координаталар системасининг ординаталар ўқига K_{SB} масштабда B нуқтанинг оралигини, абсциссалар ўқига эса K_t масштабда даврий қўйсақ, оралик графиги деб аталувчи

$$S_B - t$$

графиги ҳосил бўлади (4.1-шакл).

Масштабни қуйидагича танлаймиз:

$$K_{SB} = \frac{K_{AJ} \overline{B_0 B_1}}{y_{\max}} \left[\frac{м}{мм} \right] \quad (4.4)$$

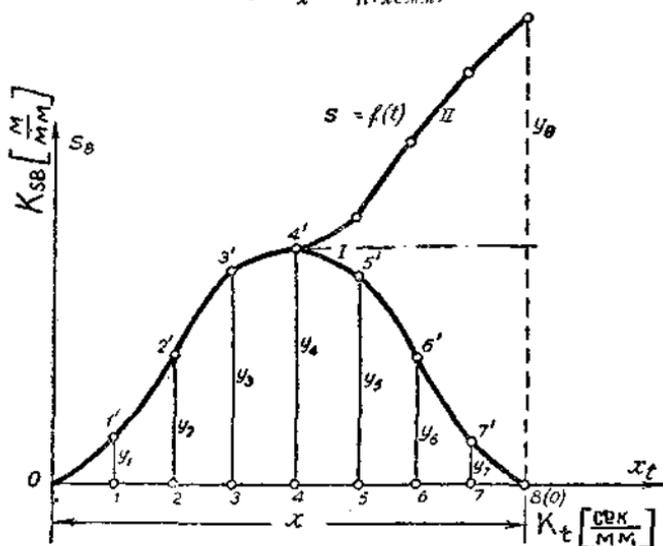
(4.4) формуладан топилган масштаб *оралик масштаби* деб аталади; y_{\max} ни чизма қоғозидagi жойга қараб танлаб оламиз, у ҳолда, графикка қўйиладиган ординаталар қуйидагича топиллади:

$$y_0 = 0, \quad y_1 = \frac{S_{B_1}}{K_{SB}} [мм]; \quad y_2 = \frac{S_{B_2}}{K_{SB}} [мм]; \quad y_3 = \frac{S_{B_3}}{K_{SB}} [мм], \dots;$$

$$y_7 = \frac{S_{B_7}}{K_{SB}} [мм] \quad \text{ва} \quad y_8 = y_0 = 0$$

Вақт масштаби K_t қуйидагича бўлади:

$$K_t = \frac{T}{x} = \frac{60}{n \cdot x} \left[\frac{сек}{мм} \right] \quad (4.5)$$



4.1- шакл. Пўл ва оралик графиги:

I — оралик графиги; II — пўл графиги.

x кесма абсциссалар ўқига қўйиладиган ихтиёрй кесма бўлиб, механизм даврини ифодалайди. Механизм кривошипнинг бир айланишига кетган вақтни тенг саккиз бўлакка бўлганимиз учун x кесмани ҳам тенг саккиз бўлакка бўламиз ва координаталар бошидан 0, 1, 2, 3, ..., 8 рақамларини қўйиб чиқамиз (4.1-шакл).

4.1-шаклда оралик ва йўл графиги тасвирланган. Оралик графиги O дан бошланиб, 4 вазиятида унинг ординатаси максимал қийматга эришади, кейинги вазиятларда ординаталари пасайиб, 8 вазиятда яна нолга тушади. Йўл графигида эса (4.1-шакл) йўл O дан бошланиб, доимо ошиб боради.

Кривошинининг 8 вазиятида босилган йўл максимал қийматга эга бўлади.

Шундай қилиб, B нукта траекторияси мисолида оралик ва йўл графигини қандай ҳосил қилиш билан танишиб чиқдик. Бу график B нуктанинг ҳаракат қонунини ифодалайди.

4.1-шаклдаги $S_B - t$ графигини график дифференциаллаб, тезлик ва тезланиш графикларини ҳосил қилиш мумкин. $S_B - t$ графигини қуйидаги уч метод билан дифференциаллаш мумкин:

1. Уринмалар методи.
 2. Ватарлар методи.
 3. Ординаталарни орттириш методи.
- 5--7-параграфларда учун метод билан танишиб чиқамиз.

5-§. Уринмалар методи билан дифференциаллаш

Бу метод билан $S_B - t$ графигини дифференциаллаш учун, графикдаги тегишли 1, 2, 3, 4, ..., 7 нукталарга $T_1, T_2, T_3, \dots, T_7$ уринмалар ўтказамиз (5.1-шакл, а). Функция ҳосиласининг геометрик ва физик маъноси бор. Функция ҳосиласининг геометрик маъноси шу эгри чизиқ нуктасига ўтказилган уринманинг абсциссалар ўқи билан ҳосил қилган бурчани тангенсини ифода қилса, физик маъноси тезликдан иборатдир. Йўлдан вақтга нисбатан олинган ҳосил тезлик бўлганидан:

$$v_{B_i} = \frac{dS_{B_i}}{dt}; \quad S_{B_i} = K_{S_B} \cdot y_{S_i}; \quad t = K_t \cdot x_i$$

эканлиги эътиборга олинса:

$$v_{B_i} = \frac{K_{S_B}}{K_t} \cdot \frac{dy_{S_i}}{dx_i} = \frac{K_{S_B}}{K_t} \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$$

келиб чиқади.

Оралик графиги $S_B - t$ дан тезлик графигини ҳосил қилиш учун шу график остига $v_B - t$ координаталар системасини чизамиз (5.1-шакл, б). Сўнгра Ot ўқининг чап томонидан ихтиёрий $H_1 = \overline{OO'}$ масофани оламиз. O' нуктадан $S_B - t$ графигидаги T_1, T_2, \dots уринмаларга параллел чизиқлар ўтказиб, уларнинг ординаталар ўқи билан кесилган нукталарни O_1, O_2, \dots ларни оламиз. Шу ординаталарни H_1 га бўлсак, $\operatorname{tg} \alpha_1, \operatorname{tg} \alpha_2, \dots$ лар келиб чи-

қишини кўриш қийин эмас. Шундай қилиб, ихтиёрый i нуқта учун $\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{OO_i}{H_1}$ бўлади.

$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{OO_i}{H_1}$ ни тезлик тенгламасига қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$v_{B_i} = \frac{K_{S_B}}{K_t} \cdot \frac{OO_i}{H_1}$$

Ихтиёрый i нуқтанинг тезлиги $v_{B_i} = K_v \cdot y_{v_i}$ эканлигини эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

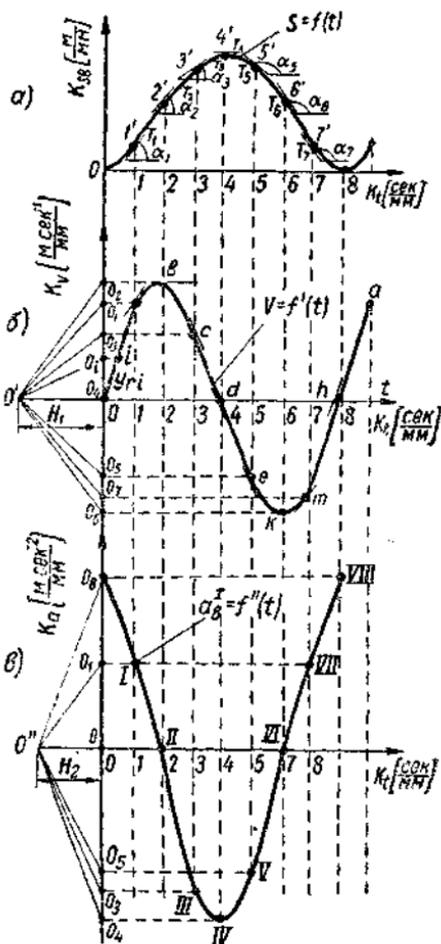
$$v_{B_i} = K_v \cdot y_{v_i} = \frac{K_{S_B}}{K_t \cdot H_1} \cdot OO_i \quad (4.6)$$

(4.6) тенглама K_v масштабда ползундаги B нуқтанинг i вазиятдаги тезлигини кўрсатади. K_v тезлик масштаби бўлиб, у қуйидагича топилди:

$$K_v = \frac{K_{S_B}}{K_t \cdot H_1} \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]. \quad (4.7)$$

5.1-шакл, б да B нуқтанинг тезликлар графигини тузиш кўрсатилган $v_B - t$ координаталар системасининг ординатасидаги O' нуқтадан горизонтал ўтказиб, унинг $S_B - t$ графигидаги I' нуқтадан туширилган вертикал чизик билан кесишув нуқтасини a орқали белгилаймиз. Шундай қилиб, $I - a$ ордината K_v масштабда B нуқтанинг B_1 вазиятдаги тезлигини беради.

Худди шу йўсинда давом эттириб, b, c, d, e, k, m, n нуқталарни ҳосил қиламиз. Бу нуқталарнинг ординаталари тегишли масштабда B_2, B_3, \dots



5.1-шакл. Уринмалар методи билан дифференциаллаш:

a — оралик графиги; b — тезлик графиги; c — тезлиш графиги.

B , нуқталарнинг тезликларини бериши (4.6) формуладан маълумдир, яъни:

$$v_{B_1} = K_v \cdot 1a [\text{мсек}^{-1}]$$

$$v_{B_2} = K_v \cdot 2b$$

$$v_{B_3} = K_v \cdot 3c$$

$$v_{B_4} = K_v \cdot 4d$$

$$v_{B_5} = K_v \cdot 5e$$

$$v_{B_6} = K_v \cdot 6k$$

$$v_{B_7} = K_v \cdot 7m$$

$$v_{B_8} = 0$$

бўлади.

Шундай қилиб, $S_B - t$ оралик графигидан $abcdekln$ синусоида тарзидаги тезликлар графигини ҳосил қилдик. Олинган тезликлар графиги K_v масштабда бўлиб, бу масштабнинг катталиги танлаб олинган $H_1 = \overline{OO_1}$ масофага боғлиқдир. Агар H_1 масофа катталашса, K_v масштаб кичиклашади, аксинча, бу масофа кичиклашса, K_v масштаб катталашади (5.1-шакл, б).

Тезликлар графигидан кривошип-шатуици механизм ползунидagi B нуқтанинг исталган вазияти учун тезликларнинг ҳақиқий катталигини топиш қийин эмас.

Энди $v_B - t$ тезликлар графигидан тезланишлар графигини ҳосил қиламиз. Бунинг учун юқорида баён этилган уринмалар методи билан $v_B - t$ графигидан вақтга нисбатан бир марта ҳосил олиш (яъни дифференциаллаш) керак. Бу эса $S_B - t$ графигидан $v_B - t$ графиги ҳосил қилинганига ўхшашдир, бунда фақат тезликлар графигидаги $O, a, b, c, d, e, k, m, n$ нуқталарга уринмалар ўтказиб чиқиш керак бўлади. Сўнгра $v_B - t$ графигининг остига тезланиш координаталар системасини чизамиз (5.1-шакл, в) ва абсциссалар ўқининг чап томонидан ихтиёрий $\overline{OO''} = H_2$ оралиқни танлаб оламиз.

Тезлик графигида ўтказилган уринмаларга O'' нуқтадан параллеллар ўтказамиз ва бу параллел нурларни ординаталар ўқи билан кесишув нуқталари (O_1, O_2, \dots) дан горизонтал чизиклар ўтказиб, бу горизонталларнинг графикдаги уринма ўтказилган нуқталардан туширилган вертикаллар билан кесишув нуқталарини I, II, III орқали белгилаб оламиз (5.1-шакл, в). Олинган бу нуқталарни туташтирсак, косинусоида каби эгри чизик ҳосил бўлади. Бу эса механизмдаги B нуқтанинг тангенциал тезланиш графигидир, унинг ординаталарини K_a тезланиш масштабига кўпай-

тирсак, нуқтанинг тегишли вазиятларидаги тезланишлари ҳосил бўлишини кўриш қийин эмас. Дарҳақиқат:

$$a'_{B_i} = \frac{dv_{B_i}}{dt} = \frac{K_v}{K_t} \cdot \frac{dy_{v_i}}{dx_t} = \frac{K_v}{K_t} \cdot \operatorname{tg} \alpha_i; \quad \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{\overline{OO_i}}{\overline{OO}} = \frac{\overline{OO_i}}{H_2}$$

$\operatorname{tg} \alpha$ қийматини юқоридаги тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$a'_{B_i} = \frac{K_v}{K_t} \cdot \frac{\overline{OO_i}}{H_2} = K_a \cdot \overline{OO_i} \quad (4.8)$$

Тезланишлар графигининг масштаби қуйидагича топилади:

$$K_a = \frac{K_v}{K_t \cdot H_2} = \frac{K_s}{K_t^2 \cdot H_1 \cdot H_2} \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мм}} \right] \quad (4.9)$$

Агар $H_1 = H_2$ бўлса, у ҳолда (4.9) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$K_a = \frac{K_s}{K_t^2 \cdot H^2} \quad (4.9a)$$

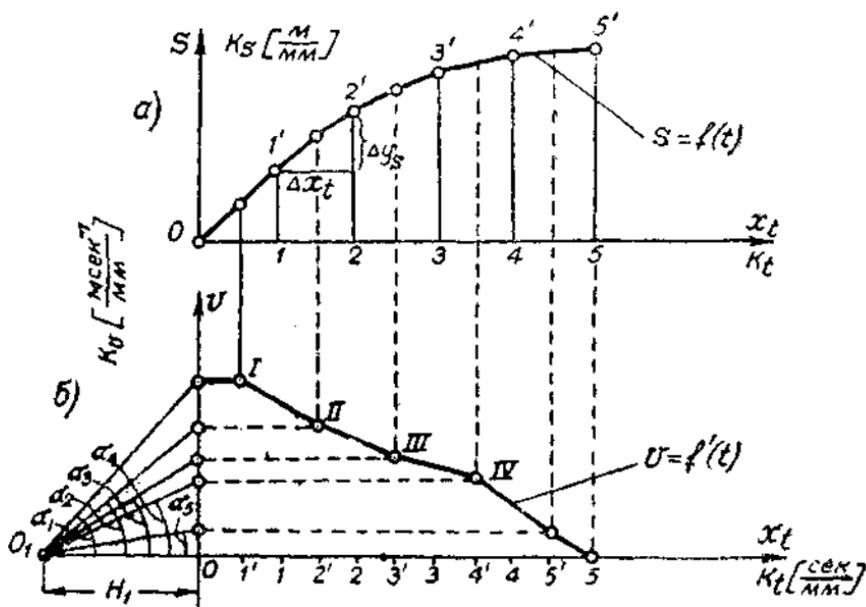
(4.8) тенгламадан кўришиб турибдики, $\overline{OO_i}$ ордината бирор K_a масштабда a'_{B_i} тезланишни билдиради. K_a масштабнинг катталиги (4.9) формуладан топилади. Шундай қилиб, $S_B - t$ оралик графигидан $v_B - t$ ва $a'_B - t$ тезлик ва тезланиш графикларини ҳосил қилдик. B нуқтанинг тезлик ва тезланишлари тегишли ординаталарни тегишли масштабларга кўпайтириш йўли билан топилади; улар 3-жадвалда берилган.

3-жадвал

Тартиб номери	Механизм кривошипнинг вазияти	B нуқтанинг тезлиги	B нуқтанинг тезланиши
0	Кривошипнинг бошланғич вазияти	$v_{B_0} = 0$	$a'_{B_0} = K_a \cdot \overline{OO_0}$
1	Кривошип 45° бурнида	$v_{B_1} = K_v \cdot \overline{1a}$	$a'_{B_1} = K_a \cdot \overline{1I}$
2	« 90° «	$v_{B_2} = K_v \cdot \overline{2b}$	$a'_{B_2} = K_a \cdot \overline{2II}$
3	« 135° айланди	$v_{B_3} = K_v \cdot \overline{3c}$	$a'_{B_3} = K_a \cdot \overline{3III}$
4	« 180° «	$v_{B_4} = 0$	$a'_{B_4} = K_a \cdot \overline{4IV}$
5	« 225° «	$v_{B_5} = K_v \cdot \overline{5e}$	$a'_{B_5} = K_a \cdot \overline{5V}$
6	« 270° «	$v_{B_6} = K_v \cdot \overline{6k}$	$a'_{B_6} = K_a \cdot \overline{6VI}$
7	« 315° «	$v_{B_7} = K_v \cdot \overline{7m}$	$a'_{B_7} = K_a \cdot \overline{7VII}$
8	« 360° «	$v_{B_8} = 0$	$a'_{B_8} = a'_{B_0}$

6-§. Ватарлар ёрдами билан дифференциаллаш

Оралик ёки тезлик графикларининг тегишли нуқталарига уринмалар ўтказиш, кўпичча, ноқулай бўлади, чунки нуқтанинг эгрилик радиуси номаълум бўлиб, уринма ўтказилганда катта хатоликка йўл қўйилиши мумкин. Бундай ҳолларда тақрибий методдан — ватарлар усулидан фойдаланилади. Бу усулда графикдаги кичик эгри чизиқлар тўғри чизиқ — ватар билан алмаштирилади (6.1-шакл, а). Шаклдаги $01'$, $1'2'$, $2'3'$, $3'4'$ ва $4'5'$ ёйларни тўғри чизиқлар (ватарлар) билан алмаштираемиз.



6.1-шакл. Ватарлар ёрдами билан дифференциаллаш:

а — ёй графикли; б — тезликлар графикли.

График дифференциаллашда абсциссадаги ораликлар қанча кўп бўлса, олинган тезликлар графикли ҳам шунча яхши чиқади ва тезликлар ҳақиқий тезликка яқинлашади, чунки ораликлар кичиклашган сари ёй билан ватар орасидаги фарқ ҳам камайиб боради. Бу эса тезликлар олишдаги хатони камайтиради.

Ватарлар ёрдами билан ўртача тезлик ёки тезланишни оламиз:

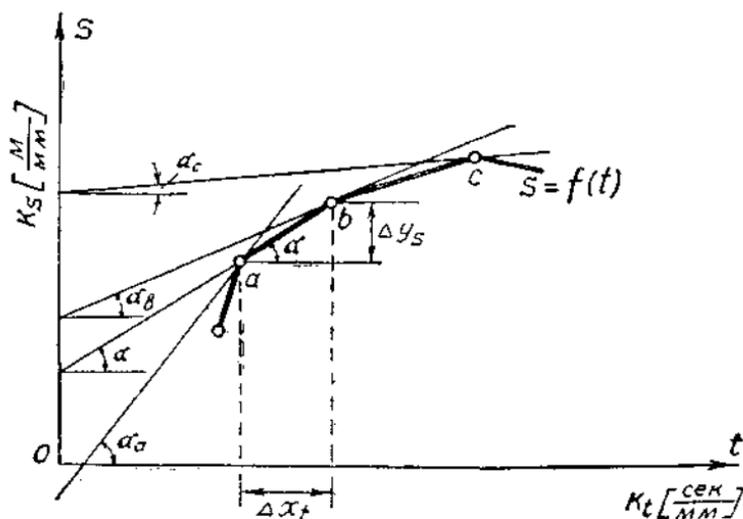
$$v_{\text{ўр}} = \frac{\Delta S_t}{\Delta t} = \frac{K_S \cdot \Delta y_{s_t}}{K_t \cdot \Delta x_t} = \frac{K_S}{K_t} \cdot \text{tg } \alpha_t$$

Буларни ўртача тезликдаги $\operatorname{tg} \alpha$, нинг ўрнига қўйиб:

$$v_{\text{ўр}} = \frac{K_S}{K_t} \cdot \frac{\overline{OO}_t}{H_1} = K_v \cdot \overline{OO}_t \quad (4.10)$$

ни ҳосил қиламиз.

(4.10) формула билан топилган тезлик ўртача тезликдир, шунинг учун унинг ординаталари ҳам ўртача бўлади, улар 0—1, 1—2, 2—3, 3—4 ва 4—5 ораликларининг ўртасида бўлиши керак. Буни ҳосил қилиш учун $v-t$ координаталар ўқининг чап томонидан H_1 масофани ихтиёрий танлаб оламиз ва O_1 нуқтадан $01'$, $1'2'$, $2'3'$, $3'4'$ ва $4'5'$ ватарларга параллел нурлар ўтказамиз. Бу нурларнинг ординаталар ўқи билан кесишув нуқтасидан горизонтал чизиқлар ўтказиб, уларнинг тегишли ораликлар ўрта-



6.2-шакл. Йўл графигига ўтказилган урним ҳамда ватар.

сидин туширилган вертикаллар билан кесишув нуқталарини I, II, III, IV ва V рақамлар орқали белгилаймиз (6.1-шакл, б).

$$v_{\text{ўр}} = K_v \cdot y_{\text{ўр}} = K_v \cdot \overline{OO}_t$$

Экинчизини эътиборга олиб:

$$y_{\text{ўр}} = \overline{OO}_t$$

Тонглигини чиқариш қийин эмас.

■

Шундай қилиб, $S - t$ графигини дифференциаллашдан ҳосил бўлган $v - t$ графигидаги ўртача тезликларнинг ҳақиқий қийматлари қуйидагича топилади:

$$\begin{aligned}v_1 &= K_v \cdot (\overline{I' I'}); & v_2 &= K_v \cdot (\overline{2' II'}), \\v_3 &= K_v \cdot (\overline{3' III'}), & v_4 &= K_v \cdot (\overline{4' IV'})\end{aligned}$$

Ҳақиқатан олганда уринмалар усулида дифференциаллаш билан ватарлар усулида дифференциаллаш орасида фарқ йўқ, чунки эгри чизик устидаги нуқталар оралиғи чексиз яқинлаштирилса, икки нуқтани туташтирувчи тўғри чизик (ватар) уринмага айланади (6.2-шакл):

$$\lim_{\Delta x_t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y_s}{\Delta x_t} \right) = \frac{dy_s}{dx_t} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (4.11)$$

7-§. Ординаталарни ортттириш усули билан дифференциаллаш

Оралик, йўл ёки тезлик графикларининг ординаталарини ортттириш усули билан жуда осон дифференциаллаш мумкин. Бу усул билан графикларни дифференциаллашда уринмалар ёки ватарлар ўтказишга эҳтиёж қолмайди. Аммо бу усул билан фақат ўртача тезликни олиш мумкин.

Бирор $S - t$ графиги K_s ва K_t масштабларда берилган бўлсин (7.1-шакл, а). Бу графикни тенг бўлақларга бўлиб чиқамиз (1, 2, 3, ..., 7), ўртача тезлик:

$$\begin{aligned}v_{sp} &= \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{K_s \cdot \Delta y_t}{K_t \cdot \Delta x_t} = \frac{K_s}{K_t \cdot \Delta x_t} \cdot \Delta y_t; \\v_{sp} &= K_v \cdot y_{vt}\end{aligned}$$

ёқалигини эътиборга олиб:

$$y_{vt} = \frac{K_s}{K_t \cdot \Delta x_t \cdot K_v} \cdot \Delta y_t \quad (4.12)$$

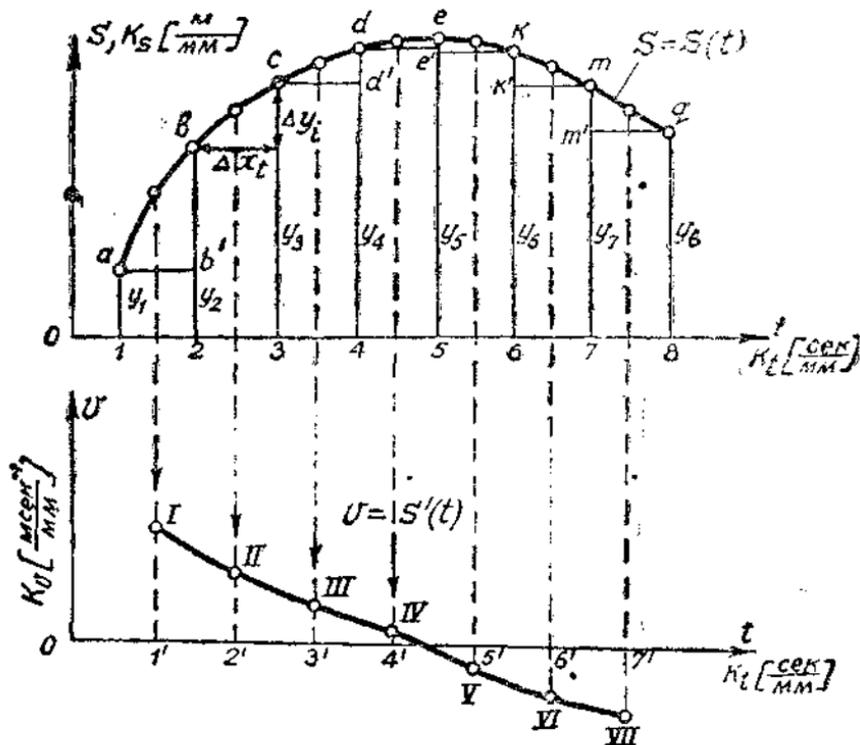
ни ҳосил қиламиз.

Демак, тезлик ординатаси y_{vt} ни оралик ёки йўл графигидаги ортттирма (Δy_t) орқали топиш мумкин экан. Бунда ордината ортттирмаларини аниқ ўлчаб олиш ҳам жуда осон.

Қўпинча, $S - t$ графигининг тузилишига қараб, график дифференциаллаш усулларида бири танланади. Ҳамма вақт, ортттирмалар усули билан дифференциаллашда масала аниқроқ ечилади.

(4.12) тенгламадаги K_s , K_t , Δx_t ва K_v ўзгармас катталиқ бўлганлигидан, уларни C билан белгилаймиз, у ҳолда (4.12) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$y_{vi} = C \cdot \Delta y_i \quad (4.13)$$



7.1-шакл. Йўл графиги (а) дан ординаталарни орттириш йўли билан тезликлар графиги (б) ни ҳосил қилиш.

Бунда:

$$C = \frac{K_s}{K_t \cdot \Delta x_t \cdot K_v}$$

Демак, $S-t$ графигидаги ординаталар орттирмасини бирор ўзгармас C катталиқка кўпайтирсак, ўртача тезлиқнинг K_v масштабдаги ординатаси чиқар экан. Масала фақат ординаталар катталигини аниқлашда қолади, холос. Орттирмалар катталигига қараб, ўзгармас C коэффициентини танлаб оламиз. Агар $C=1$ бўлса,

исталган нуқтанинг чизиқли тезлиги айланиш ўқидан шу нуқтагача бўлган ораликқа пропорционалдир. Шунга эса тутиш лозимки, звенонинг айланма ҳаракатидаги бурчак тезлиги шу звенонинг исталган нуқтаси учун бир хил, чизиқли тезлиги эса шу нуқталар учун турлича бўлади ва координаталар бошидан ўтувчи тўғри чизиқ қонуни билан ўзгаради (8.1-шакл).

Бундан буён, айланма ҳаракат қилувчи звенонинг бурчак тезлиги ω билан бурчак тезланиши ϵ фақат звенога, чизиқли тезлик билан чизиқли тезланиш звенодаги нуқталарга тегишли эканлигини эътиборга олиш лозим.

Агар A_0A_4 звено A_0 айланиш ўқи атрофида ўзгармас ω бурчак тезлиги билан айланса, шу звенодаги A_1, A_2, A_3, A_4 нуқталар чизиқли тезликларининг математик ифодалари қуйидагича бўлади:

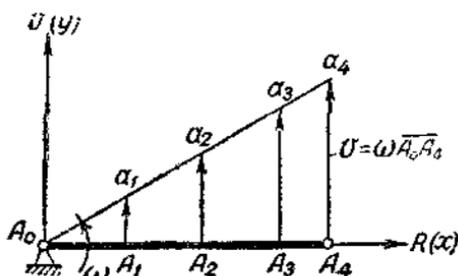
$$v_{A_1} = \omega \cdot \overline{A_0A_1}, \quad v_{A_2} = \omega \cdot \overline{A_0A_2}, \quad v_{A_3} = \omega \cdot \overline{A_0A_3}, \quad v_{A_4} = \omega \cdot \overline{A_0A_4}.$$

Бу тезликлар қўзғалмас ўқ атрофида айланувчи нуқта тезликлари бўлганлигидан улар *абсолют тезликлар* деб аталади. Тезликлар $v_{A_1} > v_{A_2} > v_{A_3} > v_{A_4}$, тенгсизликда бўлади.

Звенонинг бурчак тезлиги ва тезланиши унинг учун асосий қабул этилган айланма нуқтасига боғлиқ эмас.

Механизмлар таркибида текис-параллел ёки текис ҳаракат қилувчи звенолар жуда кўп учрайди. Бунда звенонинг барча нуқталари қандайдир қўзғалмас звенога нисбатан параллел ҳаракат қилади. Агар биз уч ўлчовли x, y, z декарт системасининг x, y текислигидаги текис ҳаракатни кўз олдимизга келтирсик, z ҳолда звено ҳаракатида унинг исталган нуқтасининг фақат x абсцисса ва y ординатаси ўзгаради, холос. Аппликата (z) ўзга ўзгармай қолади. Шундай қилиб, звенонинг исталган нуқтасининг ҳаракати унинг x ва y ўқларидаги проекция ҳаракати билан аниқланади. Бутун звенонинг ҳаракати эса шу звенонинг x, y текислигидаги проекция ҳаракати орқали белгиланади.

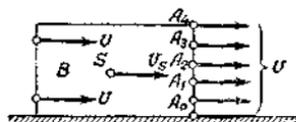
Агар A звено қўзғалмас бирор текисликка нисбатан илгариланма ҳаракатда бўлса (ёки шу текислик бўйлаб ҳаракат қилса), u ҳолда, A звенодаги исталган нуқтанинг тезлиги шу текисликка



8.1-шакл. A_0 атрофида айланувчи A_0A_4 звенодаги айрим нуқталарнинг чизиқли тезлиги $\overline{A_0A_i}$ тўғри чизиқ қонуни билан ўзгаради.

параллел ва бир-бирига тенг бўлади (8.2-шакл). Бундай звенолар ҳозирги замон машиналарида жуда кўп ишлатилади; масалан, ички ёнув двигателининг поршени, рандалаш станогининг суппорти, тўқув станогининг мокси ва бошқалар ана шундай звенолардир.

Шуни эсда тутиш лозимки, илгариланма ҳаракат қилувчи звенони ўрганишда унинг маркази тезлигини олиш кифоя, чунки звено маркази (оғирлиги қўйилган нуқта) шу звено учун хос нуқтадир.



8.2-шакл. Илгариланма ҳаракатдаги звено исталган нуқтасининг тезлиги бир хил бўлади.

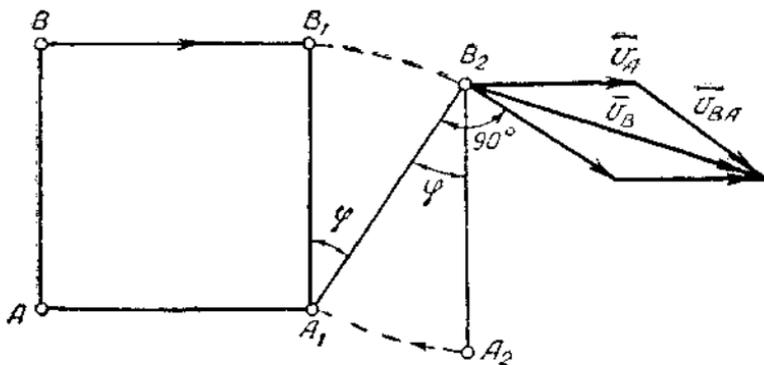
Илгариланма ҳаракатда бўлган звенодаги A_1 , A_2 , A_3 ва A_4 нуқталарнинг тезликлари v_{A_1} , v_{A_2} , v_{A_3} , v_{A_4} бир-бирига тенг бўлади.

Ҳар қандай тезлик вектор бўлиб, уни маълум масштабда, яъни тезликнинг ҳақиқий катталигини ўзидан бир неча марта кичик, катта ёки ўзига тенг вектор кесмалар билан ифодалаш мумкин. Шундай қилиб, тезлик масштабни K_v орқали ифодаласак, унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$K_v = \frac{v_{A_i}}{r a_i} \quad (4.15)$$

Тезликлар бирор марказдан ихтиёрӣ масштаб кесмада қўйилган ва уларнинг учларини туташтиришдан ҳосил бўлган шакл *тезликлар плани* деб аталади.

Текис ҳаракатдаги исталган қаттиқ звенони текшириш учун шу звенодаги A ва B нуқталар ҳаракатини текшириш кифоя эканлиги назарӣ механикадан маълум (8.3-шакл).



8.3-шакл. Мураккаб текис ҳаракат қилувчи AB звено B нуқтасининг тезлиги мураккаб бўлади.

Бундай ҳолда звенонинг иккала нуқтаси ҳам маълум бирор тезликка эга бўлади. Ҳаракатни ўрганишда шу нуқталардан исталганини nisбий оний айланиш маркази деб қараш мумкин. Биз бундан буён nisбий айланиш (ёки тезлик) маркази сиртида тезлиги маълум бўлган нуқтани ташлаймиз. Масалан, кривошип-шатунли механизмдаги шатуннинг A нуқтаси тезлиги маълум бўлганидан, уни nisбий оний айланиш маркази деб оламиз.

Назарий механика қондасига биноан, текис шакл (звено) дан танлаб олинган A ва B нуқталарининг исталганини қутб (оний айланиш маркази) деб қараш мумкин. Масалан, 8.3-шаклдаги звено AB вазиятдан A_1B_1 вазиятга ўтишини икки хил изоҳлаш мумкин; даставвал AB звенодаги A нуқта қутб билан бирга илгариланма ҳаракат қилиб, A_1B_1 вазиятга келади, сўнгра B_1 нуқта A_1 нинг атрофида φ бурчакка айланиб, B_2 ўрнига ўтади ёки AB звенодаги B нуқта A нуқта билан илгариланма ҳаракат қилиб, A_2B_2 вазиятга келади ва A_2 нуқта B_2 нуқта атрофида φ бурчакка айланиб, A_1 вазиятга ўтади. Шундай қилиб, текис ҳаракатда бўлган звенодаги исталган B нуқтанинг абсолют тезлиги (v_B) икки тезликнинг геометрик йнгииндисидан иборат бўлади; булардан бири B нуқта A нуқта билан илгариланма ҳаракат қилган деб фараз этилганидаги тезлигидир, уни v_{BA} вектор орқали ифодалаймиз; иккинчиси эса B нуқтанинг A шу онда қўзғалмас қутб деб қаралганда шу A нуқта атрофидаги айланма тезлигидир, бу nisбий тезликни v_{AB} вектор орқали ифодалаймиз. Юқорида айтилганларнинг векторлар алгебрасидаги ифодаси қуйидаги вектор тенглама билан ёзилади:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \quad (4.16)$$

Тезликларнинг устидаги чизиқлар уларнинг вектор эканлигини билдиради. (4.16) тенгламани қуйидагича ёзиш ҳам мумкин:

$$\vec{v}_A = \vec{v}_B + \vec{v}_{AB} \quad (4.17)$$

(4.16) вектор тенглама билан (4.17) тенгламанинг фарқи v_{BA} ва v_{AB} тезлик векторларининг белгиларидадир. Улар бир-бирига тенг бўлиб, фақат қарама-қарши томонга йўналган:

$$\vec{v}_{BA} = -\vec{v}_{AB}$$

Бу тенгликдан маълум бўлишича, B нуқтанинг A нуқта атрофида айланишидаги тезлиги ва A нинг B атрофида айланишидаги тезлигига модули бўйича тенг бўлиб, фақат улар антипараллел векторлар эканлиги кўриниб турибди. Шундай қилиб,

$\omega_A \cdot AB = \omega_B \cdot BA$, бундан $\omega_A = \omega_B = \omega$ эканлиги аёндыр. (4.16)
 тенгламани AB га проекцияласак қуйидагини оламиз:

$$\text{пр}_{AB} \vec{v}_B = \text{пр}_{AB} v_A + \text{пр}_{AB} v_{BA}, \quad \text{пр}_{AB} v_{BA} = 0, \quad \text{чунки} \\ \vec{v}_{BA} \perp BA, \text{ демак, } \text{пр}_{AB} v_B = \text{пр}_{AB} v_A.$$

Шундай қилиб, текис ҳаракатдаги звено икки нуқтасининг тезликларини шу нуқталардан ўтувчи чизиққа проекциялари бир-бирига тенгдир.

Агар звено тўғри чизиқли ҳаракатда бўлмаса, унда ҳар ондаги шундай нуқта топилдики, унинг тезлиги нолга тенг бўлади. Тезлиги ноль бўлган мана шундай нуқта *оний айланмиш маркази* ёки *оний тезликлар маркази* деб аталади.

Абсолют ва нисбий тезликлар деган номлар шартли бўлиб, звеноларнинг қўзғалмас жисмга (звенога) нисбатан тезлиги шартли равишда абсолют тезлик деб, қўзғалувчан жисмларга (звеноларга) нисбатан тезликлари эса нисбий тезликлар деб аталган. Ҳақиқатан олганда табиатда қўзғалмас жисмларнинг ўзи йўқ, биз фарз қилган қўзғалмас объект Ер устида экан, бу объект қўзғалувчандир, чунки Ернинг ўз ўқи атрофида ва Қуёш атрофида айланмиш бизга маълум. Шунинг учун биз коннотдаги жисмларнинг нисбий ҳаракатларининггина ўрганамиз.

Текисликда ҳаракатланувчи барча механизм ёки машиналар таркибида, умуман, юқорида айтиб ўтилган уч хил ҳаракат қилувчи звенолар учраши мумкин. Масалан, кривошина-шатунли механизмни олсак, бу механизм таркибидagi кривошин (етакловчи звено) фақат қўзғалмас ўқ атрофида айланма ҳаракат, шатун тегиш мураккаб ҳаракат, ползун эса (ползун ҳам етакловчи звено бўла олади) фақат илгариланма ҳаракат қилади. Агар тўрт звеноли механизмни олсак, ундаги кривошинга ва коремисо фақат қўзғалмас ўқ атрофида айланма ҳаракат қилиб, шатун, тегиш мураккаб ҳаракатда бўлади.

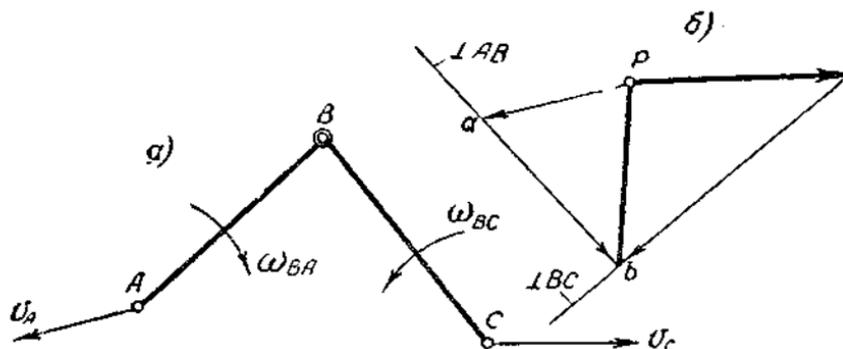
Биринчи модификация Ассур группаси учун тезликлар планини тузелиз (8.4-шакл, а). A ва C нуқталарининг (шарнирларининг) тезликлари берилган деб фарз қилмиз. Агар бу нуқталарининг тезликларини бирор K_c масштабдаги вектор кесмалар билан ифода қиламоқчи бўлсак (улардан бирини иختиёран равишда танлаб оламиз) у ҳолда, ҳақиқий тезликни танлаб олинган кесмага бўлиб, тезликлар масштабини топамиз. Шундай қилиб, тезликлар масштаби $K_c = \frac{v_A}{r_{Ac}}$ олиниб, C нуқтанинг тезлик кесмаси қуйидагича топилади:

$$\vec{r}_{cC} = \frac{v_c}{K_c} [\text{мм}].$$

Демак, pa ва pc кесмалар K_v масштабда A ва C нуқталарнинг тезликларини билдиради.

B шарнирнинг тезлигини топиш керак. Тезликлар планини тузишдан олдин, номаълум бўлган B нуқта тезлигини v_B деб қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} \vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \\ \vec{v}_B &= \vec{v}_C + \vec{v}_{BC} \end{aligned} \right\} \quad (4. 18)$$



8.4- шакл. II класс 1- тур группа (а) нинг тезликлар плани (б). Иккала абсолют тезлик ҳам B нуқтанинг A ва C нуқталар атрофида v_{BA} ва v_{BC} тезликлар билан айланишини билдиради.

(4. 18) вектор тенгламаларни геометрик усулда ечиб, B нуқтанинг тезлиги (v_B) ни топамиз. Ихтиёрий нуқтани белгилаб оламиз. Бу p нуқта тезликлар планининг қутби деб аталади.

A ва C нуқталар тезликларининг K_v масштабдаги pa ва pc вектор кесмаларини p қутбдан v_A билан v_C га параллел қилаб қўямиз (8. 4- шакл. б). (4. 18) тенгламанинг биринчисига мувофиқ, v_A векторининг учидан (ёки pa вектор кесмасининг учидан) AB звенога тик чизиқ ўтказамиз. (4. 18) тенгламанинг иккинчисига,

- мувофиқ, v_C векторининг учидан (ёки pc вектор кесмасининг c учидан) BC звенога тик чизиқ ўтказамиз. Тезлик векторларининг иккала a ва c узундаги нуқталар ўтказилган тик чизиқларнинг кесилув нуқтаси b нуқтани беради; b нуқтани p қутб билан туташтириб, pb вектор кесмасини ҳосил қиламиз. Бу ҳол B нуқта абсолют тезлик натижасининг K_v масштабдаги ифодасидир. Тезликнинг ҳақиқий қийمатини топиш учун шу кесmani тезлик масштабга қўйайтириш керак:

$$v_B = K_v \cdot pb$$

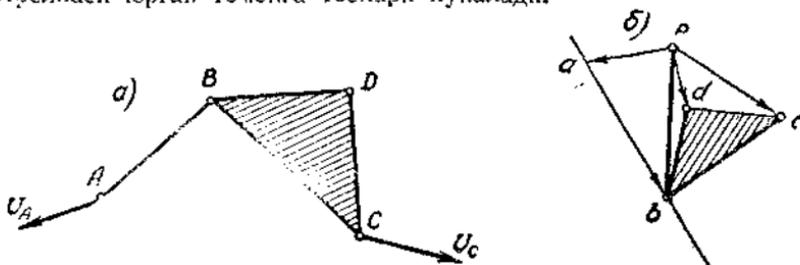
Ҳосил қилинган $rabcr$ кўпбурчак (8. 4-шакл, б) ABC Ассур группасининг *тезликлар плани* деб аталади. Тезликлар планидан қуйидаги тезликларни оламиз:

1. $v_B = K_v \cdot pb$ — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot ba$ — B нуқтанинг A нуқтага нисбатан тезлиги;
3. $v_{BC} = K_v \cdot bc$ — B нуқтанинг C нуқтага нисбатан тезлиги.

Демак, AB ва BC звеноларнинг қандай бурчак тезликлари билан айланишини ва уларнинг чизиқли тезликлари йўналишини аниқлаш қийин эмас. Бунинг учун нисбий тезликларни тегишли l_{AB} ва l_{BC} радиусларга (звено узунликларига) бўлиш лозим:

1. $\omega_{BA} = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ — AB звенонинг оний бурчак тезлиги бўлиб, соат стрелкаси юрган томонга йўналади;

2. $\omega_{BC} = \frac{v_{BC}}{l_{BC}}$ — BC звенонинг оний бурчак тезлиги бўлиб, соат стрелкаси юрган томонга тескари йўналади.



8.5-шакл. II класс I-тур группа (а) нинг тезликлар плани (б).

Тезликларнинг ҳар қандай планда қуйидаги хоссалар бўлади:

- 1) тезликлар планининг қутбидан ўтувчи векторлар абсолют тезликларни ифодалайди (pa , pb , pc векторлар);
- 2) тезликлар планининг қутбидан ўтмайдиган векторлар нисбий тезликларни ифодалайди (ab ва cb векторлар);
- 3) қутбда ўтувчи нуқталарнинг тезликлари нолга тенг бўлади.

Теорема: Механизм звеносининг тезликлар пландаги нисбий тезликлар манзараси механизмдаги звено шаклига ўхшаш, аммо шу шаклга нисбатан бурчак тезлиги айланган томонга қараб 90° бурилган бўлади.

Теорема яққол бўлиши учун бир звеноси базисли бўлган Ассур группасини оламиз (8. 5-шакл, а). Бу группадаги B ва D шарнирларнинг тезликларини топиш керак. Шу группа учун тузилган тезликлар пландаги нисбий тезликлар учбурчаги (bdc) нинг группадаги BDC учбурчакка ўхшашлиги ва унга нисбатан 90° бурилганлиги исботланиши лозим.

$ABCD$ Ассур группаси A ва C нуқталарининг тезликларни берилган бўлиб, улар \vec{v}_A ва \vec{v}_C дир. Масалани ечиш учун B нуқта тезлигининг вектор тенгламасини тузамиз:

$$\begin{aligned}\vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \\ \vec{v}_B &= \vec{v}_C + \vec{v}_{BC}\end{aligned}\quad (4.19)$$

Бу тенгламани ечиш учун pa ва pc векторларининг a ва c нуқталаридан AB ва BC звеноларга тик чизиқлар ўтказамиз, уларнинг кесишув нуқталари b ни беради. D нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламани тузамиз, яъни D нуқтани B ва C нуқталар билан боғлаймиз:

$$\begin{aligned}\vec{v}_D &= \vec{v}_B + \vec{v}_{DB} \\ \vec{v}_D &= \vec{v}_C + \vec{v}_{DC}\end{aligned}\quad (4.20)$$

Бу тенгламани ечиш учун a_n векторининг учидан (аниқроғи ob вектор кесмасининг b учидан) DB га тик чизиқ, v_c векторининг C учидан (аниқроғи pc вектор кесмасининг c учидан) DC га тик чизиқ ўтказамиз. Ўтказилган бу тик чизиқларнинг кесишув нуқтаси d бўлади, бу эса масаланинг ечимидир.

Юқоридаги теорема исбот этилди, яъни тезликлар планидаги икки тик чизиқлардан тузилган bdc учбурчак Ассур группасидаги баъзи звенога ўхшаш ва унга нисбатан 90° бурчилган бўлиб чиқди. Учбурчакларнинг учала томони бир-бирига тик бўлганлигидан ҳам улар ўхшашдир:

$$\triangle bdc \sim \triangle BDC$$

Тезликлар планини аниқроқ тушуниб олиш мақсадида бир неча масала ечамиз.

12-масала. Шарирли тўрт звеноли механизм Бор (8. 6-шакл). Бу механизм ЧГСН ыркали ипак газлама ўқув станогининг батавли механизmidir.

Механизм $K_M = 0,01 \left[\frac{м}{мм} \right]$ масштабда чизилган. Шаклда кўрсатилган механизм учун тезликлар плани тузилсин. $l_{O_1A} = 60$ мм, $l_{AB} = 225$ мм, $l_{BC} = 677$ мм, кривошипнинг бир минутдаги айланиш сони $n = 180$ ай/мин.

Ечиш: явал O_1A кривошипнинг (тирсакли валнинг) бурчак тезлигини топишим:

$$\omega_2 = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 180}{30} = 6 \cdot \pi \text{ [сек}^{-1}\text{]}$$

Кривошипдаги A нуқтанинг (шарирнинг) тезлиги:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} = 1,13 \text{ [м/сек}^{-1}\text{]}$$

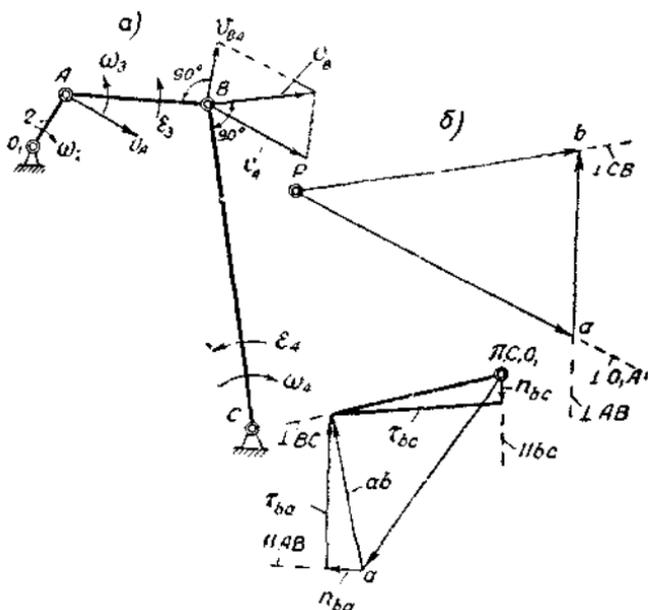
бўлади. Тезлик масштабини таълаб оламиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_A} = \frac{1,13}{56,5} = 0,02 \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

P қутбдан $\rho_A = 56,5$ мм ни O_1A га тик қилиб ўтказамиз (8. 6- шакл, б). Энди, B нуқтанинг тезлигини топамиз, бунинг учун B нуқтанинг тезлигини A ва C нуқталарнинг тезликлари билан боғлаймиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_C + \vec{v}_{BC}$$



8.6- шакл. а — ипак газламо тўқув станогининг батавли механизми; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Биринчи тенгламага биноан, \vec{p}_A векторнинг a учидан B га тик ўтказамиз. $v_C = 0$ (ёки $\rho_C = 0$) бўлгани учун c нуқта қутбда ётади, шу сабабли BC га тик чизиқни қутбдан ўтказишга тўғри келади. Иккала тик чизиқ b нуқтада кесишади (8.6- шакл, в).

$v_{CB} = K_v \cdot \rho_b = 0,02 \cdot 51 = 1,02$ м сек⁻¹ — B нуқтанинг абсолют тезлиги;

$v_{BA} = K_v \cdot \rho_a = 0,02 \cdot 34 = 0,68$ м сек⁻¹ — B нуқтанинг A га нисбатан айланишидан ҳосил бўлган нисбий тезлик.

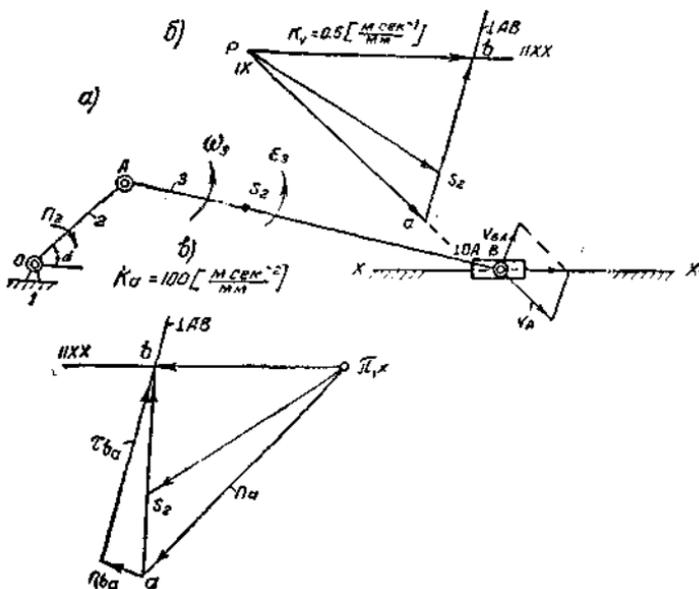
BC звенонинг (бу звено тўқув ишида батавли деб аталади) бурчак тезлигини топамиз:

$$\omega_{BC} = \omega_4 = \frac{v_{BC}}{l_{BC}} = 1,49 \text{ сек}^{-1}$$

AB звонинг бурчак тезлиги қуйидагича бўлади:

$$\omega_{BA} = \omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}} = 3,02 \text{ сек}^{-1}$$

13-масала. Авияция двигатели аксиал кривошип-шатунли механизмнинг 8.7-шакл, а да кўрсатилган вазияти учун тезликлар плани тузилсин ва шатуннинг бурчак тезлиги ҳамда бу тезликнинг йўналиши аниқлансин. $\alpha = 45^\circ$; кривошипнинг узунлиги $l_{O_1A} = 0,096$ м, шатуннинг узунлиги $l_{AB} = 0,34$ м; кривошипнинг айланishi сони $n = 2200$ ай/мин.



8.7- шакл: а — кривошип-шатунли механизм; б — тезликлар плани; в — тезланishлар плани.

Ечиш: 1. Механизм масштаби:

$$K_M = \frac{l_{AB}}{AB} = \frac{0,34}{68} = 0,005 \left[\frac{м}{м.м} \right]$$

кривошипнинг қоғоздаги узунлиги:

$$OA = \frac{l_{O_1A}}{K_M} = 19 \text{ м.м.}$$

2. Кривошипнинг бурчак тезлигини аниқлаймиз:

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = 231 \text{ сек}^{-1}$$

3. Кривошипдаги А нуқтанинг қизикли тезлигини топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} = 22 \text{ м. сек}^{-1}$$

4. Тезликлар масштабининг тоғамиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho a} = \frac{22}{44} = 0,5 \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

5. B нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламани тузимиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \\ \vec{v}_B &= \vec{v}_X + \vec{v}_{BX} \end{aligned}$$

Тезликлар планини қизиш учун p нуқтани ихтиёрини жойдан танлаб оламиз ва OA га тик қилиб $\rho a = 44$ мм кесмини ўтказамиз. Сўнгра биринчи тенгламага биноан, B нуқтанинг тезлигини топиш учун ρa кесмининг a учидан AB га тик чизиқ ўтказамиз, иккинчи тенгламага биноан, қутбдан (чунки, ω қўзғалмас бўлгани учун $v_X = 0$ бўлади, бу эса p қутбда ётади) ω га параллел чизиқ ўтказамиз. Ўтказилган иккала чизиқ b нуқтала кесишади. Шундай қилиб, $\rho a b$ учбурчак шаклда кўрсатилган кривошип-шатунли механизм учун тезликлар планидир. Энди, нуқта тезликларининг ҳақиқий қийматларини тоғамиз:

1. B нуқтанинг абсолют тезлиги:

$$v_B = K_v \cdot \rho b = 0,5 \cdot 38 = 19 \text{ мсек}^{-1}$$

2. B нуқтанин A астрофида айланшидан ҳосил бўлган нисбий тезлиги:

$$v_{BA} = K_v \cdot ab = 0,5 \cdot 31 = 15,5 \text{ мсек}^{-1}$$

3. Шатуннинг бурчак тезлиги:

$$\omega_{B,A} = \frac{v_{B,A}}{l_{B,A}} = \frac{15,5}{0,34} = 45,6 \text{ сек}^{-1}$$

4. Шатундаги S_2 нуқтанинг аниқти ўҳимчилик теоремасига биноан, пропорция тузиш йўли билан тоғилади:

$$\frac{\overline{as_2}}{\overline{ab}} = \frac{AS_2}{AB}; \quad \overline{as_2} = ab \cdot \frac{AS_2}{AB} = 31 \cdot \frac{100}{340} = 9,15 \text{ мм}$$

$\overline{as_2} = 9,15$ мм кесмени тезликлар планидаги \overline{ab} га a нуқтадан ўлчаб қўямиз ва s_2 ни тоғамиз, s_2 ни қутб билан туташтириб, $\overline{ps_2}$ ни ҳосил қиламиз. Бу кесма K_v масштабда шатундаги S_2 нуқтанинг абсолют тезлигини яққолайди:

$$v_{S_2} = K_v \cdot \overline{ps_2} = 0,5 \cdot 34 = 17 \text{ мсек}^{-1}$$

14-масала. Двигатель механизмининг 8. 8-шакл, a да кўрсатилган вазияти учун барча нуқталарнинг тезликлари тоғилсин. Кривошипнинг бурчак тезлиги ўзгармас, механизми эленоларининг қизиқли ўлчамлари ҳамда вазияти қуйидагича:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 100 \text{ сек}^{-1}, \quad l_{AB} = 60 \text{ мм}, \quad l_{BC} = 250 \text{ мм}, \quad l_{CD} = 120 \text{ мм}, \\ l_{DE} &= 200 \text{ мм}, \quad l_{EF} = 300 \text{ мм}, \quad h = 80 \text{ мм}, \quad h_1 = 85 \text{ мм}, \\ h_2 &= 225 \text{ мм}, \quad \varphi = 45^\circ. \end{aligned}$$

Ечиш: аввал механизмни маълум масштабда чизамиз.

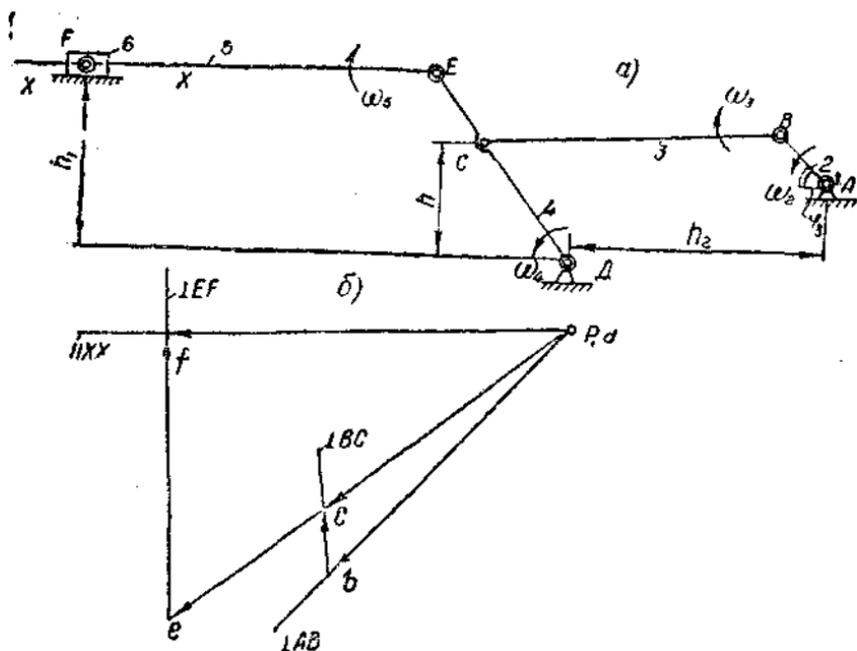
$$K_M = \frac{l_{AB}}{AB} = \frac{0,06}{12} = 0,005 \left[\frac{м}{мм} \right]$$

$$BC = \frac{l_{BC}}{K_M} = 50 \text{ мм}, \quad h' = \frac{h}{K_M} = 12 \text{ мм}$$

$$CD = \frac{l_{CD}}{K_M} = 24 \text{ мм}, \quad h'_1 = \frac{h_1}{K_M} = 17 \text{ мм}$$

$$DE = \frac{l_{DE}}{K_M} = 40 \text{ мм}, \quad h'_2 = \frac{h_2}{K_M} = 45 \text{ мм}$$

$$EF = \frac{l_{EF}}{K_M} = 60 \text{ мм}$$



8.8-шакл: а — двигателъ механизми; б — тезликлар плани.

Кривошилдаги В нуқтаиниң тезлигини топамиз:

$$\omega_B = \omega_2 \cdot l_{AB} = 100 \cdot 0,06 = 6 \text{ мсек}^{-1}.$$

Тезликлар масштабини топамиз:

$$K_v = \frac{v_B}{pb} = \frac{6}{60} = 0,1 \left[\frac{м \text{сек}^{-1}}{мм} \right]$$

$pb = 60$ мм кесмани p қутбдан AB га тик қилиб ўтказамиз (8. 8-шакл, б). C нуқта тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз, яъни \vec{v}_C ни D ва B нуқталарнинг тезликлари билан боғлаймиз:

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$$

$$\vec{v}_C = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD}$$

Шу тенгламаларнинг биринчисига биноан, \vec{ra} векторнинг учидан \vec{BC} га тик ўтказамиз, D нуқтанинг тезлиги ноль бўлгани учун, иккинчи тенгламага кўра, қутбдан CD га тик ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтасини s билан белгилаймиз. F нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини қуйидаги пропорция орқали белгилаймиз:

$$\frac{pe}{re} = \frac{DE}{DC}; \quad re = rc \cdot \frac{DE}{DC} = 53 \cdot \frac{40}{24} = 88 \text{ мм}$$

$re = 88$ мм ни r дан бошлаб, rc нинг давомига қўямиз. Шундай қилиб, pe кесма E нуқтанинг тезлигини ифодалайди. Энди, охириги нуқта бўлган F нинг тезлигини топамиз. Бунинг учун F нуқтанинг тезлигини тезликлари маълум бўлган иккита нуқта тезликлари билан вектор тенгламалар воситасида қуйидагича боғлаймиз:

$$\vec{v}_F = \vec{v}_E + \vec{v}_{FE}$$

$$\vec{v}_F = \vec{v}_A + \vec{v}_{FA}$$

(Шаклдан кўрииб турибдики, xx йўналтирувчининг радиус чексиз бўлгани учун шу чексиз радиусга ўтказилган тик xx га параллел бўлади.)

Биринчи тенгламага биноан, re нинг e учидан EF га тик чизиқ, қутбдан sa xx га параллел чизиқ ўтказамиз; бу иккала чизиқ f нуқтада кесишади.

Шундай қилиб, $rcsefr$ тезликлар планидан қуйидаги тезликларнинг ҳақиқий қийматларини аниқлаш мумкин (8. 8-шакл, б):

1. C нуқтанинг абсолют тезлиги:

$$v_C = K_v \cdot rc = 0,1 \cdot 53 = 5,3 \text{ мсек}^{-1}.$$

2. E нуқтанинг абсолют тезлиги:

$$v_E = K_v \cdot re = 0,1 \cdot 88 = 8,8 \text{ мсек}^{-1}.$$

3. C нуқтанинг B атрафида оний айланишдаги нисбий тезлиги:

$$v_{CB} = K_v \cdot cb = 0,1 \cdot 11 = 1,1 \text{ мсек}^{-1}.$$

4. F нуқтанинг абсолют тезлиги:

$$v_F = K_v \cdot rf = 0,1 \cdot 80 = 8 \text{ мсек}^{-1}.$$

5. F нуқтанинг E атрафида оний айланишдаги нисбий тезлиги:

$$v_{FE} = K_v \cdot fe = 0,1 \cdot 50 = 5 \text{ мсек}^{-1}.$$

6. BC шатуннинг оний бурчак тезлиги:

$$\omega_3 = \frac{v_{CB}}{l_{CB}} = \frac{1,1}{0,25} = 4,4 \text{ сек}^{-1}.$$

7. CD коромисловнинг оний бурчак тезлиги:

$$\omega_4 = \frac{v_{CD}}{l_{CD}} = \frac{5,3}{0,12} = 44,2 \text{ сек}^{-1}.$$

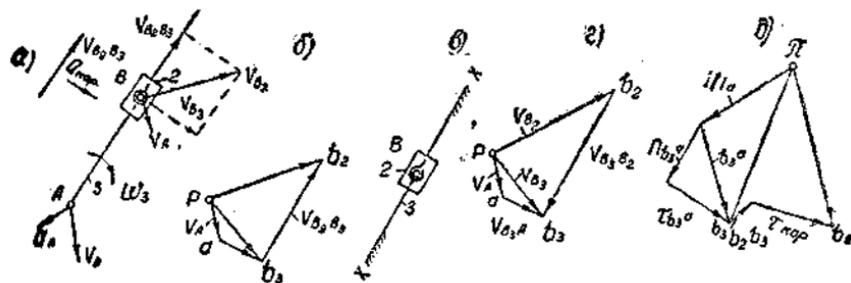
8. EF шатуннинг овий бурчак тезлиги:

$$\omega_s = \frac{v_{FE}}{l_{FE}} = \frac{5}{0,3} = 16,66 \text{ сек}^{-1}.$$

Кулисали механизмлар учун тезликлар плани тузиш билан танишиб чиқамиз. Учинчи модификацияли Ассур группасини эса олайлик (8. 9-шакл, a га қаранг). Бундай группа V класс иккита айланма ва битта илгариланма жуфтдан иборат иккита звенонинг қўшилмасидир (8. 9-шакл, a).

2 звено тош деб, 3 звено эса кулиса деб аталади. Бундай группдаги тош мураккаб ҳаракат қилади; биринчидан, кулиса билан биргаликда нуқта атрофида айланма ҳаракат қилса, иккинчидан, кулиса бўйлаб илгариланма ҳаракатда бўлади. Нуқта тезлиги вектор тенгламасининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_{B_1} + \vec{v}_{B_2B_1} \\ \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_A + \vec{v}_{B_2A} \end{aligned} \quad (4. 21)$$



8.9-шакл: a — II класс 3-тур группа; b — группанинг тезликлар плани; c — 3 звено қўзғалмас бўлганда тезликлар плани (e); d — группанинг тезланишлар плани.

Агар 3 звено қўзғалмас бўлса, $v_{B_2} = v_{B_2A}$, $v_A = 0$ бўлиб, тош **полани** айланиб қолади (8. 9-шакл, e). Бундай ҳол учун **полани**нинг тезлиги қуйидагича бўлади:

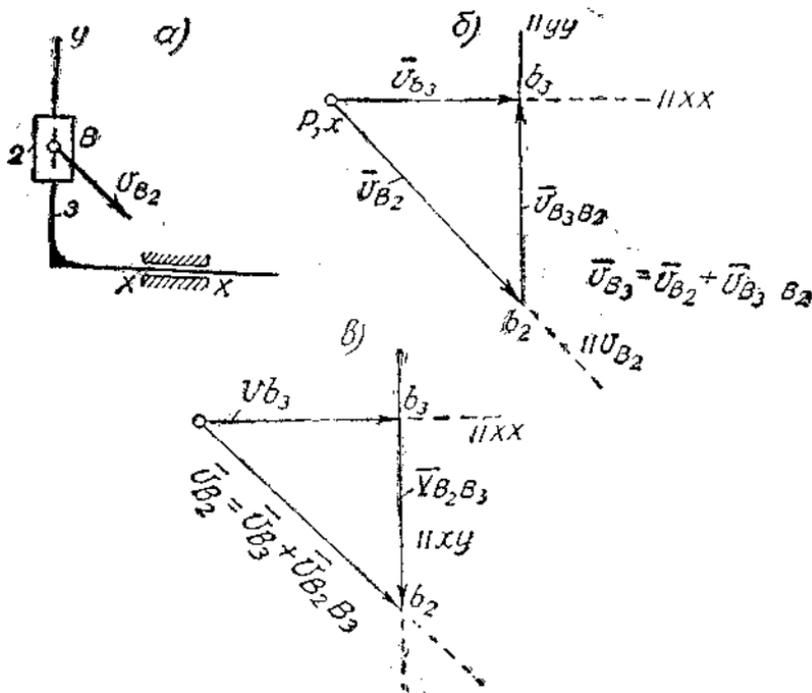
$$\vec{v}_{B_2} = \vec{v}_{B_2B_1} = \vec{v}_{B_2A} \quad (4. 22)$$

Тезликлар плани 8. 9-шакл, b ва c да кўрсатилган.

8. 9-шакл, b да тошнинг тезлиги кулисага нисбатан олинган бўлиб (v_{n_2, n_1}). 8. 9-шакл, c да кулисанинг тезлиги тошга нисбатан олинган (v_{n_1, n_2}).

Юқурида айтилган иккала тезликнинг скаляр катталиклари бир-бирига тенг, ammo улар бир-бирига қарама-қарши йўналган.

Икки поводокли Ассур группасидаги V класс кинематик жуфтлардан иккитаси илгариланма, биттаси айланма жуфт бўлса, бундай группа 4-модификацияли 2 поводокли группа бўлади, бу группа учун тезликлар плани 8.10-шакл, а да кўрсатилган.



8.10-шакл. II класс 4-модификацияли группа (а); б ва в — тезликлар плани.

Бу группادا 2—тош, 3 звено кулисадир. Тош кривошип билан В орқали кинематик жуфт ҳосил қилади, ВА мураккаб ҳаракатда бўлади. Шунинг учун v_{B_2} тезлик кривошипка тик йўналиши керак. Кулиса (3) хх йўналтирувчида фақат илгариланма-қайтар ҳаракат қилади. Тошнинг тезлиги икки тезликдан: кулиса билан бирга кўчирма ва кулисага нисбатан нисбий тезликлардан иборат.

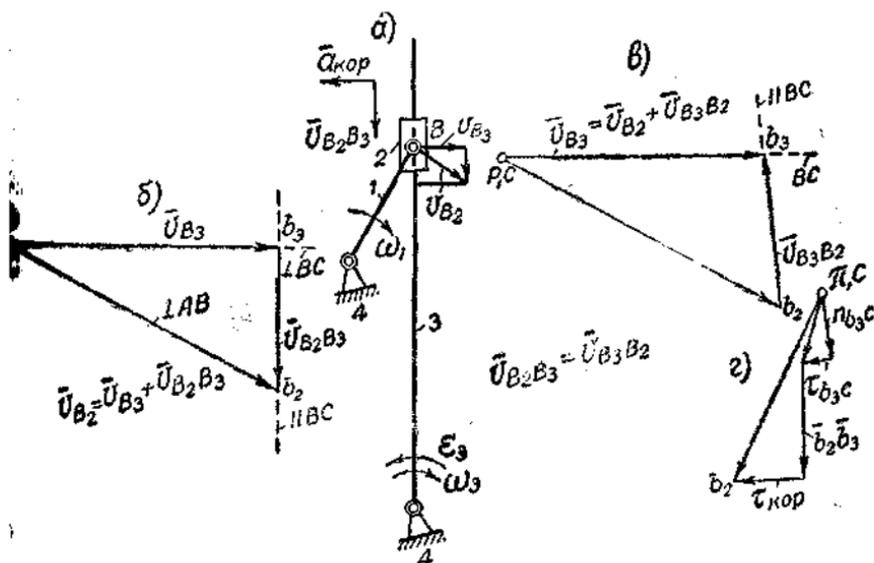
v_{B_2} тезлик бизга маълум деб фараз қиламиз. У ҳолда тезликларнинг векторли боғланишлари қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_{B_3} + \vec{v}_{B_2 B_3} \\ \vec{v}_{B_3} &= \vec{v}_X + \vec{v}_{B_3 X} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Мана бундай вектор тенглама тузиш ҳам мумкин:

$$\begin{aligned}\vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{B_2 B_1} \\ \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_X + \vec{v}_{B_2 X}\end{aligned}\quad (4.24)$$

(4.23) ва (4.24) тенгламаларнинг биринчи тенглиklarини солиштириб кўриб, $\vec{v}_{B_2 B_1} = -\vec{v}_{B_2 B_1}$ эканлигини билиш қийин эмас. Тезлик планлари эса 8, 10-шакл, а ва б да кўрсатилган.



8.11-шакл: а — рандалаш станогини механизми; б, в — тезликлар плани; г — теланишлар плани.

Юқорида баён этилган икки поводокли кулисали Ассур группасининг тезликлар плани тушунарли бўлиши учун бир неча масала ечамиз.

10-масала. 8. 11-шаклда кўндаланг рандалаш станогининг механизми кўрсатилган. $n = 120$ айл/мин; $l_{AB} = 50$ мм; $l_{AC} = 100$ мм. Механизмнинг ҳолатида кўрсатилган вазияти учун В нуқтанинг кўчирма, nisбий ва абсолют тезликлари тезликлар плани ёрдами билан аниқлансин.

Ҳал: механизمنى $K_M = \frac{l_{AB}}{AB} = \frac{0,05}{25} = 0,002 \left[\frac{м}{мм} \right]$ масштабда чизам.

Ҳал, у ҳолда, $AC = \frac{l_{AC}}{K_M} = \frac{0,1}{0,002} = 50$ мм бўлади.

8. 11-шакл, а да кўрсатилган механизмда 1 — кривошип, 2 — тош ва 3 — кулиса. Тош мураккаб ҳаракат қилади. Бу механизм рандалаш станогиянинг тезлаштирувчи механизми бўлиб, иккита параллел валда — А валда кривошип айланма ҳаракат, С валда эса кулиса тебранма ҳаракат қилади. АВ кривошипнинг учи кулисада сирғанувчи тош билан V класс айланма кинематик жуфт орқали бириктирилган.

1. АВ кривошипнинг бурчак тезлигини аниқлаймиз:

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 120}{30} = 12,56 \text{ сек}^{-1}.$$

2. АВ кривошипнинг B_1 нуқтаси ёки тошнинг B_2 нуқтаси бир жойда бўлганлигидан уларнинг чизикли тезликлари ўзаро тенгдир:

$$v_{B_1} = v_{B_2} = \omega_1 \cdot l_{AB} = 12,56 \cdot 0,05 = 0,628 \text{ мсек}^{-1}$$

3. Тезликлар масштабини танлаб оламиз:

$$K_v = \frac{v_{B_2}}{r_{B_2}} = \frac{0,628}{62,8} = 0,01$$

4. В нуқтанинг кулисага тегишли v_{B_2} ва $v_{B_2B_3}$ тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{B_2B_3} \\ \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_C + \vec{v}_{B_2C} \end{aligned} \quad (\text{а})$$

5. (а) тенгламани қуйидагича ёзиш ҳам мумкин:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{B_2} &= \vec{v}_{B_2} + \vec{v}_{B_2B_3} \\ v_{B_2} &= v_C + v_{B_2C} \end{aligned} \quad (\text{б})$$

6. $r_{B_2} = 62,8$ мм вектор кесмани r кутбдан AB_2 га тик қилиб йўналтирамиз (8.11-шакл, б), (а) нинг биринчи тенгласига мувофиқ, rb_2 нинг b_2 учидан BC га параллел чизик ўтказамиз ва кутбдан BC га тик чизик ўтказиб, бу чизикларнинг кесилиш нуқтасини b_2 билан белгилаймиз. Ҳосил бўлган rb_2 учбурчак тезликлар планининг ўзидир (8.11-шакл, б).

7. 8.11-шакл, в да (б) тенгламага асосланиб тузилган тезликлар плани кўрсатилган.

8. В нуқтанинг кўчирма тезлиги:

$$v_{B_2} = 0,01 \cdot 53 = 0,53 \text{ мсек}^{-1}$$

бўлади.

9. В нуқтанинг нисбий тезлиги (кулисанинг тошга нисбатан тезлиги):

$$v_{B_2B_3} = K_v \cdot b_2 b_3 = 0,01 \cdot 30 = 0,3 \text{ мсек}^{-1}$$

бўлади.

10. В нуқтанинг нисбий r тезлиги (кулисанинг тошга нисбатан тезлиги):

$$\vec{v}_{B_2B_3} = -v_{B_2B_3} = 0,3 \text{ мсек}^{-1}$$

бўлади.

11. Кулисанинг бурчак тезлиги:

$$\omega_3 = \frac{v_{B_2}}{l_{CB_3}} = \frac{0,53}{0,14} = 3,8 \text{ сек}^{-1}$$

бўлади.

$$3. K_{\varphi} = \frac{v_{B_2}}{r b_2} = \frac{1}{50} = 0,02 \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right].$$

4. $r b_2 = 50$ мм ни p нуқтадан AB га тик қилиб йўналтирамиз.

5. (а) тенгламанинг биринчисига биноан, $r b_2$ вектор кесма учидан yy вертикалга параллел, иккинчи тенгламага биноан, қутбдан xx га параллел ўтказамиз, иккала параллелнинг кесишув нуқтасини b_2 билан белгилаб, $r b_2 b_2$ учбурчакни ҳосил қиламиз (8.12-шакл, а), бу учбурчак синус механизмининг тезликлар планидир. Тезликларнинг ҳақиқий катталиклари қуйидагича бўлади:

$$v_{B_2} = K_{\varphi} \cdot \overline{r b_2} = 0,02 \cdot 47 = 0,94 \text{ [сек}^{-1}\text{]},$$

$$v_{B_2 B_1} = K_{\varphi} \cdot \overline{b_2 b_3} = 0,02 \cdot 34 = 0,68 \text{ [сек}^{-1}\text{]}.$$

Агар кулиса тошга нисбатан ҳаракат қилади деб қарасак, у ҳолда вектор тенгламалар қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned} \overline{v_{B_2}} &= \overline{v_{B_2}} + \overline{v_{B_2 B_1}} \\ \overline{v_{B_2}} &= \overline{v_x} + \overline{v_{B_2 x}} \end{aligned} \quad (6)$$

Бу тенгламаларга асосланиб тузилган тезликлар плани 8. 12-шакл, в да кўрсатилган.

9. §. II класс механизмлар учун тезланишлар планини тузиш

Тезланишлар планини тузишда механизм етакловчи звеносининг бурчак тезлиги ёки минутига айланишлар сони ўзгармас катталик деб қабул қилинади:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \text{const} \quad (4. 25)$$

Етакловчи звенонинг бурчак тезланиши бурчак тезлигидан вақтга нисбатан олинган ҳосилага тенгдир:

$$\epsilon = \frac{d\omega}{dt} = 0 \quad (4. 26)$$

Бурчак тезланиши бўлмагани учун B нуқтанинг тангенциал тезланиши ҳам бўлмайди, яъни $\overline{a'_B} = 0$ бўлади.

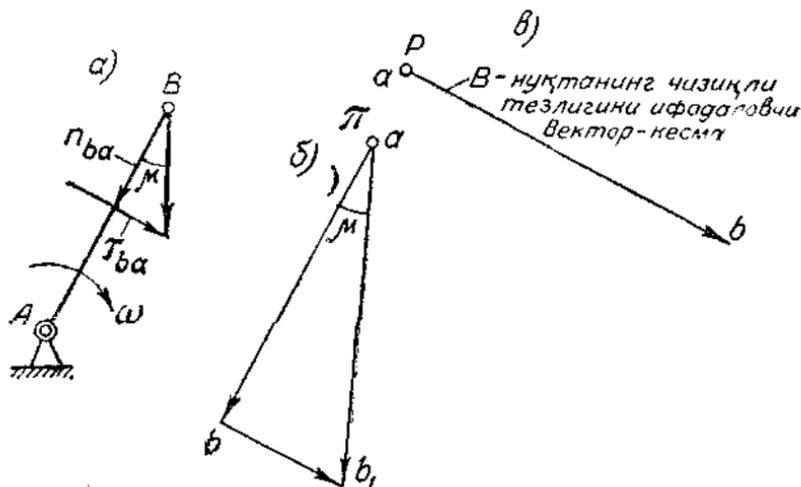
Шундай қилиб, кривошип нуқтасининг тўла тезланиши фақат нормал тезланишдан иборат бўлиб қолади, чунки тангенциал тезланиш нолга тенг:

$$\overline{a_B} = \overline{a_B^n} + \overline{a'_B} = \overline{a_B^n}. \quad (4. 27)$$

9. 1-шакл, а да I класс механизм кривошипининг B нуқтаси фақат нормал тезланишга эгадир, бу тезланиш AB га параллел ва B дан A га томон йўналган бўлади. Бу тезланиш нормал ёки марказга интилувчи тезланиш деб аталади (9. 1-шакл, б).

Агар звено маълум бурчак тезланиши билан соат стрелкаси айланадиган томонга қараб айланса, \vec{a}_B^n нормал тезланишга тангенциал \vec{a}_B^t тезланиш ҳам қўшилиб, умумий тезланиш кривошип ўқига бирор μ бурчак остида йўналган бўлади (9. 1-шакл, а, в), чунки тўла тезланиш қуйидагича топилади:

$$a_B = \sqrt{(a_B^n)^2 + (a_B^t)^2}; \quad \operatorname{tg} \mu = \frac{a_B^t}{a_B^n} = \frac{v}{\omega^2}$$



9.1- шакл: а — кривошип; б — В нуктанинг нормал тезланишини ифодаловчи вектор; в — В нуктанинг чизиқли тезлигини ифодаловчи вектор.

Нормал тезланиш ҳамма вақт ошй, шисбий ёки абсолют айланиш марказларига қараб йўналганлиги назарга олинса, унинг скаляр катталиги қуйидагича бўлади:

$$a_B^n = \frac{v_B^2}{l_{AB}} = \frac{(\omega \cdot l_{AB})^2}{l_{AB}} = \omega^2 \cdot l_{AB} [\text{мсек}^{-2}]$$

Тезланиш масштабини ҳосил қилиш учун шу катталик ихтиёрий кесмага бўлинади:

$$K_a = \frac{a_B^n}{\pi b} [\text{мсек}^{-2}/\text{мм}] \quad (4. 28)$$

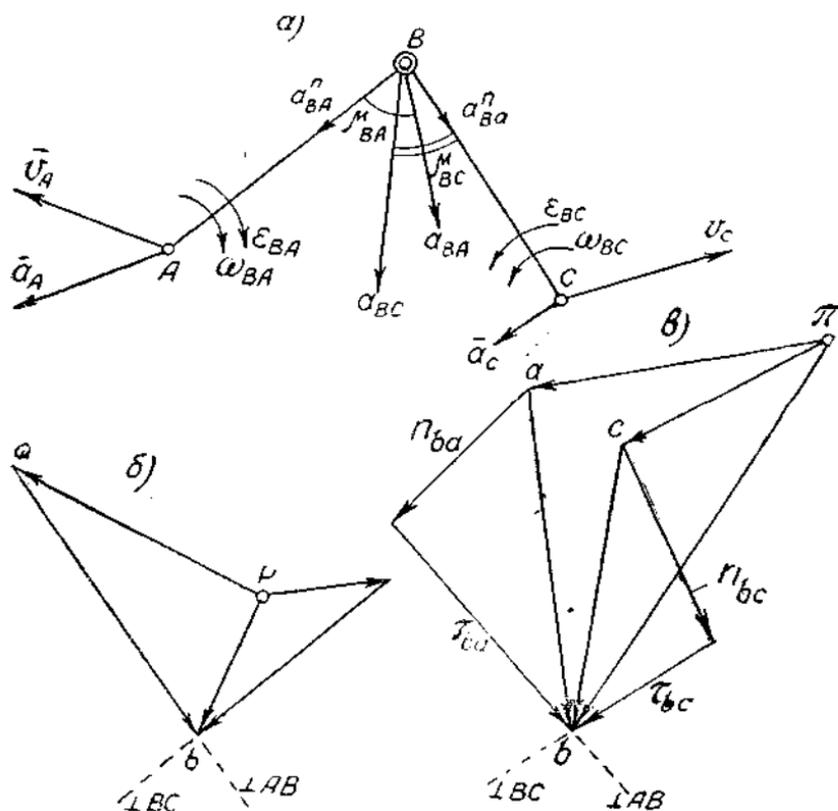
бу ерда π — тезланишлар планининг қутби;

πb — миллиметр ҳисобида олинган ихтиёрий кесма;

K_a — тезланиш масштаби — бу тезланишлар планидаги кесмаларнинг ҳар қайси миллиметрга тўғри келадиган тезланиш катталигини билдиради.

Тезланишлар планини икки поводокли Ассур группасининг биринчи модификациясидан бошлаймиз. ABC икки поводокли группа берилган бўлсин. Группасининг A ва C нуқталарининг (шарнирларининг) тезланишлари бизга маълум (9. 2-шакл, a).

Аввал K_2 масштабда тезлик планини тузамиз (9. 2-шакл, b).



9.2-шакл: a — икки поводокли Ассур группасининг I-модификацияси (I-тури); b — тезликлар плани; \bar{a} — тезланишлар плани.

Тезликлар плани тезлиги маълум бўлган нуқталарининг тезлиги билан тезлиги номаълум бўлган нуқтанинг тезлигини вектор тенгламалар орқали боғлаб, сўнгра бу тенгламаларни геометрик усулда ечиш йўли билан тузилади (9. 2-шакл, b). Тезликлар планидан тезланишлар планини тузишда, яъни звено нуқталари нормал тезланишларининг скаляр қийматларини ва, механизм кулисали бўлса, кориолис тезланишининг скаляр қийматларини топиш учун фойдаланилади.

Тезликлар плани маълум масштабда тузилиб, тегишли нуқталарнинг тезликлари аниқлангач, тезланишлар планини тузишга ўтилади.

Шарнирнинг (B нуқтанинг) тезланишини топиш учун a_B ни маълум бўлган a_A ва \bar{a}_C тезланишлар билан вектор тенгламалар орқали қуйидагича боғлаймиз:

$$\begin{aligned}\bar{a}_B &= \bar{a}_A + \bar{a}_{BA} = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^t \\ \bar{a}_B &= \bar{a}_C + \bar{a}_{BC} = \bar{a}_C + \bar{a}_{BC}^n + \bar{a}_{BC}^t.\end{aligned}\quad (4. 29)$$

(4. 29) тенгламадаги a_{BA}^n ва a_{BC}^n ни тезлик векторлар орқали топиш қийин эмас:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{(K_v \cdot ba)^2}{l_{BA}}; \quad a_{BC}^n = \frac{v_{BC}^2}{l_{BC}} = \frac{(K_v \cdot bc)^2}{l_{BC}}$$

a_{BA}^n нормал тезланиш B дан A га томон, a_{BC}^n эса B ва C га томон йўналган бўлади. Буларни вектор кесмалар билан ифода-лаймиз:

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \text{ [мм]}; \quad n_{bc} = \frac{a_{BC}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

(4. 29) тенгламанинг биринчисига биноан, n_{ba} ни pa вектор кесма учидан BA га параллел қилиб, B дан A га томон, n_{bc} ни эса pc вектор кесма учидан BC га параллел қилиб, B дан C га томон йўналтирамиз, b ни топиш учун n_{ba} ва n_{bc} нормал кесмаларнинг учидан шу кесмаларга тик чизиқлар ўтказамиз. Бу икки тик чизиқ b нуқтада кесишади. pb кесма K_a масштабда B нуқтанинг абсолют тезланишини беради. t_{ba} ва t_{bc} кесмалар K_a масштабда B нуқтанинг A ва C атрофида айланишидан ҳосил бўлган тангенциал тезланишларнинг ҳақиқий катталикларидир. AB ва BC звеноларнинг бурчак тезланишлари тегишли тангенциал тезланишларни ўз радиусларига бўлиш йўли билан топилади:

$$\begin{aligned}\epsilon_{BA} &= \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}} = \frac{K_a \cdot \tau_{ba}}{l_{BA}} \\ \epsilon_{BC} &= \frac{a_{BC}^t}{l_{BC}} = \frac{K_a \cdot \tau_{bc}}{l_{BC}}\end{aligned}\quad (4. 30)$$

Тезланишларнинг ҳақиқий катталиклари тезланишлар плани даги тегишли кесмаларни тезланишлар масштабига кўпайтириш йўли билан топилади:

$$\begin{aligned}a_B &= K_a \cdot pb - B \text{ нуқтанинг абсолют тезланиши}; \\ a_B^n &= K_a \cdot n_{ba} - B \text{ нуқтанинг нормал тезланиши};\end{aligned}$$

$a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{bc}$ — B нуқтанинг тангенциал тезланиши;

$a_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A атрафида айланишдаги тўла нисбий тезланиши;

$a_{BC} = K_a \cdot bc$ — B нуқтанинг C атрафида айланишдаги тўла нисбий тезланиши;

$a_{BC}^t = K_a \cdot \tau_{bc}$ — B нуқтанинг C атрафида айланишдаги тангенциал тезланиши. a_{BA} , a_{BC} қуйидагича топилса ҳам бўлади:

$$a_{BA} = l_{BA} \cdot \sqrt{\omega_{BA}^4 + \varepsilon_{BA}^2}$$

$$a_{BC} = l_{BC} \cdot \sqrt{\omega_{BC}^4 + \varepsilon_{BC}^2}$$

Тўла нисбий тезланишларнинг звено ўқларига нисбатан ёғиши қуйидагича топилди:

$$\operatorname{tg} \mu_{BA} = \frac{\varepsilon_{BA}}{\omega_{BA}^2}; \quad \mu_{BA} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\varepsilon_{BA}}{\omega_{BA}^2} \right)$$

$$\operatorname{tg} \mu_{BC} = \frac{\varepsilon_{BC}}{\omega_{BC}^2}; \quad \mu_{BC} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\varepsilon_{BC}}{\omega_{BC}^2} \right)$$

Маълум бурчак тезланиши билан айланувчи ҳар қандай звено нуқтасининг тўла чизиқли тезланиши шу звено ўқи билан бурчак ҳосил қилади. Бу бурчакни юқоридаги тенгликлардан топиб, унинг қандай йўналганини билиш қийин эмас.

17-масала. Масалани равшанроқ тушувиш учун 8. 6-шакл, a да кўрсатилган ЧГСП маркали ёлак газлама тўқув автоматининг батанли механизми учун тезланишлар плавини тузамиз. Механизм нуқталарининг тезликлари бизга маълум.

Ечиш: 1. A нуқтанинг нормал тезланишини топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} = \frac{(1,13)^2}{0,06} = 21,4 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

2. Тезланишлар масштабини танлаб оламиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi_a} = \frac{21,4}{42,8} = 0,5 \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мн}} \right]$$

3. B нуқтанинг тезланишини топиш учун, уни тезланишлари маълум бўлган A ($a_A^n = 21,4 \text{ м/сек}$) ва C ($a_C = 0$) орқали вектор тенгламалар билан боғлаймиз:

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^t}$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_C} + \overline{a_{BC}^n} + \overline{a_{BC}^t}$$

4.

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{0,68^2}{0,225} = 2,05 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

5.

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{2,05}{0,5} = 4,1 \text{ [мм]}$$

$$a_{BC}^n = \frac{v_{BC}^2}{l_{BC}} = \frac{(1,02)^2}{0,677} = 1,54 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

$$n_{bc} = \frac{a_{BC}^n}{K_a} = 3,08 \text{ мм}$$

6. $pa = 42,8$ мм вектор кесмани $O_1 A$ га параллел қилиб, A дан O_1 га томон йўналтирамиз. Бу K_a масштабда ($n_a = pa$) A нуқтанинг нормал тезланишини ифодалайди (8. 6-шакл).

7. pa нинг a учидан AB га параллел қилиб B дан A га томон йўналтирилган $n_{ba} = 4,1$ мм ни қўямиз. Бу— K_a масштабда B нуқтанинг нисбий ҳаракатдаги нормал тезланишини ифодалайди (8. 6-шакл, в).

8. Бу нормал вектор кесманинг учидан шу кесмага (ёки AB га) тик тангенциал чизик ўтказамиз. b нуқта, албатта, шу чизик устида ётиши керак (8. 6-шакл, в).

9. Қутбдан (яъни C нуқталардан; $a_C = 0$ бўлгани учун C нуқта қутбда ётади) BC га параллел қилиб, $n_{bc} = 3,08$ мм нормал кесмани B дан C га томон йўналтирамиз (8. 6-шакл, в).

10. n_{bc} кесманинг учидан шу кесмага тик тангенциал чизик ўтказиб, унинг n_{ba} га ўтказилган тангенциал билан кесишув нуқтасини b орқали белгилаймиз (8. 6-шакл, в). Шундай қилиб, ҳосил бўлган $пав$ учбурчак тезланишлар планидир. Тезланишларнинг ҳақиқий катталиклари тезланишлар планидаги тегишли кесмаларини тезланиш масштабига кўпайтириш йўли билан топилади:

$$1. a_B = K_a \cdot \overline{pb} = 0,5 \cdot 30 = 15 \text{ (мсек}^{-2}\text{)} — B \text{ нуқтанинг тўла тезланиши.}$$

$$2. a_{BC}^t = K_a \cdot \tau_{bc} = 0,5 \cdot 29 = 14,5 \text{ (мсек}^{-2}\text{)} — B \text{ нуқтанинг тангенциал тезланиши.}$$

$$3. a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{ba} = 0,5 \cdot 28 = 14,0 \text{ (мсек}^{-2}\text{)} — B \text{ нуқтанинг нисбий ҳаракатдаги тангенциал тезланиши.}$$

$$4. a_{BA} = K_a \cdot ab = 0,5 \cdot 30 = 15 \text{ (мсек}^{-2}\text{)} — B \text{ нуқтанинг тўла нисбий тезланиши.}$$

5. AB шатунининг бурчак тезланиши қуйидагича топилади:

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}} = \frac{14}{0,225} = 62,0 \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

6. BC коромисловнинг бурчак тезланиши мана бундай бўлади:

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{BC}^t}{l_{BC}} = \frac{14,5}{0,677} = 21,4 \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

8. 6-шаклда бурчак тезланишлари қўйилган. Агар бурчак тезлиги билан бурчак тезланиши бир йўналишда бўлса, звено тезланиш ҳолатида, агар қаршма-қарши йўналган бўлса, звено секинланиш ҳолатида бўлади.

Шаклдан кўринишича, AB шатун тезланиш ҳолатида, BC коромисло ва секинланиш ҳолатидадир.

18-масала. Авиация двигателининг 8. 7-шакл, a да кўрсатилган кривошип-шатунли механизми учун тезланишлар плани тузилсин. Тезликлар плани 8. 7-шакл, v да $K_v = 0,5 \left(\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right)$ масштабда кўрсатилган.

Ечиш: тезланишлар планини қуйидаги тартибда тузамиз:

1. Кривошип (2) га тегишли A нуқтанинг нормал тезланишини топамиз

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{OA}} = \frac{22^2}{0,095} = 5100 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

2. Тезланишлар масштабини топамиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\lambda a} = \frac{5100}{51} = 100 \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

3. Шатун ва ползунга тегишли B нуқтанинг тезланишини топish учун B нуқта тезланишини x ва l лар тезланиши билан боғловчи қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A^n + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t$$

$$a_B = \vec{a}_x + \vec{a}_{Bx}$$

4. B нуқтанинг нисбий ҳаракатдаги нормал тезланишини (a_{BA}^n ни) топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{15,5^2}{0,34} = 706 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{706}{100} = 7,06 \text{ мм}$$

5. 8. 7-шакл, a нинг чап томонидан π кутбни танлаймиз ва уни OA га параллел қилиб, A дан O га томон йўналтирамиз-да $\lambda a = 51$ мм ни қўямиз (8. 7-шакл, v).

6. λa векторини a нуқтасидан $n_{ba} = 7,06$ мм кесман AB га параллел қилиб, B дан A га томон йўналишида қўямиз. Бу вектор кесманинг учдан AB га (ёки n_{ba} га) тик тангенциал чизиқ ўтказамиз.

7. (4.30) тенгламанинг иккинчисига биноан, кутбдан xx га параллел ўтказиб, унинг тангенциал чизиқ билан кесишув нуқтасини b билан белгилаймиз. Шундай қилиб, λab тезланишлар плани бўлади.

8. AB шатунга тегишли нуқтанинг тезланишлар планидаги вазиятини топish учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{as_2}{ab} = \frac{AS_2}{AB}; \quad as_2 = ab \cdot \frac{AS_2}{AB} = 47 \cdot \frac{100}{340} = 13,8 \text{ мм}$$

9. $as_2 = 13,8$ мм кесмани тезланишлар планидаги ab га a дан бошлаб қўямиз s_2 нуқтанинг вазиятини белгилаймиз.

10. s_2 нуқтани тезланишлар кутби билан туташтириб, шу нуқта абсолют тезланишининг масштаб кесмасини оламиз (λs_2).

11. Тезланишларнинг ҳақиқий катталиклари қуйидагича бўлади:

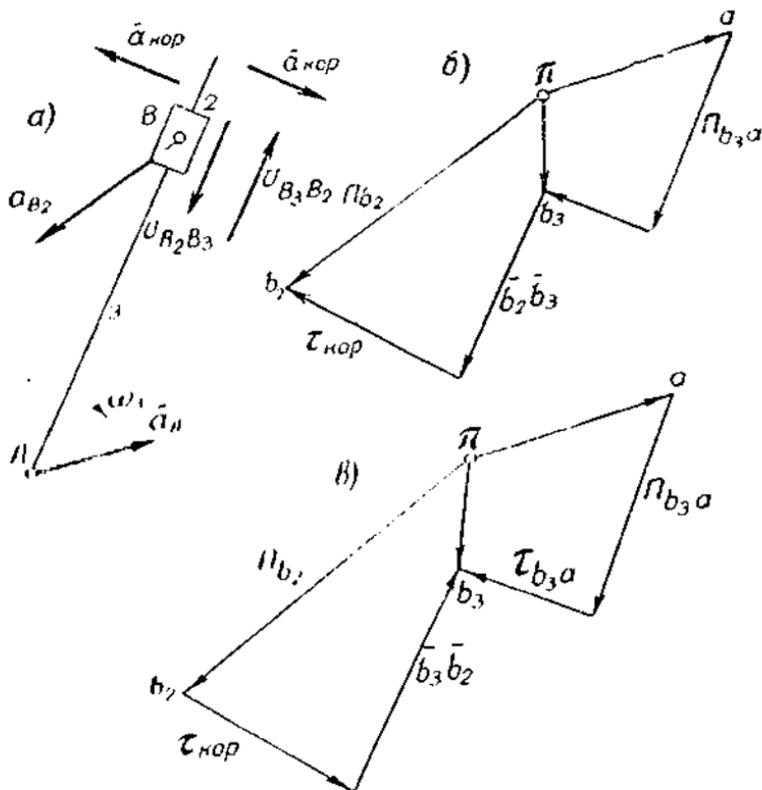
$$a_B = K_a \cdot \lambda b = 100 \cdot 33 = 3300 \text{ [мсек}^{-2}\text{]} — B \text{ нуқтанинг абсолют тезланиши;}$$

$$a_{BA} = K_a \cdot \lambda ab = 100 \cdot 47 = 4700 \text{ [мсек}^{-2}\text{]} — B \text{ нуқтанинг нисбий тезланиши;}$$

$a_{s_2} = K_a(\tau s_2) = 100 \cdot 41 = 4100 \text{ [мсек}^{-2}\text{]} - s_2'$ нуқтанинг абсолют тезланиши;

$$\varepsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} = \frac{K_a \cdot \tau_{ba}}{l_{BA}} = \frac{100 \cdot 36}{0,34} = 1056 \text{ (сек}^{-2}\text{)} - AB \text{ шатунининг нисбий айланишидаги бурчак тезланиши.}$$

Шатунининг бурчак тезлиги (ω_3) билан бурчак тезланиши (ε_3) бир йўналишда бўлганлиги учун, шатун шу онда тезланиш ҳолатида бўлади.



9.3-шакл: а — кулисали группа; б в — тезланишлар плавини.

Кулисали группалар учун тезланишлар плавини тузиш билан танишиб ўтамиз (9. 3-шакл). Агар кулиса айланма ҳаракат қилса, у ҳолда, тошнинг умумий тезланиши учта тезланиш йиғиндисидан иборат бўлади, яъни тошнинг кулиса билан бирга кўчирма ҳаракатидаги тезланиши (a_{B_1}), тошнинг кулисага нисбатан тезланиши

(a_{B_2, B_2}) ва қўшимча тезланиш бўлган кориолис¹ тезланишдир. Юқорида айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$\bar{a}_{B_2} = \bar{a}_{B_2} + \bar{a}_{B_2, B_2} + \bar{a}_{\text{кор}} \quad (4. 31)$$

Иккинчи томондан, кулиса ҳам, ўз навбатида, A нуқта билан бирга ва унинг атрофида айланма тезланишда бўлиши мумкин. Буларнинг математик ифодаси бундай ёзилади:

$$\bar{a}_{B_2} = \bar{a}_A^n + \bar{a}_{B_2, A} = \bar{a}_A^n + \bar{a}_{B_2, A}^n + \bar{a}_{B_2, A}^t \quad (4. 32)$$

(4. 31) ва (4. 32) тенгламалардаги \bar{a}_{B_2} ва \bar{a}_A^n ларнинг скаляр ва вектор қийматлари бизга маълум. \bar{a}_{B_2, B_2} тезланишнинг AB га параллел эканлиги ҳам маълум. Кориолис тезланиши эса назарий механика қондасига биноан қуйидагича аниқланади:

$$a_{\text{кор}} = 2v_{B_2, B_2} \cdot \omega_3 \cdot \sin(\bar{v}_{B_2, B_2}, \bar{\omega}_3) \quad (4. 33)$$

Текисликда ҳаракатланувчи звенолар учун нисбий тезлик вектори (\bar{v}_{B_2, B_2}) билан бурчак тезлиги вектори ($\bar{\omega}_3$) бир-бирига тикли.

гидан улар орасидаги бурчак 90° га тенг ва $\sin(\bar{v}_{B_2, B_2}, \bar{\omega}_3) = 1$ бўлади. Шунинг учун (4. 33) формула қуйидаги кўринишда ёзилади

$$a_{\text{кор}} = 2v_{B_2, B_2} \cdot \omega_3 \quad (4. 34)$$

Кулисалы механизм нуқталари тезланишларининг вектор тенгламаларини кулисанинг топиллиши лозим бўлган нуқтасига нисбатан тузса ҳам бўлади. У ҳолда тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\bar{a}_{B_2} = \bar{a}_{B_2} + \bar{a}_{B_2, B_2} + \bar{a}_{\text{кор}} \quad (4. 35)$$

$$\bar{a}_{B_2} = \bar{a}_A + \bar{a}_{B_2, A} = \bar{a}_A + \bar{a}_{B_2, A}^n + \bar{a}_{B_2, A}^t \quad (4. 36)$$

(4. 35) тенгламада $\bar{a}_{B_2, B_2} = -\bar{a}_{B_2, B_2}$ бўлиб, қарама-қаршидир. Кулиса B_2 нуқтасининг \bar{a}_{B_2} абсолют тезланиши \bar{a}_{B_2} , \bar{a}_{B_2, B_2} ва $\bar{a}_{\text{кор}}$ тезланиш векторларининг ёки \bar{a}_A , $\bar{a}_{B_2, A}^n$, $\bar{a}_{B_2, A}^t$ тезланиш векторларининг ёпувчиси бўлиши шарт.

Агар (4. 35) тенгламанинг иккала томонини K_a масштабга бўлсак, тезланишлар планига қўйиладиган K_a масштабдаги вектор кесмаларнинг қуйидаги тенгламаси чىқади:

$$\bar{p}b_2 = \bar{p}b_2 + \bar{b}_2b_2 + \bar{r}_{\text{кор}} \quad (4. 35-a)$$

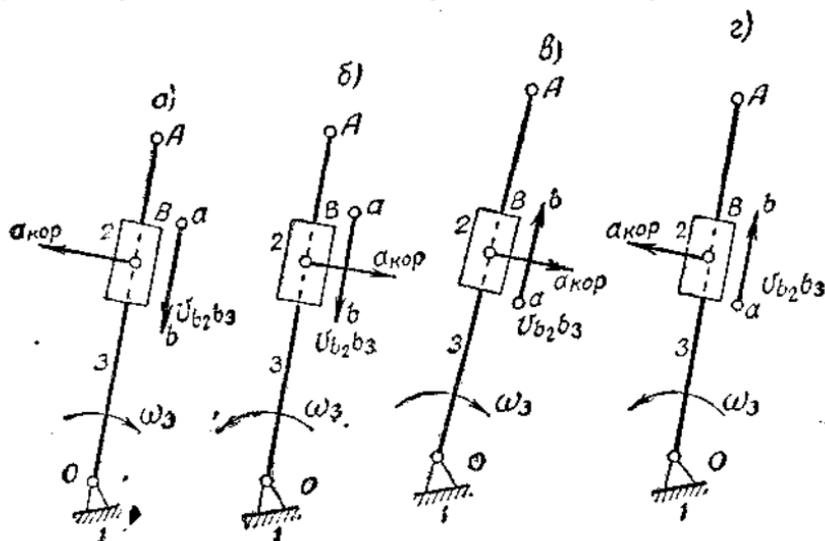
¹ Гюстав Кориолис (1792—1843) — назарий ва тадбиқий механика соҳасида ишлаган машҳур француз олими.

Еки (4. 36) тенгламанинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\overline{pb}_3 = \overline{pa} + \overline{b_3a} = \overline{pa} + \overline{p_{b_3a}^*} + \overline{v_{b_3a}} \quad (4. 36 a)$$

Кориолис тезланиши қўшимча тезланишдир. Бу тезланиш уни топган француз олими Кориолис номи билан юртилди. Тезланишнинг йўналишини профессор Н. Е. Жуковский қондасига биноан топиш қийин эмас.

Кориолис тезланиши қайси томонга йўналганлигини билиш учун, тошнинг нисбий тезлик вектори ($\overline{v_{B_1B_2}}$) учидан ушланиб, кулисанing бурчак тезлиги айланган томонга қарата 90° айлантирилса, кориолис тезланишининг йўналиши ҳосил бўлади.



9.4-шакл. Кориолис тезланишини топиш.

Масалани яхшироқ тушуниш учун қуйидаги тўрт ҳолни кўриб чиқиш кифоя (9. 4-шакл, а, б, в, г).

Бу ерда кулисани 3 рақами билан, унинг бурчак тезлигини эса ω_3 билан белгилаймиз. Тошни 2 рақами билан, унинг нисбий тезлигини эса $v_{B_1B_2}$ билан белгилаймиз. $v_{B_1B_2}$ тошнинг кулисага нисбатан сирғанишидаги тезлиги.

I назият—нисбий тезлик A дан O томонга бурчак тезлиги ω_3 эса соат стрелкаси юрадиган томонга йўналган. Кориолис тезланишининг йўналиши ab векторнинг b учини a атрофида ω_3 томонга қараб 90° айлантириш йўли билан ҳосил қилинади ($a_{кор} \perp OA$ Ҳки $a_{кор} \perp v_{B_1B_2}$) (9. 4-шакл, а);

II вазият—нисбий тезлик (v_{B_2, B_3}) илгаригича A дан O томонга, ω_3 эса соат стрелкаси юрадиган томонга тескари йўналган (9. 4-шакл, б);

III вазият— ω_3 соат стрелкаси юрадиган томонга, v_{B_2, B_3} эса O дан A томонга йўналган (Кориолис тезланишининг йўналиши II вазиятга тўғри келади);

IV вазият—нисбий тезликнинг йўналиши ўзича— O дан A га томон йўналганча қолади. Кориолис тезланиши I вазиятдаги томонга йўналган. B_3 нуқтанинг O га нисбатан айланишидаги нормал тезланиши қуйидагича бўлади:

$$a_{B_3}^n = \frac{v_{B_3}^2}{l_{B_3, O}} = \frac{(K_{\omega} \cdot \overline{pb_3})^2}{l_{B_3, O}}$$

Шундай қилиб, топилган тезланишларни тезланиш масштаби (K_a) га бўлиб уларнинг тезланишлар планига қўйиладиган вектор кесмаларини топамиз ва тезланишлар планини кўрсатилган усул билан чизамиз. Група учун чизилган тезланишлар плани 8. 9-шакл, д да ва 9. 3-шакл, б ҳамда в да тасвирланган.

Кулисалари айланма ҳаракат қилмайдиган механизм тошларининг кориолис тезланишлари нолга тенг бўлади, чунки, $\omega_3 = 0$.

$$a_{\text{кор}} = 2v_{B_1, B_2} \cdot \omega_3 = 0.$$

МАСАЛАЛАР

19-масала. 8. 11-шаклда кўрсатилган кулисали механизм учун тезланишлар плани тузилсин.

Ечиш: тезланишлар плани қуйидаги тартибда тузилади:

1. Қривошипга ва тошга тегишли B_2 нуқтанинг тезланишини топамиз:

$$a_{B_2}^n = a_{B_2}^t = \frac{v_{B_2}^2}{l_{AB}} = \frac{0,625^2}{0,05} = 7,8 \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

2. Тезланишлар масштабини топамиз:

$$K_a = \frac{a_{B_2}^n}{pb_2} = \frac{7,8}{39} = 0,2 \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

3. B_2 нинг нисбий (\overline{a}_{B_2, B_3}) ва кўчирма (\overline{a}_{B_3}) тезланишларини топаш учун вектор тенглама тузамиз:

$$\begin{aligned} \overline{a}_{B_2} &= \overline{a}_{B_2} + \overline{a}_{B_2, B_3} + \overline{a}_{\text{кор}} \\ \overline{a}_{B_2} &= \overline{a}_C + \overline{a}_{B_2, C}^n + \overline{a}_{B_2, C}^t \end{aligned}$$

4.

$$a_{\text{кор}} = 2\omega_3 \cdot v_{B_2, B_3} = 2 \cdot \frac{v_{B_3}}{l_{CB_3}} \cdot v_{B_2, B_3} = 2 \frac{0,53}{0,14} \cdot 0,3 = 2,28 \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

$$\tau_{\text{кор}} = \frac{a_{\text{кор}}}{K_a} = \frac{2,28}{0,2} = 11,4 \text{ мм}$$

5

$$a_{B_2C}^n = \frac{v_{B_2}^2}{l_{CB_2}} = \frac{0,53^2}{0,14} = 2 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

$$\pi_{B_2C} = \frac{a_{B_2C}^n}{K_a} = \frac{2}{0,2} = 10 \text{ мм}$$

6. Қутб нуқтасини (π) тавлаб олганимиздан кейин тезланишлар п'ланини тузамиз, яъни πb_2 ни AB га параллел қилиб, B дан A га томон йўналтиришимиз (8. 11-шакл, ϵ).

7. Тезланишларнинг ҳақиқий қийматлари қуйидагича топилади:

$$a_{B_2B_3} = K_a \cdot \overline{b_2 b_3} = 0,2 \cdot 23 = 4,6 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

$$a_{B_3} = K_a \cdot \overline{\pi b_3} = 0,2 \cdot 15 = 3 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

$$a_{B_2C}^t = K_a \cdot \overline{\tau b_2 C} = 0,2 \cdot 7 = 1,4 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

8. Кулисанинг бурчак тезланиши (ϵ_3) қуйидагича топилади:

$$\epsilon_3 = \frac{a_{B_2C}^t}{l_{B_2C}} = \frac{K_a \cdot \overline{\tau b_2 C}}{l_{B_2C}} = \frac{1,4}{0,14} = 10 \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

Кулисанинг бурчак тезлиги (ω_3) билан бурчак тезланиши (ϵ_3) қарма-қарши йўналишда бўлгани учун, кулиса шу ойда сакьялашиш ҳолатида бўлади.

20-масала. Кулисали механизмларнинг бошқа бир тури—8. 12-шакл, a да кўрсатилган синус механизми учун тезланишлар п'лани тузилисин. 8. 12-шакл, b на ϵ да тезликлар п'ланининг икки кўрinishи тасвирланган.

Ечнш: тезланишлар п'ланини қуйидаги тартибда тузамиз.

1. B нуқтанинг A атропоида айланшидаги нормал тезланишини топамиз:

$$a_{B_1}^n = a_{B_1}^n = \frac{v_{B_1}^2}{l_{AB}} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

2. Тезланишлар масштабини топамиз. Бунинг учун $a_{B_2}^n$ ни ихтиёрий кесми (πb_2 га) бўламиз. Бу кесман шундай танлаш тавсия этиладики, $a_{B_2}^n$ шу кесмага бўлинганда бутун сон чиқсин, буида келгуси ҳисоблар анча осонлашиди.

$$K_a = \frac{a_{B_2}^n}{\pi b_2} = \frac{10}{50} = 0,2 \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

3. a_{B_3} тошнинг абсолют тезланиши—мураккаб тезланиши бўлиб, у кулисанинг B_3 нуқтаси билан қуйидаги вектор тенглама орқали боғланган:

$$\begin{aligned} \overline{a_{B_3}} &= \overline{a_{B_3}} + \overline{a_{B_2B_3}} + \overline{a_{кор}} \\ \overline{a_{B_3}} &= \overline{a_x} + \overline{a_{B_3x}} \end{aligned}$$

Ихтиёрий π нуқтани олиб (8. 12-шакл, ϵ), πb_2 ни AB га параллел қилиб қушимиз. Кориолис тезланиши ноль бўлади, чунки $\omega_3 = 0$; тенгламага биноан, B_3 дан π нуқтага параллел ва π дан (ϵ ни x дан) xx нуқтага параллел ўтказиб, a_{B_3} тезланишлар п'ланини ҳосил қиламиз (8. 12-шакл, ϵ). Тезланишларнинг ҳақиқий қийматлари қуйидагича топилади:

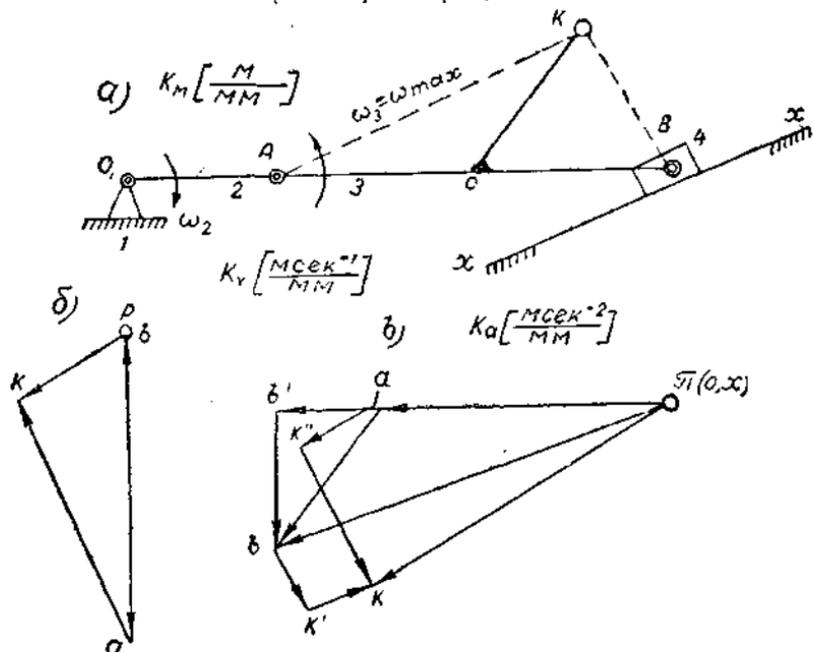
1. B_3 нуқтанинг кулисга нисбатан тезланиши:

$$a_{B_2B_3} = K_a \cdot \overline{b_2 b_3} = 0,2 \cdot 38 = 7,6 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

2. Нуқтанинг абсолют тезлиши:

$$a_{B_3} = K_a \cdot \overline{pb_3} = 0,2 \cdot 35 = 7 \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

21-масала. 9. 5-шакл, а да кўрсатилган кривошип-шатувли механизмнинг шу вазияти учун В ва К нуқталарининг тезлик ва тезланишлари ҳамда уларнинг абсолют ва нисбий қийматлари аниқлансин.



9.5-шакл: а — кривошип-шатувли механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Е чи ш: механизм K_M масштабда чизилган деб фараз қилиб, O_1A кривошипнинг бурчак тезлиги (ω_2) ни эътиборга олган ҳолда A нинг тезлигини топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A}$$

B нинг тезлигини топниш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{v_B} = \overline{v_A} + \overline{v_{BA}}$$

$$\overline{v_B} = \overline{v_x} + \overline{v_{B_x}}$$

Тезликлар масштабини қуйидагича топамиз:

$$K_v = \frac{v_A}{r_0}$$

Бирор нуқтани қутб деб олиб, уни p билан белгилаймиз-да, ундан O_1A га тик қилиб ва кривошипнинг бурчак тезлиги йўналган томонга қаратиб \overline{pa} ни

қўямиз. Тенгламанинг биринчисига бивоан v_B ни топиш учун v_A тезликининг масштаб ρ_a кесманнинг a учидан AB шатунга тик чизиқ ўтказамиз; худди шу тенгламанинг иккинчисига мувофиқ x дан ($v_x = 0$ бўлгани учун ρ қўбда ётади) x йўналтирувчига параллел чизиқ ўтказамиз.

Ўтказилган иккала тик чизиқ нуқтада кесилганидан b ҳам шу ерда бўлади. Демак ρ^{ab} вертикал тўғри чизиқдан қуйидагиларни тушуниш мумкин (9. 5-шакл, б):

$$v_B = K_v \cdot \rho_b^b = K_v \cdot 0 = 0 \text{ — } B \text{ нуқтанинг абсолют тезлиги;}$$

$$v_{BA} = K_v \cdot \rho_b^a \text{ [мсек}^{-1}\text{]} \text{ — } B \text{ нуқтанинг } A \text{ га нисбатан тезлиги;}$$

$v_A = -v_{BA}$ — A нуқтанинг абсолют тезлиги, у B нуқтанинг нисбий тезлигига тенг ва унга қарама-қаршидир.

Энди, K нуқтанинг тезликларини топамиз. Бунинг учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_K = \vec{v}_A + \vec{v}_{KA}$$

$$\vec{v}_K = \vec{v}_B + \vec{v}_{KB}$$

Бу тенглама тезликлар плавидан k нуқтани топиш учун тезликлар плавидан a дан KA га ва b дан KB га тик чизиқлар ўтказиш кераклигини кўрсатади. Бу икки тик чизиқ k нуқтада кесишади. Шундай қилиб, шаклда кўрсатилган механизмнинг шу ондаги вазияти учун тезликлар плавидан $ракр$ дан иборатдир (9. 5-шакл, б); бунда:

$$v_K = K_v \cdot \rho_k^k \text{ — } K \text{ нуқтанинг абсолют тезлиги;}$$

$$v_{KA} = K_v \cdot \rho_k^a \text{ — } K \text{ нуқтанинг } A \text{ га нисбатан тезлиги;}$$

$$v_{KB} = K_v \cdot \rho_k^b \text{ — } K \text{ нуқтанинг } B \text{ га нисбатан тезлиги.}$$

Тезликлар плавидан маълум бўлишича, K нуқтанинг абсолют ва B га нисбатан тезликлари бир-бирига тенг ва бир томонга йўналган:

$$v_K = v_{KB}$$

ABK шатунининг бурчак тезлиги қуйидагича топилади:

$$\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}} = \frac{v_{KA}}{l_{KA}} = \frac{v_{KB}}{l_{KB}} \text{ [сек}^{-1}\text{]}$$

Тенгламадан кўриниб турибдики, шатунининг бурчак тезлиги соат стрелкаси юрдигани томонга тескари йўналган.

Энди, тезланишлар плавини тузамиз. Кривошип ўзгармас бурчак тезлиги билан айланади деб фарз қиламиз, у ҳолда, бурчак тезланиши қуйидагича бўлади:

$$\epsilon_3 = \frac{d\omega_3}{dt} = 0$$

Кривошипнинг бурчак тезланиши бўлмагани учун, унинг A нуқтаси фақат нольга тезланишгагина эга бўлади:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_A^n + \vec{a}_A^t = \vec{a}_A^n$$

\vec{a}_A ни қуйидагича топамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар масштабини танлаб оламиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi_a} \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

Бу ерда π_a ихтиёрый кесма бўлиб, a_A^n тезланишнинг ифодалавдн. Ихтиёрый сиррор нуқтани қутб деб олиб, уни π билан белгиләймиз. Тезланишлари ноль бўлган O_1 ва x лар ҳам шу нуқтада ётади. π_a кесмани қутбдан механизмга қариган ҳолда A дан O_1 га томон йўналтирамиз (9.5-шакл, θ). B нинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned} \vec{a}_B &= \vec{a}_A^n + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}'_{BA} \\ \vec{a}_B &= \vec{a}_x + \vec{a}_{Bx} = \vec{a}_{Bx} \end{aligned}$$

Бу тенгламадаги a_{BA}^n ни қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{(K_a \cdot \pi_a)^2}{l_{BA}} \quad [\text{мсек}^{-2}]$$

Агар a_{BA}^n ни тезланишлар масштабига бўлсак, унинг масштаб ифодасини оламиз:

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \quad [\text{мм}]$$

n_{ba} ни π_a нинг учи a дан механизмга қараган ҳолда B дан A га томон йўналтирамиз. a_{BA}^n нинг масштаб ифодаси (τ_{ba}) эса n_{ba} га тик қилиб йўналтирилади. Вектор тенгламанинг иккинчисига биноан, π дан (яъни x дан) xh га параллел ўтказиб, унинг n_{ba} га ўтказилган тик чизиқ билан кесишув нуқтаси b ни топамиз. Шундай қилиб, $\pi ab'b$ тезланишлар плани бўлади, бундан қуйидагиларни аниқлаймиз (9. 5-шакл, θ):

$a_{BA}^i = K_a \cdot \pi b' = K_a \cdot \tau_{ba}$ [мсек⁻²] — B нуқтанинг A га nisbatan таангенсиз тезланиши;

$a_B = K_a \cdot \pi b$ [мсек⁻²] — B нуқтанинг абсолют тезланиши.

Энди, K нинг тезланишларини топамиз. Бунинг учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned} \vec{a}_K &= \vec{a}_A + \vec{a}_{KA}^n + \vec{a}'_{KA} \\ \vec{a}_K &= \vec{a}_B + \vec{a}_{KB}^n + \vec{a}'_{KB} \end{aligned}$$

Бу тенгламадаги a_{KA}^n , a_{KB}^n ларни қуйидаги формулалар орқали топамиз:

$$a_{KA}^n = \frac{v_{KA}^2}{l_{KA}} \quad [\text{мсек}^{-2}] \quad n_{ka} = \frac{a_{KA}^n}{K_a} \quad [\text{мм}]$$

$$a_{KB}^n = \frac{v_{KB}^2}{l_{KB}} \quad [\text{мсек}^{-2}] \quad n_{kb} = \frac{a_{KB}^n}{K_a} \quad [\text{мм}]$$

n_{ka} ни a дан KA га параллел қилиб ва K дан A га томон, n_{kb} ни эса b дан KB га параллел қилиб ва K дан B га томон йўналтирамиз. n_{ka} ва n_{kb} лар учидан уларга тик чизиклар ўтказиб, бу тик чизикларнинг кесишув нуқтаси (k) ни топамиз. k ни қутб билан туташтирсак $\pi ab'bk'$ тезланишлар плани ҳосил бўлади.

Тезланишлар планидан қуйидагиларни топамиз:

$a'_{KA} \cdot K_a \cdot \overline{bb'} = K_a \cdot \tau_{kb}$ [мсек⁻²] — K нуқтанинг A га нисбатан айланишнинг тангенциал тезланиши;

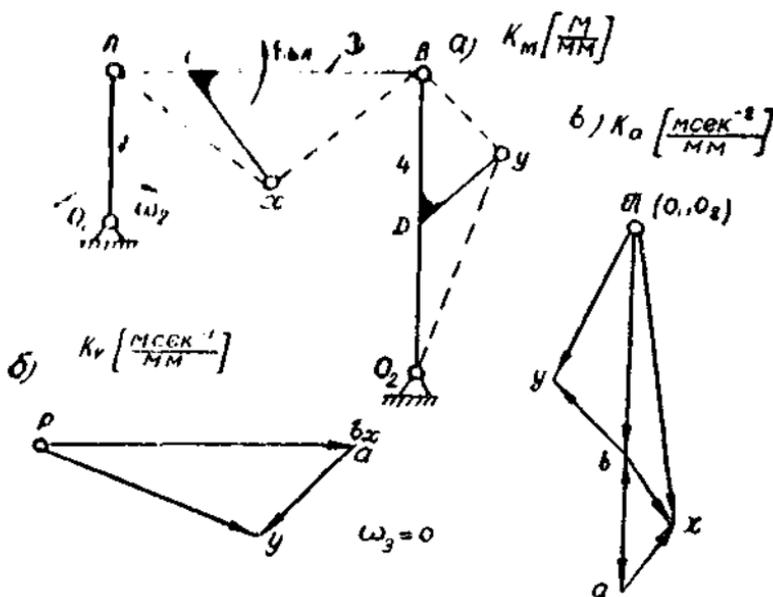
$a'_{KB} \cdot K_a \cdot \overline{kk'} = K_a \cdot \tau_{kb}$ [мсек⁻²] — K нуқтанинг B га нисбатан айланишнинг тангенциал тезланиши.

$a_K \cdot K_a \cdot \overline{kk} = K_a \cdot \tau_{kb}$ [мсек⁻²] — K нуқтанинг абсолют тезланиши.

Тангенциал тезланишлардан фойдаланиб, ABK шатунининг бурчак тезланишини топиш мумкин:

$$\varepsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} = \frac{a'_{KA}}{l_{KA}} = \frac{a'_{KB}}{l_{KB}} \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

Шатунининг бурчак тезлиги (ω_3) билан бурчак тезланиши (ε_3) механизмнинг шу ойдаги вазиятида бир-бирига тескари йўналган. Бу ҳол шатунининг шу ойда секундидаги ҳолатида эканини билдиради.



9.6-шакл: а — тўрт звеноли механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Шундай қилиб, механизмнинг кўрсатилган вазияти учунгина тўла тезлик ва тезланишларнинг планларини кўриб чиқдик. Агар механизмнинг вазияти ўзгарса, у ҳолда, тузилган вектор тенгламалар ўзгармай, фақат тезлик ва тезланишлар планидаги векторларнинг скаляр қийматлари ҳамда вектор йўналишлари ўзгаради.

22-масала. 9. 6-шакл, а да кўрсатилган тўрт звеноли механизмнинг шу вазияти учун тезликлар ва тезланишларнинг планлари тузилсин. Механизмнинг O_2A звеноси ω_2 бурчак тезлиги билан айланади.

Е ч и ш: Кривошипдаги A нуқтанинг тезлигини қуйидаги тенглама билан топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_2A} \text{ [мсек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар масштабини топамиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_a} \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Механизм шатунидаги B нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз ва уларни график усулда ечамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{a}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$

ρ_a кесмени ихтиёрӣ танлаб олинган ρ қутбдан механизмдаги O_1A га тик қилиб ўтказамиз. Бу ρ_a кесма вектор бўлиб, A нуқта тезлигининг масштаб қиймати ва йўналишини билдиради (9. 6-шакл, б).

Вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, ρ_a вектор учидан механизмдаги AB га тик ўтказамиз; иккинчисига кўра эса O_2 нуқтадан (яъни ρ қутбдан) O_2B га тик ўтказамиз. Иккала тик чизиқ b нуқтада кесишади. b нуқта a билан бирдир.

x нинг тезликларини топиш учун уни A ва B билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғлаймиз:

$$\vec{v}_x = \vec{v}_A + \vec{v}_{xA}$$

$$\vec{v}_x = \vec{v}_B + \vec{v}_{xB}$$

Вектор тенгламага биноан x нуқтанинг тезликлар планини топиш учун a дан Ax га ва b дан Bx га тик чизиқлар ўтказамиз. Иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси a ва b нуқталар билан бир жойда эканлиги 9. 6-шакл, б дан аққол кўришиб турибди, y нинг тезликларини топиш учун уларни B ва O_2 ларнинг тезликлари билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғлаймиз:

$$\vec{v}_y = \vec{v}_B + \vec{v}_{yB}$$

$$\vec{v}_y = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{yO_2}$$

Тенгламага кўра тезликлар планининг b нуқтасидан Bu га, қутбдан эса yO_2 га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси y эканлигини кўрамиз.

Шундай қилиб, 9. 6-шакл, а даги механизмнинг шу вазияти учун ρ ва x ур тезликлар плани ҳосил бўлди. Тезликлар планидан қуйидагиларни аниқлаймиз (9. 6-шакл, б):

1. $\vec{v}_B = K_v \cdot \vec{\rho b}$ [мсек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;

2. $\vec{v}_{BA} = K_v \cdot \vec{ab}$ — B нуқтанинг A га nisbatan тезлиги нолга тенг;

3. $\vec{v}_{xA} = K_v \cdot \vec{ax}$ — x нуқтанинг A га nisbatan тезлиги ҳам нолга тенг;

4. $\vec{v}_{xB} = K_v \cdot \vec{bx}$ — x нуқтанинг B га nisbatan тезлиги ҳам нолга тенг;

5. $\vec{v}_y = K_v \cdot \vec{\rho y}$ — y нуқтанинг абсолют тезлиги;

6. $\vec{v}_{yB} = K_v \cdot \vec{yb}$ — y нуқтанинг B га nisbatan тезлиги;

7. $\vec{v}_y = \vec{v}_{yO_2} = K_v \cdot \vec{\rho y}$ — y нуқтанинг O_2 га nisbatan тезлиги (абсолют тезлиги).

ABX — звенонинг бурчак тезлигини топамиз:

$$\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}} = 0$$

Шатундаги C нуқтанинг тезлиги ҳам A ва B ларнинг тезлигига тенг:

$$\vec{v}_A = \vec{v}_B = \vec{v}_C$$

Тезликлар планидан сўнг тезланишлар планини тузамиз. Бунинг учун **аввал** нуқтанинг нормал тезланишини топамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар масштаби қуйидагича топилади:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a} \left[\frac{\text{мсек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

Тезланишлар қутбини π билан белгилаймиз ва шу нуқтада ётувчи нуқталарнинг тезланишлари нолга тенглигини назарда тутиб, πa вектор кесмани механизмдаги O_1A звенонинг A нуқтасидан O_1 га томон йўналтираемиз.

Шундай қилиб, πa вектор кесма a_A^n тезланишининг масштаб нифодасидир (Ф. 6-шакл, b).

B нуқтанинг тезланишларини топамиз. B нуқта икки тезланишга, яъни A га нисбатан нормал тезланиш ва O_2 га нисбатан абсолют тезланишга эга. Шунинг учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A^n + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_{O_2} + \vec{a}_{BO_2}^n + \vec{a}_{BO_2}^t$$

a_{BA}^n билан $a_{BO_2}^n$ ни қуйидаги формулалардан топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \text{ [мсек}^{-2}\text{]} = 0; \quad \pi b a = 0$$

$$a_{BO_2}^n = \frac{v_B^2}{l_{O_2B}} \text{ [мсек}^{-2}\text{]}; \quad \pi b o_2 = \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$\pi b a$ ни πa вектор кесманинг a учидан AB га параллел қилиб қўйиш керак экан (Ф. 6-шакл, b), y нолга тенг бўлгани учун, худди шу нуқтадан AB га тик қилиб, нисбий тангенциал тезланишни йўналтираемиз; y πa билан бир чизиқда бўлади. Вектор тенгламанинг иккинчисига кўра $\pi b o_2$ ни π нуқтадан механизмдаги B дан O_2 га томон қўямиз ва унинг учидан O_2B га тик ўтказамиз. Иккала тик чизиқ b нуқтада кесишади x ва y нуқталарнинг тезланишларини топиш учун нисбий тезланишлар плани билан механизм звеносининг ўқшашлик теоремасидан фойдаланамиз. Бунинг учун O_2By учбурчакка ўхшаш πby учбурчак чизамиз. $\Delta O_2By \sim \Delta \pi by$ бўлишини назарда тутиб πb ни асос қилиб олиб, O_2By ҳарф тартибини сақлаган ҳолда πby ни чизамиз. Худди шунингдек, ABx ҳарфлар тартибини сақлаган ҳолда, тезланишлар планидаги a ни асос қилиб олиб, ўхшаш учбурчакни чизамиз. C ва D нуқталарни a қуйидаги пропорциялардан топамиз:

$$\frac{\pi d}{\pi a} = \frac{O_2D}{O_2B}; \quad \pi d = \pi a \frac{O_2D}{O_2B} \text{ [мм]}$$

$$\frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \frac{AC}{AB}; \quad \overline{ac} = \overline{ab} \cdot \frac{AC}{AB} \text{ [мм]}$$

Шундай қилиб 9. 6-шакл, b дан D нуқтанинг абсолют тезланишини ва C нуқтанинг абсолют тезланишини оламиз.

9. 6-шакл, b дан механизмдаги тегишли нуқталарнинг тезланиши қуйидагича бўлади:

1. $a_B = K_a \cdot \overline{pb}$ — B нуқтанинг абсолют тезланиши;
 2. $a_x = K_a \cdot \overline{px}$ — x нуқтанинг абсолют тезланиши;
 3. $a_y = K_a \cdot \overline{py}$ — y нуқтанинг абсолют тезланиши;
 4. $a_{xB} = K_a \cdot \overline{xb}$ — x нуқтанинг B га нисбатан тезланиши;
 5. $a_{xA} = K_a \cdot \overline{xa}$ — x нуқтанинг A га нисбатан тезланиши;
 6. $a_{yB} = K_a \cdot \overline{yb}$ — y нуқтанинг B га нисбатан тезланиши;
 7. $a'_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тангенсial тезланиши.
- AB нинг бурчак тезланиши қуйидагича топилди:

$$\varepsilon_{BA} = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} \text{ [сек}^{-2}\text{]}$$

O_2B коромислонинг бурчак тезланиши қуйидагича бўлади:

$$\varepsilon_4 = \frac{a'_{BO_2}}{l_{BO_2}} \text{ [сек}^{-2}\text{]} = 0$$

Шундай қилиб, 9. 6-шакл, a даги механизмнинг кўрсатилган вазияти учунгина тўла тезлик ва тезланишлар планини кўриб чиқдик. Механизмнинг бошқа вазиятлари учун тузилган вектор тенгламалар ва бошқа формулалар ўз ҳолича қолиб, фақат скаляр катталиклар билан вектор йўналишларгина ўзгаради.

9. 6-шакл, ҳамда b да кўрсатилган тезлик ва тезланишлар плани механизмининг хусусий ҳоли учун тузилган.

23-масала. 9. 7-шакл, a да кўрсатилган механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин ҳамда AC , O_2D ва DC звеноларининг бурчак тезликлари билан тезланишлари умумий ҳолда кўрсатилсин. Кривошип O_2A нинг бурчак тезлиги ω_2 деб ҳисоблансин.

Е ч и ш: кривошипдаги нуқтанинг чизиқли тезлиги қуйидаги формула билан аниқланади:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_2A} \text{ [мсек}^{-2}\text{]}$$

Тезликлар масштабни танлаб оламиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_A}$$

ра вектор кесма v_A тезлиқнинг K_v масштабадаги вфодасидир, уни ихтиёрий танланган кутбдан O_1A кривошипга тик қилиб кўямиз (9.7-шакл, б). Механизмдаги O_2O_2 нуқталар билан xx йўналтирувчи қўзғалмас бўлгани учун, уларнинг тезликлари нолга тенг, шу сабабли уларнинг тезликлар плани кутбда ётади деб қараймиз. B нуқтанинг тезликларини топмиш учун, уни A га нисбатан айланма ҳаракатда, xx га нисбатан эса илгариллама ҳаракатда деб олиб, қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{v_B} = \overline{v_A} + \overline{v_{BA}}$$

$$\overline{v_B} = \overline{v_x} + \overline{v_{Bx}}$$

эмас. Шундай қилиб, тузилган тезликлар планидан қуйидагиларни оламиз (9.7-шакл, б):

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{B1} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;
3. $v_C = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
4. $v_{CB} = K_v \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан тезлиги;
5. $v_{CA} = K_v \cdot \overline{ca}$ — C нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;
6. $v_D = K_v \cdot \overline{pd} = 0$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;
7. $v_{DC} = K_v \cdot \overline{dc}$ — D нуқтанинг C га нисбатан тезлиги;
8. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}} = 0$ — AB шатуннинг бурчак тезлиги;
9. $\omega_5 = \frac{v_{DC}}{l_{BC}} = \frac{K \cdot \overline{dc}}{l_{DC}}$ [сек⁻¹] — 5 звенонинг бурчак тезлиги;
10. $\omega_6 = \frac{v_{DO_1}}{l_{DO_1}} = 0$ — 6 звенонинг бурчак тезлиги.

Энди тезланишлар планини тузамиз. Бунинг учун кривошипдаги A нуқтанинг нормал тезланишини қуйидаги формула билан аниқлаймиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

тезланиш масштаби $K_a = \frac{a_A^n}{\mu_a} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$ бўлади. a_A^n нормал тезланиш A

нуқтадан O_1 га томон йўналганини эътиборга олиб, μ_a вектор кесмини π тезланишлар кутбидан, шаклда A дан O_1 га қаратиб қўйилганидек, параллел қилиб қўямиз (9.7-шакл, б). Вектор кесма K_a масштабда A нинг нормал тезланишини ифодалайди. B нуқтанинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned} \overline{a_B} &= \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^t} \\ \overline{a_B} &= \overline{a_x} + \overline{a_{Bx}} \end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисидagi a_{BA}^n ни қуйидаги формула билан топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \text{ [мм]} = 0$$

$n_{ba} = 0$ бўлгани учун, вектор тенгламаларнинг биринчисига биноан, μ_a нинг a учидан AB га тик чизиқ, тенгламаларнинг иккинчисига кўра эса a_x нинг учидан ($a_x = 0$ бўлгани учун кутбдан) xx га параллел чизиқ ўтказамиз, иккала чизиқнинг кесилиш нуқтаси b бўлади. Тезланишлар планидаги c ни топиш учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \frac{AC}{AB}; \quad \overline{ac} = \overline{ab} \cdot \frac{AC}{AB} > \overline{ab}$$

нинг давомига қўйиб, c ни топамиз ва уни қутб билан туташтира-

Тезланишнинг тезланишни аниқлаш учун уни C ва O_2 нуқталарнинг тезланиши билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғлаймиз:

$$\vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}_{DC}^n + \vec{a}_{DC}^t \quad \vec{a}_D = \vec{a}_{O_2} + \vec{a}_{DO_2}^n + \vec{a}_{DO_2}^t$$

Бу тенгламалардаги a_{DC}^n билан $a_{DO_2}^n$ ни қуйидагича топамиз:

$$a_{DC}^n = \frac{v_{DC}^2}{l_{DC}} = \frac{(K_v \cdot dc)^2}{l_{DC}} [\text{м сек}^{-2}]; \quad n_{dc} = \frac{a_{DC}^n}{K_a} [\text{мм}]$$

$$a_{DO_2}^n = \frac{v_{DO_2}^2}{l_{DO_2}} = \frac{(K_v \cdot Pd_2)^2}{l_{DO_2}} [\text{м сек}^{-2}] \quad n_{DO_2} = \frac{a_{DO_2}^n}{K_a} = 0$$

Тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезланишлар планидаги c нуқтадаги D дан c га томон йўналтирилган ҳолда қўямиз ва n_{dc} вектор кесма билан DC га тик чизиқ ўтказамиз. Тенгламаларнинг иккинчисига биноан, D дан ($a_{O_2} = 0$ бўлгани учун) O_2D га тик чизиқ ўтказамиз; нисбала тик чизиқ нуқтада кесишади (9.7- шакл, в).

Шундай қилиб, $labcc'd_1d_2$ тезланишлар планидан қуйидагиларни оламиз:

1. $a_B = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг абсолют тезланиши;
2. $a'_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тангенциал тезланиши.
3. $a'_{CA} = K_a \cdot \overline{ca}$ — C нуқтанинг A га нисбатан айланишидаги тангенциал тезланиши;
4. $a'_{CB} = K_a \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан айланишидаги тангенциал тезланиши;
5. $a_C = K_a \cdot \overline{ac}$ — C нуқтанинг абсолют тезланиши;
6. $a'_{DC} = K_a \cdot \tau_{dc}$ — D нуқтанинг C га нисбатан айланишидаги тангенциал тезланиши;
7. $a'_D = K_a \cdot \overline{ad}$ — D нуқтанинг абсолют тангенциал тезланиши;
8. $e_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}}$ — AB шатуннинг бурчак тезланиши;
9. $e_5 = \frac{a'_{DC}}{l_{DC}}$ — 5 звенонинг бурчак тезланиши;
10. $e_6 = \frac{a'_D}{l_{DO_2}}$ — 6 звенонинг бурчак тезланиши.

24-масала. 9.8- шакл, a да кўрсатилган механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилиши ва механизмдаги B, C, D нуқталарнинг (кинематик жұфт марказларининг) абсолют ва нисбий тезлик ва тезланишлари билан AB, O_2B ва CD звеноларнинг бурчак тезликлари, бурчак тезланишлари ҳамда уларнинг йўналишлари аниқлансин. Кривошип соат стрелкаси айланган томонга қараб, ω_2 бурчак тезлиги билан айланади.

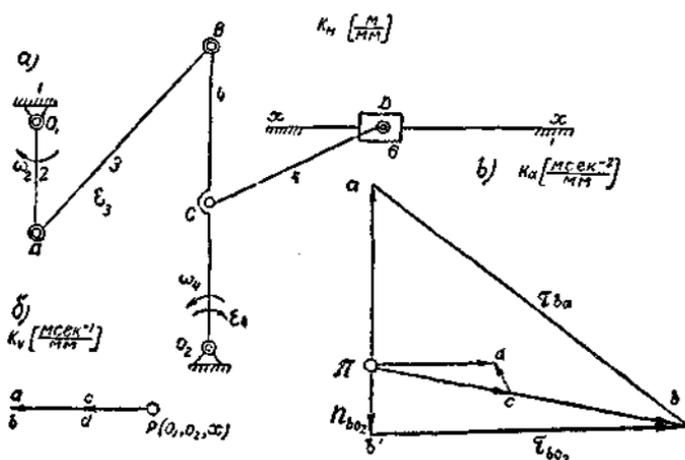
Ечиш: A нуқтанинг чизиқли тезлигини қуйидагича топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_2A} [\text{м сек}^{-1}]$$

Тезликлар планининг масштаби қуйидаги формула билан аниқланади:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho l} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Тезликлар планининг ρ қутбидан ρa вектор кесмини O_1A га тик қилиб, ω_2 айланган томонга йўналтираемиз. B нуқтанинг тезликларини топиш учун



9.8-шакл: а — олти звеноли механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

унинг A ва O_2 нуқталарининг тезликларини билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғлаймиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, v_A вектор учидан (\vec{ra} нинг a нуқтасидан) AB га тик, v_{O_2} нинг учидан (қутбдан) эса O_2B га тик чизиқлар ўтказамиз. Иккала тик чизиқнинг кесилиш нуқтаси b эканлиги 9.8-шакл, б дан кўришиб турибди, C нуқтанинг тезликлар планидаги вазиятини топиш учун қуйидаги пропорциядан фойдаланамиз:

$$\frac{pc}{pb} = \frac{C_2C}{C_2B}; \quad pc = pb \cdot \frac{O_2C}{C_2B} < pb$$

pc ни pb бўйлаб қўйиб, c нуқтани топамиз.

D нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларини тузиб, уларни график усулда ечамиз:

$$\vec{v}_D = \vec{v}_C + \vec{v}_{DC}$$

$$\vec{v}_D = \vec{v}_x + \vec{v}_{Dx}$$

Тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги s нуқтадан (v_x векторнинг учидан) CD га тик, тенгламаларнинг иккинчисига кўра эса қутбдан ($v_x = 0$ бўлганлиги учун) xx га параллел чизиқлар ўтказамиз. Иккала чизиқ d нуқтада кесишади; d нуқтанинг s нуқта билан бир жойда ётиши тузилган тезликлар планидан яққол кўриниб турибди.

Шундай қилиб, бир горизонтал чизиқ устида ётувчи нуқталарнинг туташтирилишидан ҳосил бўлган *рабца* тезликлар плани келиб чиқди; бу тезликлар планидан қуйидагиларни оламиз (9.8- шакл, б):

1. $v_B = A_v \cdot \overline{db} = B$ нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab} = B$ нуқтанинг A га nisbatan тезлиги;
3. $v_C = K_v \cdot \overline{pc} = C$ нуқтанинг абсолют тезлиги;
4. $v_{DC} = K_v \cdot \overline{dc} = 0 = D$ нуқтанинг C га nisbatan тезлиги;
5. $v_D = K_v \cdot \overline{pd} = D$ нуқтанинг абсолют тезлиги;
6. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}} = 0 = AB$ шатуннинг бурчак тезлиги;
7. $\omega_4 = \frac{v_B}{l_{BO_2}} = 4$ звенонинг бурчак тезлиги;
8. $\omega_5 = \frac{v_{DC}}{l_{DC}} = 0 = 5$ звенонинг бурчак тезлиги.

Тезланишлар планини тузамиз; A шинг нормал тезланиши қуйидаги формула билан топилади:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар масштабини қуйидагича топамиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

Ихтиёрий қутб танлаб олиб, la вектор кесмини A дан O_1 га томон йўналган вазиятда қўямиз (9.8- шакл, б). B нуқтанинг тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалар кўринишида боғланади:

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^t}$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{BO_2}^n} + \overline{a_{BO_2}^t}$$

$a_{BA}^n, a_{BO_2}^n$ ларни қуйидаги формулалардан топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} = 0 \quad n_{ba} = 0$$

$$\overline{a_{BO_2}^n} = \frac{v_B^2}{l_{BO_2}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad \overline{n_{bO_2}} = \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \text{ [мм].}$$

Вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, a_A^n нинг учидан (\overline{pa}) нинг a нуқтасидан) AB га тик ўтказамиз ($n_{ba} = 0$), тенгламаларнинг иккинчисига бинван кутбдан n_{bO_2} ни кўямиз ва унинг учидан тик ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси (b) ни топамиз. Тезланишлар планидаги c нуқта куйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{pc}}{\overline{pb}} = \frac{O_2C}{O_2B}; \quad \overline{pc} = \overline{pb} \cdot \frac{O_2C}{O_2B} < pb$$

\overline{pc} ни \overline{pb} бўйлаб кўйиб, c ни топамиз.

D нуқтанинг тезланишлари куйидаги вектор тенгламалар орқали боғлавади:

$$\overline{a}_D = \overline{a}_C + \overline{a}_{DC} + \overline{a}'_D$$

$$\overline{a}_D = \overline{a}_C + \overline{a}_{Dx}$$

a'_{DC} ни куйидаги формуладан топамиз:

$$a'_{LC} \frac{v_{DC}^2}{l_{DC}} [\text{м сек}^{-2}] = 0; \quad n_{dc} = 0$$

D нуқта вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, a_c нинг учидан (\overline{pc}) нинг c нуқтасидан) DC га тик, тенгламаларнинг иккинчисига кўра эса a_x нинг учидан ($a_x = 0$ бўлгани учун π кутбдан) xx га параллел чизиқлар ўтказамиз. Ўтказилган иккала чизиқ d нуқтада кесишади (9.8-шакл, b).

Шундай қилиб, $labb'pcdp$ тезланишлар плани ҳосил бўлди; ундан куйидагиларни оламиз:

- $a_B = K_a \cdot \overline{pb} - B$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
- $a'_{BA} = K_a \cdot \overline{ab} - B$ нуқтанинг A атропоида айланишидаги тангенциал тезланиши;
- $a_C = K_a \cdot \overline{pc} - C$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
- $a'_{BO_2} = K_a \cdot \overline{bO_2} - B$ нуқтанинг абсолют тангенциал тезланиши;
- $a'_{DC} = K_a \cdot \overline{cd} - D$ нуқтанинг C га нисбатан айланишидаги тангенциал тезланиши;
- $a_D = K_a \cdot \overline{pd} - D$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
- $\varepsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} \downarrow - 3$ звенонинг бурчак тезланиши;
- $\varepsilon_4 = \frac{a'_{BO_2}}{l_{BO_2}} \downarrow - 4$ звенонинг бурчак тезланиши;
- $\varepsilon_5 = \frac{a'_{DC}}{l_{DC}} \uparrow - 5$ звенонинг бурчак тезланиши.

25-масала. 9.9-шакл, a да кўрсатилган тикув машинани моки механизмнинг тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилгани ва тегишли нуқта ҳамда звеноларнинг физикли тезлик ва тезланишлари аниқлансин. Иккинчи механизмнинг етакловчи звеноси O_1A нинг бурчак тезлиги $\omega_2 = \text{const}$.

Е қиш: А нуктанинг (кинематик жуфт марказининг) тезлигини қуйидаги тенгламадан топиш

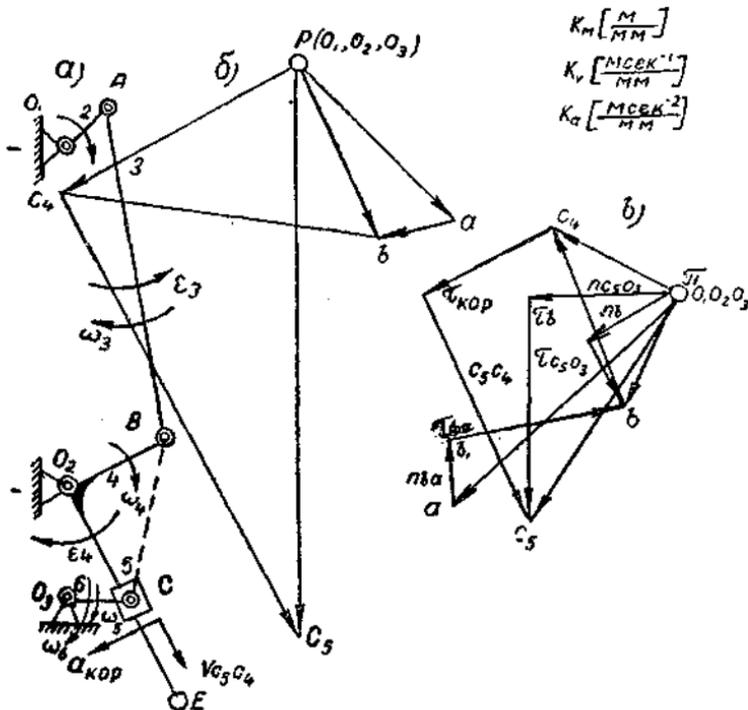
$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} \text{ м сек}^{-2}$$

В нуктанинг тезлигини топиш учун, қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$

р вектор кесма K_0 масштабда А нинг тезлигини ифодалайди; р кутбдан O_1A га тик қилиб pa ни қўямиз. Тенгламаларнинг биринчисига биноян, pa нинг учидан (a дан) АВ шатунга тик, тенгламаларнинг иккинчисига қўра



9.9-шакл: а — тикув машинасининг моки механизми; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

вч р кутбдан (нушки, $v_{O_2} = 0$) O_2B га тик чизиқлар ўтказамиз. Иккала тик чизиқ b нуктида кесишади. C_4 нуктанинг 4 звенога тегишли эканлигини эътиборга олиб, қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_{C_4} = \vec{v}_B + \vec{v}_{C_4B}$$

$$\vec{v}_{C_4} = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{C_4O_2}$$

10) Механизм ва машиналар назарияси

Тенгламаларнинг биринчисига биноан, C_4 нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини аниқлаш учун b нуқтадан BC_4 га тик, p қутбдан эса O_2C_4 га тик ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси (C_4) ни топамиз.

C_5 нуқтанинг тошга тегишли эканлигини эътиборга олиб ва C_5 , C_6 нуқталар бир ва уларнинг тезликлари тенг эканлигидан фойдаланиб, қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_{C_5} = \vec{v}_{C_4} + \vec{v}_{C_5C_4}$$

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_{C_5} = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{C_5O_2}$$

Бу вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги C_4 нуқтадан O_2C_4 га (ёки O_2E га) тик, иккинчисига кўра эса p қутбдан (чунки, $v_{O_2} = 0$, O_3 қутбда ётади) O_3C_5 га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси (C_5) ни топамиз. Векторларнинг йўналиши вектор тенгламаларга боғлиқ бўлиб векторлар назарияси асосида топилади.

Шундай қилиб, $rab_{C_4C_5}$ тезликлар планидан қуйидагиларни оламиз:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [м сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;
3. $v_{C_4} = K_v \cdot \overline{rc_4}$ — O_2E кулисага тегишли C_4 нуқтанинг абсолют тезлиги;
4. $v_{C_4B} = K_v \cdot \overline{c_4b}$ — C_4 нуқтанинг B га нисбатан тезлиги;
5. $v_{C_5} = K_v \cdot \overline{rc_5}$ — тошга тегишли C_5 нуқтанинг абсолют тезлиги;
6. $v_{C_5C_4} = K_v \cdot \overline{c_5c_4}$ — C_5 нуқтанинг C_4 га нисбатан тезлиги;
7. $\omega_4 = \frac{v_B}{l_{O_2B}}$ [сек⁻¹] ↓ — O_2BE кулисанинг бурчак тезлиги;
8. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ — AB шатуннинг бурчак тезлиги;
9. $\omega_5 = \omega_6 = \frac{v_{C_5}}{l_{O_2C_5}}$ — O_2C звонининг (ёки тошнинг) бурчак тезлиги.

Тезланишлар плани тузишни механизмдаги A нуқтанинг нормал тезланиши топишдан бошлаймиз. У қуйидагича топилади:

$$a_A^n = \frac{v_A}{l_{O_1A}}$$

Тезланишлар масштаби қуйидагича топилади:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a}$$

Ҳа вектор кесма механизмнинг A нуқтасидан O_1 га томон йўналганлигини биламиз. B нинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_{O_1} + \vec{a}_{BO_1}^n + \vec{a}_{BO_1}^t$$

a_{BA}^n ва $a_{BO_2}^n$ нормал тезланишлар ва уларнинг масштаб коэффциентлари қуйидаги формулалардан топилади:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$$a_{BO_2}^n = \frac{v_{BO_2}^2}{l_{BO_2}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{bO_2} = \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

Тенгламаларнинг биринчисига кўра, la вектор кесманинг учидан n_{ba} ни механизмининг B нуқтасидан A нуқтага томон қўямиз ва унинг b' учидан n_b га тик чизиқ ўтказамиз. Шу тенгламаларнинг иккинчисига кўра, тезланишлар кутби (π) дан n_{bO_2} вектор кесмани механизмининг B нуқтасидан O_2 га томон қўямиз, унинг учидан шу n_{bO_2} га тик чизиқ ўтказамиз. Иккала тик чизиқ b нуқтада кесишади. pb кесма K_a масштабда B нуқтанинг тўла тезланишидир.

Кулисага тегишли C_4 нуқтанинг тезлигини топиш учун янбий тезланишлар мнзараси билан зверо шакли орасидаги ўхшашлик теоремасидан фойдаланамиз, яъни тезланишлар планида ҳосил бўладиган pb_4 учбурчак механизмдаги O_2BC учбурчакка ўхшаш бўлиши керак. Бунинг учун қуйидаги пропорциядан фойдаланамиз:

$$\frac{\overline{pc_4}}{\overline{pb}} = \frac{O_2C_4}{O_2B}; \quad \overline{pc_4} = \overline{pb} \cdot \frac{O_2C_4}{O_2B} \text{ [мм]}$$

$$\frac{\overline{bc_4}}{\overline{pb}} = \frac{BC_4}{C_2B}; \quad \overline{bc_4} = \overline{pb} \cdot \frac{BC_4}{O_2B} \text{ [мм]}$$

Тезланишлар планининг кутбидан \overline{pb} нинг ўнг томовига $\overline{pc_4}$ радиус билан, тезланишлар планининг b нуқтасидан \overline{pb} нинг ўнг томонига $\overline{bc_4}$ радиус билан ёй чизамиз. Иккала ёй c_4 нуқтада кесишади. Тошга тегишли C_4 нуқтанинг тезланиши мураккабдир, уни қуйидаги вектор тенгламалар ёрдами билан топамиз:

$$\overline{a_{C_4}} = \overline{a_{C_4}} + \overline{a_{C_3C_4}} + \overline{a_{кор}}$$

$$\overline{a_{C_4}} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{C_3O_2}} + \overline{a_{C_3O_4}^t}$$

$\overline{a_{C_4}}$ тезланиш OE га параллел йўналган.

$\overline{a_{кор}}$ кориолис тезланишидир, уни қуйидаги тенгламадан топамиз:

$$a_{кор} = 2 \cdot \omega_4 \cdot v_{C_3C_4} = 2 \cdot \frac{v_{C_4}}{l_{O_2C_4}} \cdot v_{C_3C_4} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$\overline{a_{кор}} = \frac{a_{кор}}{K_a}$ [мм] — кориолис тезланишининг K_a масштабдаги вектор кес-

$$a_{C_3O_4}^t = \frac{v_{C_3}^2}{l_{O_2C_3}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{C_3O_4} = \frac{a_{C_3O_4}^t}{K_a} \text{ [мм]}$$

Тезланишлар планида c_3 нуқтани топиш учун тезланишлар планидаги c_4 нуқтадан $\overline{a_{кор}}$ вектор косма учидан O_2E га тик, кутбдан эса $n_{C_3O_4}$ ни қўямиз, унинг учидан ўзига тик ўтказамиз. Иккала тик чизиқ C_3 нуқтада кесишади (С.Ф. Шмидт, b).

Тезланиш тенгламасининг иккала томонини K_a масштабга бўлсак, қуйидаги вектор кесмалар тенглиги чиқади:

$$\overline{\pi c_3} = \overline{\pi c_4} + \overline{c_3 c_4} + \tau_{кор}$$

$$\overline{\pi c_5} = \pi c_5 o_3 + \tau_{c_5 o_3}$$

9.9- шакл, δ даги вектор кесмалар ҳақиқатан ҳам юқоридagi тенгламалар орқали боғланганлиги аёндр.

Шундай қилиб, 9.9- шакл, δ даги $\overline{a_{BA}^n}, \overline{a_{BA}^t}, \overline{a_{BA}}, \overline{a_B}, \overline{a_{C_4}}, \overline{a_{C_4B}}, \overline{a_{кор}}, \overline{a_{C_3C_4}}, \overline{a_{C_3O_3}}^n, \overline{a_{C_3O_3}}^t, \overline{a_{C_3}}, \overline{e_3}, \overline{e_4}, \overline{e_5}$ тезланишлар планидан қуйидаги тезланишлар олинади:

1. $a_{BA}^n = K_a \cdot \overline{ab}$ [м сек⁻²] — B нуқтанинг нисбий нормал тезланиши;
2. $a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{ba}$ — B нуқтанинг нисбий урнма тезланиши;
3. $a_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг тўла нисбий тезланиши;
4. $a_B = K_a \cdot \pi_{o_2}$ — B нуқтанинг абсолют нормал тезланиши;
5. $a_B^t = K_a \cdot \tau_{o_2}$ — B нуқтанинг абсолют урнма тезланиши;
6. $a_{C_4} = K_a \cdot \overline{\pi c_4}$ — кулисадаги C_4 нуқтанинг абсолют тезланиши;
7. $a_{C_4B}^n = K_a \cdot c_4 \overline{b}$ — кулисадаги C нуқтанинг B га нисбатан тезланиши;
8. $a_{кор} = \tau_{кор} \cdot K_a \cdot \tau_{кор}$ — тошнинг корнолис тезланиши;
9. $a_{C_3C_4} = K_a \cdot c_4 c_3$ — тошнинг кулисага нисбатан тезланиши;
10. $a_{C_3O_3}^n = K_a \cdot \pi_{C_3O_3}$ — тошнинг абсолют нормал тезланиши
($a_{C_3O_3}^n = a_{C_6O_3}^n$);
11. $a_{C_3O_3}^t = K_a \tau_{C_3O_3}$ — тошнинг абсолют урнма тезланиши
($a_{C_3O_3}^t = a_{C_6O_3}^t$);
12. $a_{C_3} = K_a \overline{\pi_{C_3}}$ — тошнинг абсолют тезланиши;
13. $e_3 = \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}}$ [сек⁻²] — 3 звенонинг бурчак тезланиши;
14. $e_4 = \frac{a_B^t}{l_{O_2B}}$ — 4 звенонинг бурчак тезланиши;
15. $e_5 = e_6 = \frac{a_{C_3C_4}}{l_{C_3O_3}}$ — 5 ёки 6 звеноларнинг бурчак тезланишлари.

20- масала. 9.10- шакл, a да кўрсатилган хамир кориш машинаси механизмининг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани туйилсин ва тегишли звеноларнинг бурчак тезликлари билан тезланишлари ҳамда уларнинг йўналишлари аниқлансин.

Е ч и ш: етакловчи звено ω_2 бурчак тезлиги билан айланади, 7 шестериянинг бурчак тезлигини узатиш сони орқали топиш мумкин:

$$\omega_7 = \frac{\omega_2}{i_{27}}$$

A_3 нуқта тошга тегишли бўлиб, унинг тезлигини қуйидаги формуладан топамиз:

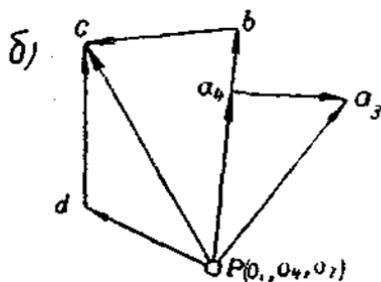
$$v_{A_3} = \omega_2 \cdot l_{O_1A_3} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар ыланнинг масштабини қуйидагича топамиз:

$$K_v = \frac{v_{A_3}}{\rho a_3} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

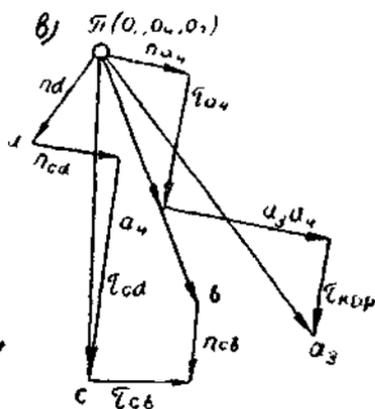
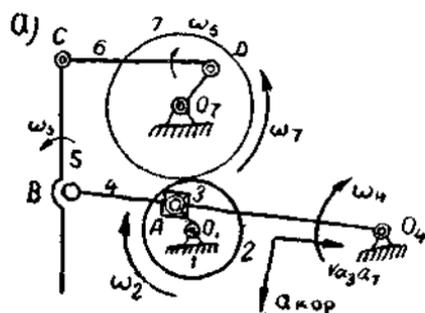
D нуқтанинг тезлиги қуйидагича топилади:

$$v_D = \omega_7 \cdot l_{O_7, D} \text{ [м сек}^{-1}\text{].}$$



$$K_{v1} \left[\frac{\text{м}}{\text{мм}} \right] \quad K_v \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

$$K_a \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$



0.10- шакл: а — хамир қорни машиниси механизми; б — тезликлар ылан; в — тезланишлар ылан.

v_D тезлигининг масштаб-ифодаси миллиметр ҳисобида ўлчанади, уни қуйидагича топиш мумкин:

$$\overline{\rho d} = \frac{v_D}{K_v} \text{ [мм]}$$

Тезликлар ыланда $\overline{\rho d} \perp O_7 D$ ва $\overline{\rho a_3} \perp O_1 A_3$ қилиб қўйилади.

Куликка тегишли A_4 нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгличини тузамиз:

$$\overline{v}_{A_2} = \overline{v}_{A_1} + \overline{v}_{A_2 A_1}$$

$$\overline{v}_{A_2} = \overline{v}_{O_4} + \overline{v}_{A_2 O_4}$$

Бу вектор тенгламаларнинг биринчисига биноан, a_3 дан O_4A_4 га параллел ва қутбдан (чунки, $v_{O_4} = 0$) O_4A_4 га тик чизиқ ўтказиб, иккала чизикнинг кесилиш нуқтаси (a_4) ни топамиз. B нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидаги пропорция орқали топилади:

$$\frac{\overline{pb}}{\overline{pa}} = \frac{O_4B}{O_4A_4}; \quad \overline{pb} = \overline{pa_4} \cdot \frac{O_4B}{O_4A_4} [\text{мм}] > \overline{pa_4}$$

B нуқта $\overline{pa_4}$ нинг давомчидир, у \overline{pb} кесманинг қутбидан a_4 орқали ўтган чизик давомида эканини кўриш қийин эмас.

Энди, C нуқта тезлигини топамиз. Бунинг учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{v_C} = \overline{v_B} + \overline{v_{CB}}$$

$$\overline{v_C} = \overline{v_D} + \overline{v_{CD}}$$

Бу вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, b дан CB га тик, d дан эса CD га тик чизиклар ўтказамиз, иккала тик чизик c нуқтада кесишади.

Шундай қилиб, pa_3a_4bcdp тезликлар планини ҳосил қилдик; ундан қуйидагиларни оламиз (9.10-шакл, б):

1. $v_{A_4} = K_v \cdot \overline{pa_4}$ [м сек^{-1}] — кулисадаги A_4 нуқтанинг абсолют тезлиги;

2. $v_{A_3A_4} = K_v \cdot \overline{a_3a_4}$ — тошдаги A_3 нуқтанинг кулисадаги A_4 нуқтага нисбатан оғий тезлиги;

3. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ — кулисадаги B нуқтанинг абсолют тезлиги;

4. $v_{CB} = K_v \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B нуқтага нисбатан тезлиги;

5. $v_{CD} = K_v \cdot \overline{cd}$ — C нуқтанинг D нуқтага нисбатан тезлиги;

6. $v_D = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;

7. $v_D = K_v \cdot \overline{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;

8. $\omega_4 = \frac{v_{A_4}}{l_{O_4A_4}}$ [сек^{-1}] — 4 звенонинг бурчак тезлиги;

9. $\omega_5 = \frac{v_{CB}}{l_{CB}}$ — 5 звенонинг бурчак тезлиги;

10. $\omega_6 = \frac{v_{CD}}{l_{CD}}$ — 6 звенонинг бурчак тезлиги.

9.10-шакл, б да тезланишлар плани кўрсатилган. Тезланишларнинг вектор тенгламаларини тузиш студентларга ҳавола қилинади.

27-масала. 9.11-шакл, а да кўрсатилган икки приборли тўқув станогини батан механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин ва 4, 5, 6 звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари ҳамда уларнинг йўналишлари аниқлансин. Механизмнинг етакловчи звеноси O_1A бўлиб, унинг ҳаракат қонуви, яъни бурчак тезлиги ω_2 ўзгармас катталиқдир.

Ечиш: A нуқтанинг айланма ҳаракатдаги чизикли тезлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A}$$

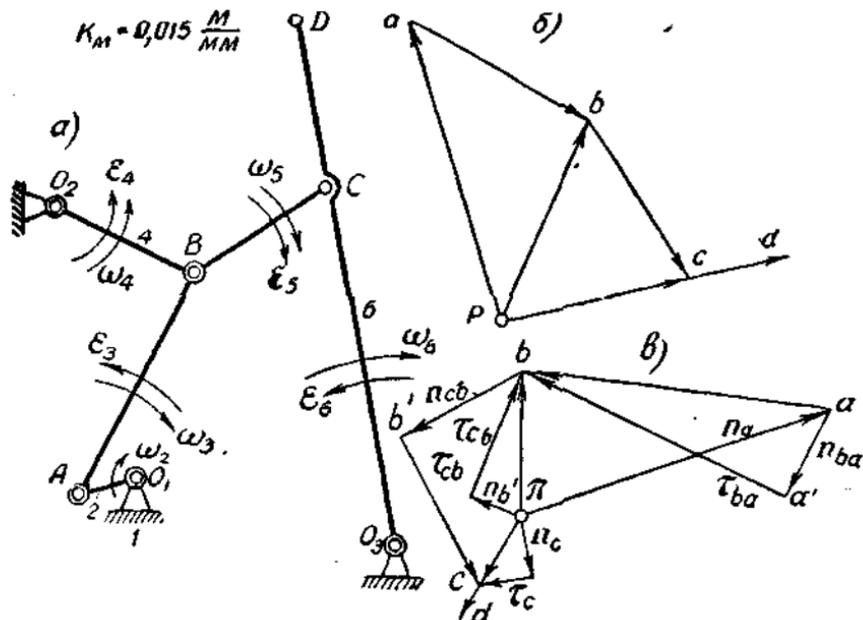
Тезликлар масштабини қуйидагича топамиз:

$$K_v = \frac{v_A}{l_A}$$

\vec{v}_A ни ρ қутбдан O_1A га тик қилиб ва ω_2 йўналган томонга йўналтирамиз (9.11-шакл, б). B нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$



9.11- шакл: а — икки приборли батан механизми; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, \vec{v}_A нинг учидан AB га тик, иккинчисига кўра эса ρ қутбдаги O_2B га тик чизиқлар ўтказиб, иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси (b) ни топамиз (9.11-шакл, б). C нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$$

$$\vec{v}_C = \vec{v}_{O_3} + \vec{v}_{CO_3}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, \vec{v}_B нинг учидан CB га тик, иккинчисига кўра эса ρ қутбдан (чунки, $v_{O_3} = 0$) O_3C га тик чизиқлар ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси (c) ни топамиз.

Механизмдаги D нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини топиш учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{pd}}{pc} = \frac{O_3D}{O_3C}; \quad \overline{pd} = pc \cdot \frac{O_3D}{O_3C} \quad \{\text{мм}\} > \overline{pc}$$

d нуқта қутбдан ўтувчи pc нинг (O_3C нинг) давомида эканлиги 9.11-шакл, b дан кўриниб турибди. Шундай қилиб, туқув станогни баташ механизмининг шу ондаги вазияти учун $abcdr$ тезликлар планини ҳосил қилдик; ундан қуйидагиларни оламиз:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [м сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;

2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;

3. $v_C = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;

4. $v_{CB} = K_v \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан тезлиги;

5. $v_D = K_v \cdot \overline{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;

6. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] — 3 звенонинг бурчак тезлиги;

7. $\omega_4 = \frac{v_B}{l_{O_2B}}$ — 4 звенонинг бурчак тезлиги;

8. $\omega_5 = \frac{v_{CB}}{l_{CB}}$ — 5 звенонинг бурчак тезлиги;

9. $\omega_6 = \frac{v_C}{l_{O_2C}}$ — 6 звенонинг бурчак тезлиги.

Энди, тезланишлар планини тузамиз. Бунинг учун A нуқтанинг нормал тезланишини қуйидаги формуладан топамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \quad \{\text{м сек}^{-2}\}$$

Тезланишлар масштабини қуйидагича танлаймиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

$\overline{\pi a}$ вектор кесманинг π қутбдан механизмдаги O_1A га параллел қилиб ва A дан O_1 га томон йўналтирамиз (9.11-шакл). B нуқтанинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^t}$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{BO_2}^n} + \overline{a_{BO_2}^t}$$

a_{BA}^n , $a_{BO_2}^n$ ларни топиб, уларнинг n_{ba} , n_{bo_2} масштаб вектор кесмаларини қуйидагича аниқлаймиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \quad \{\text{м сек}^{-2}\}; \quad n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \quad \{\text{мм}\}$$

$$a_{BO_2}^n = \frac{v_B^2}{l_{BO_2}} \quad \{\text{м сек}^{-2}\}; \quad n_{bo_2} = \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \quad \{\text{мм}\}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисга биноан, \overline{pa} нинг учидан BA га параллел қилиб, B дан A га томон n_{ba} ни қўямиз. τ_{ba} эса n_{ba} га тик йўналган. Тенгламаларнинг иккинчисига биноан, π қутбдан BO_2 га параллел қилиб, B дан O_2 га томон n_{bo_2} ни қўямиз. τ_{bo_2} эса n_{bo_2} га тик бўлади. Иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси b эканлигини 9.11-шакл, e дан кўриш қийин эмас.

C нуқтанинг тезланишлар планидаги ўринни топиш учун қуйидаги вектор тенгламалардан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned}\overline{a}_C &= \overline{a}_B + \overline{a}_{CB}^n + \overline{a}_{CB}^t \\ \overline{a}_C &= \overline{a}_{O_2} + \overline{a}_{CO_2}^n + \overline{a}_{CO_2}^t\end{aligned}$$

a_{CB}^n , $a_{CO_2}^n$ ларни ва уларнинг масштаб кесмаларини қуйидагича топамиз:

$$\begin{aligned}a_{CB}^n &= \frac{v_{CB}^2}{l_{CB}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; & n_{cb} &= \frac{a_{CB}^n}{K_a} \text{ [м.м]} \\ a_{CO_2}^n &= \frac{v_{CO_2}^2}{l_{CO_2}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; & n_{CO_2} &= \frac{a_{CO_2}^n}{K_a} \text{ [м.м]}\end{aligned}$$

C нуқтанинг тезланиш тенгламаларининг биринчисига n_{cb} ни b нуқтадан CB га параллел қилиб, C дан B га томон, n_{CO_2} ни эса π дан CO_2 га параллел қилиб, C дан O_2 га томон йўналтирамиз. Иккала нормал вектор кесмаларга тик чизиқлар ўтказиб, бу тик чизиқларнинг кесишув нуқтаси (c) ни топамиз. D нинг тезланишлар планидаги ўринни топиш учун қуйидаги пропорциядан фойдаланамиз:

$$\frac{\overline{pd}}{\overline{pc}} = \frac{O_2D}{O_2C}; \quad \overline{pd} = \overline{pc} \cdot \frac{O_2D}{O_2C} > \overline{pc}$$

d нуқта \overline{pc} нинг давомида эканлиги механизмдан маълум, чунки D нуқта ҳам O_2C нинг давомидадир.

Шундай қилиб, $paab'bb'cd\pi$ тезланишлар планини ҳосил қилдик; ундан қуйидагиларни аниқлаймиз:

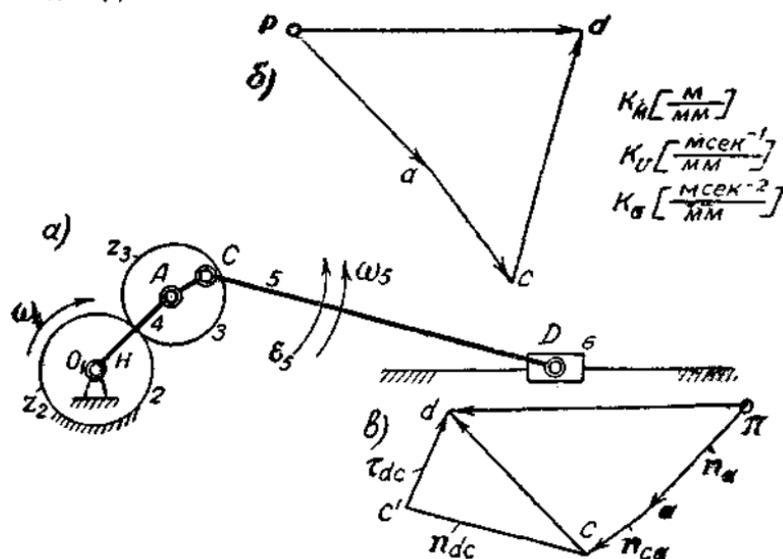
- $a_{BA}^n = K_a \cdot n_{ba}$ [м сек⁻²] — B нуқтанинг A га нисбатан ҳаракатидаги нисбий нормал тезланиши;
- $a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{ba}$ — B нуқтанинг A га нисбатан ҳаракатидаги абсолют уринма тезланиши;
- $a_{BO_2}^n = K_a \cdot n_{bo_2}$ — B нуқтанинг O_2 атрофида айланишидаги абсолют нормал тезланиши;
- $a_{BO_2}^t = K_a \cdot \tau_{bo_2}$ — B нуқтанинг O_2 атрофида айланишидаги абсолют уринма тезланиши;
- $a_{CB}^n = K_a \cdot n_{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан нормал тезланиши;
- $a_{CB}^t = K_a \cdot \tau_{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан уринма тезланиши;
- $a_C^n = K_a \cdot n_{CO_2}$ — C нуқтанинг атрофида айланишидаги абсолют нормал тезланиши;
- $a_C^t = K_a \cdot \tau_{CO_2}$ — C нуқтанинг O_2 атрофида айланишидаги абсолют уринма тезланиши;
- $a_C = K_a \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг тўла абсолют тезланиши;

10. $a_B = K_a \cdot \overline{pb}$ — B нуқтанинг тўла абсолют тезланиши;
11. $a_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг тўла нисбий тезланиши;
12. $a_{CB} = K_a \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг тўла нисбий тезланиши;
13. $\epsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} \text{ [сек}^{-2}\text{]} \downarrow$ — 3 звенонинг бурчак тезланиши;
14. $\epsilon_4 = \frac{a'_{CB}}{l_{CB}} \downarrow$ — 4 звенонинг бурчак тезланиши;
15. $\epsilon_5 = \frac{a'_{CB}}{l_{CB}} \downarrow$ — 5 звенонинг бурчак тезланиши;
16. $\epsilon_6 = \frac{a'_{CO_2}}{l_{CO_2}} \downarrow$ — 6 звенонинг бурчак тезланиши.

ϵ_3 билан ω_3 бир-бирига тескари йўналганлигидан ҳам AB звено шу онда секинлашиш ҳолатида бўлиши 9.11-шакл, a дан кўриниб турибди. Худди шундай мулоҳаза юритиб, ϵ_4 билан ω_4 бир йўналишда бўлганлиги учун 4 звено тезланиш ҳолатида эканлигини биламиз. Шақлдан кўриниб туришича, 5 звено тезланиш ҳолатида, 6 звено эса секинлашиш ҳолатида бўлади.

Юқорида баён этилган тезлик ва тезланишлар шу механизмнинг фақат шаклда кўрсатилган вазияти учундир, бошқа вазиятларида улар бошқача бўлиши мумкин.

28-масала. 9.12-шакл, a да кўрсатилган пилла тортиш машиннаси механизмининг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тuzилсин, бунда водило ҳамда 3 сателлитнинг бурчак тезликлари ўзгармас катталиқ деб қаралсин.



9.12-шакл: a — пилла тортиш машиннаси механизми; b — тезликлар плани; c — тезланишлар плани.

Ечиш: механизм планетар-стерженли механизм бўлиб, O_1A водило O_2 ўқи атрофида айланади. Z ғилдирак (сателлит) мураккаб ҳаракат қилади; у O_1 атрофида водилонинг тезлиги билан, A ўқи атрофида эса нисбий тезлик билан айланади. Z ғилдиракнинг C нуқтаси билан айланма V класс кинематик жуфт орқали CD шатун уланган. Шатуннинг D учи b ползун билан шарнир орқали боғланган.

Водилонинг A нуқтаси тезлигини топамиз:

$$v_A = \omega_1 \cdot l_{O_1A} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар масштабини топамиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_A} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

C нуқтасининг A га нисбатан тезлигини қуйидагича топамиз:

$$v_{CA} = \omega_1 \cdot l_{CA} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

v_{CA} тезлигининг масштаб ифодаси қуйидагича топилади:

$$\bar{v}_{CA} = \frac{v_{CA}}{K_v} \text{ [мм]}$$

ρ_A кесмени ρ қуйида O_1A га тик қилиб, ac кесмени эса a учидан CA га тик қилиб қўйишимиз. D нуқтасининг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенглама-ларидан фойдаланишимиз:

$$\bar{v}_D = \bar{v}_C + \bar{v}_{DC}$$

$$\bar{v}_D = \bar{v}_x + \bar{v}_{Dx}$$

D нуқтасининг тезлик тенгламаларидан биринчисига биноан, ac вектор кес-менининг учидан (c нуқтадан) CD га тик, иккинчисига биноан эса қутбдан x га параллел чизиқлар ўтказиб, иккала чизиқнинг кесилиш нуқтаси (d) ни топа-миз. Шундай қилиб, $\rho ac\rho$ тезликлар плани ҳосил бўлди (9.12-шакл, б).

Тезланишлар планини тузишга киришимиз. A нуқтасининг нормал тезлани-шини топамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}}$$

Тезланишлар масштабини қуйидагича аниқлаймиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\rho_a}$$

C нуқтасининг A га нисбатан нормал тезланиши қуйидагича топилади:

$$a_{CA}^n = \frac{v_{CA}^2}{l_{CA}}$$

a_{CA}^n нинг масштаб ифодаси қуйидагича топилади:

$$\rho_{ca} = \frac{a_{CA}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

D нуқтанинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламалардан фойдаланамиз:

$$\vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}_{DC}^n + \vec{a}_{DC}^t$$

$$\vec{a}_D = \vec{a}_x + \vec{a}_{Dx}$$

a_{DC}^n тезланишви қуйидагича топамиз:

$$a_{DC}^n = \frac{v_{DC}^2}{l_{DC}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

a_{DC}^n нинг масштаб ифодаси қуйидагича бўлади:

$$h_{dc} = \frac{a_{DC}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

Ихтиёрый λ кутб танлаб олиб, \vec{pa} ни O_1A га параллел қилиб, A дан O_1 га томон йўналтирамиз. \vec{pa} даги a дан n_{ca} ни CA га параллел қилиб, C дан A га томон йўналтирамиз. n_{dc} ни n_{ca} нинг учидан CD га параллел қилиб, D дан C га томон йўналтирамиз ва унинг учидан ўзига тик чиқариб, кутбдан xx га параллел ўтказамиз. Охириги тик ва параллел чизиқларнинг кесишув нуқтаси d бўлади. Шундай қилиб, $lacc'da$ тезланишлар плани чизилди (9.12-шакл, в).

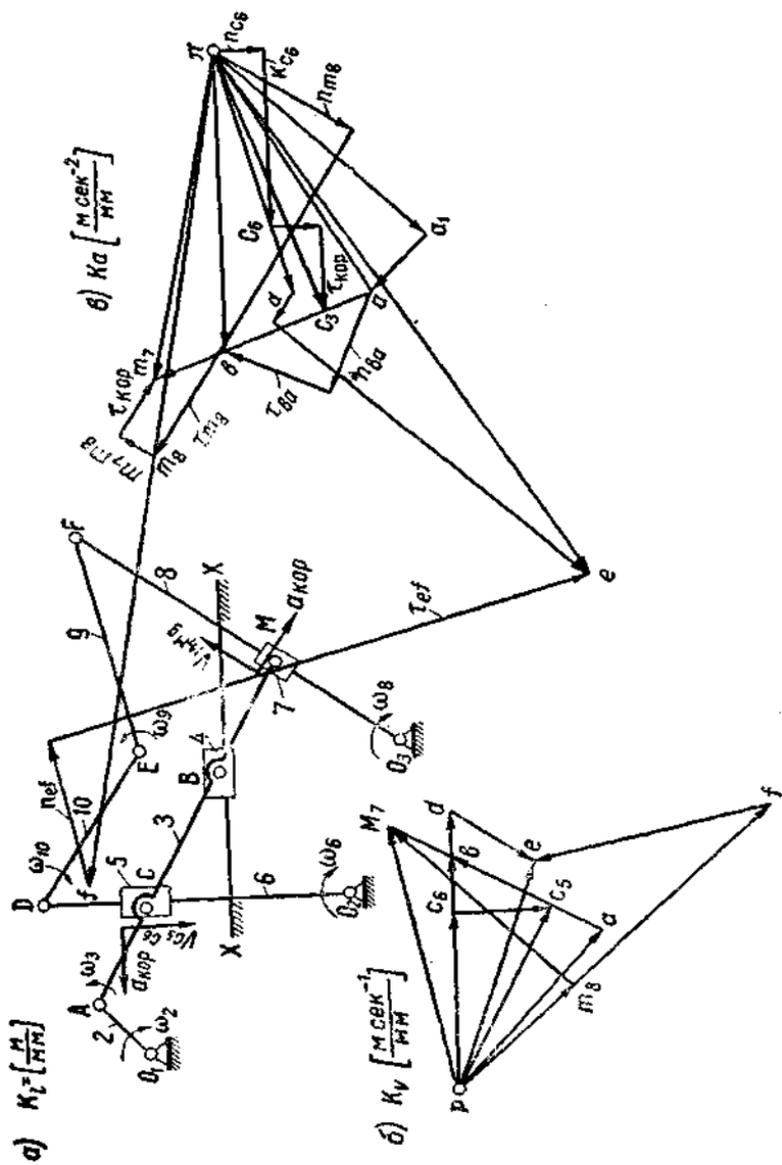
Тезликлар плани билан тезланишлар планидан қуйидагиларни оламиз:

1. $v_{CA} = K_v \cdot \vec{ca}$ [м сек⁻¹] — C нуқтанинг A га nisbatan тезлиги;
2. $v_C = K_v \cdot \vec{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
3. $v_{DC} = K_v \cdot \vec{dc}$ — D нуқтанинг C га nisbatan тезлиги;
4. $v_D = K_v \cdot \vec{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;
5. $\omega_3 = \frac{v_{DC}}{l_{DC}}$ [сек⁻¹] — δ звенонинг бурчак тезлиги;
6. $a_C = K_a \cdot \vec{pc}$ [мсек⁻²] — C нуқтанинг абсолют тезланиши;
7. $a_{DC}^t = K_a \cdot \tau_d$ — D нуқтанинг C атрофида айланишидан ҳосил бўлган уринма тезланиши;
8. $a_{DC} = K_a \cdot \vec{dc}$ — D нуқтанинг тўла nisбий тезланиши;
9. $a_D = K_a \cdot \vec{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезланиши;
10. $\epsilon_3 = \frac{a_{DC}^t}{l_{DC}}$ [сек⁻²] — δ звенонинг бурчак тезланиши.

ω_3 билан ϵ_3 бир йўналишда (соат стрелкаси юрадиган томонга тескари йўналишда) бўлганлиги учун ҳам CD шатун шу энда тезланиш ҳолатида бўлади.

Агар 4 ва 3 звенолар ўзгарувчан бурчак тезликлари билан айланса, A ва C нуқталарда тангенциал (уринма) тезланишлар бўлади. Уларнинг қийматлари қуйидагича топилади:

$$\epsilon_4 = \frac{a\omega_4}{dt}; \quad a_A^t = \epsilon_4 l_{C_1A} \text{ [м сек}^{-2}\text{]} \quad \tau_a = \frac{a_A^t}{K_a} \text{ [мм]}$$



9.13. шакл: а — АУ ш кулисали механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

a_{CA}^t тезланишни топамиз; бунинг учун 3 гилдиракнинг бурчак тезлани-
шни топиш керак:

$$i_{2-3} = \frac{\omega_2 - \omega_4}{\omega_3 - \omega_4};$$

$$\omega_3 = \omega_4 \left(1 - \frac{1}{i_{2-3}} \right)$$

Буни дифференциаллаб, қуйидагиларни чиқарамиз:

$$e_3 = \frac{d\omega_4}{dt} \left(1 - \frac{1}{i_{2-3}} \right)$$

$$a_{CA}^t = e^3 \cdot l_{CA} = \left[\frac{d\omega_4}{dt} \left(1 - \frac{1}{i_{2-3}} \right) \right] l_{CA} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$r_{CA} = \frac{a_{CA}^t}{K_a} \text{ [мм]}$$

29-масала. 9.13-шакл, *a* да кўрсатилган қўш қуясалли механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин ва тегишли звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишларининг қий-
мат ва йўналишлари аниқлансин. Бунда етакловчи O_1A звено кривошип бў-
либ, у ω_2 ўзгармас бурчак тезлиги билан соат стрелкаси айланган томонга
айланади.

Ечиш: A нуқтанинг тезлиги қуйидагича бўлади:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар планининг масштаби шу тезликни ихтиёрий ρa кесмага бўлиш
йўли билан топилиши бизга маълум:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho a} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

ρa кесманинг ихтиёрий жойдан танланган ρ қутб орқали ўтиши ва O_1A га
тик эканлиги ҳамда ω_2 айланган томонга қараб йўналганлиги 9.13-шакл, *b*
дан кўриниб турибди.

B нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни
тузамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_X + \vec{v}_{BX}$$

B нуқтанинг тезлик тенгламаларидан биринчисига биноан, \vec{v}_A нинг a учидан
 AB га тик, иккинчисига биноан эса ρ қутбдан xx йўналтирувчига параллел чи-
зиқлар ўтказиб, бу чизиқларнинг кесишув нуқтаси (b) ни топамиз. M_3 ва M_7
нуқталар AB нинг давомида бўлганлигини эътиборга олиб, уларнинг тезлик-
лар планидаги вазиятларини қуйидаги пропорциядан аниқлаймиз:

$$\frac{\overline{am_3}}{\overline{ab}} = \frac{AM_3}{AB}; \quad \overline{am_3} = \overline{am_7} = \overline{ab} \cdot \frac{AM_3}{AB} > ab$$

$\overline{am_7}$ ни \overline{ab} бўйлаб қўямиз-да m_7 ни топамиз; m_7 ни ρ қутб билан туташ-
тириб ρm_7 ни ҳосил қиламиз. Бу ρm_7 кесма K_v масштабда M_7 нуқтанинг

абсолют тезлигини ифодалайди. Энди, M_8 нуқтанинг тезлигини қуйдаги вектор тенгламаларни тузиш йўли билан топамиз:

$$\vec{v}_{M_8} = \vec{v}_{M_6} + \vec{v}_{m_3 M_6}$$

$$\vec{v}_{M_8} = \vec{v}_{O_3} + \vec{v}_{M_6 O_3}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, m_3 нуқтадан $O_3 M_6$ га параллел чизиқ, иккинчисига биноан эса p қўғдан $O_3 M_8$ га тик чизиқ ўтказамиз. Иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси m_8 бўлади. F нуқтанинг тезликлар планидаги вазияти қуйдаги пропорциядан топилади.

$$\frac{\overline{of}}{\overline{pm_8}} = \frac{O_3 F}{O_3 M_8} \quad \overline{pf} = \overline{pm_8} \cdot \frac{O_3 F}{O_3 M_8} > \overline{pm_8}$$

F нуқта (F кинематик жупт) $O_3 M_8$ нинг давомида ётганлигидан тезликлар планидаги f нуқта ҳам pm_8 нинг давомида ётади. Шунинг учун p ни p қўғдан m_8 нуқта орқали ўтувчи чизиқ қўйиб, f ни топамиз.

Шатундаги C_3 (C_5) нуқта тезликлар планидаги ab кесма орасида бўлишини эътиборга олиб, қуйдаги пропорцияни тузимиз:

$$\frac{\overline{ac_3}}{\overline{ab}} = \frac{AC_3}{AB}; \quad \overline{ac_3} = \overline{ac_5} = \overline{ab} \cdot \frac{AC_3}{AB} > \overline{ab}$$

Энди C_5 нуқтанинг абсолют тезлиги K_v масштабда pc_5 эканлигини кўриш қийин эмас (9.13-шакл, б). C_6 нуқта $O_2 D$ звенога (кулисага) тегишли эканлигини эътиборга олиб, қуйдаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_{C_6} + \vec{v}_{C_5 C_6}$$

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{C_6 O_2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, тезликлар планидаги c_6 нуқтани топиш учун тезликлар планида топилган c_5 нуқтадан $O_2 D$ га параллел чизиқ, иккинчисига биноан эса p қўғдан $O_2 D$ га тик чизиқ ўтказамиз. Бу иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси c_6 бўлади. Векторлар йўналиши (9.13-шакл, б) дегича бўлади.

D нуқта b звенога тегишли бўлиб, $O_2 C_6$ нинг давомида ётганлигидан бу нуқтанинг тезликлар планидаги вазияти ҳам pc_6 нинг давомида бўлади, уни қуйдаги пропорциядан топамиз:

$$\frac{\overline{pd}}{\overline{pc_6}} = \frac{C_2 D}{O_2 C_6}; \quad \overline{pd} = \overline{pc_6} \cdot \frac{C_2 D}{O_2 C_6} > \overline{pc_6}$$

Шундай қилиб, 9.13-шакл, б да кўрсатилган $pac_6 b m_3 f e d p$ тезликлар планидир. Бу тезликлар планидан қуйдагиларни топиш мумкин:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_A = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A нуқтага нисбатан тезлиги;
3. $v_{C_5} = v_{C_6} = K_v \cdot \overline{pc_5}$ — AB шатундаги C_3 нуқтанинг ёки C_5 нуқтанинг, абсолют тезлиги;
4. $v_{C_6} = K_v \cdot \overline{pc_6}$ — b звенога тегишли C_6 нуқтанинг абсолют тезлиги;
5. $v_{C_6 C_5} = K_v \cdot \overline{c_5 c_6}$ — 5 звенодаги (тошдаги) C_5 нуқтанинг 6 звенодаги C_6 нуқтага (кулисага) нисбатан тезлиги;
6. $v_{M_8} = K_v \cdot \overline{pm_8}$ — 7 звенонинг (ёки 3 звенога тегишли M_8 нуқтанинг) абсолют тезлиги;

7. $v_{M_8} = K_v \cdot \overline{pm_8}$ — 8 звенодаги (кулисадаги) M_8 нуқтанинг абсолют тезлиги;
8. $v_{M_7M_8} = K_v \cdot \overline{m_7m_8}$ — 7 звенонинг (тошнинг) кулисага nisbatan тезлиги;
9. $v_F = K_v \cdot \overline{pf}$ — 8 звенодаги F нуқтанинг абсолют тезлиги;
10. $v_E = K_v \cdot \overline{pe}$ — E нуқтанинг абсолют тезлиги;
11. $v_D = K_v \cdot \overline{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;
12. $v_{ED} = K_v \cdot \overline{ed}$ — E нуқтанинг D нуқтага nisbatan тезлиги;
13. $v_{EF} = K_v \cdot \overline{ef}$ — E нуқтанинг F нуқтага nisbatan тезлиги.

Механизмнинг шу вазиятидаги тегишли звеноларнинг бурчак тезликлари қуйидагича бўлади:

1. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] — AB шатуннинг бурчак тезлиги, у соат стрелкаси айланадиган томонга тескари айланади.
2. $\omega_6 = \frac{v_{C_6}}{l_{O_2C_6}}$ — 6 звенонинг бурчак тезлиги, у соат стрелкаси айланадиган томонга айланади;
3. $\omega_8 = \frac{v_{M_8}}{l_{O_2M_8}}$ — 8 звенонинг бурчак тезлиги;
4. $\omega_9 = \frac{v_{EF}}{l_{EF}}$ — 9 звенонинг бурчак тезлиги;
5. $\omega_{10} = \frac{v_{ED}}{l_{ED}}$ — 10 звенонинг бурчак тезлиги.

Энди 9.13-шакл, а да кўрсатилган механизмнинг шу ондаги вазияти учун тезланишлар планини тузимиз.

2 звенонинг бурчак тезлиги ω_2 ва бурчак тезланиши ε_2 маълум деб фараз қилиб, A нуқтанинг нормал ва тангенциал тезланишларини топишим:

$$\begin{aligned} a_A^n &= \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \{ \text{м сек}^{-2} \} \\ a_A^t &= \varepsilon_2 \cdot l_{O_1A} \{ \text{м сек}^{-2} \} \end{aligned}$$

Тезланишлар масштаби қуйидагича бўлади:

$$K_a = \left. \begin{aligned} &a_A^n \frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{па}} \\ &\text{па} \end{aligned} \right\}$$

Тангенциал тезланишнинг масштаб нфодаси қуйидагича топилади:

$$\overline{aa_1} = \tau_a = \frac{a_A^t}{K_a} \{ \text{мм} \}$$

па қизиқ O_1A га параллел ва A дан O_1 га томон йўналган, $\overline{aa_1}$ эса O_1A га тик ва ε_2 томон йўналган бўлади.

B нуқтанинг тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалар асосида топилади:

$$\begin{aligned} \overline{a_B} &= \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^t} \\ \overline{a_B} &= \overline{a_x} + \overline{a_{Bx}^t} \end{aligned}$$

В нуқтанинг тезланиш тенгламаларидаги \bar{a}_{BA}^n ни ва унинг масштаб инфодасини қуйидагича топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \{м сек^{-2}\}; \quad n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \{мм\}$$

\bar{a}_1 нинг a учидан n_{ba} ни AB га параллел қилиб, B дан A га йўналтирамиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. Тенгламаларнинг иккинчисига кўра, кутбдан йўналтирувчи xx га параллел ўтказамиз. Шундай қилиб, ўтказилган тик ва параллел чизиқлар b нуқтада кесишади. a билан b ни туташтириб, ab ни ҳосил қиламиз. Қуйидаги пропорциядан фойдаланиб, am_1 ни топамиз:

$$\frac{\bar{a}m_1}{ab} = \frac{AM_1}{AB}; \quad \bar{a}m_1 = ab \cdot \frac{AM_1}{AB} > ab$$

$\bar{a}m_1$ ни ab бўйлаб қўйиб, m_1 нуқтани оламиз ва уни кутб билан туташтириб, lm_1 ни ҳосил қиламиз.

Қуйидаги пропорциядан фойдаланиб, $\bar{a}c_3 = \bar{a}c_3$ кесмани топамиз:

$$\frac{\bar{a}c_3}{ab} = \frac{AC_3}{AB}; \quad \bar{a}c_3 = ab \cdot \frac{AC_3}{AB} < ab$$

Топилган $a c_3$ кесма ab нинг бир қисmidир, уни ab га a дан бошлаб қўйиб, c_3 нуқтани топамиз. c_3 ни кутб билан туташтирамиз; $pc_3 = pc_3$ эканлиги шаклдан кўриниб турибди.

Энди, тошларнинг тезланишлари мураккаб эканлигини эътиборга олиб, уларнинг кориолис тезланишларини топамиз:

$$a_{кор}^m = 2v_{M_7, M_8} \cdot \omega_8 \{м сек^{-2}\}$$

$$a_{кор}^c = 2v_{C_5, C_6} \cdot \omega_8 \{м сек^{-2}\}$$

Уларнинг масштаб инфодалари қуйидагича топилади:

$$\tau_{кор}^m = \frac{a_{кор}^m}{K_a} \{мм\}$$

$$\tau_{кор}^c = \frac{a_{кор}^c}{K_a} \{мм\}$$

Кориолис тезланишлари орқали бу тезланишларнинг скаляр қийматлари топилиб, уларнинг йўналиши Н. Е. Жуковский қондаси асосида аниқланади.

Н. Е. Жуковский қондаси мана бундай таърифланади: *кориолис тезланишининг йўналишини топши учун тошнинг нисбий тезлигини ўз йўналишида қўйиб, ни ҳосил бўлган векторнинг боши атрофида кулмса бурчак тезлиги айналган томонга 90° бурамиз.*

9.13-шакл, a да C_5 ва M_7 нуқталардаги кориолис тезланишларининг йўналишлари худди шу қонда асосида топилган.

7-мано тошнинг мураккаб ҳаракат вектор тенгамаси қуйидагича ёзилади:

$$\bar{a}_{M_7} + \bar{a}_{M_8} + \bar{a}_{M_7, M_8} + \bar{a}_{кор}^M = \bar{a}_{M_8}^a + \bar{a}_{M_7}^t + \bar{a}_{M_7, M_8} + \bar{a}_{кор}^M$$

M_7 нуқта тезланишлари вектор тенгламасидаги \vec{a}_{M_7} , $\vec{a}_{кор}^M$ ларнинг скаляр қийматлари бизга маълум; $a_{M_7}^n$ ни қуйидаги формуладан топамиз:

$$a_{M_7}^n = \frac{v_{M_7}^2}{l_{O_2 M_7}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Унинг масштаб ифодаси $n_{m_7} = \frac{a_{M_7}^n}{K_a}$ [мм] бўлади.

Юқоридаги вектор тенгламаларни ечиш учун қуйидагича мулоҳаза юри-тамиз:

Тенгламанинг чап томонидаги a_{M_7} вектор тенгламанинг ўнг томонидаги тўртта векторнинг геометрик йиғиндисидан иборат, шунинг учун a_{M_7} вектор шу тўртта векторнинг ёпувчиси бўлиши керак. Тенгламадаги $\vec{a}_{M_7}^n$, $\vec{a}_{кор}^M$ лар-нинг вектор ва скаляр қийматлари, қолган иккитасидан \vec{a}'_{M_7} нинг $\vec{a}_{M_7}^n$ га a_{M_7} нинг эса $a_{кор}$ га тик эканлиги бизга маълум.

Шу мулоҳазалар асосида, $\vec{\tau}_{кор}^m$ векторни ўзига параллел вазиятда, уч πm_7 векторнинг учига (m_7 га) келиб тушадиган қилиб қўямиз ва унинг бо-шидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. Кутбдан πm_7 ни $O_3 F$ га параллел қилиб қўйиб, унинг учидан тик ўтказамиз. Йўқала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси m_8 бўлиши 9.13-шакл, 6 дан кўриниб турибди. Шундай қилиб шаклдан қуйи-даги тенгламалар тузилса бўлади:

$$\vec{\tau}_{m_7} = \vec{\tau}_{кор}^m + \overline{m_7 m_8} + \vec{\tau}_{m_8} + \vec{n}_{m_8}$$

$$\overline{\pi m_7} = \overline{\pi m_8} + \vec{\tau}_{m_8}$$

F нуқтанинг тезланишини топish учун унинг тезланишлар планидаги ўр-нини қуйидаги пропорция билан топамиз:

$$\frac{\overline{\pi f}}{\overline{\pi m_8}} = \frac{O_3 F}{O_3 M_8}; \quad \overline{\pi f} = \overline{\pi m_8} \cdot \frac{O_3 F}{O_3 M_8} > \overline{\pi m_8}$$

f нуқта $\overline{\pi m_8}$ нинг давомида эканлиги бизга маълум.

Энди, 5 звенога тегишли C_5 нуқтанинг тезланиши мураккаб эканлигини шътиборга олиб, бу тезланиш учун қуйидаги вектор тенгламани тузамиз:

$$\vec{a}_{C_5} = \vec{a}_{C_5}^n + \vec{a}'_{C_5} + \vec{a}_{C_5 C_6} + \vec{a}_{кор}^C$$

Кулисага тегишли C_6 нуқтанинг нормал тезланишини қуйидаги формула-дан топish мумкин:

$$a_{C_6}^n = \frac{v_{C_6}^2}{l_{O_3 C_6}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{C_6} = \frac{a_{C_6}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$a_{C_6}^f$ тангенсгал тезланишнинг $a_{C_6}^n$ га тик эканлиги бизга маълум.

Кулисадаги нуқта корнолис тезланишининг скаляр қиймати билан унинг масштаб ифодасини тенгламалардан аниқлаб, тезланиш тенгламасининг йўқала томонини тезланишлар масштабига бўлсак, қуйидаги вектор тенглама келиб чиқади:

$$\overline{\pi C_6} = \overline{\pi C_5} + \vec{\tau}_{C_6} + \overline{C_5 C_6} + \vec{\tau}_{кор}^c$$

$\tau_{\text{кор}}^c$ кесма билан c_3c_6 кесма бир-бирига тикдир. $\pi c_3 = \pi C_3$ вектор кесмалар эса юқоридаги тенгламанинг ўнг томонидаги тўртта векторнинг ёлувчиси эканлиги векторлар назариясидан маълум. Шунинг учун $\overline{\tau_{\text{кор}}^c}$ ни $\overline{\pi c_3}$ га учма-уч қўйиб, $\tau_{\text{кор}}^c$ нинг бошидан тик чиқарамиз. $\overline{\pi c_3}$ ни қутбдан қўйиб, унинг учидан тик ўтказамиз, ўтказилган икки тик чизиқнинг кесишув нуқтаси c_6 бўлади. Шундай қилиб, вектор кесма кулисага тегишли C_6 нуқтанинг абсолют тезланишидир.

D нуқта абсолют тезланишининг масштаб инфодасини қўйидаги пропорциядан топиш мумкин:

$$\frac{\overline{\pi d}}{\overline{\tau c_6}} = \frac{O_2 D}{O_2 C_6}; \quad \overline{\pi d} = \overline{\pi c_6} \cdot \frac{O_2 D}{O_2 C_6} > \overline{\pi c_6}$$

d нуқта $\overline{\pi c_6}$ нинг давомида, қутбдан $\overline{\pi d}$ узорқлида эканлиги шаклдан кўриниб турибди.

Энди, механизмдаги E нуқтанинг тезланишларини топамиз. Буниг учун қўйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{a_E} = \overline{a_F} + \overline{a_{EF}^n} + \overline{a_{EF}^t}$$

$$\overline{a_E} = \overline{a_D} + \overline{a_{ED}^n} + \overline{a_{ED}^t}$$

Бу тенгламадаги a_{EF}^n билан a_{ED}^n ни ва уларнинг масштаб инфодаларини қўйидагича топиш мумкин:

$$a_{EF}^n = \frac{v_{EF}^2}{l_{EF}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{ef} = \frac{a_{EF}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$$a_{ED}^n = \frac{v_{ED}^2}{l_{ED}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{ed} = \frac{a_{ED}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

n_{ef} ни f дан EF га параллел қилиб, E дан F га томон йўналтирамиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. n_{ed} ни эса d дан ED га параллел қилиб, E дан D га томон йўналтирамиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. Никлла нормал вектор кесмага ўтказилган тик чизиқнинг кесишув нуқтаси e бўлади.

Шундай қилиб, 9.13-шакл, e да кўрсатилаган тезланишлар плани келиб чиқди, ушдан қўйидаги чизиқли ва бурчак тезланишларини топиш мумкин:

1. $a_{BA}^t = K_a \cdot \overline{\tau_{ba}}$ [м сек⁻²] — B нуқтанинг A га нисбатан айланишидаги тангенциал тезланиши;

2. $a_B = K_a \cdot \overline{\pi b}$ — B нуқтанинг абсолют тезланиши;

3. $a_{M_1} = K_a \cdot \overline{\pi m_1}$ — M_1 нуқтанинг абсолют тезланиши;

4. $a_{M_2} = K_a \cdot \overline{\pi m_2}$ — M_2 нуқтанинг абсолют тезланиши;

5. $a_F = K_a \cdot \overline{\pi f}$ — F нуқтанинг абсолют тезланиши;

6. $a_D = K_a \cdot \overline{\pi d}$ — D нуқтанинг абсолют тезланиши;

7. $a_E = K_a \cdot \overline{\pi e}$ — E нуқтанинг абсолют тезланиши;

8. $a_{FD} = K_a \cdot \overline{ed}$ — E нуқтанинг D нуқтага нисбатан тезланиши;

9. $a_{FE} = K_a \cdot \overline{ef}$ — E нуқтанинг F нуқтага нисбатан тезланиши;

10. $a_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A нуқтага нисбатан тўла тезланиши;

11. $a_{M_3}^t = K_a \cdot \tau_{m_3}$ — M_3 нуқтанинг (кулисадаги нуқтанинг) урнма тезланиши;

12. $a'_{C_5} = K_A \cdot \tau_{CB} - C_5$ нуқтанинг (кулисадаги нуқтанинг) уринма тезланиши;

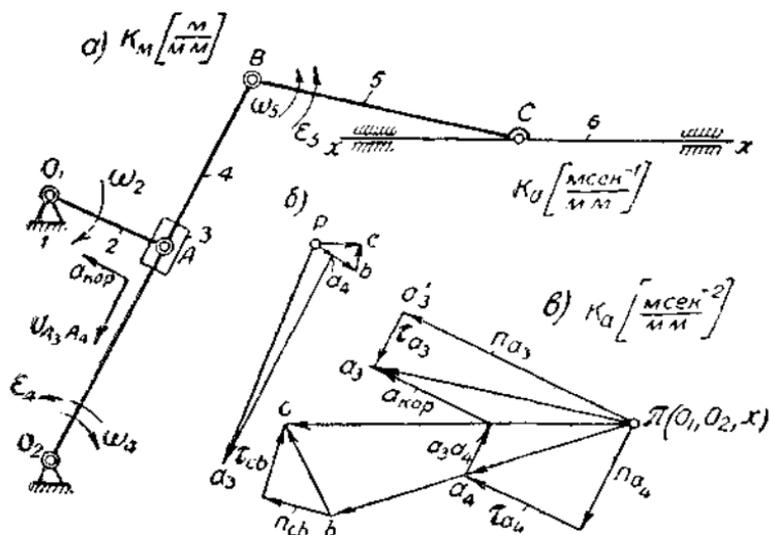
$$13. \epsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} [\text{сек}^{-2}] \quad | \text{— штуннинг бурчак тезланиши};$$

$$14. \epsilon_8 = \frac{a'_{C_6}}{l_{O_2 C_6}} - 6 \text{ звенонинг (кулисанинг) бурчак тезланиши};$$

$$15. \epsilon_8 = \frac{a'_{M_1}}{l_{O_2 M_1}} - 8 \text{ звенонинг (кулисанинг) бурчак тезланиши};$$

$$16. \epsilon_9 = \frac{a_{EF}}{l_{EF}} - 9 \text{ звенонинг бурчак тезланиши};$$

$$17. \epsilon_{10} = \frac{a_{ED}}{l_{ED}} - 10 \text{ звенонинг бурчак тезланиши};$$



9.14-шакл. а — кулисади механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

39-масала. 9.14-шакл, а да кўрсатилган механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин. Механизм $K_M \left[\frac{M}{MM} \right]$ масштабда чизилган, ундаги кривошип ω_2 [сек⁻¹] бурчак тезлиги ва ϵ_2 [сек⁻²] бурчак тезланиши билан соат стрелкаси юрадиган томонга айланади.

Ечиш: А нуқта учта звенога: A_2 кривошипка, A_3 тошга ва кулисага тегишлидир. A_2 ҳамда A_3 бир-бири билан доимо бирга бўлиб, A_4 нинг вазияти ўзгариб туради, A_3 , A_2 нуқталарнинг чизикли тезликлари бир-бирига тенгдир, улар қуйидаги тенгламадан топилади:

$$v_{A_2} = v_{A_3} = \omega_2 \cdot l_{O_1 A_2} \quad [m \text{ сек}^{-1}]$$

Тезликлар масштабини қуйдагича аниқлаймиз:

$$K_v = \frac{v_{A_3}}{\rho a_3} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Тошнинг ҳаракатини мураккаб ҳаракат деб қараб, қуйдаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{A_3} &= \vec{v}_{A_4} + \vec{v}_{A_3A_4} \\ \vec{v}_{A_4} &= \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{A_4O_2} \end{aligned}$$

Бу тенгламалардаги $v_{O_2} = 0$; $v_{A_3} \perp O_1A_3$; $v_{A_3A_4} \parallel O_2B$; $v_{A_4} \perp O_2B$; $\rho a_3 a_4$ тезликлар планини тузиб (9.14-шакл, б), B нуқтанинг тезликлар планидаги ўрин (b) ни қуйдаги пропорциядан топамиз:

$$\frac{\overline{pb}}{\rho a^4} = \frac{O_2B}{O_2A_4}; \quad \overline{pb} = \overline{\rho a_4} \cdot \frac{O_2B}{O_2A_4} > \overline{\rho a_4}$$

b нуқта $\overline{\rho a_4}$ нинг давомида бўлади. C нуқтанинг тезликларини топish учун қуйдаги тенгламаларни тузимиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_C &= \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} \\ \vec{v}_C &= \vec{v}_x + \vec{v}_{Cx} \end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг ечилиши 9.14-шакл, б да кўрсатилган. $\rho a_3 a_4 v_C$ тезликлар планидан қуйдагиларни топамиз:

1. $v_{A_4} = K_v \cdot \overline{\rho a_4}$ [м сек⁻¹] — A_4 нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{A_3A_4} = K_v \cdot \overline{\rho a_3 a_4}$ — A_3 нуқтанинг (тошнинг) кулисага A_4 га нисбатан тезлиги;
3. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
4. $v_C = v_{Cx} = K_v \cdot \overline{\rho c}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
5. $v_{CB} = K_v \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B нуқтага нисбатан тезлиги;
6. $\omega_4 = \frac{v_{A_3}}{l_{O_1A_3}}$ [сек⁻¹] — кулисанинг бурчак тезлиги;
7. $\omega_6 = \frac{v_{CB}}{l_{CB}}$ [сек⁻¹] — шатуннинг бурчак тезлиги.

Тезлинишлар планини тузишни A_3 нуқтанинг нормал ва уринма тезлинишлари топishдан бошлаймиз. Улар қуйдаги формулалар орқали топилади:

$$a_{A_3}^n = \frac{v_{A_3}^2}{l_{O_1A_3}}$$

$$a_{A_3}^t = \varepsilon_2 \cdot l_{O_1A_3}$$

Тезлинишлар масштабини қуйдагича топамиз:

$$K_a = \frac{a_{A_3}^n}{\pi a_3^2}; \quad \overline{a_3 a_3'} = \tau_a = \frac{a_{A_3}^t}{K_a} \text{ [мм]}$$

Қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned}\bar{a}_{A_4} &= \bar{a}_{A_4} + \bar{a}_{A_3A_4} + \bar{a}_{\text{кор}} \\ \bar{a}_{A_4} &= \bar{a}_{O_2} + \bar{a}_{A_4O_2}^n + \bar{a}_{A_4O_2}^t\end{aligned}$$

Юқоридаги тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини $K_a \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}^2} \right]$ масштабга бўлиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned}\bar{\pi a}_3 &= \bar{\pi a}_4 + \bar{a}_3 a_4 + \bar{\tau}_{\text{кор}} \\ \bar{\pi a}_4 &= \bar{n}_{a_4} + \bar{\tau}_{a_4}\end{aligned}$$

Кориолис тезланишини қуйидагича топамиз:

$$\begin{aligned}a_{\text{кор}} &= 2\omega_4 \cdot v_{A_3A_4} = 2 \cdot \frac{v_{A_4}}{l_{O_2A_4}} \cdot v_{A_3A_4} \\ \tau_{\text{кор}} &= \frac{a_{\text{кор}}}{K_a} \text{ [мм]}\end{aligned}$$

A_3 нуқтанинг нормал тезланишини ва унинг вектор кесма ифодасини қуйидагича топамиз:

$$a_{A_3}^n = \frac{v_{A_4}^2}{l_{O_2A_4}} \quad n_{a_4} = \frac{a_{A_4}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$\tau_{a_4} \perp n_{a_4}$; $a_3 a_4 \parallel O_2B$; $\tau_{\text{кор}} \perp O_2B$ эканлигини эътиборга олиб, тезланишлар планини тузамиз (9.14-шакл, в).

Юқоридаги тенгламаларнинг график ифодаси 9.14-шакл, в да кўрсатилган.

B нуқтанинг тезланишлар планидаги ўрнини қуйидаги пропорциядан топамиз:

$$\frac{\bar{\pi b}}{\bar{\pi a}_4} = \frac{O_2B}{O_2O_4}; \quad \bar{\pi b} = \bar{\pi a}_4 \cdot \frac{O_2B}{O_2O_4} > \bar{\pi a}_4$$

b нуқта πa_4 векторининг давомида $\bar{\pi b}$ масофада эканлиги шаклдан кўриниб турибди.

C нуқтанинг тезланишларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\begin{aligned}\bar{a}_C &= \bar{a}_B + \bar{a}_{CB}^n + \bar{a}_{CB}^t \\ \bar{a}_C &= \bar{a}_x + \bar{a}_{Cx}\end{aligned}$$

Юқоридаги тенгламаларнинг иккала томонини $K_a \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}^2} \right]$ тезла- нишлар масштабига бўлиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned}\bar{\pi c} &= \bar{\pi b} + \bar{n}_{cb} + \bar{\tau}_{cb} \\ \bar{\pi c} &= \pi_{cx}\end{aligned}$$

С нуктанинг нормал тезланишини ва унинг масштаб вектор кесма инфодасини қуйидаги формулалардан топамиз:

$$a_{CB}^n = \frac{v_{CB}^2}{r_{CB}}$$

$$n_{cb} = \frac{a_{CB}^n}{K_b} \left[\frac{м.м}{м.м} \right]$$

$n_{cb} \parallel CB$; $\tau_{cb} \perp n_{cb}$; $\pi_c \parallel xx$ эканлигини эътиборга олиб, тезланишлар планини тузамиз (9.14-шакл, в) ва ундан қуйидагиларни топамиз:

1. $\bar{a}_{A_3} = K_a \cdot \bar{\pi}_c a_3$ [м сек⁻²] — A_3 нуктанинг тўла тезланиши;
2. $\bar{a}_{A_3 A_4} = K_a \cdot a_3 a_4$ — A_3 нуктанинг A_4 га nisbatan тезланиши;
3. $a_{A_4}^t = K_a \cdot \tau_{a_4}$ — A_3 нуктанинг уринма тезланиши;
4. $a_B = K_a \cdot \bar{\pi}_b$ — B нуктанинг абсолют тезланиши;
5. $a_{CB}^t = K_a \cdot \tau_{cb}$ — C нуктанинг B га nisbatan айланishiдаги уринма тезланиши;
6. $a_c = a_{cx} = K_a \cdot \bar{\pi}_c$ — C нуктанинг абсолют тезланиши;
7. $\epsilon_4 = \frac{a_{A_4}^t}{r_{O_2 A_4}}$ [сек⁻²] — кулисанing бурчак тезланиши;
8. $\epsilon_3 = \frac{a_{CB}^t}{r_{CB}}$ — шатуннинг бурчак тезланиши.

Бурчак тезлиги ва тезланишларининг йўналишига қараб, кулисанing шу онда секинланиш, BC шатуннинг эса тезланиш ҳолатида эканлигини билломиз.

31-масала. 9.15-шакл, а да тасвирланган механизмнинг шу овдаги назикти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин, кривошипнинг бурчак тезлиги ω_2 , тезланиши эса ϵ_2 бўлиб, улар бир-бирига тескари йўнoлган, яъни кривошип секинланиш ҳолатидадир. Механизм $K_m \left[\frac{м}{м.м} \right]$ масштабда чизилган.

Ечиш: A_3 нуктанинг тезлигини топамиз:

$$v_{A_3} = \omega_2 \cdot r_{O_2 A_3} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар масштабни аниқлаймиз:

$$K_v = \frac{v_{A_3}}{r_{A_3}} \left[\frac{м сек^{-1}}{м.м} \right]$$

Тини ва кулиса учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\bar{v}_{A_4} = \bar{v}_{A_4} + \bar{v}_{A_4 A_4}$$

$$\bar{v}_{A_4} = \bar{v}_X + \bar{v}_{A_4 X}$$

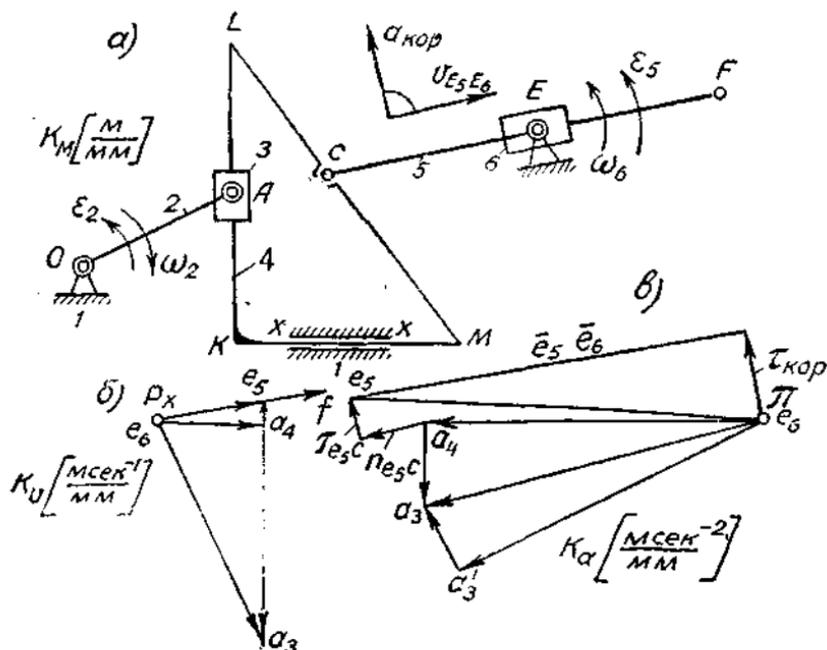
ρ қўзғалди r_{A_4} O_4 қилиб қўямиз, унинг учидан, яъни a_3 нуктадан KL га шўриллал, қўзғалиш эса xx га параллел чизиқлар ўтказиб a_4 нуктани ҳосил қилимиз. C , A_1 , L нукталар ҳам A_4 нукта тезлиги билан ҳаракат қилади. Шўрининг учун улар тезликлар планидаги a_4 нуктада ётади.

E нукта икки звенога — E_5 нукта 6 звенога (тошга), E_5 эса 5 звенога (кулисага) тегишлидир. $\vec{v}_{A_4} = \vec{v}_C = \vec{v}_L = \vec{v}_M$ эканлигини эътиборга олиб, E_5 ва E_6 нукталар учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\vec{v}_{E_5} = \vec{v}_{E_6} + \vec{v}_{E_5 E_6}$$

$$\vec{v}_{E_5} = \vec{v}_C + \vec{v}_{E_5 C}$$

Юқоридagi тенгламаларнинг биринчисига биноан тезликлар планидаги a_4 нуктадан (ёки c нуктадан) $E_5 C$ га тик, иккинчисига биноан эса қутбдан (p ёки e_6 нуктадан) $E_5 C$ га параллел чизиқлар ўтказиб, бу чизиқларнинг кешивуш нуктаси (e_5) ни топамиз (9.15- шакл, б).



9.15- шакл: а — кулисали механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Шундай қилиб, $pa_3 a_4 e_5 p$ (ёки $e_6 a_3 a_4 e_5 e_6$) тезликлар планини ҳосил қилдик. Тезликлар планидан фойдаланиб, қуйидагиларни топамиз:

- $v_{A_4} = K_v \cdot \overline{pa_4}$ [м сек⁻¹] — 4 звенонинг абсолют тезлиги;
- $v_{A_4 A_4} = K_v \cdot \overline{a_3 a_4}$ — 3 звенодаги A_3 нуктанинг 4 звенодаги A_4 нуктага нисбатан тезлиги;
- $v_{C_5} = K_v \cdot \overline{pc_5}$ — 5 звенонинг абсолют тезлиги;
- $v_{E_6} = 0$ — 6 звенонинг абсолют тезлиги;

5. $v_{E_5 E_4} = K_v \cdot \overline{e_5 e_6} - 5$ звенодаги E_6 нуқтанинг 6 звенодаги E_5 нуқтага нисбатан тезлиги;

6. $\omega_5 = \frac{v_{E_5 C}}{l_{5C}} \text{ [сек}^{-1}\text{]} - 5$ звенонинг бурчак тезлиги;

7. $\omega_5 = \omega_6 -$ тош (5 звено) билан кулсанинг (6 звенонинг) бурчак тезликлари; улар бир-бирига тенгдир.

Тезланишлар планини тузишга киришамиз. Буянинг учун A_3 нуқтанинг нормал чи урнима тезланишларини топамиз:

$$a_{A_3}^n = \frac{v_{A_3}^2}{l_{OA_3}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$a_{A_3}^l = e_2 \cdot l_{OA_3} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар планининг масштабини ва урнима тезланишнинг масштабифодасини қуйидагича топамиз:

$$K_a = \frac{a_{A_3}^n}{\pi a_3} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]$$

$$a_3 a_3^l = \tau_{a_3} = \frac{a_{A_3}^l}{K_a} \text{ [мм]}$$

Тезланишлар кутби(л) ни танлаб, $\overline{\pi a_3}$ ни OA_3 га параллел қилиб, унга эса τ_{a_3} ни тек ўтказамиз ва $\pi a_3 a_3^l$ ни ҳосил қиламиз (9.15-шакл, в).

Тош билан кулса тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалар билан боғланади:

$$a_{A_4} = \overline{a_{A_4}} + \overline{a_{A_2 A_4}} + \overline{a_{\text{кор}}}$$

$$\overline{a_{A_4}} = \overline{a_x} + \overline{a_{A_4 x}}$$

Юқоридаги тенгламаларнинг иккала томонини K_a га бўлиб, вектор тенгламаларнинг қуйидаги масштаб ифодасини ҳосил қиламиз:

$$\overline{\pi a_3} = \overline{\pi a_4} + \overline{a_3 a_4}$$

$$\overline{\pi a_4} = \overline{\pi a_4}$$

4 звено фақат алгарилэма (тўғри чизиқли) ҳаракат қилгани учун унинг бурчак тезлиги (ω_4) нолг тенг. Шу сабабли, корнолис тезланиши ҳам ноль бўлади ($a_{\text{кор}} = 0$).

Тезланиш вектор тенгламаларининг биринчисига кўра, a_3 нуқтадан KL га параллел, кутбдан эса xx га параллел чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтиси (a_4) ни топамиз: a_4 нуқтага m , k , l ва c нуқталар ҳам ётади, демак, бу нуқталарнинг тезланишлари бир-бирига тенгдир:

$$\overline{a_{A_4}} = \overline{a_K} = \overline{a_C} = \overline{a_L}$$

L_5 нуқта билан E_6 нуқта қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғланади:

$$\overline{a_{E_6}} = \overline{a_C} + \overline{a_{E_5 C}^n} + \overline{a_{E_5 C}^l} \quad \overline{a_{E_5}} = \overline{a_{E_6}} + \overline{a_{E_6 E_5}} + \overline{a_{\text{кор}}}$$

E_5 нуқтанинг C атрофида айланишдаги нормал тезланиши қуйидагича топилади:

$$a_{E_5C}^n = \frac{v_{E_5C}^2}{l_{E_5C}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{e_5c} = \frac{a_{E_5C}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

Кориолис тезланишининг масштаб ифодасини ва ўзини топамиз:

$$a_{\text{кор}} = 2\omega_6 \cdot v_{E_5E_6} = 2 \frac{v_{E_5C}}{l_{E_5C}} \cdot v_{E_5E_6} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$\tau_{\text{кор}} = \frac{a_{\text{кор}}}{K_a} \text{ [мм]}$$

Тезланишлар планини тузиш учун a_{E_5} тезланиш тенгламасининг иккала томонини K_a га бўлиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\overline{a_5} = \overline{a_4} + \overline{n_{e_5c}} + \overline{\tau_{e_5c}}$$

$$\overline{a_5} = \overline{e_5e_6} + \overline{\tau_{\text{кор}}}$$

$n_{e_5c} \parallel E_5C$; $\tau_{e_5c} \perp \overline{n_{e_5c}}$; $\tau_{\text{кор}} \perp E_5E_6$ ва $e_5e_6 \parallel EC$ эканлигини эътиборга олиб, a_4 дан бошлаб, n_{e_5c} ни қўямиз, унинг учидан шу кесмага тик чизиқ ўтказамиз; кутбдан эса $\tau_{\text{кор}}$ ни қўйиб, унинг учидан E_5C га параллел чизиқ ўтказамиз. Ўтказилган тик ва параллел чизиқларнинг кесилиш нуқтаси e_5 бўлади.

Шу тарзда тузилган тезланишлар планидан (9.15-шакл, в) қуйидагиларни топамиз:

1. $a_{A_4} = K_a \cdot \overline{a_4}$ [м сек⁻²] — A_4 нуқтанинг абсолют тезланиши;
2. $a_{A_3A_4} = K_a \cdot \overline{a_3a_4}$ — тошнинг нисбий тезланиши;
3. $a_{E_5C}^t = K_a \cdot \overline{\tau_{e_5c}}$ — тошдаги E_5 нуқтанинг атрофида айланишдаги уринма тезланиши;
4. $a_{E_5E_6} = K_a \cdot \overline{e_5e_6}$ — тошнинг кулисага нисбатан тезланиши;
5. $a_{E_5} = K_a \cdot \overline{a_5}$ — тошнинг абсолют тезланиши;
6. $e_5 = \frac{a_{E_5C}^t}{l_{E_5C}}$ [сек⁻²] — тошнинг бурчак тезланиши;
7. $e_6 = e_5$ — тош билан кулисанинг бурчак тезланиши; улар бир-бирига тенгдир.

32-масала. 9.16-шакл, а да кўрсатилган механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилин; механизм K_m масштабда чизилган; механизм етакловчи звеноси ω_2 бурчак тезлиги ва e_2 бурчак тезланиши билан ҳаракатланади. Етакловчи звено секинланиш ҳолатидадир.

Ечиш: аввал A нуқтанинг ҳаракатдаги тезлигини топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_2A} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар масштаби:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_A} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

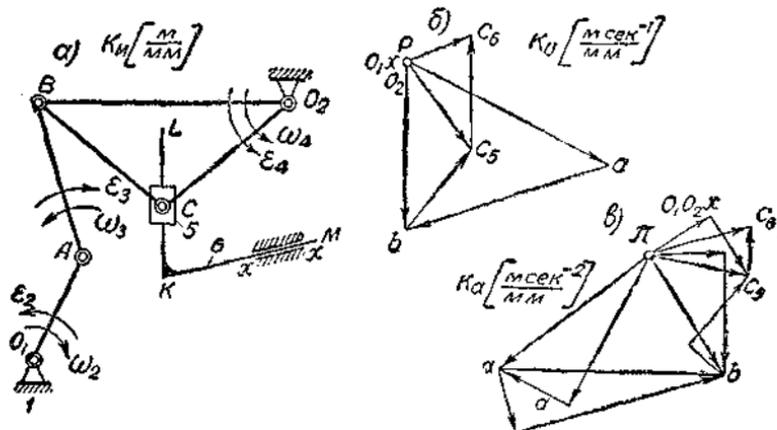
бўлади.

Механизмнинг тузилишига кўра, навбатдаги тезлик V нуқтанинг тезлиги бўлади; бу тезлиكنи топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$

Ихтиёрый нуқтани қутб деб олиб, бу нуқтадан pa вектор кесмани OA га тик қилиб қўямиз, сўнгра v_B тезлик тенгламасига кўра, pa нинг учидан AB га тик, қутбдан эса O_2B га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси



9.16- шакл. а — кулисаги механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

(б) ни топамиз. 4 зveno базисли звенодир. C нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламалардан фойдаланамиз:

$$\vec{v}_{C_4} = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$$

$$\vec{v}_{C_4} = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{C_4O_2}$$

C_4 нуқта тезликларини топиш учун, тенгламаларнинг биринчисига биноян, b нуқтадан BC га тик, иккинчисига биноян эса қутбдан CO_2 тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси (c_4) ни топамиз (9.16- шакл, б).

Шундай қилиб, C нуқтада учта нуқта ётади, булардан бири— C_4 нуқта базисли 4 звенoga, иккинчиси— C_5 нуқта b звенoga (тошга), учинчиси C_6 эса b зичкога (кулисага) тегишлидир.

Тезликлар планидаги C_6 нуқтани топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_{C_5} + \vec{v}_{C_5C_6}$$

$$\vec{v}_{C_6} = \vec{v}_x + \vec{v}_{C_6x}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноян, c_6 нуқтадан KE га параллел, иккинчисига биноян эса қутбдан xx га параллел чизиқлар ўтказамиз. Бу ик-

кала чизиқнинг кесишув нуқтаси c_6 бўлади. Шундай қилиб, rab_5c_6p тезликлар плани ҳо:ял қилинди. Ундан қуйидаги тезликларни топамиз:

1. $\bar{v}_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [м сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A нуқтага нисбатан тезлиги;
3. $v_{C_5B} = K_v \cdot \overline{c_5b} - C_5$ ёки C_4 нуқтанинг B нуқтага нисбатан тезлиги;
4. $v_{C_5} = v_{C_4} = K_v \cdot \overline{pc_{4(5)}} - C_5$ ёки C_4 нуқтанинг абсолют тезлиги;
5. $v_{C_5C_6} = K_v \cdot \overline{c_5c_6} - C_5$ нуқтанинг (тошнинг) кулисадаги C_6 нуқтага нисбатан тезлиги;
6. $v_{C_6} = K_v \cdot \overline{pc_6}$ ↑ — кулисадаги C_6 нуқтанинг абсолют тезлиги;
7. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] ↑ — 3 звенонинг бурчак тезлиги;
8. $\omega_4 = \frac{v_B}{l_{BO_4}}$ ↓ — 4 звенонинг бурчак тезлиги.

Тезликлар планидан топилган тезликлардан фойдаланиб, тезланишлар планини тузишга киришамиз. Бунинг учун, тезликлар плани тузишни қай тартибда бошлаган бўлсак, тезланишлар плани тузишни ҳам худди шу тартибда бошлаймиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_2A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad a_A^t = \varepsilon_2 \cdot l_{O_1A} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар масштабни топамиз:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]; \quad \tau_a = \frac{a_A^t}{K_a} \text{ [мм]}.$$

B нуқтанинг тезланишларини топишда қуйидаги вектор тенгламалардан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned} \bar{a}_B &= \bar{a}_A^n + \bar{a}_A^t + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^t \\ \bar{a}_B &= \bar{a}_{O_2} + \bar{a}_{BO_2}^n + \bar{a}_{BO_2}^t \end{aligned}$$

Қуйидагиларни топамиз:

$$\begin{aligned} a_{BA}^n &= \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; & n_{ba} &= \frac{a_{BA}^n}{K_a} \text{ [мм]} \\ a_{BO_2}^n &= \frac{v_{BO_2}^2}{l_{BO_2}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; & n_{bO_2} &= \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \text{ [мм]} \end{aligned}$$

$\overline{\pi a_1} \parallel O_1A$, $\tau_a \perp O_1A$, $n_{ba} \parallel AB$, $n_{bO_2} \parallel O_2B$, $\tau_{bO_2} \perp O_2B$ эканлигини эътиборга олиб, ихтиёрый π кутбдан $\overline{\pi a}$ ни қўямиз ва унга тик ўтказиб, $\overline{\pi a^t}$ ни ҳосил қиламиз. a нуқтадан n_{ba} ни ўтказамиз ва унга тик чизамиз; кутбдан эса n_{bO_2} ни чизамиз ва унга тик чизиқ ўтказамиз. иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси b бўлади.

4 звенога тегишлн C_4 ёки C_5 нуқтанинг тезликларини қуйидаги тенгламалардан фойдаланиб топамиз:

$$\bar{a}_{C_5} = \bar{a}_B + \bar{a}_{C_5B}^n + \bar{a}_{C_5B}^t \quad \bar{a}_{C_5} = \bar{a}_{O_2} + \bar{a}_{C_5O_2}^n + \bar{a}_{C_5O_2}^t$$

Қуйидагиларни топамиз:

$$a_{C_5B}^n = \frac{v_{C_5B}^2}{l_{C_5B}} \{м сек^{-2}\}; \quad n_{C_5b} = \frac{a_{C_5B}^n}{K_a} \{мм\}$$

$$a_{C_5O_2}^n = \frac{v_{C_5O_2}^2}{l_{C_5O_2}} \{м сек^{-2}\}; \quad n_{C_5O_2} = \frac{a_{C_5O_2}^n}{K_a} \{мм\}$$

$n_{C_5b} \perp C_5B$, $n_{C_5O_2} \parallel C_5O_2$ эканлигини эътиборга олиб, b дан n_{C_5b} ни қўямиз ва унга тик чизиқ ўтказамиз, қутбдан $n_{C_5O_2}$ ни қўйиб, унга ҳам тик чизиқ ўтказамиз. Иккала тик чизикнинг кесишув нуқтаси c_5 бўлади.

C_5 нуқтанинг тезланиши билан C_6 нуқтанинг тезланиши вектор тенгламалар орқали боғланади:

$$\begin{aligned} \bar{a}_{C_5} &= \bar{a}_{C_6} + \bar{a}_{C_6C_5} + \bar{a}_{кор} & a_{кор} &= 0 \\ \bar{a}_{C_6} &= \bar{a}_x + \bar{a}_{C_6x} \end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг ҳар иккала томонини K_a га бўлиб, қуйидаги тенгламаларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_{C_5} &= \bar{\pi}_{C_6} + \bar{c}_{5C_6} \\ \bar{\pi}_{C_6} &= \bar{\pi}_{C_6x} \end{aligned}$$

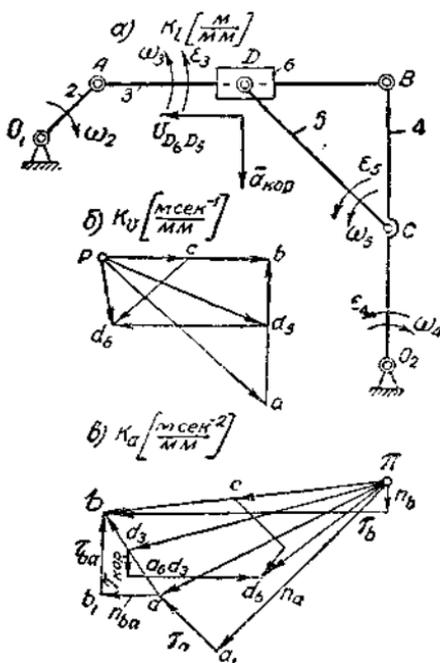
Юқоридаги тенгламаларнинг биринчисига биноян, c_5 нуқтадан KL га параллел, иккинчисига биноян эса қутбдан xx йўналтирувчига параллел чизиклар ўтказиб, иккала чизикнинг кесишув нуқтаси (c_6) ни топамиз.

Ҳосил қилинган тезланишлар планидан (9.16-шакл, в) қуйидагиларни топамиз:

1. $a_{BA} = K_a \cdot \bar{ab} \{м сек^{-2}\}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тўла нисбий тезланиши;
2. $a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{ba}$ — B нуқтанинг A га нисбатан айланишидаги уринма тезланиши;
3. $a_B = K_a \cdot \bar{\pi b}$ — B нуқтанинг тўла абсолют тезланиши;
4. $a_B^t = K_a \cdot \tau_b$ — B нуқтанинг O_2 атрафида айланишидаги уринма тезланиши;
5. $a_{C_6} = a_{C_4} = K_a \cdot \bar{\pi c_6}$ — 5 ёки 4 звеноларга тегишли C_5 ва C_4 нуқталарнинг абсолют тезланишлари;
6. $a_{C_6} = K_a \cdot \bar{\pi c_6}$ — кулисадаги (6 звенодаги) C нуқтанинг абсолют тезланиши;
7. $v_3 = \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}} [сек^{-2}]$ — 3 звенонинг бурчак тезланиши;
8. $v_4 = \frac{a_B^t}{l_{O_2B}}$ — 4 звенонинг бурчак тезланиши.

Шундан маълум бўлишича, механизмнинг шу ондаги вазияти учун AB нингун секилишини ҳолатида бўлиб, 4 звено (коромистро) соат стрелкаси айланганини туюнса тескари йўналишда тезланиш ҳолатидадир.

33-масала. 9.17-шакл, *a* да олти звеноли кулисаги механизм кўрсатирилган. Бу механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин; механизмнинг етакловчи звеноси O_1A бўлиб, бу звенонинг бурчак тезлиги (ω_2) ва бурчак тезланиши (ϵ_2) берилган. Механизм K_M масштабда чизилган. Тезликлар плани билан тезланишлар планидаги фойдаланиб, B, C, D_3, D_6 нуқталарининг нисбий ва абсолют тезланишлари, AB, CD ва O_2B звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари топилиши ва уларнинг йўналиши аниқлансин.



9.17-шакл. *a* — олти звеноли кулисаги механизм; *b* — тезликлар плани; *в* — тезланишлар плани.

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, \vec{ra} нинг учидан AB га тик, иккинчисига биноан эса қутбдан (чунки, $v_{O_2} = 0$) O_2B га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесилиш нуқтаси (*b*) ни топамиз.

C нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{pc}}{\overline{pb}} = \frac{O_2C}{O_2B}; \quad \overline{pc} = \overline{pb} \cdot \frac{O_2C}{O_2B} < \overline{pb}$$

c нуқта *p* билан *b* оралиғида бўлади.

D_3 нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидагича топилади:

$$\frac{\overline{ad_3}}{\overline{ab}} = \frac{AD_3}{AB}; \quad \overline{ad_3} = \overline{ab} \cdot \frac{AD_3}{AB} < \overline{ab}$$

D_3 нуқта шатунга (кулисага) тегишан бўлганидан, a_3 нуқта тезликлар планидаги ab кесма оралиғида бўлади (9.17-шакл, б).

Тезликлар плани билан тезланишлар планидаги фойдаланиб, B, C, D_3, D_6 нуқталарининг нисбий ва абсолют тезланишлари, AB, CD ва O_2B звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари топилиши ва уларнинг йўналиши аниқлансин.

Е ч и ш: *A* нуқтанинг чизиқли тезлигини қуйидагича топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} [M \text{сек}^{-1}]$$

Тезликлар планининг масштаби қуйидагича топилади:

$$K_v = \frac{v_A}{ra} \left[\frac{M \text{сек}^{-1}}{MM} \right]$$

Иккитдир *p* нуқтани тезликлар планининг қутби деб олиб, шу нуқтадан $ra \perp O_1A$ қилиб ўтказамиз (9.17-шакл, б). *B* нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{BO_2}$$

Тошга тегишли нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{D_6} &= \vec{v}_{D_5} + \vec{v}_{D_6 D_5} \\ \vec{v}_{D_6} &= \vec{v}_C + \vec{v}_{D_6 C} \end{aligned}$$

D_6 нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини топиш учун юқоридаги вектор тенгламаларнинг биринчисига биноан, d_3 нуқтадан AB га параллел, иккинчисига биноан эса c нуқтадан D_6C га тик чизиқлар ўтказиб, бу чизиқларнинг кесишув нуқтаси (d_6) ни топамиз.

Шундай қилиб, $rad_5 d_6 c p$ тезликлар планидан қуйидагиларин аниқлаймиз:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [м сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг нисбий тезлиги;
3. $v_C = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
4. $v_{D_5} = K_v \cdot \overline{pd_3}$ — D_3 нуқтанинг абсолют тезлиги;
5. $v_{D_6 D_5} = K_v \cdot \overline{d_6 d_3}$ — D_6 нуқтанинг D_5 га нисбатан тезлиги;
6. $v_{DC} = K_v \cdot \overline{d_6 c}$ — D_6 нуқтанинг C нуқтага нисбатан тезлиги;
7. $v_{D_6} = K_v \cdot \overline{pd_6}$ ↑ — D_6 нуқтанинг абсолют тезлиги;
8. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] ↑ — AB кулисанинг бурчак тезлиги;
9. $\omega_4 = \frac{v_B}{l_{BO_3}}$ ↑ — 4 звонининг (коромисловнинг) бурчак тезлиги;
10. $\omega_5 = \frac{v_{D_6 C}}{l_{D_6 C}}$ ↓ — 5 звонининг бурчак тезлиги.

Энди, тезланишлар планини тузимиз. Бунинг учун аввал A нуқтанинг нормал ва урнига тезланишларининг, сўнгра тезланишлар планининг масштабини топамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1 A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad a_A^t = \varepsilon_2 \cdot l_{O_1 A} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a^t} \left[\frac{\text{м сек}^{-2}}{\text{мм}} \right]; \quad \tau_a = \frac{a_A^t}{K_a} \text{ [мм]}$$

Ихтиёрый нуқтаин тезланишлар планининг қутби деб олиб, ундан \vec{aa}' ни $O_1 A$ га параллел қилиб, сўнгра a' дан τ_a ни $O_1 A$ га тик қилиб қўямиз. Бу a' ни ҳосил қиламиз (9.17-шакл, в).

B нуқтанинг тезланишларини қуйидаги вектор тенгламалардан топамиз:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t; \quad \vec{a}_B = \vec{a}_{O_3} + \vec{a}_{BO_3}^n + \vec{a}_{BO_3}^t$$

Бу тенгламалардаги нормал тезланишларнинг скаляр қийматлари қуйидагича топилади:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}}; \quad n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$$a_{BO_2}^n = \frac{v_B^2}{l_{BO_2}}; \quad n_{bo_2} = \frac{a_{BO_2}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

n_{BO_2} ни a дан BA га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик ўтказамиз. Сўнгра кутбдан n_{bo_2} ни BO_2 га параллел қилиб қўйиб, унинг учидан ўзига тик (ёки O_2B га тик) чизик ўтказамиз. Бу чизикларнинг кесишув нуқтаси (b) ни топамиз. Кутбни b билан туташтирамиз. Кутбда O_1, O_2 нуқталар ётади, чуқки уларнинг тезлик ва тезланишлари нолдир.

C нуқтанинг тезланишлар планисидаги ўрнини қуйидаги пропорциядан топамиз:

$$\frac{\overline{pc}}{\overline{pb}} = \frac{O_2C}{O_2B}; \quad \overline{pc} = \overline{pb} \cdot \frac{O_2C}{O_2B} < \overline{pb}$$

D_3 нуқтанинг тезланишлар планисидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{ad_3}}{\overline{ab}} = \frac{AD_3}{AB}; \quad ad_3 = ab \cdot \frac{AD_3}{AB} < ab$$

c нуқта pb кесма оралиғида, d_3 нуқта ab вектор кесма оралиғида эканлигини эътиборга олиб, шу нуқталарни кутб билан туташтирамиз.

D_6 нуқтанинг тезланишлар планисидаги ўрни қуйидаги вектор тенгламаларни тузиш ва уларни геометрик ечиш йўли билан топилади:

$$\begin{aligned} \overline{a_{D_6}} &= \overline{a_{D_3}} + \overline{a_{D_6D_3}} + \overline{a_{кор}} \\ \overline{a_{D_6}} &= \overline{a_C} + \overline{a'_{D_6C}} + \overline{a'_{D_6C}} \end{aligned}$$

Юқоридagi a_{D_6} тезланишлар тенгламасидаги кориолис тезланиши қуйидагича топилади:

$$a_{кор} = 2 \cdot \omega_3 \cdot v_{D_6D_3} = 2 \cdot \frac{v_{BA}}{l_{BA}} \cdot v_{D_6D_3} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$\tau_{кор} = \frac{a_{кор}}{K_n} \text{ [мм]}$$

D_6 нуқтанинг C га нисбатан айланмишидаги нормал тезланиши қуйидагича бўлади:

$$a_{D_6C}^n = \frac{v_{D_6C}^2}{l_{D_6C}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{d_6c} = \frac{a_{D_6C}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$\tau_{кор} \perp AB$; $a_{D_6D_3} \perp |AB$; $n_{d_6c} \perp |D_6C$; $\tau_{d_6c} \perp D_6C$ эквалансларини эътиборга олиб, d_3 дан $\tau_{кор}$ ни AB га параллел қилиб, c дан эса n_{d_6c} ни ўзига тик қилиб чизамиз-да, бу параллел ва тик чизикларнинг кесишув нуқтаси (d_6) ни топамиз. d_6 ни кутб билан туташтириб, pd_6 ни ҳосил қиламиз (9.17-шакл. b).

Шундай қилиб, 9.17-шакл. b даги тезланишлар плани ҳосил бўлди, ундан қуйидаги чизикли ва бурчак тезланишларини топамиз:

1. $a_A = K_a \cdot pa$ [м сек⁻²] — A нуқтан инг тўлиқ тезланиши;
2. $a_{BA}^t = K_a \cdot \tau_{ba}$ — B нуқтанинг A атрофида айланмишидаги уринма тезланиши;
3. $a_{BA} = K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг тўлиқ нисбий тезланиши;

4. $a_B = K_a \cdot \overline{pb} \rightarrow B$ нуқтанинг тўлиқ абсолют тезланиши;
5. $a'_B = K_a \cdot \tau_b \rightarrow B$ нуқтанинг абсолют уринма тезланиши;
6. $a_{D_3} = K_a \cdot \overline{\pi d_3} \rightarrow 3$ звенодаги (кулисадаги) D_3 нуқтанинг абсолют тезланиши;
7. $a_{D_6 D_3} = K_a \cdot \overline{d_6 d_3} \rightarrow D_6$ нуқтанинг D_3 га нисбатан тезланиши;
8. $a'_{D_6 C} = K_a \cdot \tau_{d_6 c} \rightarrow D_6$ нуқтанинг C нуқта атрофида нисбий ҳаракатланашидаги уринма тезланиши;
9. $\overline{a}_{D_6 C} = K_a \cdot \overline{d_6 c} \rightarrow D_6$ нуқтанинг C га нисбатан тўла тезланиши;
10. $a_{D_6} = K_a \cdot \overline{pd_6} \rightarrow D_6$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
11. $\epsilon_3 = \frac{a'_{BA}}{l_{BA}} \text{ [сек}^{-2}\text{]} \uparrow \rightarrow 3$ звенонинг (кулисанинг) бурчак тезланиши;
12. $\epsilon_4 = \frac{a'_B}{l_{BO_2}} \uparrow \rightarrow 4$ звенонинг (коромислонинг) бурчак тезланиши;
13. $\epsilon_5 = \frac{a'_{D_6 C}}{l_{D_6 C}} \uparrow \rightarrow 5$ звенонинг бурчак тезланиши.

Бурчак тезликлари билан бурчак тезланишларининг йўналишларига кўра, механизмнинг шу ондаги вазияти учун 3 ва 5 звенолар тезланиш ҳолатида, 4 звено эса секинланиш ҳолатида эканлигини найқаб олиш қийин эмас (9.17-шакл, а).

34-масала. 9.18-шакл, а да кўрсатилган механизмнинг шу ондаги вазияти учун тезликлар плавни билан тезланишлар плавни тузилиши ва барча етакловчи звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари, механизмдаги B, C, D, F нуқталарнинг нисбий ва абсолют тезликлари билан тезланишлари аниқлансин. Етакловчи звено $O_1 A$ [2 звено, унинг бурчак тезлиги ω_2 (сек⁻¹), бурчак тезланиши эса ϵ_2 (сек⁻²)]. Масаланинг шартида етакловчи звено шу онда секинланиш ҳолатидадир.

Еч яш: A нуқтанинг айланма ҳаракатидаги чизикли тезлиги қуйидагича топилди:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1 A}$$

Тезликлар масштабини қуйидагича тайлаб оламиз:

$$K_v = \frac{v_A}{\rho a} \left[\frac{m \text{ сек}^{-2}}{mm} \right]$$

Ихтиёрй r нуқтани қутб деб олиб, $\overline{ra} \perp O_1 A$ қилиб қўямиз (9.18-шакл, б) B нуқтанинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\begin{aligned} \vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \\ \vec{v}_B &= \vec{v}_x + \vec{v}_{Bx} \end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, a нуқтадан BA га тик, қутбдан x (чунки x йўналтирувчининг тезлиги $v_x = 0$) x га параллел ўтказамиз. Ушбу тенгламани тик билан параллел чизикларнинг кесишув нуқтаси b бўлади (9.18-шакл, б).

10 Механизм ва машиналар назарияси

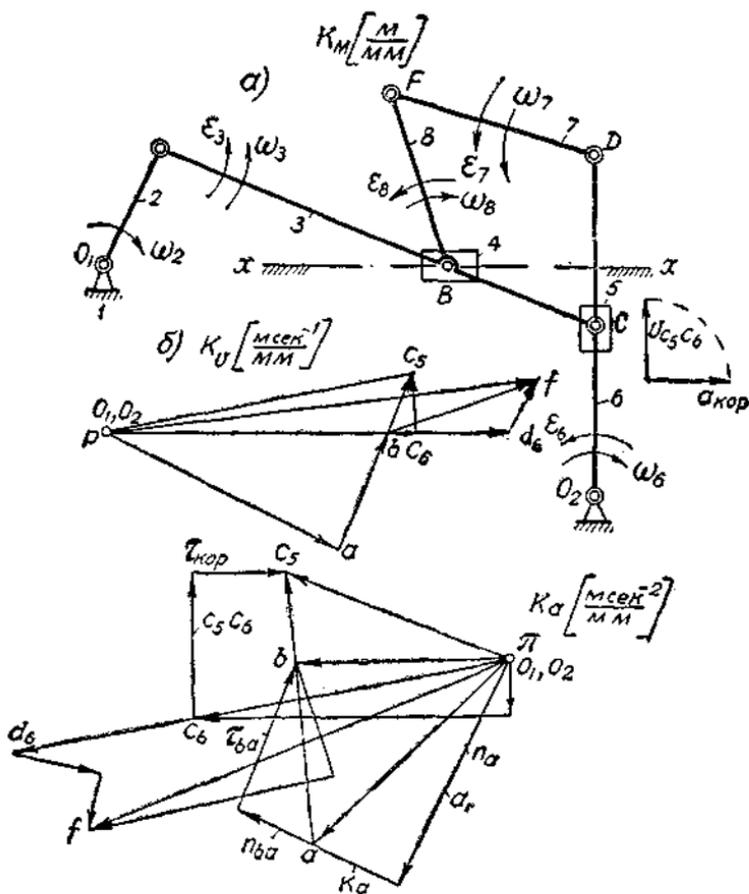
C_3 ёки C_5 нуқталарнинг тезликлари бир-бирига тенг бўлиб, улар қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{ac_5}}{\overline{ab}} = \frac{AC_5}{AB}; \quad \overline{ac_5} = \overline{ab} \cdot \frac{AO_5}{AB} > \overline{ab}$$

C_5 нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни \overline{ab} нинг давомида бўлиб, а дан ac_5 масофада туради. C_3 нуқтани қутб билан туташтириб, pc_3 ни ҳосил қиламиз.

C_3 билан C_6 нуқталарнинг тезликлари қуйидаги вектор тенгламалар орқали bogланади:

$$\begin{aligned} \overline{v_{c_3}} &= \overline{v_{c_6}} + \overline{v_{c_5c_6}} \\ \overline{v_{c_6}} &= \overline{v_{o_2}} + \overline{v_{c_6o_2}} \end{aligned}$$



9.18-шакл: а — кулисали механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, тезликлар планидаги c_5 нуктадан O_2D га параллел, иккинчисига биноан эса қутбдан (чунки $v_{O_2} = 0$) O_2D га тик чизиқлар ўтказиб, бу иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси (c_6) ни топамиз.

D нуктанинг тезликлар планидаги ўрнини топиш учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{pd}}{\overline{pc_6}} = \frac{O_2D}{O_2C_6}; \quad \overline{pd} = \overline{pc_6} \cdot \frac{O_2D}{O_2C_6} > \overline{pc_6}$$

d нукта pc_6 кесманинг давомида, p дан pd масофада эканлиги аниқлаб олинган, F нуктанинг тезликлар планидаги ўрнини топишга киришамиз. Бунинг учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\overline{v} = \overline{v_D} + \overline{v_{FD}}$$

$$\overline{v_F} = \overline{v_B} + \overline{v_{FB}}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, d нуктадан FD га тик, b нуктадан эса FB га тик чизиқлар ўтказиб, бу чизиқларнинг кесишув нуқтаси (f) ни топамиз.

Шундай қилиб, $rabcc_6d_6fp$ тезликлар плани ҳосил бўлди, ундан қуйидаги тезликларни топамиз:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pa}$ [м сек⁻¹] — B нуктанинг абсолют тезлиги;
2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуктанинг A га нисбатан тезлиги;
3. $v_{C_6} = K_v \cdot \overline{pc_6}$ — 5 звенога (тошга) тегишли C_6 нуктанинг абсолют тезлиги;
4. $v_{C_5} = K_v \cdot \overline{pc_5}$ — 6 звенога (кулисага) тегишли C_6 нуктанинг абсолют тезлиги;
5. $v_{C_5C_6} = K_v \cdot \overline{c_5c_6}$ — 5 звенодаги C_5 нуктанинг C_6 га нисбатан тезлиги;
6. $v_D = F_v \cdot \overline{pd}$ — D нуктанинг абсолют тезлиги;
7. $v_{FD} = K_v \cdot \overline{fd}$ — F нуктанинг D нуктага нисбатан тезлиги;
8. $v_{FB} = K_v \cdot \overline{fb}$ — F нуктанинг B нуктага нисбатан тезлиги;
9. $v_F = K_v \cdot \overline{pf}$ — F нуктанинг абсолют тезлиги;
10. $v_{C_5A} = K_v \cdot \overline{c_5a}$ — C_5 нуктанинг A нуктага нисбатан тезлиги;
11. $v_{C_5B} = K_v \cdot \overline{c_5b}$ — C_5 нуктанинг B нуктага нисбатан тезлиги;
12. $\omega_6 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] ↑ — AB шатуннинг бурчак тезлиги;
13. $\omega_6 = \frac{v_{C_6}}{l_{O_2C_6}}$ ↓ — 6 звенонинг бурчак тезлиги;
14. $\omega_6 = \frac{v_{F_6}}{l_{F_6}}$ ↑ — 7 звенонинг бурчак тезлиги;
15. $\omega_6 = \frac{v_{FD}}{l_{FD}}$ ↓ — 8 звенонинг бурчак тезлиги.

Тезликлар планидан фойдаланиб, механизмнинг шаклда кўрсатилган вазияти учун тезланишлар планини тузамиз. Бунинг учун кривошипдаги A нуқтанинг нормал ва уринма тезланишларини қуйидагича толамиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}}$$

$$a_A^t = \varepsilon_2 \cdot l_{O_1A}$$

Тезланишлар планининг K_a масштабдаги a_A^t нинг вектор кесми ифодаси қуйидагича топилади:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi_a} \left[\frac{m \text{ сек}^{-2}}{mm} \right]$$

$$aa_1 = \tau_a = \frac{a_A^t}{K_a} [mm]$$

$\bar{\pi}_a \parallel O_1A$ ва $\bar{\tau}_a \perp O_1A$ эканлигини эътиборга олиб, кривошип учун тезланишлар планини ҳосил қиламиз [9.18-шакл, в).

B нуқтанинг тезланишларини қуйидаги вектор тенгламалардан толамиз:

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^t$$

$$\bar{a}_B = \bar{a}_x + \bar{a}_{Bx}$$

Ўқорндаги тенгламаларнинг биринчиси таркибдаги a_{BA}^n нормал тезланишнинг ва унинг масштаб ифодасини қуйидагича толамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} [m \text{ сек}^{-2}]$$

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} [mm]$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезланишлар пландаги aa вектор кесманинг учдаги a нуқтадан n_{ba} ни AB га параллел қилиб, B дан A га томон қўямиз; унинг учдаги AB га тик чизиқ ўтказамиз, шу тенгламаларнинг иккинчисига кўра, π қутбдан xx га параллел чизиқ ўтказиб, ўтказилган иккала чизиқнинг кесилув нуқтаси (b) ни толамиз.

C_5 нуқтанинг тезланишлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\bar{ac}_5}{\bar{ab}} = \frac{\bar{AC}_5}{\bar{AB}}; \quad \bar{ac}_5 = \bar{ab} \cdot \frac{\bar{AC}_5}{\bar{AB}} > \bar{ab}$$

c_5 нуқта ab кесманинг давомида a нуқтадан \bar{ac}_5 масофада эканлиги шаклдан кўриниб турибди (9.18-шакл, в).

B звенодаги c_5 нуқтанинг тезланиши B звенодаги c_6 нуқтанинг тезланиши билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғланади:

$$\bar{a}_{c_5} = \bar{a}_{c_6} + \bar{a}_{c_5c_6} + \bar{a}_{кор}$$

Ҳа

$$\bar{a} = \bar{a}_{кор} + \bar{a}_{c_5}^n + \bar{a}_{c_5}^t + \bar{a}_{c_5c_6}$$

Бу тенгламадаги корнолис тезланиши ва кулисаннинг нормал тезланиши қуйидагича толивлди:

$$a_{\text{кор}} = 2\omega_0 \cdot v_{c_5 c_6} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$a_{c_6}^n = \frac{v_{c_6}^2}{l_{O_2 c_6}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Агар C_5 нукта вектор тезланишлар тенгламасининг иккала томонини K_5 тезланишлар масштабига бўлсак, қуйидаги вектор тенглама келиб чиқади:

$$\overline{\pi c_5} = \overline{\tau_{\text{кор}}} + \overline{n_{c_6}} + \overline{\tau_{c_6}} + \overline{c_5 c_6}$$

Бу тенгламага кўра, πc_5 вектор учига $\tau_{\text{кор}}$ ни учма-уч қилиб қўямиз ва $\tau_{\text{кор}}$ нинг бошидан $O_2 D$ га параллел, n_{c_6} нинг учидан эса ўзига тик чизиқлар ўтказамиз. $\tau_{\text{кор}}$ бошидан ўтказилган тик (ёки $O_2 D$ га параллел) чизиқ билан n_{c_6} нинг учидан ўтказилган тик чизиқнинг кесишув нуқтаси c_6 бўлади (9.18-шакл, в).

D_0 нукта b эквонинг учидан бўлгани учун ҳам унинг тезланишлар пландаги ўрин қуйидаги пропорция орқали топилади:

$$\frac{\overline{\pi d_0}}{\pi c_6} = \frac{O_2 D}{O_2 C_6}; \quad \overline{\pi d_0} = \pi c_6 \cdot \frac{O_2 D}{O_2 C_6} > \pi c_6$$

d_0 нукта πc_6 нинг давомиди, қутбдан πd_0 масофада эканлиги шаклдан кўришиб турибди.

F нуктанинг тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалардан топилади:

$$\overline{a}_F = \overline{a}_D + \overline{a}_{FD}^n + \overline{a}_{FD}^t$$

$$\overline{a}_F = \overline{a}_B + \overline{a}_{FB}^n + \overline{a}_{FB}^t$$

a_{FD}^n ва a_{FB}^n ни қуйидаги формулалардан топамиз:

$$a_{FD}^n = \frac{v_{FD}^2}{l_{FD}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{fd} = \frac{a_{FD}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

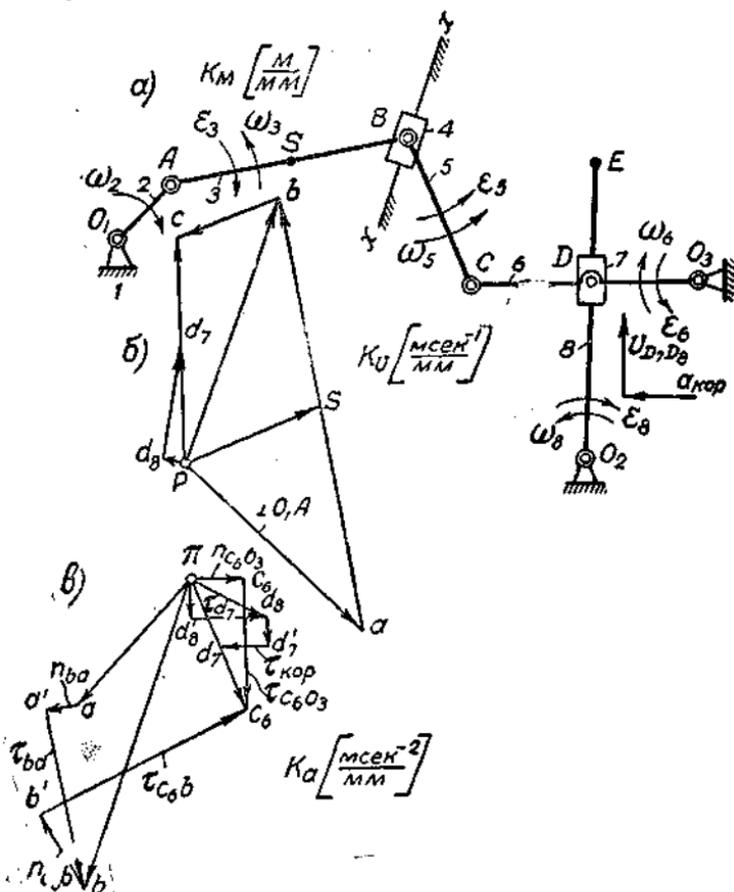
$$a_{FB}^n = \frac{v_{FB}^2}{l_{FB}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{fb} = \frac{a_{FB}^n}{K_v} \text{ [мм]}$$

F нуктанинг тезланиши тенгламаларидан биричишга кўра, тезланишлар пландаги d_0 нуқтадан n_{fd} ни FD га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. Тенгламаларнинг иккинчисига кўра, b нуқтадан n_{fb} ни FB га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз, ўтказилган иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси f бўлади. f ни қутб билан мувоиштиравимиз (9.18-шакл, в).

Ҳисоб қилинган тезланишлар планидан қуйидагиларни топамиз:

1. $a_A \cdot K_a \cdot \overline{aa}$ — A нуктанинг тўла тезланиши;
2. $a_{FA}^t \cdot K_v \cdot \overline{\tau_{FA}}$ — B нуктанинг nisбий уринма тезланиши;
3. $a_{FA}^n \cdot K_a \cdot \overline{ab}$ — B нуктанинг тўла nisбий тезланиши;
4. $a_B \cdot K_a \cdot \overline{bb}$ — B нуктанинг абсолют тезланиши;

5. $a_{C_4} = K_a \cdot \pi \bar{C}_6 - C_6$ нуқтанинг (кулисанинг) абсолют тезланиши ($\bar{a}_{C_5} = \bar{a}_{C_4}$);
6. $a_{C_5 C_6} = K_a \cdot \bar{C}_5 \bar{C}_6 - C_5$ нуқтанинг (тошнинг) кулисадаги C_6 нуқтага нисбатан тезланиши;
7. $a_{C_6} = K_a \cdot \pi \bar{C}_6 - C_6$ кулисадаги C_6 нуқтанинг тўла абсолют тезланиши;
8. $a_{C_6}^t = K_a \cdot \tau_{C_6} - C_6$ нуқтанинг абсолют уринма тезланиши;
9. $a_{D_6} = K_a \cdot \pi \bar{d}_6 - D_6$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
10. $a_{FD}^t = K_a \cdot \tau_{fd_6} - F$ нуқтанинг D га нисбатан уринма тезланиши;
11. $a_{FB}^t = K_a \cdot \tau_{fb} - F$ нуқтанинг B га нисбатан уринма тезланиши;
12. $a_F = K_a \cdot \pi \bar{f} - F$ нуқтанинг абсолют тезланиши;



9.19-шакл: а — кулисали механизм; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

$$13. \epsilon_3 = \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}} [\text{сек}^{-2}] \uparrow - 3 \text{ звенонинг бурчак тезланиши};$$

$$14. \epsilon_6 = \frac{a_{C_6}^t}{l_{O_2C_6}} \uparrow - 6 \text{ звенонинг бурчак тезланиши};$$

$$15. \epsilon_7 = \frac{a_{FD}^t}{l_{FD}} \uparrow - 7 \text{ звенонинг бурчак тезланиши};$$

$$16. \epsilon_8 = \frac{a_{FD}^t}{l_{FB}} \uparrow - 8 \text{ звенонинг бурчак тезланиши}.$$

Шаклдаги бурчак тезликлари ва тезланишларининг йўналишига қараб, 3 ва 7 звенолар тезланиш ҳолатида, 6 ва 8 звенолар эса секинланиш ҳолатида эканликларини билиш мумкин.

35-масала. 9.19-шакл, a да кўрсатилган механизмнинг шу вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин. Механизм K_M масштабда чизилган; 2 звенонинг (қривошипнинг) бурчак тезлиги (ω_2) ўзгармас (яъни $\epsilon_2 = 0$); тезликлар плани билан тезланишлар планидан фойдаланиб, механизмдаги B, C, D, E нуқталарнинг абсолют ва нисбий тезлик ҳамда тезланишлари, 3, 5, 6, 7 ва 8 звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари умумий ҳолда топилин ва уларнинг йўналишлари аниқлансин.

Юқорида айтилган звеноларнинг секинланиш ёки тезланиш ҳолатида эканлиги кўрсатилсин.

Е чи ш: аввал A нуқтанинг тезлигини ва тезликлар масштабини қуйидаги формулалардан топамиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} [\text{м сек}^{-1}]$$

$$K_v = \frac{v_A}{\rho_A} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

B нуқтанинг тезликлари қуйидаги вектор тенгламалардан топилади:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_{Bx}$$

Ихтиёрий p нуқтани қутб деб оламиз. Вектор кесмини O_1A га тик қилиб қўямиз. B нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни юқоридаги вектор тенгламаларнинг геометрик ечилиши билан топилади, юқоридаги тенгламаларнинг биринчисига кўра, ρ_A вектор кесманинг учидан AB га тик, иккинчисига кўра эса қутбдан (чунки $v_x = 0$) xx га параллел чизиқлар ўтказамиз. Ўтказилган тик ва параллел чизиқларнинг кесилиш нуқтаси b бўлади (9.19-шакл, б).

AB звенодаги S нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{as}}{\overline{ab}} = \frac{AS}{AB}; \quad \overline{as} = \overline{ab} \cdot \frac{AS}{AB} < \overline{ab}$$

\overline{ab} ни a дан бошлаб \overline{ab} га қўямиз ва s ни ҳосил қиламиз. s ни қутб билан туташтирсак, ρ_S вектор кесма ҳосил бўлади.

S нуқтанинг тезликлари қуйидаги вектор тенгламалардан топилади:

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$$

$$\vec{v}_C = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{CO_2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги (9.19-шакл, б) b нуқтадан CB га тик, иккинчисига кўра эса қутбдан (чунки, $v_{O_2} = 0$) CO_2 га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси (c) ни топамиз.

Тошга тегишдан D_7 нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\overline{pd_7}}{pc} = \frac{O_2D_7}{O_2C}, \quad \overline{pd_7} = \overline{pc} \cdot \frac{O_2D_7}{O_2C} < \overline{pc}$$

d_7 нуқта pc вектор кесма оралиғида бўлиб, қутб нуқтаси (p) дан pd , масофада туради.

D_7 нуқтанинг тезлиги D_8 нуқтанинг тезлиги билан қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғланади:

$$\overline{v_{D_7}} = \overline{v_{D_8}} + \overline{v_{D_7D_8}}; \quad \overline{v_{D_8}} = \overline{v_{O_2}} + \overline{v_{D_8O_2}}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги d_7 нуқтадан O_2D_8 га параллел, иккинчисига кўра эса қутбдан (чунки $v_{O_2} = 0$) O_2D_8 га (ёки O_2E) тик чизиқлар ўтказамиз; бу чизиқларнинг кесишув нуқтаси d_8 бўлади.

Шундай қилиб, $pc_1bcd_7d_8p$ тезликлар плани ҳосил бўлди, ундан қуйидагиларни топамиз:

1. $v_S = K_v \cdot \overline{ps}$ [м сек⁻¹] — S нуқтанинг абсолют тезлиги;
2. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ — B нуқтанинг абсолют тезлиги;
3. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг нисбий тезлиги;
4. $v_{CB} = K_v \cdot \overline{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан тезлиги;
5. $p_{D_7} = K_v \cdot \overline{pd_7}$ — D_7 нуқтанинг абсолют тезлиги;
6. $v_C = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
7. $v_{D_7D_8} = K_v \cdot \overline{d_7d_8}$ — D_7 нуқтанинг (тошнинг) D_8 нуқтага (кулисага) нисбатан тезлиги;
8. $v_{D_8} = K_v \cdot \overline{pd_8}$ — D_8 нуқтанинг (кулисадаги нуқтанинг) абсолют тезлиги;
9. $\omega_7 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ [сек⁻¹] † — 3 звенонинг бурчак тезлиги;
10. $\omega_5 = \frac{v_{CB}}{l_{CB}}$ † — 5 звенонинг бурчак тезлиги;
11. $\omega_6 = \frac{v_C}{l_{O_2C}}$ † — 6 звенонинг бурчак тезлиги;
12. $\omega_8 = \frac{v_{D_8}}{l_{O_2D_8}}$ † — 8 звенонинг бурчак тезлиги.

Тезланишлар графигини A нуқтанинг нормал тезланишини топишдан бошлаймиз:

$$\alpha_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

Тезланишлар масштаби қуйидагича топилди:

$$K_a = \frac{a_A^t}{\lambda a} \left[\frac{м \text{ сек}^{-2}}{мм} \right]$$

Ихтиёрли λ нуқтани тезланишлар қутби деб қабул қиламиз-да, \vec{a}_A вектор кесмини O_1A га параллел қилиб қўямиз (9.19- шакл, в).

B нуқтанинг тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалардан топилди:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_c + \vec{a}_{Bc}$$

B нуқтанинг нисбий нормал тезланишини ва унинг масштаб ифодасини қуйидаги формулалардан топамиз:

$$a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} \quad [м \text{ сек}^{-2}]$$

$$n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} \quad [мм]$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, λa вектор кесмининг a учидан n_{ba} ни AB га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан нисбий уринма тезланишнинг тик чизигини ўтказамиз. Юқоридagi тенгламаларнинг иккинчисига биноан, қутбдан (чунки, $\alpha_x = 0$) xx га параллел чизик ўтказамиз. Ўтказилган иккала чизикнинг кесишув нуқтаси b бўлади.

C нуқта учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t$$

$$\vec{a}_c = \vec{a}_{O_3} + \vec{a}_{CO_3}^n + \vec{a}_{CO_3}^t$$

a_{CB}^n билан $a_{CO_3}^n$ ва уларнинг масштаб ифодалари қуйидагича топилди:

$$a_{CB}^n = \frac{v_{CB}^2}{l_{CB}} \quad [м \text{ сек}^{-2}]; \quad n_{cb} = \frac{a_{CB}^n}{K_a} \quad [мм]$$

$$a_{CO_3}^n = \frac{v_C^2}{l_{OC}} \quad [м \text{ сек}^{-2}]; \quad n_{CO_3} = \frac{a_{CO_3}^n}{K_a} \quad [мм]$$

C нуқтанинг тезланиш тенгламаларидан биринчисига c_6 ра, b нуқтадан n_{cb} ни CB га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик чизик ўтказамиз; тенгламаларнинг иккинчисига биноан, қутбдан (чунки, $\alpha_{O_3} = 0$) xx_3 ни CO_3 га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик чизик ўтказамиз. Ўтказилган иккала тик чизикнинг кесишув нуқтаси c_6 бўлади.

c_6 ни қутб билан туташтириб, \vec{pc}_6 ни ҳосил қиламиз (9.19- шакл, в).

D_7 нуқтанинг тезланишлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилди:

$$\frac{\vec{pd}_7}{\vec{pc}_6} = \frac{O_3D_7}{O_3C}; \quad \vec{pd}_7 = \vec{pc}_6 \cdot \frac{O_3D_7}{O_3C} < \vec{pc}_6$$

d_7 нуқта π билан c_8 оралнигида бўлиб, π дан πd_7 масофада туради. D_7 ва D_8 нуқталарнинг тезланишлари қуйидаги вектор тенгламалар билан боғланган:

$$\begin{aligned}\bar{a}_{D_7} &= \bar{a}_{D_8} + \bar{a}_{D_7 D_8} = a_{кор} \\ \bar{a}_{D_8} &= \bar{a}_{O_8} + \bar{a}_{D_8 O_8}^n + \bar{a}_{D_7 O_8}^t\end{aligned}$$

$a_{кор}$ тезланишни ва унинг масштаб ифодасини топамиз:

$$\begin{aligned}a_{кор} &= 2\omega_3 \cdot v_{D_7 D_8} \\ \tau_{кор} &= \frac{a_{кор}}{K_a} \text{ [мм]}\end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг иккала томонини K_a га бўлиб, уларнинг K_a масштабдаги ифодасини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned}\pi d_7 &= \pi d_8 + d_7 \bar{a}_8 + \tau_{кор} \\ \pi d_8 &= \pi d_8 + \tau_{d_8}\end{aligned}$$

$a_{D_8}^n$ ни топамиз ва унинг масштаб ифодасини белгилаб оламиз:

$$a_{D_8}^n = \frac{v_{D_8}^2}{l_{O_4 D_8}}; \quad n_{d_8} = \frac{a_{D_8}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

$\tau_{кор}$ ни πd_7 га учма-уч қилиб қўямиз ва унинг бопидан ўзига тик ўтказамиз, қутбдан n_{d_8} ни қўйиб, унинг учидан ўзига тик чиқарсак, иккала тик чизикнинг кесишув нуқтаси d_8 бўлади. Қутбни d_8 билан туташтириб, πd_8 ни ҳосил қиламиз (9.19-шакл, *а*).

Шундай қилиб, $pa'a'bb'c_6c'_6\pi d'_7gd'_7d'_7d'_7\pi$ тезланишлар плани ҳосил бўлди, унда қуйидагиларни топамиз:

- $a'_{BA} = K_a \cdot \tau_{ba}$ — B нуқтанинг нисбий уринма тезланиши;
- $a_B = K_a \cdot \pi b$ — B нуқтанинг абсолют тезланиши;
- $a'_{CB} = K_a \cdot \tau_{cb}$ — C нуқтанинг B га нисбатан уринма тезланиши;
- $a_{CB} = K_a \cdot \pi c_b$ — C нуқтанинг B га нисбатан тўла тезланиши;
- $a'_C = K_a \cdot \tau_c$ — C нуқтанинг абсолют уринма тезланиши;
- $a'_{D_8} = K_a \cdot \tau_{D_8}$ — D_8 нуқтанинг абсолют уринма тезланиши;
- $a_{D_7} = K_a \cdot \pi d_7$ — D_7 нуқтанинг (ёки D_6 нуқтанинг) абсолют тезланиши;
- $a_c = K_a \cdot \pi c$ — C нуқтанинг абсолют тезланиши;
- $\varepsilon_3 = \frac{a'_{ba}}{l_{CB}}$ [сек⁻²] — 3 звенонинг бурчак тезланиши;
- $\varepsilon_5 = \frac{a'_{cb}}{l_{CB}}$ — 5 звенонинг бурчак тезланиши;
- $\varepsilon_7 = \frac{a'_{c_6}}{l_{O_4 C_6}}$ — 6 звенонинг (ёки 7 звенонинг) бурчак тезланиши;
- $\varepsilon_8 = \frac{a'_{d_8}}{l_{O_4 D_8}}$ — 8 звенонинг бурчак тезланиши.

Шаклдан кўринишича, 3, 6 ва 8 звенолар шу онда секинлашиш ҳолатида, 6 звено эса тезланиш ҳолатида бўлади.

36-масала. 9. 20-шакл, *a* да кўрсатилган механизмнинг вазияти учун тезликлар плани билан тезланишлар плани тузилсин.

Етақловчи звено секинлашиш ҳолатида бўлиб, унинг бурчак тезлиги ω_2 ва бурчак тезланиши ε_2 ; механизм K_M масштабда чизилган, ундаги *B*, *C*, *D*, *E*, *F* нуқталарнинг нисбий ва абсолют қизиқли тезликлари билан тезланишлари ҳамда 3, 4, 5, 6, 7, 8 звеноларнинг бурчак тезликлари билан бурчак тезланишлари, механизмдаги звеноларнинг секинлашиш ёки тезланиш ҳолатлари аниқлансин.

Еч н ш: тезланишлар плани тузишни *A* нуқтанинг тезлигини ва тезлик масштабини топилдан бошлаймиз:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{OA} \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

$$K_v = \frac{v_A}{\rho a} \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Ихтиёрий ρ нуқтани тезликлар планининг қутби деб оламиз-да, шу нуқтадан $\rho a \perp O_1A$ қилиб қўямиз (9. 20-шакл, б). *B* нуқтада иккита нуқта бор: булардан бири— B_3 —3 звенога (тошга), иккинчиси эса B_4 —4 звенога (кулисга) тегашлидир.

B нуқта учун тезликларнинг вектор тенгламаси қуйидаги шаклда ёзилади:

$$\vec{v}_{B_3} = \vec{v}_A + \vec{v}_{B_3A}$$

$$\vec{v}_{B_3} = \vec{v}_{B_4} + \vec{v}_{B_3B_4}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, *a* нуқтадан AB_3 га тик, иккинчисига биноан эса ρ қутбдан (чунки, $v_{B_4} = 0$) AB_3 га параллел қизиқлар ўтказамиз; ўтказилган иккала қизиқнинг кесишув нуқтаси b_3 бўлади. b_4 нуқта қутбда ётади.

C нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини топил учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{ac}}{\overline{ab_3}} = \frac{AC}{AB_3}; \quad \overline{ac} = \overline{ab_3} \cdot \frac{AC}{AB_3} > ab_3$$

c нуқта $\overline{ab_3}$ нинг давомида, *a* дан \overline{ac} масофада туради. *c* ни қутб билан туташтириб, ρc ни ҳосил қиламиз. *D* нуқтанинг тезлигини (ёки *D* нуқтанинг тезликлар планидаги ўрнини) топил учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_D = \vec{v}_C + \vec{v}_{DC}; \quad \vec{v}_D = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{DO_2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги *c* нуқтадан CD га тик, иккинчисига кўра эса ρ қутбдан (чунки, $v_{O_2} = 0$) O_2D га тик қизиқ ўтказамиз; уларнинг кесишув нуқтаси *d* бўлади.

E_3 ва E_6 нуқталарнинг тезликлар планидаги ўрнини топил учун қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{pe_3}}{\overline{pd}} = \frac{O_2E_3(6)}{O_2D}; \quad \overline{pe_3} = \overline{pe_6} = \overline{pd} \cdot \frac{O_2E_3(6)}{O_2D} < \overline{pd}$$

e_8 ёки e_6 нуқта p билан d нинг оралмида, қутбдан $pe_{8(6)}$ масофага ётади (9. 20-шакл, б).

E_8 билан E_7 нуқталарнинг тезликларини қуйидаги вектор тенгламалар орқали боғланган:

$$\begin{aligned}\bar{v}_{E_8} &= \bar{v}_{E_7} + \bar{v}_{E_8 E_7} \\ \bar{v}_{E_7} &= \bar{v}_{O_3} + \bar{v}_{E_7 O_3}\end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, тезликлар планидаги e_8 нуқтадан $O_3 F$ га параллел, иккинчисига биноан эса p нуқтадан (чунки, $v_{O_3} = 0$) $O_3 F$ га тик ўтказамиз; ўтказилган иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси e_7 бўлади.

F нинг тезликлар планидаги ўрни $\bar{p}e_7$ нинг давомида, $\bar{p}f$ масофада бўлиб, қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{\bar{p}f}{\bar{p}e_7} = \frac{O_3 F}{O_3 E_7}; \quad pf = pe_7 \cdot \frac{O_3 F}{O_3 E_7} > pe_7$$

K нуқтанинг тезликлар планидаги ўрни қуйидаги вектор тенгламалардан топилади:

$$\begin{aligned}\bar{v}_K &= \bar{v}_F + \bar{v}_{KF} \\ \bar{v}_K &= \bar{v}_x + \bar{v}_{Kx}\end{aligned}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги f нуқтадан (ёки v_F тезлик векторининг учидан) KF га тик, иккинчисига кўра эса p дан xx га параллел чизиқлар ўтказамиз; ўтказилган иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси k бўлади (9. 20-шакл, б).

Шундай қилиб, $rab_3cde_8e_7[kp]$ тезликлар плани ҳосил бўлди, унда қуйидагиларни топамиз:

- $v_{B_3} = K_v \cdot \bar{pb}_3$ [м сек⁻¹] — тошдаги B_3 нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_{B_3 A} = K_v \cdot \bar{pb}_3 a$ — B_3 нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;
- $v_C = K_v \cdot \bar{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_{DC} = K_v \cdot \bar{dc}$ — D нуқтанинг C га нисбатан тезлиги;
- $v_D = K_v \cdot \bar{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_{E_7} = K_v \cdot \bar{pe}_7$ — кулисадаги E_7 нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_{E_8 E_7} = K_v \cdot \bar{e}_8 e_7$ — E_8 нуқтанинг E_7 га нисбатан тезлиги (яъни тошнинг кулисага нисбатан тезлиги);
- $v_{E_8} = K_v \cdot \bar{pe}_8$ — E_8 нуқтанинг ёки E_6 нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_F = K_v \cdot \bar{pf}$ — F нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $v_{KF} = K_v \cdot \bar{kf}$ — K нуқтанинг F га нисбатан тезлиги;
- $v_K = K_v \cdot \bar{pk}$ — K нуқтанинг абсолют тезлиги;
- $\omega_2 = \frac{v_{B_3 A}}{l_{B_3 A}}$ [сек⁻¹] — 3 звенонинг (тошнинг) бурчак тезлиги;
- $\omega_5 = \frac{v_{DC}}{l_{DC}}$ — 5 звенонинг бурчак тезлиги;
- $\omega_6 = \frac{v_{E_7 D}}{l_{O_3 E_7}}$ — 6 звенонинг бурчак тезлиги;

$$15. \omega_7 = \frac{v_{E_7}}{l_{O_1 E_7}} \text{ — 7 звенонинг бурчак тезлиги;}$$

$$16. \omega_9 = \frac{v_{K_F}}{l_{K_F}} \text{ — 9 звенонинг бурчак тезлиги;}$$

$$17. \omega_{10} = \frac{v_K}{\infty} = \frac{v_K}{\infty} = 0 \text{ — 10 звенонинг бурчак тезлиги (бу тезлик волга тенг).}$$

Тезланишлар плани тузишни A нуқтанинг нормал ва уривма тезланишларини топилдан бошлаймиз:

$$a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{O_1 A}} \quad a_A^t = \varepsilon_2 \cdot l_{O_1 A}$$

Тезланишлар ва a_A^t нинг масштаб ифодаси қуйидагича топилди:

$$K_a = \frac{a_A^n}{\pi a} \left[\frac{m \text{ сек}^{-2}}{mm} \right]$$

$$\tau_a = \overline{aa'} = \frac{a_A^t}{K_a} \text{ [мм]}$$

Ихтиёрый π нуқтани қутб деб олиб $\overline{\pi a} \parallel O_1 A$ ва $\tau_a \perp O_1 A$ қилиб қўямиз-да, a ни π билан туташтириб $\overline{\pi a'}$ тезланишлар учбурчагини ҳосил қиламиз. (9. 20- шакл, в). B_3, B_4 нуқталарнинг тезланишлари учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузимиз:

$$\overline{a_{B_3}} = \overline{a_A} + \overline{a_{B_3 A}^n} + \overline{a_{B_3 A}^t}; \quad \overline{a_{B_3}} = \overline{a_{B_3 A}} + \overline{a_{B_3 B_4}} + \overline{a_{кор}}$$

$a_{B_3 A}^n$ ни ва унинг масштаб ифодасини қуйидагича топамиз:

$$a_{B_3 A}^n = \frac{v_{B_3 A}^2}{l_{B_3 A}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{b_3 a} = \frac{a_{B_3 A}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

Корюлис тезланиши ва унинг масштаб ифодаси қуйидагича топилди:

$$\overline{a_{кор}} = 2\omega_4 \cdot v_{B_3 B_4} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$\tau_{кор} = \frac{a_{кор}}{K_a} \text{ [мм]}$$

B_3 нуқтанинг тезлик тенгламалари иккала томонини K_a га бўлиб, бу тенгламаларни қуйидаги масштаб кесмалар кўринишида ёзамиз:

$$\overline{\pi b_3} = \overline{\pi a} + \overline{n_{b_3 a}} + \overline{\tau_{b_3 a}}$$

$$\overline{\pi b_3} = 0 + \overline{b_3 b_4} + \overline{\tau_{кор}}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра $\overline{\pi a'}$ нинг a' учидан $n_{b_3 a}$ ни AB_3 га параллел қилиб қўямиз ва унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз. Шу тенгламаларнинг иккинчисига биноан, тезланишлар кутбидан (π дан) $\tau_{кор}$ ни ўз йўвалишида қўйиб (чунки, $a_{B_4} = 0$), унинг учидан AB_3 га параллел ўтказамиз; ўтказилган тик чизиқ билан параллел чизиқнинг кесилуви нуқтаси b_3 бўлади, b_3 ни қутб билан туташтириб, $\overline{\pi b_3}$ ни ҳосил қиламиз.

C нуқтанинг тезланишлар планидаги ўрни қуйидаги пропорциядан топилди:

$$\frac{\overline{ac}}{ab_3} = \frac{AC}{AB_3}; \quad \overline{ac} = \overline{ab_3} \cdot \frac{AC}{AB_3} > \overline{ab_3}$$

c нуқта ab_3 нинг давомида ётади.

D нуқтанинг тезланишлар планидаги ўрни қуйидаги вектор тенгламалардан топилди:

$$\overline{a}_D = \overline{a}_C + \overline{a}_{DC}^n + \overline{a}_{DO}^t \quad \overline{a}_D = \overline{a}_{O_2} + \overline{a}_{DO_2}^n + \overline{a}_{DC}^t$$

\overline{a}_{DC}^n билан $\overline{a}_{DO_2}^n$ ни ва уларнинг масштаб кфодаларини топамиз:

$$a_{DC}^n = \frac{v_{DC}^2}{l_{DC}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad a_{DO_2}^n = \frac{v_{DO_2}^2}{l_{O_2D}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}$$

$$n_{dc} = \frac{a_{DC}^n}{K_a} \text{ [мм]}; \quad n_{da_2} = \frac{a_{DO_2}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

Вектор тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезланишлар планидаги C нуқтадан n_{dc} ни қўйиб, унинг учидан ўзига тик ўтказамиз; тенгламаларнинг иккинчисига биноан, π дан (чунки, $\overline{a}_{O_2} = 0$) n_{da_2} ни қўйиб, унинг учидан ўзига тик чизиқ ўтказамиз-да, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси d ни топамиз. Уни π билан туташтириб, \overline{pd} ни ҳосил қиламиз. E нуқтанинг иккита ўрни бор, улардан бири δ звеного ва иккинчиси b звеного тегишлидир.

Шу нуқталарнинг тезланишлар планидаги ўрнини қуйидаги пропорциядан топамиз:

$$\frac{\overline{pe_8}}{\overline{pd}} = \frac{\overline{pe_8}}{\overline{pd}} = \frac{O_2E}{O_2D}; \quad \overline{pe_8} = \overline{pe_8} = \overline{pd} \cdot \frac{O_2E}{O_2D} < \overline{pd}$$

e_8 ва e_8 нуқталар \overline{pd} да бўлиб, π дан $\overline{pe_8}$ масофада туради.

E_8 билан E_7 (кулисадаги нуқта) тезланишлари орасида қуйидаги вектор борлиғи бор:

$$\overline{a}_{E_8} = \overline{a}_{E_7}^n + \overline{a}_{E_7}^t + \overline{a}_{E_8E_7} + \overline{a}_{кор}$$

Кориолис тезланиши ($\overline{a}_{кор}$) билан $a_{E_7}^n$ ва уларнинг масштаб кфодалари қуйидагича топилди:

$$a_{кор} = 2\omega_7 \cdot v_{E_7E_8} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad \tau_{кор} = \frac{a_{кор}}{K_a} \text{ [мм]}$$

$$a_{E_7}^n = \frac{v_{E_7}^2}{l_{O_2E_7}} \text{ [м сек}^{-2}\text{]}; \quad n_{e_7} = \frac{a_{E_7}^n}{K_a} \text{ [мм]}$$

E_8 нуқта тезланиши вектор тенгласининг иккала томонини K_a га бўлиб, бу тенгламани қуйидаги масштаб вектор кесмалар кўринишида ёзамиз:

$$\overline{pe_8} = \overline{pe_7} = \overline{te_7} + \overline{e_8e_7} + \overline{\tau}_{кор}$$

Бу тенгламани қуйидагича ечамиз: n_{e_8} ни кутдан бошлаб қўямиз ва унинг учидан тик чизиқ ўтказамиз. $\tau_{кор}$ ни $\overline{pe_8}$ га учма-уч қўйиб, унинг бошидан ўзига тик ўтказамиз; ўтказилган иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси e_7 бўлади; e_7 ни π билан туташтириб, $\overline{pe_7}$ ни ҳосил қиламиз.

F ва K нуқталарнинг тезланишларини топиш ўқувчига ҳавола қилинадн. Шундай қилиб, $aa' b' cc' dd' ee' ee' e' \pi$ тезланишлар плавн ҳосил бўлди (9. 20-шакл, в), ундан қуйидагиларни топамиз:

1. $a_A = K_a \cdot \overline{pa}$ [м сек⁻²] — A нуқтанинг тўла тезланиши;
2. $a'_{B_3A} = K_a \cdot \tau_{b_3a} - B_3$ нуқтанинг A га нисбатан айланмишидаги уринма тезланиши;
3. $a_{B_3A} = K_a \cdot \overline{b_3a}$ — B_3 нуқтанинг A га нисбатан айланмишидаги тўла нисбий тезланиши;
4. $a_C = K_a \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезланиши;
5. $a'_{DC} = K_a \cdot \tau_{dc} - D$ нуқтанинг C га нисбатан айланмишидаги уринма тезланиши;
6. $a'_D = K_a \cdot \tau_d - D$ нуқтанинг O_2 атрофида айланмишидаги уринма тезланиши (абсолют уринма тезланиши);
7. $a_D = K_a \cdot \overline{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезланиши;
8. $a_{E_6} = a_{E_6} = K_a \cdot \overline{pe_6} - E_6$ ёки E_6 нуқтанинг абсолют тезланиши;
9. $a_{E_6E_7} = K_a \cdot \overline{e_6e_7} - E_6$ нуқтанинг нисбий тезланиши;
10. $a'_{E_7} = K_a \cdot \tau_{e_7} - E_7$ нуқтанинг уринма тезланиши;
11. $a_{E_7} = K_a \cdot \overline{pe_7} - E_7$ нуқтанинг абсолют тезланиши;
12. $\varepsilon_3 = \frac{a'_{B_3A}}{l_{B_3A}}$ [сек⁻²] ↑ — 3 звенонинг бурчак тезланиши;
13. $\varepsilon_5 = \frac{a'_{DC}}{l_{DC}}$ — 5 звенонинг бурчак тезланиши;
14. $\varepsilon_6 = \frac{a'_D}{l_{O_2D}}$ — 6 ва 8 звеноларнинг бурчак тезланиши;
15. $\varepsilon_7 = \frac{a'_{E_7}}{l_{O_7E_7}}$ — 7 звенонинг бурчак тезланиши.

Шаклдан кўринишича, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ва 8 звенолар секинланиш ҳолатида бўлади.

10-§. Тўрт звеноли шарнир механизм учун В. Т. Костициннинг юзалар қонуни

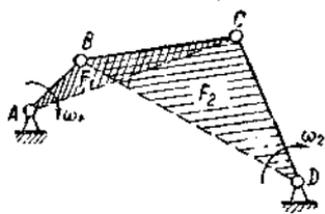
Профессор В. Т. Костицин [23] шарнирли тўрт звеноли механизм учун юзалар қонуни деб аталувчи масалани яхши ёритиб берган. Бу қонунда 4-звеноли механизмдаги айланувчи звенолар (кривошип ва коромисло) билан шатун ўртасида ҳосил бўлган учбурчакликлар билан шу айланувчи звеноларнинг бурчак тезликлари ўртасида маълум қонуният борлигини аниқлаган; у қонуният қуйидаги тенглик орқали ифодаланади (10. 1-шакл):

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{F_1}{F_2} \quad (4. 37)$$

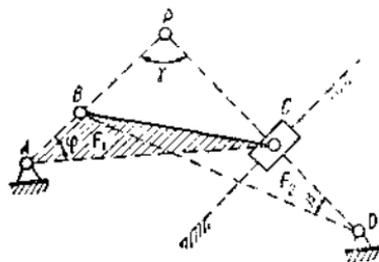
Бу ерда i — айланувчи икки звено орасидаги узатиш сони,
 ω_1 — кривошипнинг бурчак тезлиги,
 ω_2 — коремислоннинг бурчак тезлиги,
 F_1 — ABC учбурчакнинг юзи,
 F_2 — BDC учбурчакнинг юзи.

(4. 37) тенгликни исботлаш учун 10. 2-шаклдан фойдаланамиз. $\triangle ABC$ ning юзи қуйидагича топилади:

$$F_1 = \frac{AC \cdot AB \cdot \sin \varphi}{2} \quad (4. 38)$$



10.1-шакл.



10.2-шакл.

PAC учбурчакдан:

$$\frac{AC}{\sin \varphi} = \frac{PC}{\sin \psi}; \quad AC = PC \cdot \frac{\sin \psi}{\sin \varphi} \quad (4. 39)$$

AC ning қийматини (4. 39) дан (4. 38) га қўйиб қуйидагини оламиз:

$$F_1 = PC \cdot \frac{AB}{2} \cdot \sin \varphi \quad (4. 40)$$

BDC учбурчакнинг юзи қуйидагича топилади:

$$F_2 = \frac{BD}{2} \cdot CD \cdot \sin \beta \quad (4. 41)$$

PBD учбурчакдан қуйидагини оламиз:

$$\frac{BD}{\sin \gamma} = \frac{PB}{\sin \beta}; \quad BD = PB \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \beta} \quad (4. 42)$$

BD ning қийматини (4. 42) дан (4. 41) га қўйиб қуйидагини қосил қиламиз:

$$F_2 = \frac{PB \cdot \sin \gamma}{2 \sin \beta} \cdot CD \cdot \sin \beta = \frac{PB}{2} \cdot CD \cdot \sin \gamma \quad (4. 43)$$

(4. 33) ва (4. 40) ларни (4. 37) га қўйиб қуйидагини оламиз:

$$i = \frac{F_1}{F_2} = \frac{PC \cdot AB}{PB \cdot CD} = \frac{PC}{PB} \cdot \frac{r}{R} \quad (4. 44)$$

$v_B = PB \cdot \omega_p$; $v_c = PC \cdot \omega_p$ — эканлигини эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{PC}{PB} = \frac{v_c}{v_B} \quad (4.45)$$

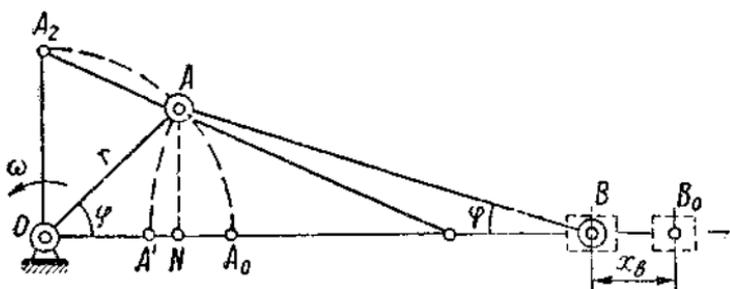
(4.39) ни (4.38) га қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$i = \frac{v_c}{v_B} \cdot \frac{r}{R} = \frac{\omega_2 \cdot R \cdot r}{\omega_1 \cdot r \cdot R} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{F_1}{F_2} \quad (4.46)$$

Механизмларнинг кинематик схемаларини берилган тезликларга қараб синтезлашда, тегишли звено ўлчовларини шу учбурчаклар юзи қонунига асосланиб топиш жуда қулай усулдир.

11-§. Аналитик кинематика

Жуда ҳам аниқ ҳисоблашни лозим бўлган механизмлар кинематикасини ўрганишда аналитик методдан фойдаланилади. Қўп звеноли механизмлар учун бу метод анчагина ноқулай бўлади, ammo кам звеноли механизмлар учун жуда яхши натижалар беради. Жумладан, аксиал ва дезаксиал кривошип-шатули ме-



11.1-шакл. Аксиал кривошип-шатули механизм.

низмлар (тўрт звеноли механизмлар) учун ва тўрт звеноли кулисали механизмларнинг ҳамма турлари учун аналитик методдан фойдаланиш қулайдир.

Масалан, 11.1-шаклда кўрсатилган аксиал кривошип-шатули механизм берилган бўлсин. Механизмнинг етакловчи звеноси — кривошип ($OA = r$) соат стрелкаси юрадиган томонга тескари айланади.

Ҳисоблаш ишларини кривошипнинг OA_0 вазиятидан бошлаймиз. Бунда $t = 0$ бўлса, $\varphi = 0$ бўлади. Чексиз кичик вақт ичида кривошип OA вазиятига келган бўлсин, бунда кривошип φ бурчакка айланиб, механизм OAB вазиятга келади. $У$ ҳолда, ползун

маркази B_0 вазиятдан B вазиятга кўчади. Агар $B_0B = x_B$ бўлса, уни аниқлаш қийин эмас:

$$x_B = (OA_0 + A_0B_0) - (OA \cdot \cos \varphi + AB \cdot \cos \psi)$$

$AB = l$; $\frac{r}{l} = \lambda$ ва $\angle ABO = \psi$ деб белгиласак, тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$x_B = (r + l) - (r \cdot \cos \varphi + l \cos \psi)$$

ёки

$$x_B = r(1 - \cos \varphi) + l(1 - \cos \psi)$$

OAB учбурчакка синуслар теоремасини татбиқ этиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{r}{\sin \psi} = \frac{l}{\sin \varphi}; \quad \sin \psi = \lambda \cdot \sin \varphi$$

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}$$

шунинг эътиборига олиб, тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$x_B = r(1 - \cos \varphi) + l(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}) \quad (4. 47)$$

Бу тенглама аксиал кривошип-шатунли механизм ползуни марказининг ҳаракат қонунини ифодалайди.

Хусусий ҳоллар:

а) $\varphi = 0$ бўлса, $x_B = 0$ бўлади.

б) $\varphi = 180^\circ$ бўлса, $x_B = 2 \cdot r$ бўлади.

(4. 47) тенгламадан t аргументга нисбатан бир марта ҳосила олиб, ноланинг тезлигини, икки марта ҳосила олиб эса ползунининг тезланишини топамиз:

$$v_B = \frac{dx_B}{dt} = r \cdot \sin \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{2\lambda l \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt}}{2\sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2}}$$

ёки, $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ эканлигини эътиборга олсак:

$$v_B = \omega \cdot r \left(\sin \varphi + \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2\sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2}} \right) \quad (4. 48)$$

нелик чиқадди. Тезланиш эса:

$$a_B = \omega^2 \cdot r \left\{ \cos \varphi + \lambda \cdot \frac{4 \cos 2\varphi [1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2] + \lambda^3 \cdot \sin^2 2\varphi}{4(1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (4. 49)$$

бўлади.

Хусусий ҳоллар:

Агар $\varphi = 0$ бўлса, $v_B = 0$; $a_B = \omega^2 \cdot r(1 + \lambda)$ бўлади.

10*

Агар $\varphi = 90^\circ$ бўлса, $v_B = \omega \cdot r$; $a_B = 0$ бўлади.

Агар $\varphi = 180^\circ$ бўлса, $v_B = 0$; $a_B = -\omega^2 \cdot r (1 + \lambda)$ бўлади.

(4. 48) формуладаги квадрат илдиз остидаги ифодани Ньютон биномига ёйсақ, қуйидаги тенглик келиб чиқади:

$$(1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} (\lambda \cdot \sin \varphi)^2 - \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 4} (\lambda \cdot \sin \varphi)^4 - \\ - \frac{1 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6} (\lambda \cdot \sin \varphi)^6 - \dots$$

Синусларнинг жуфт кўрсаткичлисини қуйидагига алмаштирилса бўлади:

$$\sin^2 \varphi = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\varphi);$$

$$\sin^4 \varphi = \frac{1}{2^3} (3 - 4 \cos 2\varphi + \cos 4\varphi);$$

$$\sin^6 \varphi = \frac{1}{2^5} (10 - 15 \cos 2\varphi + 6 \cos 4\varphi - \cos 6\varphi) \text{ в. х. к.}$$

Бу қийматларни (4. 47) тенгламага қўйиб ва синуснинг 6- даражаси билан чекланиб қуйидагини оламиз:

$$x_B = r \cdot (A_0 + A_1 \cos \varphi + A_2 \cos 2\varphi + A_4 \cos 4\varphi + \\ + A_6 \cos 6\varphi) \dots \quad (4. 47a)$$

Бу ерда:

$$A_0 = 1 - \frac{\lambda}{4} + \frac{3}{64} \lambda^3 + \frac{5}{256} \lambda^5$$

$$A_1 = -1$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \lambda - \frac{3}{16} \lambda^3 - \frac{5}{512} \lambda^5$$

$$A_4 = \frac{\lambda^3}{64} + \frac{3}{256} \lambda^5$$

$$A_6 = -\frac{3}{1536} \lambda^5$$

тезликнинг

$$v_B = \frac{dx_B}{dt} = -r\dot{\varphi} (A_1 \cdot \sin \varphi + 2A_2 \cdot \sin 2\varphi + \\ + 4A_4 \cdot \sin 4\varphi + 6A_6 \cdot \sin 6\varphi)$$

тезланишнинг эса

$$a_B = \frac{d^2 x_B}{dt^2} = -r \cdot \dot{\varphi}^2 (A_1 \cdot \cos \varphi + 4A_2 \cdot \cos 2\varphi + \\ + 16A_4 \cdot \cos 4\varphi + 36A_6 \cdot \cos 6\varphi)$$

эканлигини кўриш қийин эмас. Шатуннинг бурчак тезлиги ва тезланиши қуйидагича топилади:

$$\cos \psi \cdot \dot{\psi} = \lambda \cdot \dot{\varphi} \cos \varphi, \quad \dot{\psi} = \frac{\lambda \dot{\varphi} \cos \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

Агар $\lambda = \frac{1}{3}$ бўлса, юқоридаги тенгликнинг иккинчи ҳадидан кейингиларини ташлаб юборса ҳам бўлади. У ҳолда қуйидаги тақрибий тенгликни ҳосил қилишимиз мумкин:

$$\sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2} = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \varphi$$

Бу тенгликни (4. 47) тенгликка қўйсақ, B нуқтанинг ҳаракат қонуни учун қуйидаги тенглик келиб чиқади:

$$x_B \cong r (1 - \cos \varphi) + \frac{r^2}{2l} \cdot \sin^2 \varphi \quad (4. 47б)$$

(4. 47б) тенгламани бир марта дифференциаллаш йўли билан ползуннинг тезлиги учун қуйидаги тенгликни ҳосил қилиш мумкин:

$$v_B = \frac{dx_B}{dt} = r \cdot \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} + \frac{r^2}{2l} \cdot \sin 2\varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

$$v_B = r \cdot \sin \varphi \cdot \omega + \frac{r^2}{2l} \cdot \sin 2\varphi \cdot \omega$$

ёки

$$v_B = r \cdot \omega \left(\sin \varphi + \frac{r}{2l} \sin 2\varphi \right) \quad (4. 48а)$$

Буни яна бир марта дифференциалласак, ползун марказининг тезланиши топилади:

$$a_B = \frac{dv_B}{dt} = \omega^2 \cdot r \left(\cos \varphi + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\varphi \right)$$

ёки

$$a_B = a_A \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi) \quad (4. 49а)$$

Агар $\varphi = 0$ бўлса, $v_B = 0$; $a_B = a_{\max} = \omega^2 \cdot r (1 + \lambda)$ бўлади.

$\varphi = 90^\circ$ бўлса, $v_B = \omega \cdot r$; $a_B = -\frac{\omega^2 \cdot r^2}{l}$ бўлади.

$\varphi = 180^\circ$ бўлса, $v_B = 0$; $a_B = -\omega^2 \cdot r(1 - \lambda)$ бўлади.

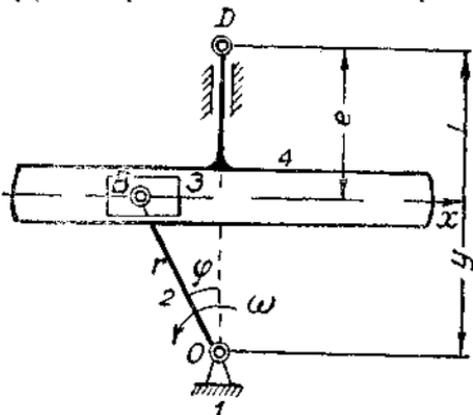
$\varphi = 270^\circ$ бўлса, $v_B = -\omega \cdot r$; $a_B = -\frac{\omega^2 \cdot r^2}{l}$ бўлади.

$\varphi = 360^\circ$ (ёки $\varphi = 0^\circ$) бўлса, $v_B = 0$; $a_B = \omega^2 \cdot r (1 + \lambda)$ бўлади.

Шундан техникада учрайдиган баъзи бир функционал боғланишли механизмлар билан танишиб, уларнинг аналитик кинематикасини

ўрганамиз. Бундай механизмлар жумласига синус, косинус, тангенс, котангенс, секанс, коссеканс ва шу каби функцияларни олиш мумкин бўлган механизмлар киради.

11. 2-шаклда кулисали механизм тасвирланган. Бу механизмнинг 4 кулисаси фақат вертикал ўқ бўйлаб илгариланма-қайтар ҳаракат қилади. 3 тош эса 2 кривошип билан биргаликда фақат айланма ҳаракатда бўлади. Тош кулиса билан бирга вертикал ўқ бўйлаб илгариланма-қайтар ҳаракат қилади ва аynи вақтда кулиса x бўйлаб сирғанади (нисбий ҳаракат қилади).



11.2-шакл. Косинус механизми:

1 — қўзғалмас звено; 2 — кривошип; 3 — тош;
4 — кулиса.

11. 2-шаклда тасвирланган механизм косинус механизми деб аталади.

Кулисага тегишли ихтиёрий D нуқтанинг ҳаракат қонуни қуйидаги тригонометрик тенгламадан топилади:

$$y = OD = r \cos \varphi + BD$$

ёки

$$y = e + r \cdot \cos \varphi$$

$\varphi = \omega \cdot t$ бўлса, y учун қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$y = e + r \cdot \cos \omega t \quad (4. 50)$$

Бу тенгламадан вақтга нисбатан бир марта ҳосила олиб, кулисанинг тезлигини, икки марта ҳосила олиб эса кулисанинг тезланишини топамиз. Айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$v_D = v_B = \frac{dy}{dt} = -r \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad (4. 51)$$

$$a_D = a_B = \frac{d^2y}{dt^2} = -r \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t \quad (4. 52)$$

Хусусий ҳоллар:

$t = 0$ бўлганда $\varphi = 0$; $v_B = 0$; $a_B = -\omega^2 \cdot r = a_{\min}$ бўлади,

$\varphi = 90^\circ$ бўлганда $v_B = v_{\max} = -r \cdot \omega$; $a_B = 0$ бўлади,

$\varphi = 180^\circ$ бўлганда $v_B = 0$; $a_B = +\omega^2 \cdot r = a_{\max}$ бўлади.

11. 3-шакл, a да кулисали механизмлардан бири кўрсатилган. Бу механизмдаги 1 кривошип айланма ҳаракат қилса, 2 тошдаги

нуқта фақат илгариланма-қайтар ҳаракатда бўлади. Шундай қилиб, B нуқтанинг A га нисбатан вазияти $y = OB$ билан аниқланади.

Бу механизм *секанс механизми* деб аталади.

Секанс механизмидаги B нуқтанинг ҳаракат қонуни қуйидагича бўлади:

$$OAB \text{ учбурчакдан } \sec \varphi = \frac{OB}{OA}$$

$OB = y$; $OA = h$ ва $\varphi = \omega \cdot t$ деб олиб, тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$y = h \cdot \sec(\omega t) \quad (4.53)$$

Бу тенгламадан вақтга нисбатан бир марта ҳосила олиб, B нуқтанинг тезлигини ва икки марта ҳосила олиб, B нуқтанинг тезланишини тонамиз. Айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$v_B = \frac{dy}{dt} = \omega \cdot h \frac{\sin(\omega t)}{\cos^2(\omega t)} \quad (4.54)$$

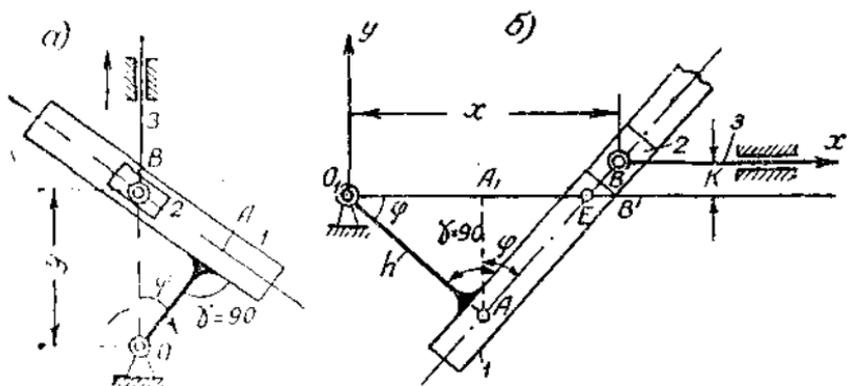
$$a_B = \frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 \cdot h \left[\frac{\cos^3(\omega t) + \sin(\omega t) \sin(2\omega t)}{\cos^4(\omega t)} \right] \quad (4.55)$$

Хусусий ҳоллар:

$$\varphi = 0; \quad y = h; \quad v_B = 0; \quad a_B = a_{\max} = \omega^2 h$$

11. 3-шакл, б да кулисали механизмлардан яна бири кўрсатилган. Бу механизмдаги 1 звено O_1 ўқи атрофида айланма (тебранма) ҳаракат қилганда, 2 звено xx горизонтал тўғри чизиқ бўйлаб илгариланма-қайтар ҳаракат қилади.

Бу механизм ҳам *секанс механизми* деб аталади.



11.3- шакл. Секанс механизмлари.

2 звенога (ёки 3 звенога) тегишли B нуқтанинг координаталар боши (O_1) га нисбатан вазияти $x = O_1B'$ масофа билан белгилади. B нуқтанинг ҳаракат қонунини берувчи тенглама қуйидагича ёзилади:

$$x = O_1E + EB' = O_1A \cdot \sec \varphi + BB' \operatorname{tg} \varphi$$

$$O_1A = h; \quad BB' = k \quad \text{ва} \quad \varphi = \omega \cdot t \quad \text{деб олиб, қуйидагини ёзамиз:}$$

$$x = h \cdot \sec(\omega t) + k \cdot \operatorname{tg}(\omega t) \quad (4. 56)$$

Хусусий ҳолда $k = 0$ бўлади, у ҳолда тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$x = h \cdot \sec(\omega t)$$

Демак, 11. 3-шакл, a даги механизм аксиал (марказий) секанс механизми, 11. 3-шакл, b даги механизм эса дезаксиал (марказиймас) секанс механизмидир.

Дезаксиал секанс механизмининг ҳаракат қонунидан бир марта ҳосила олиб, B нуқтанинг тезлигини, икки марта ҳосила олиб эса B нуқтанинг тезланишини топамиз:

$$v_B = \frac{dx}{dt} = -\omega \cdot h \frac{\sin(\omega t)}{\cos^2(\omega t)} + k \cdot \omega \cdot \sec^2(\omega t)$$

$$\text{ёки} \quad v_B = \omega \cdot \left(\frac{h \cdot \sin \omega t + k}{\cos^2 \omega t} \right) \quad (4. 57)$$

$$a_B = \frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 \left[\frac{h \cdot \cos^3 \omega t + (h \cdot \sin \omega t + k) \cdot \sin 2\omega t}{\cos^4 \omega t} \right] \quad (4. 58)$$

11. 4-шаклда аксиал кривошип-шатунли механизм кўрсатилган. Бу механизм 3 шатунининг шу вазияти учун оний тезлик маркази P нуқтададир. Шаклда механизмнинг шу вазияти учун тезликлар ва тезланишлар плани ҳам кўрсатилган. AB шатуннинг P атропоида айланишидаги бурчак тезлигини аналитик усулда топамиз.

$$v_A = OA \cdot \omega_2 = r \omega_2$$

$$v_A = AP \cdot \omega_P$$

Буларнинг иккаласини бир-бирига тенглаб, $\omega_P = \frac{r \cdot \omega_2}{AP}$ ни ҳосил қиламиз.

$\triangle APE$ дан:

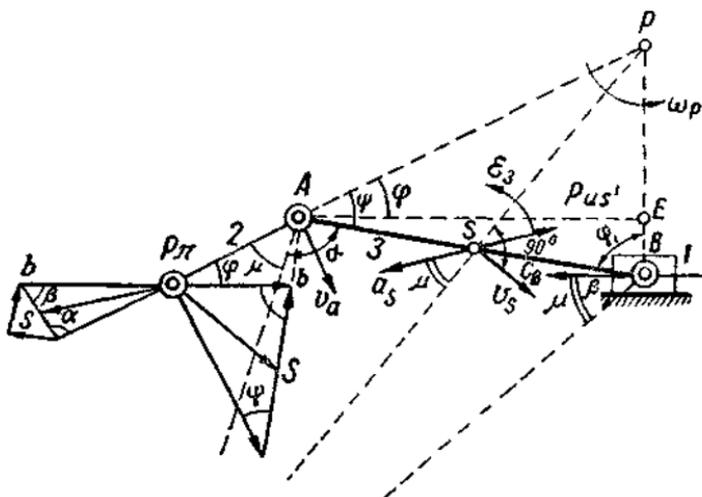
$$AP = \frac{AE}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{AB^2 - EB^2}}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{r^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi}$$

келиб чиқади. Буни юқоридаги тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\omega_p = \frac{r \cdot \omega \cdot \cos \varphi}{\sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (4. 59)$$

Бу тенгламадан бир неча марта ҳосила олиб, 3 звенонинг оний бурчак тезланишини топамиз:

$$\varepsilon_p = \omega^2 \cdot r = \frac{2 \sin \varphi (l^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi) + r^2 \cos \varphi \cdot \sin 2\varphi}{2 \sqrt{(l^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi)^3}} \quad (4. 60)$$



11.4-шакл. Аксиал кривошип-шатунли механизм.

Биз юқорида механизм звеноларидаги нуқта траекторияси қандай топилишини кўриб ўтдик. Агар бизга шу траекториянинг бирор нуқтасининг эгрилик радиусини топиш лозим бўлса, у ҳолда шу нуқтанинг чизикли тезлигини унинг нормал тезланишига бўламиз, яъни:

$$\rho_i = \frac{v_i^2}{a_i^n}$$

Агар траектория тўғри чизик бўлса, унинг эгрилик радиуси $\rho = \infty$, айлана ёни эса $\rho_i = \text{const}$ бўлади. Кўпинча траектория овал шаклида бўлади, бундай ҳолларда эгрилик радиуси ўзгаришчан бўлади. Эгрилик радиусини қуйидаги формулалардан ҳам топса бўлади:

$$\rho_i = \frac{a_i^c}{e_i} \quad \text{ёки} \quad \rho_i = \frac{a_i^n}{\omega_i^2} \quad (4. 61)$$

v_i , a_i^t , a_i^n , ε_i , ω_i ларни кинематик диаграммалар, тезлик ва тезланишлар планлари ёки аналитик усуллардан фойдаланиб топиш қийин эмас.

Биз аналитик методдан фойдаланиб, ҳаракат қонунининг максимал ёки минимал ҳолатларини аниқлай олишимиз мумкин, чунки бу ҳолатларни билиш механизмнинг пухта ишлашини таъминлаш учун энг зарур шартлардан биридир. Масалан, звено нуқтасининг ҳаракат (оралиқ ёки йўл) қонуни $x = x(\varphi)$ кўринишида берилган бўлса, ундан механизмнинг умумлашган координатасига нисбатан ҳосила олиб, нолга тенглаштирамиз, яъни:

$$\frac{\partial x(\varphi)}{\partial \varphi} = 0 \quad (4.62)$$

Бу тенгликдан аргумент φ нинг қайси қийматларида экстремал қийматларга эга бўлишини билиш қийин эмас.

Агар тезликнинг экстремал қийматларини топмоқчи бўлсак, у ҳолда берилган тезлик функцияларидан φ га нисбатан бир марта ҳосила олиб, уни нолга тенглаштирамиз, яъни:

$$\frac{\partial v}{\partial \varphi} = \frac{\partial \dot{x}(\varphi)}{\partial \varphi} = 0 \quad (4.63)$$

Бу тенгликдан φ нинг қайси қийматларида тезлик экстремал қийматларга эга бўлишligини билиш осондир.

Масалани худди шундай тарзда давом эттириб, тезланишнинг экстремал қийматларини ва улар механизмнинг қайси ҳолатларида ҳосил бўлишини билмоқчи бўлсак, $x = x(\varphi)$ тезланиш тенгламасидан φ га нисбатан ҳосила олиб, нолга тенглаштирамиз, яъни:

$$\frac{\partial a}{\partial \varphi} = \frac{\partial \ddot{x}(\varphi)}{\partial \varphi} = 0 \quad (4.64)$$

Бу тенгликдан φ нинг қайси қийматларида (ёки механизмнинг қайси ҳолатларида) тезланиш экстремал қийматларга эга бўлиши ҳосил назарияси билан таниш бўлган ҳолда, жуда осонгина аниқланади.

Мисол тариқасида 11. 2-шаклдаги косинус механизм D нуқтаси ҳаракат тенгламасининг экстремал ҳолатларини текшириб чиқамиз:

$$\text{оралиқ } y = e + r \cdot \cos \varphi$$

$$\text{тезлик } v_D = -r \cdot \omega \cdot \sin \varphi$$

$$\text{тезланиш } a_D = -r\omega^2 \cdot \cos \varphi$$

Биринчи тенгламадан φ га нисбатан ҳосила олиб, уни нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = -r \cdot \sin \varphi = 0$$

$r \neq 0$, шунинг учун $\sin \varphi = 0$, бу ҳолат $\varphi = 0$ ёки $\varphi = 180^\circ$ га тўғри келади.

Шундай қилиб, D нуқтанинг энг катта ва энг кичик ҳолатлари $\varphi = 0$ ва $\varphi = 180^\circ$ бўлгандагина юз берар экан.

$$\varphi = 0, \quad y = y_{\max} = e + r; \quad \varphi = 180^\circ, \quad y_{\min} = e - r$$

Тезликнинг экстремал ҳолатларини топмоқ учун v_D дан φ га нисбатан ҳосила олиб, уни нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{dv_D}{d\varphi} = -r \cdot \omega \cdot \cos \varphi = 0$$

$r \cdot \omega \neq 0$, шунинг учун $\cos \varphi = 0$, бу ҳолат $\varphi = 90^\circ$ ёки $\varphi = 270^\circ$ га тўғри келади. Бу қийматларни тенгламага қўйиб қуйидагиларга эга бўламиз:

$$\begin{aligned} \varphi = 90^\circ, \quad v_D = v_{D_{\max}} &= -r \cdot \omega \\ \varphi = 180^\circ, \quad v_D = v_{D_{\max}} &= r \cdot \omega \end{aligned}$$

Тезланишнинг экстремал қийматларини топиш учун a_D тезланиш тенгламасидан φ га нисбатан ҳосила олиб, сўнгга чиққан натижани нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{da_D}{d\varphi} = +r\omega^2 \cdot \sin \varphi = 0$$

$r\omega^2 \neq 0$, шунинг учун $\sin \varphi = 0$, бу ҳолат фақат $\varphi = 0$ ёки $\varphi = 180^\circ$ бўлгандагина бўлади. φ нинг қийматларини тезланиш тенгламасига қўйиб, унинг экстремал қийматларини қуйидагича топамиз:

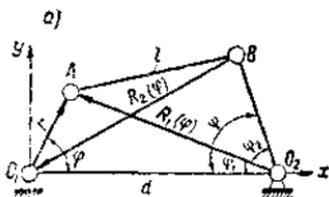
$$\begin{aligned} \varphi = 0, \quad a_D = a_{D_{\min}} &= -r\omega^2, \\ \varphi = 180^\circ, \quad a_D = a_{D_{\max}} &= r\omega^2 \end{aligned}$$

Тезлик ва тезланишларнинг экстремал қийматлари абсолют миқдорлари жиҳатидан бир-бирига тенг бўлиб, фақат йўналишлари қарама-қарши бўлади.

Энди 11. 5-шакл, a да келтирилган тўрт звеноли шарнир механизмнинг аналитик кинематикаси билан танишиб чиқамиз. Бу механизмни яхшидан иккита кулисали механизмга айлантириш маъқулдир. Механизмнинг барча геометрик ўлчов белгиларини шаклда кўрсатилгандай бўлиб, икки эквивалент кулиса механизмнинг $R_2(\varphi)$ ва $R_1(\varphi)$ кулисаларини асосий 4 звеноли шарнир механизмнинг ўзгарувчан диагоналлари O_1B ва O_2A лардан иборат эканлигини шаклдан кўриш қийин эмас.

11. 5-шакл, b дан қуйидагини оламиз:

$$\left. \begin{aligned} r \cdot \cos \varphi_1 + R_1(\varphi) \cdot \cos \varphi_1 &= d, \\ r \cdot \sin \varphi_1 &= R_2(\varphi) \cdot \sin \varphi_1 \end{aligned} \right\}$$



Бу тенгламалардан

$$\operatorname{tg} \psi_1 = \frac{r \cdot \sin \varphi_1}{d - r \cdot \cos \varphi_1}$$

$\triangle O_1 A O_2$ дан

$$R_1^2(\varphi) = r^2 + d^2 - 2dr \cdot \cos \varphi_1$$

$O_1 B A$ га косинуслар теоремасини

қўллаб, қуйидагини оламиз:

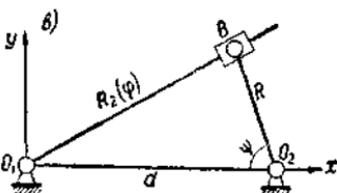
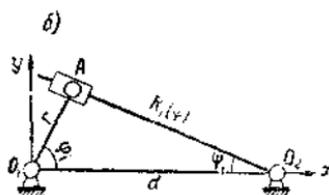
$$l^2 = R^2 + R_1^2(\varphi) - 2R \cdot R_1(\varphi) \cos \psi_2$$

$$\cos \psi_2 = \frac{R^2 + R_1^2(\varphi) - l^2}{2R \cdot R_1(\varphi)}$$

$$\cos \psi_2 = \frac{R^2 + r^2 + d^2 - 2rd \cos \varphi_1 - l^2}{2R \sqrt{r^2 + d^2 - 2r \cdot d \cdot \cos \varphi_1}}$$

Шаклдан:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{r \cdot \sin \varphi_1}{d - r \cdot \cos \varphi_1} \right] +$$



11.5-шакл.

$$+ \operatorname{arc} \cos \left[\frac{R^2 + r^2 + d^2 - 2r \cdot d \cdot \cos \varphi_1 - l^2}{2R \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd \cdot \cos \varphi_1}} \right] \quad (4.66)$$

(4.66) тенглама тўрт звеноли механизм коромислосининг бурчак йўли қонунини беради. Бу тенгламани кетма-кет дифференциаллаш йўли билан коромислосининг бурчак тезлиги ва тезланишини топишимиз мумкин:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi}{dt} &= \dot{\psi} = \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt} \\ \frac{d^2\psi}{dt^2} &= \ddot{\psi} = \frac{d^2\psi_1}{dt^2} + \frac{d^2\psi_2}{dt^2} \end{aligned} \quad (4.67)$$

11.5-шакл, в дан $R_2(\varphi)$ ни топамиз:

$$R_2^2(\varphi) = d^2 + R^2 - 2R \cdot d \cdot \cos \psi$$

$$\begin{aligned} R_2(\varphi) &= \sqrt{d^2 + R^2 - 2R \cdot d \cdot \cos \left\{ \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{r \cdot \sin \varphi_1}{d - r \cdot \cos \varphi_1} \right] + \right.} \\ &\quad \left. + \operatorname{arc} \cos \left[\frac{R^2 + r^2 + d^2 - l^2 - 2r \cdot d \cdot \cos \varphi_1}{2R \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd \cos \varphi_1}} \right] \right\}} \end{aligned}$$

(4. 68) тенгламадан вақтга нисбатан ҳосила олиб, тошнинг нисбий тезлигини (ёки $R_2(\varphi)$) нинг секунд ичидаги узайишینی, топамиз:

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= \dot{R}_2(\varphi) = \frac{dR_2(\varphi)}{dt} = f(d, R, l, r, \varphi) \\ a_2' &= \ddot{R}_2(\varphi) = \frac{d^2 R_2(\varphi)}{dt^2} = \psi(d, R, l, r, \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (4. 69)$$

Эндиги масала 4 звеноли шарнир механизмнинг (4. 69) тенгламада ифодаланган тезлик ва тезланишнинг параметрининг қандай қийматларида ва кривошипнинг қайси ҳолатларида экстремал қийматларга эга бўлишлигини аниқлашдан иборат. Бунинг учун қуйидаги шартлар бажарилиши лозим бўлади:

1. $R_2(\varphi)$ нинг экстремал қиймати φ нинг қандай қийматларида бўлишини билиш учун (4. 68) дан φ га нисбатан ҳосила олиб, натижани нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{\partial R_2(\varphi)}{\partial \varphi} = 0$$

2. Тезликнинг кривошипнинг қайси ҳолатида экстремал қийматга эришишини топиш учун (4. 69) нинг биринчисидан φ га нисбатан ҳосила олиб, уни нолга тенглаштирамиз, яъни:

$$\frac{\partial \dot{R}_2(\varphi)}{\partial \varphi} = 0$$

3. Тезланишники эса (4. 69) нинг иккинчисидан φ га нисбатан ҳосила олиб ва уни нолга тенглаштириб топилади, яъни:

$$\frac{\partial \ddot{R}_2(\varphi)}{\partial \varphi} = 0$$

12- §. III класс 3- тартибли механизм учун тезликлар плани

III класс 3- тартибли механизмнинг тезликлар плани билан танишиб чиқамиз (12. 1- шакл, а). Бундай механизмнинг тезликлар плани Ассур нуқталари ёрдами билан ва сохта вазиятлар методи билан тузилиши мумкин. Тезликлар планини биз Ассур нуқтаси деб атаймиз. Бундай нуқталардан учта бўлиши мумкин.

Шаклда O_1A кривошип ω_2 бурчак тезлиги билан айланади. Механизм K_M масштабда чизилган. Механизмнинг шу вазияти учун тезликлар планини тузиш керак:

$$v_A = \omega_2 \cdot l_{O_1A} [m \text{ сек}^{-1}]$$

Тезликлар масштабини топамиз:

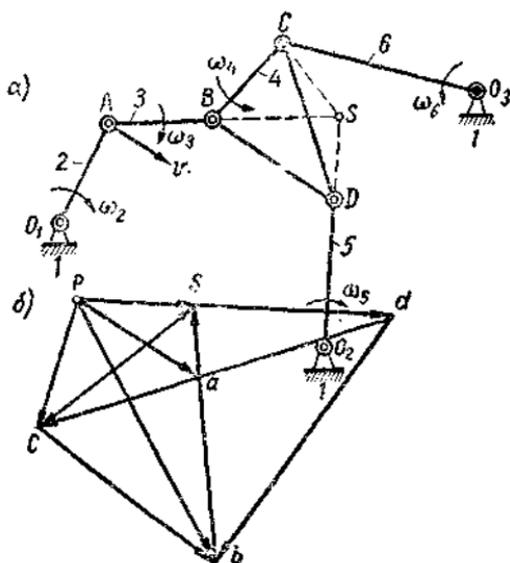
$$K_v = \frac{v_A}{P_a} \left[\frac{\text{м ссек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Ассур нуқтасининг тезликларини топниш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_S = \vec{v}_A + \vec{v}_{SA}$$

$$\vec{v}_S = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{SO_2}$$

Ихтиёрий p нуқтадан \vec{ra} ни O_1A га тик қилиб ўтказамиз. Вектор тенгламаларининг биринчисига кўра, \vec{ra} нинг a учидан AS га тик, иккинчисига кўра эса p дан (чунки $v_{O_2} = 0$) O_2S га тик чизиқлар ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси s ни топамиз. Шундай қилиб, pas учбурчанини ҳосил қилдик.



12.1-шакл. III класс 3-дарибли механизм ва унинг тезликлар плани.

Механизмдаги C нуқтани S билан туташтириб, C нуқта учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_C = \vec{v}_S + \vec{v}_{CS}$$

$$\vec{v}_C = \vec{v}_{O_2} + \vec{v}_{CO_2}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги s нуқтадан CS га тик ва p дан (чунки $v_{O_s} = 0$) CO_s га тик ўтказамиз. Ўтказилган иккала тик чизиқнинг кесишган нуқтаси c бўлади.

Энди B нуқта тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_C + \vec{v}_{BC}$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига кўра, тезликлар планидаги c нуқтадан CB га тик, иккинчисига кўра эса a нуқтадан BA га тик чизиқлар ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишган нуқтаси (b) ни топамиз (бу нуқта sa нинг давомида бўлади).

Энди D нуқтанинг тезлигини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\vec{v}_D = \vec{v}_B + \vec{v}_{DB}$$

$$\vec{v}_D = \vec{v}_{O_s} + \vec{v}_{DO_s}$$

Бу тенгламаларнинг биринчисига биноан, тезликлар планидаги b дан BD га тик, иккинчисига биноан эса p дан (чунки $v_{O_s} = 0$) O_sD га тик чизиқлар ўтказиб, иккала тик чизиқнинг кесишув нуқтаси d ни топамиз. Шундай қилиб, $pascbds$ тезликлар плани ҳосил бўлди (12. 1-шакл, б).

s , a , b лар AB га тик қилиб ўтказилган чизиқда, p , s , d лар эса O_sD га тик қилиб ўтказилган чизиқда ётишини тезликлар планидан кўриш қийин эмас.

Шундай қилиб, тезликлар планидан қуйидаги тезликларни топамиз:

1. $v_B = K_v \cdot \overline{pb}$ [м сек⁻¹] — B нуқтанинг абсолют тезлиги;

2. $v_{BA} = K_v \cdot \overline{ab}$ — B нуқтанинг A га нисбатан тезлиги;

3. $v_C = K_v \cdot \overline{pc}$ — C нуқтанинг абсолют тезлиги;

4. $v_{BC} = K_v \cdot \overline{bc}$ — B нуқтанинг C га нисбатан тезлиги;

5. $v_D = K_v \cdot \overline{pd}$ — D нуқтанинг абсолют тезлиги;

6. $v_{DC} = K_v \cdot \overline{dc}$ — D нуқтанинг C га нисбатан тезлиги;

7. $v_{DB} = K_v \cdot \overline{db}$ — D нуқтанинг B га нисбатан тезлиги;

8. $\omega_3 = \frac{v_{BA}}{l_{BA}}$ — 3 звенонинг бурчак тезлиги;

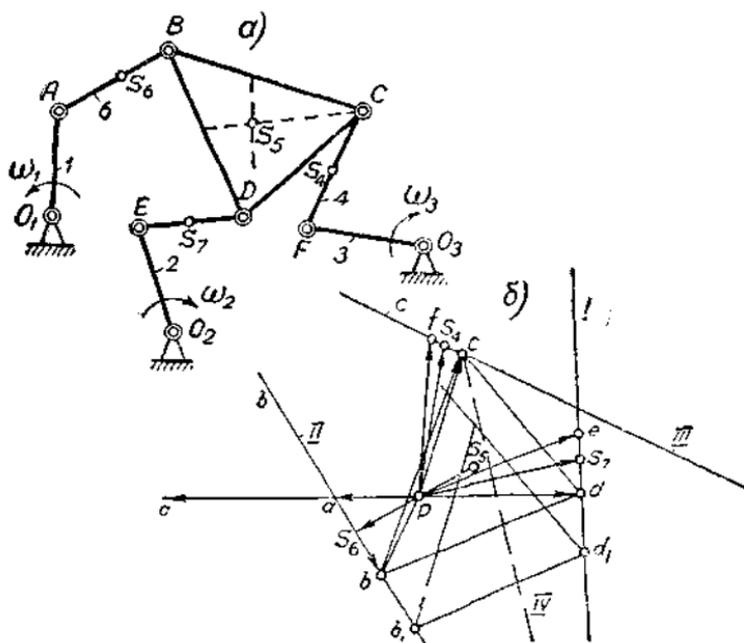
9. $\omega_5 = \frac{v_D}{l_{DO_s}}$ — 5 звенонинг бурчак тезлиги;

$$10. \omega_6 = \frac{v_C}{l_{CO_6}} \text{ — 6 звенонинг бурчак тезлиги;}$$

$$11. \omega_4 = \frac{v_{BC}}{l_{BC}} \text{ — 4 звенонинг бурчак тезлиги.}$$

Энди қўзғалувчанлик даражаси учта бўлган механизмнинг тезликлар планини тузиш билан танишиб чиқамиз.

Умуман олганда, механизм ҳаракатини бир-бирига боғлиқсиз умумлаштирилган координаталар орқали белгилаш мумкин. (Умумлаштирилган координаталар сони механизмнинг қўзғалувчанлик даражасига тенгдир.) Бундай умумлаштирилган координаталар сони (эркинлик даражаси) Чебишевнинг тузилиш формуласи билан ёки система нуқталарининг умумий Декарт координаталар сонидан боғланишлар сонининг айирмаси билан топилиши айтиб ўтилган эди (5 ва 6-параграфга қаранг).



12.2-шакл.

12. 2-шаклдаги механик системанинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 3$ эканлигини билиш қийин эмас. Демак, умумлашган координаталарни φ_1, φ_2 ва φ_3 билан ифодалаймиз.

12. 2-шакл, б даги тезликлар планини тузиш Ассур нуқталари усули билан тезликлар плани тузиш параграфига кўриб ўтган эдик. Аммо шаклда тезликлар планини сохта вазиятлар

усули билан тузиш кўрсатилган. Сохта вазиятлар усули тажрибада кўп ишлатилади. Бу усул билан танишиб чиқиш ёмон бўлмайди.

Шаклдаги III класс 3- тартибли механизмнинг тезликлар планини сохта вазиятлар усулида тузиш билан танишиб чиқамиз.

Шаклдаги механизмнинг етакловчи звенолари 1, 2, 3 звенолар бўлиб, уларнинг ҳаракат қонунилари (айланиш сонлари) берилган:

$$v_A = \omega_1 l_{O_1A}$$

$$v_E = \omega_2 l_{O_2E}$$

$$v_F = \omega_3 l_{O_3F}$$

Тезликлар планининг масштабини қийидагига танлаб оламиз:

$$K_v = \frac{v_A}{p_a} \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

$$\bar{p}_e = \frac{v_E}{K_v} [\text{мм}]$$

$$\bar{p}_f = \frac{v_F}{K_v} [\text{мм}]$$

\bar{p}_a , \bar{p}_e , \bar{p}_f вектор кесмаларни p қутбдан тегишли етакловчи звеноларга тик қилиб қўямиз (12. 2- шакл, б).

B , D , C нуқталарнинг тезликларини топиш учун қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\bar{v}_B = \bar{v}_A + \bar{v}_{BA}(\perp BA)$$

$$\bar{v}_D = \bar{v}_E + \bar{v}_{DE}(\perp DE)$$

$$\bar{v}_C = \bar{v}_F + \bar{v}_{CF}(\perp CF)$$

Биринчи тенгламага биноан, тезликлар планидаги \bar{p}_a нинг a учидан BA га тик ўтказамиз (I чизиқ), иккинчи тенгламага кўра, \bar{p}_e кесманинг e учидан DE га тик ўтказамиз (II чизиқ) ва учинчи тенгламага биноан, \bar{p}_f вектор кесманинг f учидан CF га тик қилиб ўтказамиз (III чизиқ).

Шундай қилиб, I да b , II да d ва III да c нуқталар ётишини аниқлашга олиб, I чизиқдан ихтиёрий b_1 нуқтани танлаймиз. Шу b_1 ҳақиқий b нинг сохта вазияти бўлади. b_1 дан BD га тик ўтказиб, унинг II чизиқ билан кесишув нуқтаси (d_1) ни топамиз. b_1 дан BC га ва d_1 дан CD га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси c_1 ни топамиз. Шундай қилиб, $\triangle BCD$ га ўхшаш $\triangle b_1c_1d_1$ ни ҳосил қилдик. C нуқтанинг тезликлар планидаги ҳақиқий ўрни III чизиқда ётишини билар эдик, у III чизиқда ётишини учун $\triangle b_1c_1d_1$ шаклининг тезликлар планидаги сохта вазия-

тидир. Перспектив геометриядан фойдаланиб, I ва II нинг кесишув нуқтасини s , билан туташтириб, сўнгра бу чизиқни давом эттирамиз. Бу чизиқ давомини III билан кесишув нуқтаси бизга ҳақиқий s ни беради. Шу s дан BC га ва CD га тик чизиқлар ўтказиб, уларнинг I чизиқ билан кесишув нуқтасини b орқали ва II чизиқ билан кесишув нуқтасини d орқали белгилаймиз.

Шаклдаги $\triangle bcd \sim \triangle BCD$ бўлиб, у BCD нинг тезликлар планидаги ҳақиқий ўрнидир.

Шундай қилиб, шаклдаги тезликлар планидан қуйидагиларни топамиз:

1. $v_{BA} = K_v(\overline{ba})$ — B нинг A га нисбатан тезлиги;
2. $v_{CF} = K_v(\overline{cf})$ — C нинг F га нисбатан тезлиги;
3. $v_{DE} = K_v(\overline{de})$ — D нинг E га нисбатан тезлиги;
4. $v_B = K_v(\overline{pb})$ — B нинг абсолют тезлиги;
5. $v_C = K_v(\overline{pc})$ — C нинг абсолют тезлиги;
6. $v_D = K_v(\overline{pd})$ — D нинг абсолют тезлиги.

13-§. График интеграллаш методлари.

Интеграл чизиқлар

Кўпинча, берилган тезлик графигидан йўл графигини ёки тезланиш графигидан тезлик графигини ҳосил қилиш керак бўлиб қолади. Бундай ҳолларда график дифференциаллашнинг тескариси бўлган график интеграллаш методларидан фойдаланилади.

Тезлик ёки тезланиш аналитик кўринишда берилган бўлса, уни интеграллаш унча қийин бўлмайди. Масалан, звено нуқтасининг тезлиги $v = 2t^2$ қонуни билан ўзгарса, у ҳолда, бу нуқта ўтган йўл ёки оралиқ қуйидагича топилади:

$$v = \frac{ds}{dt} = 2t^2; \quad ds = 2t^2 \cdot dt$$

$$S = \int_0^t 2t^2 \cdot dt = \frac{2}{3} t^3$$

Тезланиш $a^t = 3\sin \omega t$ қонуни билан ўзгарса, нуқтанинг тезлиги

$$v = \int 3 \cdot \sin \omega t \cdot dt = -\frac{3}{\omega} \cdot \cos \omega t + C_1$$

бўлади, бу ерда C_1 масаланинг бошланғич шартидан топилади: чунончи, $t = 0$, $v = v_0 = 0$ бўлса, $C_1 = \frac{3}{\omega}$ бўлади. C_1 нинг қийматини юқорида берилган тенгламага қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$v = \frac{3}{\omega} (1 - \cos \omega t);$$

Йўл эса қуйидагича топилади:

$$S = \int_0^3 (1 - \cos \omega t) dt = \frac{3}{\omega} t - \frac{3}{\omega^2} \cdot \sin \omega t + C_2$$

$t = 0, S = 0$ бўлса, $C_2 = 0$ бўлади; C_2 ning қийматини юқоридаги тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

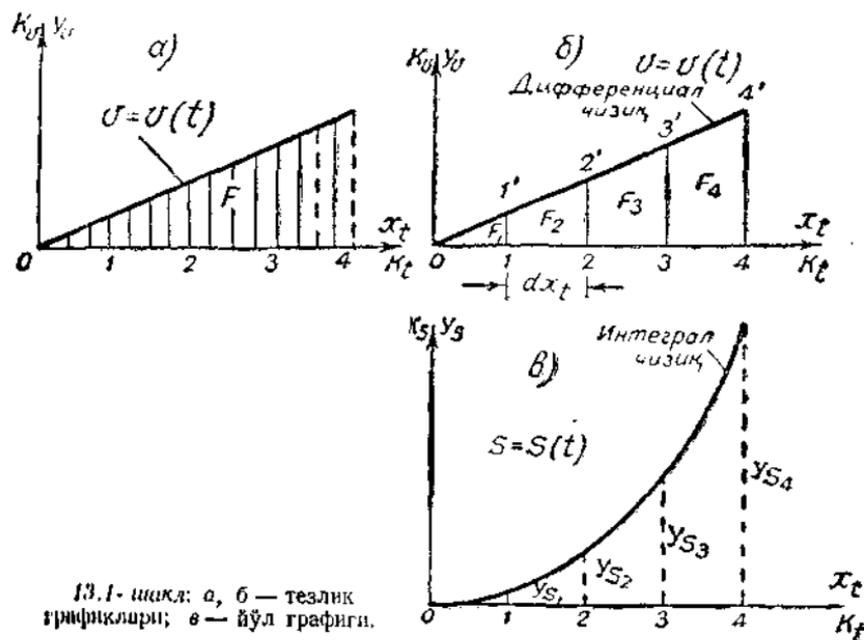
$$S = \frac{3}{\omega^2} (\omega t - \sin \omega t)$$

График интеграллашнинг қуйидаги методлари билан танишиб ўтамиз:

1) юзларни ҳисоблаш йўли билан интеграллаш;

2) тақрибий интеграллаш.

K_v ва K_t масштабларда $v-t$ графиги берилган бўлса (13. 1-шакл, а), тезлик ҳамда вақт масштаблари $K_v = \frac{v}{y_v}$; $K_t = \frac{t}{x_t}$ бўлади.



13.1- шакл: а, б — тезлик графикалари; в — йўл графиги.

Тезликни аналитик интеграллаш қуйидагича бўлади:

$$\int_{s_0}^s ds = \int_{t_0}^t v \cdot dt = K_v \cdot K_t \int_{x_0}^x y_v \cdot dx \quad (4. 70)$$

(4. 70) тенгламани қуйидагича ёзамиз.

$$S - S_0 = K_v \cdot K_t \int_x^x Y_v \cdot dx$$

Шаклдаги ҳол учун $S_0 = 0$; шунинг учун:

$$S = K_v \cdot K_t \cdot F_1$$

бўлади.

Шундай қилиб, $v-t$ графигини интеграллаш натижасида S чиқади: бу эса K_v ва K_t масштабда олинган юзадан иборат бўлади. Навбатдаги вазифа ана шу F_1 юзани ҳисоблаб, $S-t$ графигини чизишдан иборатдир. Бунинг учун ҳар қандай натурал миқдорни бирор масштаб орқали ифодалаш мумкинлигидан фойдаланиб, масалани қуйидагича ечамиз:

$$S = K_s \cdot Y_{s_i}; \quad Y_{s_i} = \frac{K_v \cdot K_t}{K_s} \cdot F_1 = K_0 \cdot F_1$$

бу ерда K_0 —йўлнинг ҳар қайси квадрат миллиметр юзага тўғри келадиган ординатаси:

$$K_0 = \frac{K_v \cdot K_t}{K_s} \left[\frac{мм}{мм^2} \right]$$

K_0 масштабни ўзимиз танлаб олиб, йўл ёки оралниқ ординатасини қуйидагича топамиз (юза $мм^2$ ҳисобида):

$$Y_{s_1} = K_0 \cdot F_1 = K_0 \cdot (011' \text{ юза});$$

$$Y_{s_2} = K_0 \cdot (F_1 + F_2) = K_0(011' \text{ юза} + 11'22' \text{ юза});$$

$$Y_{s_3} = K_0(F_1 + F_2 + F_3) = K_0(011' \text{ юза} + 11'22' \text{ юза} + 22'33' \text{ юза});$$

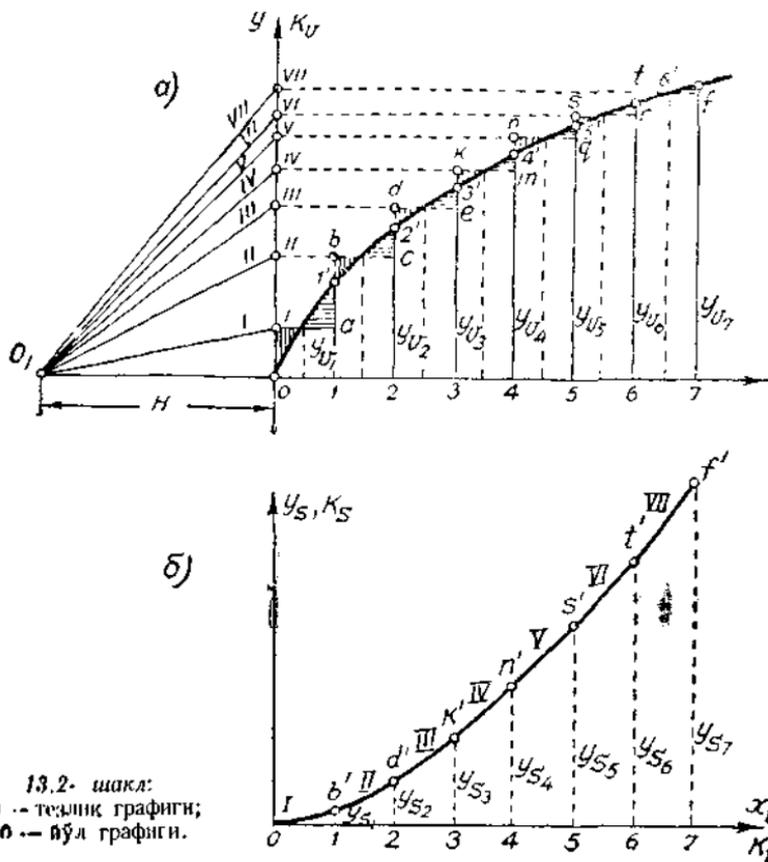
$$Y_{s_4} = K_0 \cdot (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) + K_0(011' \text{ юза} + 11'22' \text{ юза} + 22'33' \text{ юза} + 33'44' \text{ юза});$$

Топилган ординаталарни $S-t$ координаталар системасидаги ординатага қўйиб чиқсак, K_s масштабда $S-t$ графиги ҳосил бўлади. $S-t$ графигининг масштаби қуйидаги тенгламадан топилади:

$$K_s = \frac{K_v \cdot K_t}{K_0} \left[\frac{м}{мм} \right]. \quad (4. 71)$$

Агар $v-t$ графиги K_v , K_t масштабларда берилган бўлса, биз уни тақрибий интеграллаш методи билан интегралласак ҳам бўлади. Декарт координаталар системасида K_v ва K_t масштабларда $v-t$ графиги берилган бўлсин (13. 2-шакл, а). Бу графикни тақрибий интеграллаш учун шу графикдаги абсциссани тенг интервалларга бўлиб, ҳосил қилинган нуқталар орқали ординаталар ўтказамиз, бу ординаталарнинг график билан кесилган нуқталарини $1'$, $2'$, $3'$, ... рақамлари билан белгилаймиз. Шундай қилиб $Y_{v_1} = \overline{11'}$; $Y_{v_2} = \overline{22'}$; $Y_{v_3} = \overline{33'}$ ординаталари K_v тезлик масштабда шу нуқталардаги ҳақиқий тезликлар бўлади (13. 2-шакл, а).

Тақрибий интеграллашга ўтишдан аввал, $S-t$ графигини ватарлар методи билан дифференциаллашни эслатиб ўтиш лозим, чунки тақрибий интеграллаш ватарлар методи билан дифференциаллашнинг тескарисидир. Интеграллаш йўли билан ҳосил қилинган чизиқлар интеграл чизиқлар деб, дифференциаллаш йўли



13.2- шакл:
 а - тезлик графиги;
 б - йўл графиги.

билан ҳосил қилинган чизиқлар эса дифференциал чизиқлар деб аталади. Биз бундан буён, масаланинг қўйилишига қараб, ҳосил қилинган ҳар бир чизиқнинг ўз номи билан, яъни тезлининг графиги, тезлик графиги, йўл графиги, оралиқ графиги ва ҳоказо деб атайдимиз.

13.2 шакл, а да кўрсатилган $v-t$ графиги интерваллари ўрнатиладан ординаталар ўтказиб (пунктир чизиқлар) шу ординаталарнинг график билан кесилган нуқталаридан горизонталлар ўтказилганда, уларнинг ординаталар билан кесилган нуқталарини

$l, a, b, c, d, e, k, m, n, g, s, r, t, f$ билан белгилаймиз. Шундай қилиб, $0I'1$ юзага тенг бўлган $0la1$ юзани, $1I'22$ юзага тенг бўлган $1bc2$ юзани, $22'33$ юзага тенг бўлган $2de3$ юзани, $33'44$ юзага тенг бўлган $3km4$ юзани, $44'5'5$ юзага тенг бўлган $4ng5$ юзани ва ҳоказо оламиз. Янги бу тўртбурчак юзаларнинг ординаталари K_v масштабда ўртача тезликларни беради.

Тўртбурчакларнинг ординаталарини $v-t$ координаталар системасининг ординатасига проекциялаб, $I, II, III, IV \dots$ нуқталарни ҳосил қиламиз. Демак, $O-I, O-II, O-III, O-IV$ ординаталар ҳам K_v масштабда ўртача тезликларни ифодалайди. Энди $v-t$ координаталар системаси абсцисса ўқининг чап томонидан ихтиёрий $H = \overline{OO_1}$ масофани танлаб олиб, O_1 нуқтани ординатадаги, $I, II, III, IV \dots$ нуқталар билан туташтирамиз-да, $O_1-I, O_1-II, O_1-III, O_1-IV \dots$ оғма нурларни ҳосил қиламиз. $S-t$ координаталар системасининг O координаталар бошидан O_1I га параллел ўтказиб, шу параллелнинг ордината билан кесишув нуқтасини (13. 2-шакл, б) b' билан белгиласак, $\overline{Ib'} = Y_s$, ординатаси бирор K_s масштабда нуқтанинг O вазиятдан I вазиятга ўтишдаги йўлини билдиради, яъни $S_1 = K_s Y_s$, бўлади; муҳокамани шу тарзда давом эттириб b' нуқтадан OII га параллел ўтказамиз ва унинг ордината билан кесишув нуқтасини d' билан белгилаймиз: d' дан O_1III га параллел ўтказиб, k' ни; k' дан O_1IV га параллел ўтказиб n^1 ни; ... ҳосил қиламиз. Шундай қилиб, $S-t$ координаталар системасида $ob'd'k'n's't'f'$ интеграл чизиги ҳосил бўлди. Абсцисса ўқидаги интерваллар қанча кичик, яъни Y_v, Y_e , ординаталар бир-бирига қанча яқин бўлса, $S-t$ графиги шунча аниқ чиқади. 13. 2-шакл, б да олинган интеграл чизигининг масштаби қуйидагича топилади:

$$K_s = K_v \cdot K_t \cdot H \left[\frac{m}{mm} \right] \quad (4. 72)$$

Худди шунингдек, $a^t = t$ тезланиш графиги K_a ва K_t масштабларда берилган бўлса, уни бир марта тақрибий интеграллаб $v-t$ графигини ҳосил қиламиз; ҳосил қилинган бу графикнинг K_v масштаби қуйидагича топилади:

$$K_v = K_a \cdot K_t \cdot H_0 \left[\frac{mсек^{-1}}{mm} \right] \quad (4. 73)$$

$v-t$ графигини яна бир марта интеграллаб $S-t$ ни ҳосил қиламиз. $S-t$ графигининг K_s масштаби қуйидагича бўлади:

$$K_s = K_v \cdot K_t \cdot H = K_a \cdot K_t^2 \cdot H_0 H$$

Агар $H_0 = H$ қилиб олинса, K_s масштаб мана бундай ёзилиши мумкин:

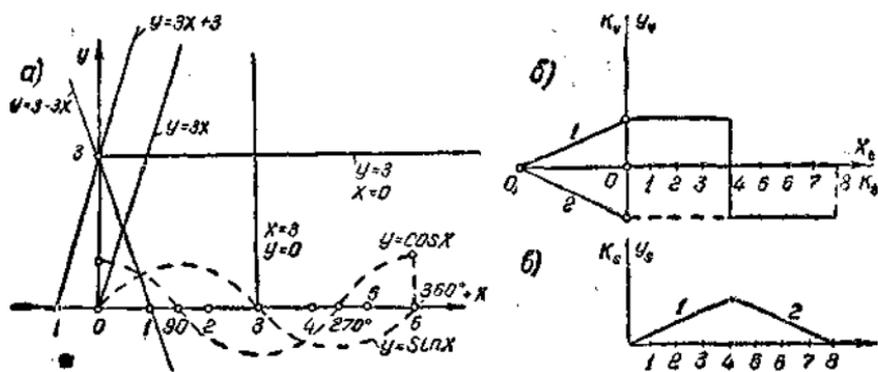
$$K_s = K_a \cdot K_t^2 \cdot H^2 \left[\frac{M}{m.m} \right] \quad (4.74)$$

Берилган $a^t - t$ ёки $v - t$ графикларини юқорида баён қилинган методлардан қайси бири билан интеграллаш шу графикларнинг тузилишига боғлиқдир.

Интеграллашнинг аналитик ва график методлари бир хил натижалар беришини билиб олиш ва масаланинг тушунилишини оsonлаштириш учун бир неча мисол келтираемиз.

Математикадан маълумки, декарт координаталар системасида ($x - y$ тўғри бурчакли координаталар системасида) $y = 0$ бўлса, у абсцисса ўқининг тенгламаси, агар $x = 0$ бўлса, у ордината ўқининг тенгламасидир.

$y = 3$ см, $x = 0$ бўлса, бу абсцисса ўқидан 3 см баландликда ўтувчи x га параллел тўғри чизиқни ифодалайди. Агар $x = 3$ см, $y = 0$ бўлса, бу $x = 3$ см дан, яъни ордината ўқидан 3 см наридан ўтувчи ва y ординатага параллел бўлган чизиқни билдиради. 13.3-шакл, а да турли аналитик тенгламаларнинг график тасвирлари кўрсатилган.



13.3-шакл: а — турли тенгламалар ва уларнинг графиклари; б — тезлик графиги; в — оралиқ графиги.

Агар 13.3-шакл, а да кўрсатилган $y = 3$ тенгламани интегралласак $y = 3x + C$ бўлади. Бошланғич шартдан $x = 0, y = 0, C = 0$ шаклигини кўрамиз, демак, $y = 3x$ келиб чиқади, $y' = \cos x$ ни интегралласак $y = \sin x$ бўлади.

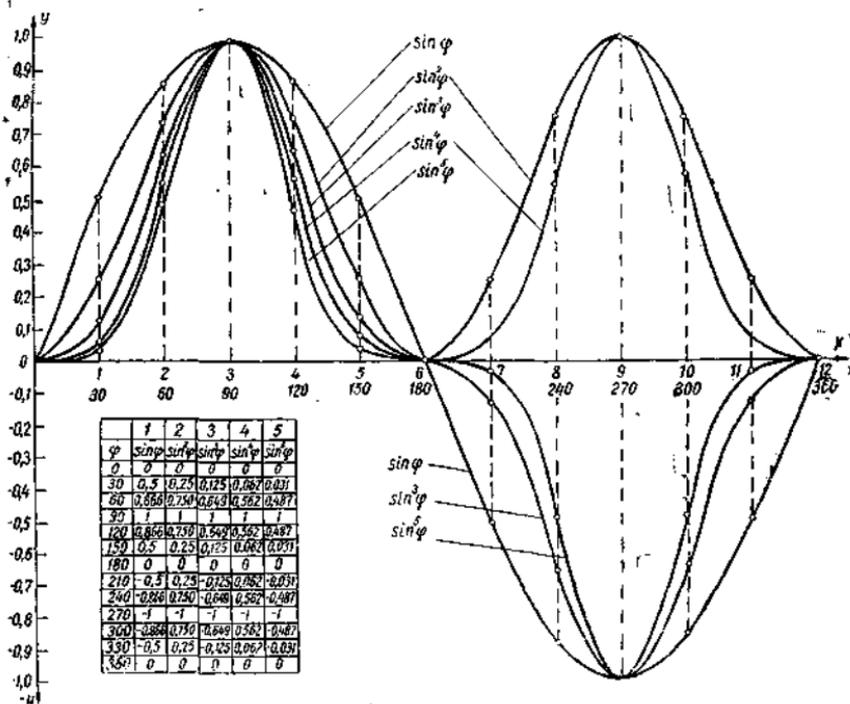
13.3-шакл, а даги графикда $y = 3x + 3$ ва $y = 3 - 3x$ тенгламаларининг график тасвирлари берилган.

13.3-шакл, б да бир давр ичида K_v масштабда чизилган ўзгармас v тезликдаги ҳаракат графиги берилган. Уни интеграллаб, оралиқ графигини ҳосил қиламиз (13.3-шакл, в).

Ҳосил қилинган $S-t$ графигининг оралиқ масштаби қуйидагича топилади:

$$K_s = K_v \cdot K_t \cdot O'O \left[\frac{M}{M.M} \right]$$

Графиклар тўғрисида ўқувчиларда тўлароқ таассурот қолдириш учун $\sin \varphi$ нинг 5- даражасигача тузилган график 13.4-шаклда кўрсатилган.



13.4-шакл.

37- масала. 13.5-шакл, а да тезлик графиги берилган, бу графикни тақрибий метод билан интеграллаш керак.

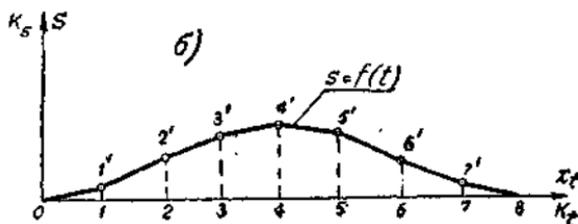
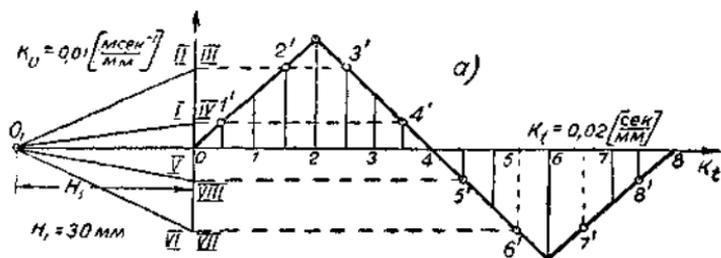
Ечнш: $O'O = H = 30$ мм масофани тапплаб олиб, ушн I, II, III, ... нуқталар билан туташтирамиз. $S-t$ координаталар системасининг бошидан 13.5-шакл, б) $O'I' \parallel O_1I$; $I'2' \parallel O_1II$; $2'3' \parallel O_1III$, ... ларини ўтказиб, 13.5-шакл, в даги оралиқ графигини ҳосил қиламиз. $S-t$ оралиқ графиги қандай масштабда чизилганини билиш учун (4.72) формуладан фойдаланамиз:

$$K_s = K_v \cdot K_t \cdot H_1 = 0,01 \cdot 0,02 \cdot 30 = 0,006 \left[\frac{M}{M.M} \right]$$

Оралиқ графикнинг ординаталарини K_S га кўпайтириш билан нуқтанинг O вазиятдан бошланган оралиқларини топиш мумкин:

$$S_1 = K_S \cdot y_{S_1} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ мм}$$

$$S_2 = K_S \cdot y_{S_2} = 6 \cdot 7 = 42 \text{ мм}$$



13.5-шакл. График интеграллаш: а — тезлик графиги; б — оралиқ графиги.

$$S_3 = K_S \cdot y_{S_3} = 6 \cdot 11 = 66 \text{ мм}$$

$$S_4 = K_S \cdot y_{S_4} = 6 \cdot 12,5 = 75 \text{ мм}$$

$$S_6 = K_S \cdot y_{S_6} = 6 \cdot 7 = 42 \text{ мм}$$

$$S_7 = K_S \cdot y_{S_7} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ мм}$$

$$S_8 = S_8 = 0.$$

14-§. Узатиш функцияси ҳақида тушунча

Ётакланувчи звенодаги бирор нуқта тезлигининг етакловчи аъзанинг нуқта тезлигига нисбати механизмнинг узатиш функцияси деб аталади. Масалан, кривошип-ползунли механизмнинг ётакланувчи звеносини ползун деб фарз қилсак, у ҳолда ползун билин кривошип (ётакчи зveno)нинг A нуқтаси орасидаги узатиш функцияси қуйидагича топилади:

$$i = i(\varphi) = \frac{v_B}{v_A} = \frac{r \cdot \omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2 \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} \right)}{r \cdot \omega}$$

ёки

$$i = i(\varphi) = \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2\varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (4.75)$$

Механизмнинг қайси ҳолатида узатиш функцияси максимум ёки минимум бўлишини ҳисоблаб кўрамиз. Бунинг учун $\lambda^2 \sin^2 \varphi$ кўпайтмани масалани осонлаштириш учун ташлаб юборамиз ва (4.75) дан φ га нисбатан ҳосила олиб, унн нолга тенглаштириб ечамиз:

$$\frac{di}{d\varphi} = \cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi = 0$$

$$\cos \varphi + \lambda (\cos^2 \varphi - 1 + \cos^2 \varphi) = 0$$

$$2\lambda \cdot \cos^2 \varphi + \cos \varphi - \lambda = 0$$

ёки:

$$\cos^2 \varphi + \frac{1}{2\lambda} \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2} = 0$$

$$\cos \varphi_{12} = -\frac{1}{4\lambda} \pm \sqrt{\frac{1}{16\lambda^2} + \frac{1}{2}} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8\lambda^2}}{4\lambda}$$

$$\cos \varphi_1 \quad (\lambda = \frac{1}{3}) = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8\lambda^2}}{4\lambda} = 0,28, \quad \varphi_1 = 73^\circ 20'$$

демак, $\varphi_{\lambda=\frac{1}{3}} = 73^\circ 20'$ да узатиш функцияси максимум бўлар экан.

Шундай қилиб, механизмдаги узатиш функциясининг максимум ёки минимум бўлиши, унинг умумлашган координатаси орқали топилар экан, бу координата эса кривошип билан шатун узунликларининг нисбагига боғлиқдир, яъни:

$$\varphi = \arccos \left(\frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8\lambda^2}}{4\lambda} \right) = \varphi(\lambda) \quad (4.76)$$

Яна бир мисол тариқасида иккита тенг кривошип-ползуни механизмдан ҳаракатланувчи дифференциал механизмни текшириб кўрайлик.

$$\lambda = \frac{r_1}{l_1} = \frac{r_2}{l_2} = \frac{r}{l}$$

$$r = r_1 = r_2; \quad l_1 = l_2$$

$$i_1 = \frac{r_1}{\rho_1}, \quad i_n = \frac{r_2}{\rho_2}, \quad i_{21} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \quad \omega_1 = \omega_2 = \omega_0$$

Сателлитнинг бурчак тезлиги Виллис формуласига асосан қуйи дагича топилди:

$$\dot{\varphi}_2 = c \cdot \omega_0 \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

бунда

$$c = l_{21} \cdot l_1 + l_2 (1 - l_{21})$$

Узатиш функцияси эса қуйидагича топилади:

$$i_o(\alpha) = \frac{\dot{\varphi}_2}{\omega_0} = c \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin 2\alpha \right)$$

Кривошипларнинг қайси ҳолатида $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_{2\max}$ бўлишини узатиш функциясини дифференциаллаб ва уни нолга тенглаштириб ечиш йўли билан топамиз:

$$\frac{di_o(\alpha)}{d\alpha} = c (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha) = 0$$

$c \neq 0$ бўлганидан $\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha = 0$ ёки

$\cos^2 \alpha + \frac{1}{2\lambda} \cos \alpha - \frac{1}{2} = 0$. Бу ҳам $\alpha = 75^\circ$ бўлганда максимал бўлар экан.

15- §. Механизмнинг перманент ва бошланғич ҳаракатини топиш

Аввало етакловчи звенонинг ҳаракат қонуни қандай шаклда берилиши билан танишиб чиқамиз. Бу қонунларни қўзғалишлар функцияси (силжишлар функцияси), тезликлар функцияси ёки тезланишлар функцияси деб атаймиз. Қўзғалишлар қонуни, агар етакчи звено айланма ҳаракат қилса, қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\varphi = \varphi(t)$$

Агар етакчи звено илгариланма ҳаракатланса, у ҳолда қўзғалишлар функцияси қуйидагича ёзилади:

$$s = s(t)$$

$\varphi = \varphi(t)$ ва $s = s(t)$ қонунлари график кўринишда берилган бўлиши ҳам мумкин.

Баъзан техникавий масалаларда етакчи звенонинг ҳаракат қонуни $\omega = \omega(t)$ ёки $v = v(t)$ кўринишидаги тезликлар функцияси орқали берилади. Ундай ҳолда қўзғалишлар функциялари қуйидагича топилади:

$$\varphi_i - \varphi_0 = \int \omega(t) dt$$

$$v_i - v_0 = \int v(t) dt$$

Агар етакчи звенолар қонуниятлари $v = (v)t$ ёки $a = a(t)$ функциялар кўринишида берилган бўлсалар, у ҳолда тезлик ва ҳолатлар функциялари қуйидагича топилади:

тезликлар функциялари:

$$\omega_i = \omega_0 + \int_{t_0}^{t_i} \varepsilon(t) dt,$$

$$v_i = v_0 + \int_{t_0}^{t_i} a(t) dt$$

ҳолатлар функциялари эса:

$$\varphi_i = \int_{t_0}^{t_i} \omega_i \cdot dt = \int_{t_0}^{t_i} \omega_0 dt + \int_{t_0}^{t_i} \int_{t_0}^{t_i} \varepsilon(t) dt \cdot dt$$

Агар қандайдир j звенонинг айланиш бурчаги $\varphi_j = \varphi_j(\varphi)$ функция кўринишида берилган бўлса, у ҳолда шу звенонинг бурчак тезлиги ω_j қуйидагича топилади:

$$\omega_j = \frac{d\varphi_j}{dt} = \frac{d\varphi_j}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \cdot i_{j\varphi} \quad (4.77)$$

бунда ω — етакчи звенонинг бурчак тезлиги;

$i_{j\varphi}$ — ўлчовсиз сон бўлиб, j звенонинг етакчи звеного нисбатан узатиш сонидир.

j звенонинг бурчак тезланишини топамиз. Бунинг учун (4.77) дан ҳосила оламиз:

$$\varepsilon_j = \frac{d\omega_j}{dt} = \omega \frac{di_{j\varphi}}{dt} + i_{j\varphi} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \omega^2 \frac{di_{j\varphi}}{d\varphi} + i_{j\varphi} \cdot \varepsilon$$

Энди тезлик ва тезланишлар аналоглари тушунчаси билан танишиб чиқамиз. Механизм звеносидаги бирор B нуқтани r_B радиус-вектор орқали белгилаб оламиз. У ҳолда шу нуқта тезлиги қуйидагича топилади:

$$\bar{v}_B = \frac{dr_B}{dt} = \frac{dr_B}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{dr_B}{d\varphi} = \omega v_{B\varphi} \quad (4.78)$$

$$\bar{v}_{B\varphi} = \bar{v}_{B\varphi}^a + \bar{v}_{B\varphi}^n \quad (4.79)$$

$\bar{v}_{B\varphi}^n$ — чизиқли ўлчов бўлиб, у радиус-вектор узунлигининг ўзгаришини билдиради.

$\bar{v}_{B\varphi}^a$ — шу радиус-векторнинг айланишини билдиради.

Бу векторлар радиус-вектордан φ га нисбатан олинган ҳосила натижаси бўлганидан, уларнинг ўлчовлари узунлик бирлиги билан ўлчаниб, тезликлар аналоглари деб аталадилар. Тезлик ва тезланиш аналог миқдорлардан биринчи бўлиб механизмлар кинематикасини ўрганишда Л. В. Ассур фойдаланган.

v_B тезлигидан вақтга нисбатан ҳосила олиб, B нуқтанинг тезланиши топилади:

$$\begin{aligned} \bar{a}_B &= \frac{dv_B}{dt} = \frac{d}{dt} (\bar{\omega} \cdot \bar{v}_{Bz}) = \omega \cdot \frac{dv_{Bz}}{dt} + \\ &+ v_{Bz} \cdot \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \omega^2 \cdot \bar{a}_{Bz} + \varepsilon \cdot \bar{v}_{Bz} \end{aligned} \quad (4.80)$$

Бунда ҳам a_{Bz} — B нуқта тезланишининг аналоги бўлиб, узунлик бирлиги билан ўлчанади. Бу вектор нормал, тангенциал нисбий (релятив) ва бурилиш тезланишларининг аналогларини геометрик йиғиндисидир.

Тезлик ва тезланиш аналоглари вақтга боғлиқ бўлмай, фақат умумлашган координатага боғлиқ бўлганлигидан, механизмлар кинематикасини геометрик ўрганилса ҳам бўлади. Бу эса агар етакчи звено айланма ҳаракат қилса, у ҳолда φ нинг қатор қийматлари учун механизм звеноларининг ҳолатларини аниқлаш мумкин деган маънони англатади.

Агар етакчи звено ўзгармас бурчак тезлиги билан айланса, у ҳолда, унинг бурчак тезланиши ноль бўлади. Бундай ҳол учун j звенонинг бурчак тезлиги, тезланиши билан звенодаги B нуқтанинг тезлиги ва тезланиши қуйидагича топилади:

$$\omega_{j_0} = i_{j\varphi} \cdot \omega \quad (4.81)$$

$$\varepsilon_{j_0} = \omega^2 \frac{di_{j\varphi}}{d\varphi} \quad (4.82)$$

$$v_{B_0} = \omega \cdot v_{Bz} \quad (4.83)$$

$$a_{B_0} = \omega^2 a_{Bz} \quad (4.84)$$

Шундай қилиб, етакчи звенонинг ўзгармас бурчак тезлиги билан айланиш ҳолатини кўриб чиқдик. Бундай ҳолатда $\omega = \text{const}$ бўлиб $\varepsilon = 0$ бўлади. Етакчи звенонинг ўзгармас бурчак тезлиги билан айланишидаги ҳаракати механизмнинг перманент ёки асосий ҳаракати деб аталади. Биз механизмлар кинематикасини ўрганишда фақат унинг перманент ҳаракатини текшираемиз, ҳолос.

Агар механизмда $\omega = 0$ бўлса, у ҳолда ω_{j_0} , ε_{j_0} , v_{B_0} , a_{B_0} лар нолга айлиниб, қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\varepsilon_{j_0} = \varepsilon \cdot i_{j\varphi} \quad (4.85)$$

$$a_{B_0} = \varepsilon \cdot v_{Bz}^2 \quad (4.86)$$

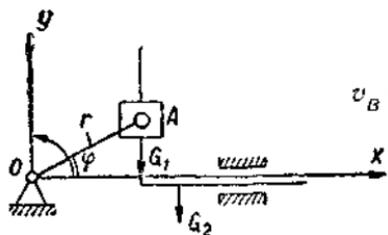
Шундай қилиб, механизмдаги етакчи звенода $\omega = 0$ бўлгандаги ҳаракат, унинг бошланғич ҳаракати деб аталади. Механизмнинг бошланғич ҳаракатида $\omega = 0$ бўлиб, бу ҳолатдаги звено ва нуқта ҳаракатлари фақат бурчак ва тангенциал (уринма) тезланишлардан

иборат бўлар экан. Шунинг учун механизмнинг ҳақиқий ҳаракати асосан унинг перманент ва бошланғич ҳаракатлар йиғиндисидан иборат эканлиги бизга аён бўлади. Ҳаракатни бундай иккига бўлиб текширишни Н. Е. Жуковский тавсия этган эди.

Биз механизмлар кинематикасини ўрганганда унинг перманент ҳаракатини ўрганганлигимиздан унинг звеноларининг ҳолати, тезлиги ва тезланишлари фақат умумлашган координатага боғлиқ бўлиб, вақтга боғлиқ эмас.

Айтилганларни тушунтириш учун бир мисол келтирамиз.

15.1-шаклдаги механизм $\omega = \text{const}$ тезлик билан айлансин. У ҳолда



15.1- шакл.

$$x_B = r \cdot \cos \varphi$$

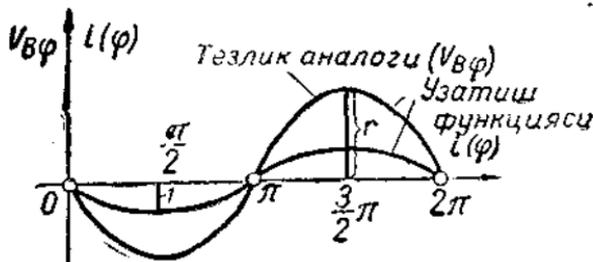
$$v_B = \frac{dx_B}{dt} = \frac{dx_B}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{dx_B}{d\varphi} = \omega \cdot v_{B\varphi}$$

$$v_{B\varphi} = \frac{dx_B}{d\varphi} = -r \cdot \sin \varphi$$

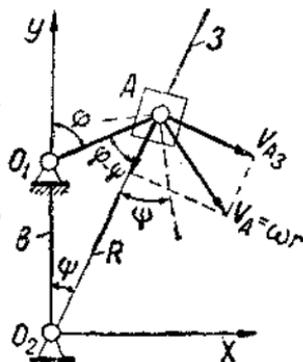
чизиқли, ўзгарувчан миқдор тезлик аналогининг ўзгинасидир.

Энди узатиш функциясини топамиз. Бунинг учун v_B ни $v_A = \omega \cdot r$ га бўламиз:

$$i(\varphi) = \frac{v_B}{v_A} = \frac{\omega \cdot v_{B\varphi}}{\omega \cdot r} = -\sin \varphi$$



15.2- шакл.



15.3- шакл.

Шундай қилиб, кўрилган механизмдаги 3-звено кулисанинг тезлик аналогу $v_{B\varphi} = -r \cdot \sin \varphi$ бўлиб, узатиш функцияси эса шу тезлик аналогининг кривошип (етакчи звено) узунлигига бўлингандан ҳосил бўлган ўлчовсиз функциядан иборат экан. Айтилганларнинг графиклари 15.2-шаклда кўрсатилган.

Яна бир мисол тариқасида кулисали механизмнинг бошқа кўринишини оламиз (15.3-шакл) ва узатиш функциясини текшириб кўрамиз.

Шаклдан қуйидагиларни оламиз:

$$R \cdot \cos \psi = l + r \cdot \cos \varphi$$

$$\frac{R}{\sin(180-\varphi)} = \frac{r}{\sin \psi}; \quad \sin \psi = \frac{r}{R} \cdot \sin \varphi$$

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2} \cdot \sin^2 \varphi} = \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi}$$

$$R \cdot \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} = l + r \cos \varphi$$

$$R^2 - r^2 \sin^2 \varphi = (l + r \cos \varphi)^2$$

$$R(\varphi) = \sqrt{(l + r \cdot \cos \varphi)^2 + r^2 \sin^2 \varphi},$$

$$R(0) = l + r; \quad R\left(\frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{l^2 + r^2};$$

$$R(\pi) = (l - r)$$

$$R(2\pi) = l + r = R(0)$$

$$v_{A_2 A_4} = \frac{dR}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = \omega \cdot \frac{dR}{d\varphi} = \omega \cdot v_{A_2 \varphi}$$

$$v_{A_4} = \frac{v_{A_2}}{\cos [90^\circ + (\psi - \varphi)]} = \frac{v_{A_2}}{\cos 90^\circ \cdot \cos (\psi - \varphi) - \sin 90^\circ \cdot \sin (\psi - \varphi)} =$$

$$= - \frac{v_{A_2}}{\sin (\psi - \varphi)}.$$

$$- \sin (\psi - \varphi) = - (\sin \psi \cdot \cos \varphi - \cos \psi \cdot \sin \varphi) =$$

$$= \cos \psi \cdot \sin \varphi - \sin \psi \cos \varphi$$

$$v_{A_4} = \frac{\omega \cdot r}{\frac{\sin \varphi}{R} \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r}{R} \cos \varphi \cdot \sin \varphi} =$$

$$= \frac{R \cdot r \cdot \omega}{\sin \varphi \cdot \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r}{2} \sin 2\varphi}$$

$$l(\varphi) = \frac{v_{A_4}}{v_{A_2}} = \frac{R}{\sin \varphi \cdot \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r}{2} \sin 2\varphi};$$

16-§. Машина ва механизм назариясидаги инвариантлар ўхшашлиги методининг асослари ҳақида тушунча

Биз қуйида ўхшашлик назарияси билан ўлчовликлар назарияси тўғрисида бир оз гапириб ўтишни лозим топдик. Механик ўхшашлик теоремасини биринчи бўлиб Исаак Ньютон ўзининг 1686 йилда чиққан «Натурал фалсафанинг математик принциплари» китобида айтиб ўтган эди. Бу масала билан И. И. Артоболовский, В. П. Горячкин, В. Л. Кирпичев, В. А. Қирпичев, Л. А. Седов, Н. Н. Бухгольц каби олимлар шуғулланганлар.

Механика материал жисмларнинг фазода вақтга боғлиқ ҳаракатини ўрганувчи фан бўлганлигидан барча механик миқдорлар (M)ни тегишли физик модуллаарда, яъни узунликни (l_0), вақтни (t_0) ва массани (m_0) қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$M = \frac{M}{l_0^\alpha \cdot t_0^\varphi \cdot m_0^\psi} \cdot l_0^\alpha \cdot t_0^\varphi \cdot m_0^\psi = k \cdot l_0^\alpha \cdot t_0^\varphi \cdot m_0^\psi \quad (4.87)$$

α , φ ва ψ — ҳақиқий сонлар бўлиб, улар хусусий ҳол учун нолга тенг бўлиши мумкин. Уларнинг қийматлари асосан M миқдор ўлчовига боғлиқдир.

k — ўлчамсиз коэффициент бўлиб, у берилган физик модуль ўлчовларида (l_0 , t_0 , m_0) M миқдорни билдирувчи сондир:

$$k = \frac{M}{l_0^\alpha \cdot t_0^\varphi \cdot m_0^\psi} \quad (4.88)$$

Геометрик миқдор учун $\alpha \neq 0$, $\varphi = 0$, $\psi = 0$; узунлик учун $\alpha = 1$, юз учун $\alpha = 2$, ҳажм учун $\alpha = 3$. Кинематик миқдорлар учун $\alpha = 1$; $\varphi \neq 0$, $\psi = 0$, яъни тезлик учун $\varphi = -1$, тезланиш учун $\varphi = -2$; динамик миқдорлар учун $\alpha \neq 0$, $\varphi \neq 0$, $\psi = 0$. Ўлчамсиз коэффициент (k) физик жиҳатдан бир хил ўзгарадиган системалар учун маълум нисбий параметрлар ва умумлашган координата функциясидан иборат. Ўхшашлик назариясида бундай коэффициентларга ўхшашлик инвариантлари деб аталади.

Механик система масалаларини ҳал этишда умумлашган координата ўрнида нисбий вақт (τ) дан фойдаланиш яхши қулайлик туғдиради. Бундай координата ўлчамсиз сон бўлиб, қуйидагича топилди:

$$\tau = \frac{t}{T} = \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (4.89)$$

Бунда T — циклнинг ўтиш даври,

t — ўзгарувчан вақт; $0 \leq t \leq T$,

φ_0 — механизм бош валининг T даврдаги айланиш бурчаги,

φ — айланиш бурчаги, $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$.

Механик системаларда бўладиган қуйидаги ўхшашликларни белгилаш мумкин:

1. Геометрик ўхшашлик.
2. Материал ўхшашлик.
3. Кинематик ўхшашлик.
4. Динамик ўхшашлик.

Геометрик ўхшаш системаларнинг икки мос нуқталари орасидаги кесмалар нисбати ўзгармас сон бўлади, яъни:

$$\frac{a_i b_i}{a_i' b_i'} = \text{const} = \mu \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4.90)$$

Бундай шартнинг бажарилиши геометрик ўхшаш фигураларни яратиш имкониятини беради. Механизмдаги звено фигураси билан нисбий тезликлардан ташкил этилган тезликлар планидаги юз ҳам худди шундай геометрик ўхшашликнинг ўзгинасидир. Геометрик ўхшаш бурчаклар бир-бирларига тенг бўлади.

Геометрик ўхшаш системалардаги мос юзлар нисбати μ^2 , мос ҳажмлар нисбати эса μ^3 кўринишини беради.

Материал ўхшаш системалардаги мос геометрик ҳажмлар мас-саларининг нисбати ўзгармай қолади, яъни:

$$\frac{m_{1j}}{m_{2j}} = j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4.91)$$

Умуман олганда масса жисм оғирлигини ернинг тортиш тезла-нишига бўлинганига тенг эканлигини эътиборга олсак, у ҳолда қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$m_{1j} = \frac{\gamma \cdot l_j^3}{g}, \quad m_{2j} = \frac{\gamma' \cdot l_j^3}{g}$$

Буларни (4.91) га қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$j = \frac{m_{1j}}{m_{2j}} = \frac{\gamma \cdot l_j^3}{\gamma' \cdot l_j^3} = \frac{\gamma}{\gamma'} \cdot \mu^3 \quad (4.92)$$

Агар материал ўхшаш системаларнинг солиштирма оғирлик нисбатлари бирга тенг бўлса, у ҳолда уларнинг материал ўхшаш-лиги қуйидагича бўлади.

$$j = \mu^3 \quad (4.93)$$

Механик системаларнинг цикл бошидаги геометрик ўхшашлиги цикл давомидаги тегишли ҳолатларда геометрик ўхшаш бўлиб қолса ва мос цикл фазаларида $\tau = \frac{t_1}{t_1'} = \text{const}$ бўлиб қолса, бун-дай системалар кинематик ўхшаш системалар деб аталади.

Мисол тариқасида қуйидагиларни кўрайлик:

$$x = \mu \cdot x_1, \quad t = \tau \cdot t_1$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d(\mu x_1)}{d(\tau t_1)} = \mu \cdot \tau^{-1} \cdot \frac{dx_1}{dt_1} = \mu \cdot \tau^{-1} v_1$$

бунда $\frac{v}{v_1} = \mu \tau^{-1} = \text{const}$, яъни тезликлар модулларининг нисбати ўзгармай қолади.

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(\mu \cdot \tau^{-1} \cdot \frac{dx_1}{dt_1} \right) = \mu \cdot \tau^{-2} \cdot \frac{d^2x_1}{dt_1^2} = \mu \tau^{-2} \cdot a_1$$

Бундан кинематик ўхшаш системалардаги тезликлар ва тезланишлар планлари ҳам ўхшаш ва улар модулларининг нисбатлари тегишлича $\mu \tau^{-1}$ ва $\mu \tau^{-2}$ ларга тенг ва ўзгармас деган хулоса чиқади. Шундай қилиб, кинематик ўхшаш системаларнинг тегишлича мос нуқталари ҳаракат қонуллари бир хил бўлиб, улар фақат масштаб жиҳатидан фарқ қиладилар, холос.

Динамик ўхшаш системаларни ўрганиш учун Ньютон қонунидан фойдаланамиз:

$$P = ma$$

Бундан кинематик (a) ва материал (m) ўхшаш системаларнинг динамик ўхшаш бўлишини олиш мумкин, яъни икки системанинг тегишли ҳолатларидаги кучлар нисбати ўзгармай қолса, бундай системалар динамик ўхшаш бўлади:

$$\mu_p = \frac{P}{P'} = \frac{m \cdot a}{m_1 a_1} = j \cdot \mu \cdot \tau^{-2} \quad (4.94)$$

ёки

$$\frac{P}{P'} = \frac{j\mu}{\tau^2} = \frac{m \cdot \lambda T_1^2}{m_1 \cdot \lambda_1 T_1^2}, \quad \mu = \frac{x}{x_1}, \quad j = \frac{m}{m_1}; \quad \tau = \frac{T}{T_1}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$$

μ_p — ўлчовсиз нисбий куч бўлиб, динамик ўхшашлик инварианти ёки «Ньютон сони» деб аталади.

Энди механизм даврий ҳаракатининг қонуниятлари ва ўхшашликнинг позицион инвариантлари ҳақида бир оз тушунча бериб ўтамиз.

Машина даврий ҳаракатда бўлади, яъни унинг барча звенолари ва шу звенолардаги нуқталар вақтга боғлиқ ҳолда, маълум қонун билан циклик қайтарилувчи ҳаракат қилади. Даврий ҳаракатнинг асосий белгилари қуйидагилардан иборат:

1) звено ҳар бир нуқтаси ҳаракати траекториясининг доимийлиги ва маълум чегарада бўлишлиги;

2) звенонинг ҳар бир нуқтасининг траектория бўйлаб ёки ўқ атрофидаги ҳаракат қонуни қандайдир $S_i = S_i(t)$, $\varphi_i = \varphi_i(t)$

функциялари орқали ифодаланadi ва улар циклнинг даври (T) ичидаги ҳақиқийдир, яъни $0 \leq t \leq T$ чегарада;

3) шу қонуниятлар ўзгармас такрорлик билан тўла ритмик қайтарилади. Уларнинг такрорлари қуйидагича топилadi:

$$\text{такрори } f = \frac{1}{T}$$

$$\text{даври } T = \frac{60'' \text{ сек}}{\Pi \text{ цикла}} \text{ — механизм даври.}$$

Чизиқли ва бурчак тезликлар қуйидагича топилadi:

$$v_i = \frac{ds_i(t)}{dt}, \quad \omega_i = \frac{d\varphi_i(t)}{dt}$$

Бу ерда S , T — ҳаракатнинг миқдор параметрлари деб аталади. Миқдор параметрлари турлича бўлса ҳам, агар улар бир тур ҳаракат қонунини ифодаласа, сифат жиҳатидан мос келади, чунки циклнинг (даврнинг) исталган фазасида нисбий вақт $\tau = \frac{t_i}{T}$ орқали топилиб, нисбий босилган йўл ўзгармай қолади, яъни:

$$K_s = \frac{S_i}{S} \quad (i = 0, 1, \dots, n)$$

Бунда

$$\tau_{\max} = \frac{t_n}{T} = \frac{T}{T} = 1; \quad K_s = \frac{S_n}{S} = \frac{S}{S} = 1.$$

T , S — давр ва берилган оралиқлар.

$S_i = S_i(t)$ функцияни қуйидаги рационал кўринишда ифодалаш мумкин:

$$S_i = S_i(t) = \frac{S_i\left(\frac{t}{T} \cdot T\right)}{S}, \quad S = \frac{S_i(\tau \cdot T)}{S} \cdot S$$

ёки

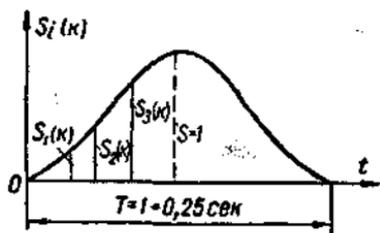
$$S_i = S_i(k) \cdot S \quad (4.95)$$

$\frac{S_i(\tau \cdot T)}{S} = S_i(k)$ — нисбий босилган йўл ёки оралиқ, ўлчовсиз сон ёки ҳаракатнинг ўхшашлик инварианти;

$\tau = \frac{t}{T}$ — ўлчовсиз нисбий вақт ёки цикл оралиқ вақтнинг позицияси.

$S_i(k)$ — ҳаракатнинг сифат томонини билдиради. Нисбий вақт ва оралиқ (йўл) қуйидаги чегарада ўзгаради:

$$0 \leq \tau \leq 1, \quad 0 \leq S_i(k) \leq 1$$



16.1-шакл.

Мисол тариқасида аксиал кривошип-ползули механизмни олаёлик:

$$r = 40 \text{ мм}, \quad l = 120 \text{ мм}, \quad S = 80 \text{ мм}; n = 240 \text{ айл/мин}$$

$$T = \frac{60}{240} = 0,25 \text{ сек/ айл.}$$

Механизмнинг берилган параметрлари учун ползун ҳаракатидаги нисбий босилган ораллиқ графиги 16.1- шаклда келтирилган.

V боб.

ҚУЙИ ЖУФТЛИ МЕХАНИЗМАЛАР ЛОЙИҲАЛАШ АСОСЛАРИ

1-§. Механизмлар лойиҳалашнинг асосий масалалари

Ҳозирги замон техникасида қўйи жуфтли механизмлар жуда кўп ишлатилади. Ҳар хил механизмлар, асбоблар ва машина қисмлари (звенолар), кўпинча, бир-бири билан шарнирлар ёки бошқа воситалар орқали боғланган бўлади. Кўпчилик механизмлар қўйи жуфтлар билан боғланган звенолар мажмуидан иборатдир.

Қўйи кинематик жуфтларнинг афзалликлари шундаки, улардаги элементлар текислик ёки сиртдан иборат бўлиб, бундай элементларнинг юзи бирлигига тўғри келган солиштирма босим бошқа кинематик жуфтларникига қараганда кичик бўлади, шу сабабли бундай жуфтлар чидамли бўлади ва узоқ муддат ишлайди. Иккинчи томондан, қўйи кинематик жуфтлар элементларини ишлаш технологияси ҳам осондир. Қўйи кинематик жуфтларнинг элементлари текислик, цилиндрлик юза ва сиртдан иборатдир. Бундай юзалар тайёрлаш ҳозирги машинасозлик технологиясида яхши йўлга қўйилган. Учинчидан, қўйи жуфтларни қўшимча воситасиз (пружина ёки бошқа воситасиз) кинематик беркитиш жуда қулай.

Қўйи кинематик жуфтлардан тузилган механизмларнинг камчиликлари шундаки, улар воситасида етакланувчи (иш бажарувчи) звенонинг исталган ҳаракат қонунини олиш ҳамма вақт мумкин бўлавермайди. Бундай ишнинг бажарилиши механизмдаги звенонлар сонининг ортиб кетишига сабаб бўлади. Звенолар сонининг ортиб бориши эса механизмларнинг кинематик ва динамик сезгирлигини оширади. Бунинг маъноси шундаки, механизм таркибида звенолар сопи кўпайса, улардаги кинематик жуфт элементларининг ишқаланиш оқибатида ейилиши, кинематик жуфт элементларида ўзаро ораллиқ борлигидан, ҳаракат узатилишида бирмунча хатоликларга йўл қўйилади, бунинг оқибатида етакланувчи зрену нуктасининг ҳаракат қонуни биз истаган қонундан бошқачароқ

бўлади. Бунинг орқасида кучлар ҳам ўзгариб, технологик процесснинг нормал боришига ҳалақит беради.

Қуйи кинематик жуфтлардан тузиладиган механизмлар лойиҳалашнинг асосий моҳияти билан танишиб ўтамиз. Маълумки, ҳар қандай механизм ўз таркибига кирган етакланувчи звенонинг бирор технологик процесс учун зарур ва олдиндан белгиланган ҳаракатини таъминлаш учун хизмат қилади. Етакланувчи звенонинг бу ҳаракати жуда кўп факторларга боғлиқ бўлади. Бу факторлар етакланувчи звенонинг ҳаракат қонуни, механизм таркибидagi звеноларнинг узунликлари, илгариланма ҳаракат қилувчи кинематик жуфт ҳолатларини белгиловчи чизиқли ўлчовлар каби кинематик параметрларни ўз ичига олади, бинобарин, кинематик параметрларга асосланиб, механизмнинг кинематик схемаси тузилади. Ана шу етакланувчи звенонинг ҳаракат шартига кўра, механизм кинематик схемасининг параметрларини аниқлаш механизملар лойиҳалашнинг асосий масаласидир. Етакланувчи звенонинг технологик ишлар учун мўлжалланган ҳаракатини таъминловчи механизмнинг кинематик схемасини тузиб, унинг таркибидagi звеноларнинг узунликларини билла олсак, масаланинг асосий қисмини ҳал қилган бўламиз, чунки қолган масалалар шу механизм таркибидagi звеноларнинг ҳаракатини синиб кўриш, мустаҳкамлигини таъминлаш ва шу механизмнинг иқтисодий жиҳатдан қанчалик фойдали эканлигини ёки бошқа томонларини аниқлаш билан боғлиқ бўлиб, улар бошқа фан тармоқлари — математика, материаллар қаршилиги, машина деталлари, тебранишлар назарияси, инженерлик экономикаси ва шу кабиларнинг иштироки билан ҳал қилинади. Умуман, бирор машина ёки механизм яратиш, аввало, шу механизм ёки машинанинг рационал кинематик схемасини тузишдан бошланади. Қолган масалаларни машинашуносликнинг турли тармоқлари ҳал қилади.

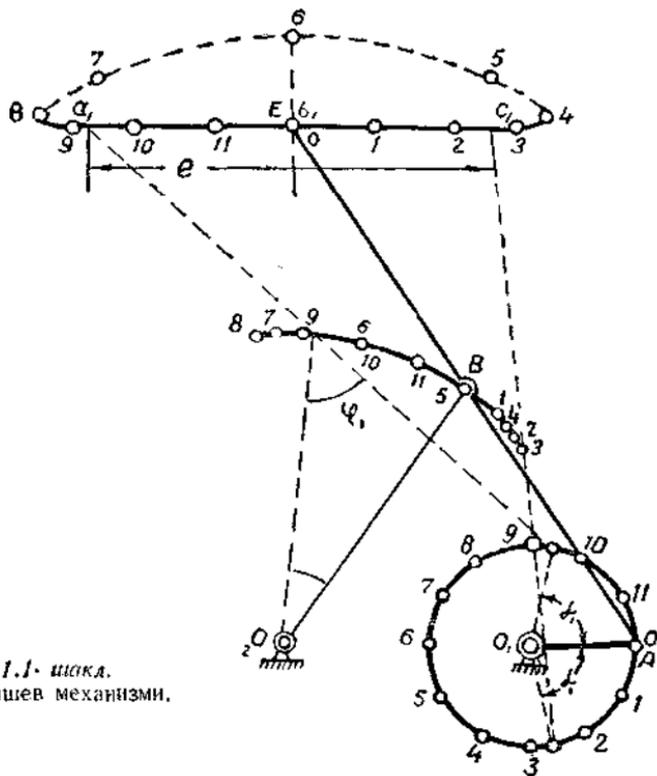
Бундан буён, қуйи кинематик жуфтларни ўз ичига олган механизмлар лойиҳалаш масаласи берилган ҳаракат қонунини таъминлаш ва берилган траекторияни чиза оладиган механизмнинг кинематик схемаси параметрларини аниқлашдан иборат деб қараймиз.

Берилган ҳаракат қонунини таъминлаш етакловчи звенонинг ҳаракат қонуни берилган ҳолда етакланувчи звенонинг аниқ ёки тақрибий ҳаракат қонунини таъминлай оладиган механизм кинематик схемасининг параметрларини топиш билан боғлиқдир. Маълумки, П. Л. Чебишевнинг тўрт звеноли ламбидасимон механизмининг кўриб чиқамиз (1.1-шакл).

Бу механизмнинг O_1A кривошипни ўзининг ноль вазияти (O_1A_0) дин бошлаб, A нуқта чизган ёйда айланса, AB шатуннинг давомидиги E нуқта a, b, c тақрибий тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилади. Бу ҳол эса механизм кинематик схемасининг параметр-

лари $O_1O_2 = 2 \cdot O_1A$; $AB = O_2B = BE = 2,5 \cdot O_1A$ бўлгандагина амалга ошади.

Яна бир мисол тариқасида 1.7-шаклда (I боб) кўрсатилган юк кўтариш кранини олайлик. Бу механизмдаги шатун эгри чизиғининг



1.1-шакл.
Чебишев механизми.

горизонтал қисми (EE_0) юкни горизонтал йўналишда узатиш учун ишлатилади. Бу эса механизмнинг параметрлари $BC = 0,27 \cdot OB$; $BE = 0,83 \cdot O_1B$; $O_2C = 1,18 \cdot O_1B$ ва $O_1O_2 = 0,84 \cdot O_1B$ бўлгандагина амалга ошуви мумкин.

Учинчи мисол тариқасида Робертснинг тўрт звеноли тақрибий йўналтирувчи механизмини кўриб чиқамиз (1.2-шакл).

Робертс механизмининг E нуқтаси AB ёки CD звенолар айланса, шаклда кўрсатилган схема параметрлари ҳолатида тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилади. Бу ерда BCE шатун базисли звено бўлиб, мураккаб ҳаракат қилади. Аммо унинг E нуқтасигина маълум чегарада тақрибий тўғри чизиқли траектория чизади; бу траекторияларни график ёки аналитик усулда топish мумкин.

гарттириш ёки динамик параметрларини ўзгарттириш орқали олинади.

Умуман олганда, машина механизмларидаги таъсир қилувчи кучлар статик ва динамик бўлиши мумкин. Статик кучларга турли технологик қаршиликлар, эластик кучлар, оғирлик кучлари, ишқаланиш кучлари ва бошқалар кирди. Масалан, газлама тўқиш станогини олсак, бундаги асосий технологик қаршиликлар — тўқима бағрининг батан бердосига кўрсатган қаршилиги ёки батан оғирлиги, кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш кучлари статик кучлар жумласидандир. Динамик кучларга эса инерция кучлари кирди. Бундай кучлар асосан машина иш звеносининг ҳаракат қонуни ва машина ёки механизм массаларининг жойланишига боғлиқдир.

Одатда, машинанинг иш органи маълум чегарада ҳаракат қилиб, шу чегарада унинг тезлигининг ўзгариш қонуни (тахограммаси) турлича бўлиши мумкин: масалан, $v = v(t)$ тахограмма қўзғалиш (разгон) ва тормозланиш каби икки фазадан иборат бўлиши; $v = u(t)$ тахограмма қўзғалиш, бир текисдаги ҳаракат ва тормозланиш каби уч фазадан ҳам иборат бўлиши ёки шу график симметрик ва асимметрик бўлиши ҳам мумкин. Тезланиш графиги эса қўзғалиш ёки тормозланиш даврида максимал қийматга нисбатан симметрик ва асимметрик ҳам бўлиши мумкин.

Машина ва механизмларни лойиҳалашнинг назарий асоси унинг иш органининг ҳаракат қонунини усталик билан танлай билишга боғлиқ. Ҳаракат қонунлари хилма-хилдир, улар машина бажарадиган технологик процесс хоссасига, машина элементларидаги иш процессида ҳосил бўладиган кучлар қандай бўлишига боғлиқ. Агар машина секин ҳаракатланса, у ҳолда унинг таркибидаги звеноларнинг тезланиши ҳам кичик бўлади, яъни тезланишларнинг аҳамияти бўлмайди. Бундай машиналардаги иш звеноларининг ҳаракат қонунини бевосита $S = S(t)$ қонунидан бошласа бўлаверди, ammo тезюрар машиналар бўлса, улардаги динамик кучлар катталашиб кетмаслиги учун аввало рационал тезланиш графиги танлаб олинади ва сўнг $a = a(t)$ га қараб $v = v(t)$ ва $S = S(t)$ ларни топилади.

Тезланиши лозим бўлган иш органлар учун, асосан, қуйидаги ҳаракат қонунларидан фойдаланиш мумкин:

1. Иш органларининг ҳаракат қонуни параболик кўринишда бўлиши мумкин: бундай ҳол учун тезланиш графиги — тўғри чизиқ, яъни тезланиш ўзгармас ва учбурчак қонуни билан бўлади. Ёки ҳаракат параболик эгри чизиқлар оиласидан бўлиб — тезланиш ҳам даражалли функция бўлиши мумкин (масалан $S = k \cdot t^6 + c$ бўлса, $a = 20k \cdot t^5$ бўлади).

2. Иш органининг ҳаракат қонуни тригонометрик қонуният асосида бўлиши мумкин.

Бундай ҳол учун тезланиш — синусонда, косинусонда ва бошқа ҳолларда бўлади.

3. Ҳар икки пунктни ўз ичига олган ҳаракат қонунида бўлиши мумкин. Бундай ҳаракат қонунини мураккаб ҳаракат қонуни деб атаса ҳам бўлади.

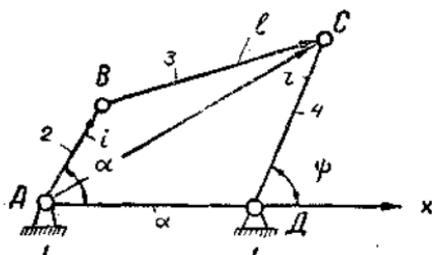
Ҳаракат қонуни	$a = a(t)$, $U = U(t)$ $S = S(t)$ шартликлари	Ҳаракат тенгламаси
I. Тезланиш ўзгармас бўлган ҳаракат		<p>Машинанинг тезланишида</p> $a = \frac{2S_0}{T^2}$ $U(t) = 2S_0 \frac{t}{T}$ $S(t) = S_0 \left(\frac{t}{T}\right)^2$
		<p>Машина мазлум вақтгача тезланиш билан ҳаракатланиб, сўнг тўрماзланади</p> <p>$0 < t < 0.5T$ бўлса: $a = \frac{4S_0}{T^2}$ $U(t) = 4S_0 \frac{t}{T^2}$ $S(t) = 2S_0 \frac{t^2}{T^2}$</p> <p>$0.5T < t < T$ бўлса: $a = -\frac{4S_0}{T^2}$ $U(t) = \frac{4S_0}{T} \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ $S(t) = \frac{4S_0 t}{T} - \frac{2S_0}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^2$</p>
II. Тезланиш учбурчак қонуни билан		<p>Тезланиш</p> $a(t) = \frac{3S_0}{T^2} \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ $U(t) = 3S_0 \frac{t}{T^2} \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ $S(t) = \frac{S_0}{2} \left(\frac{t}{T}\right)^2 \left(3 - \frac{t}{T}\right)$
III. Тезланиш учбурчак қонуни билан ошиб боради		<p>$a_1 < t < 0.5T$ бўлса: $a(t) = 24S_0 \frac{t}{T^3}$ $U(t) = 12S_0 \frac{t^2}{T^3}$ $S(t) = 4S_0 \left(\frac{t}{T}\right)^3$</p> <p>$0.5T < t < T$ бўлса: $a(t) = -24S_0 \frac{t}{T^3} - \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ $U(t) = 12S_0 \frac{t^2}{T^3} \left(1 - \frac{t}{T}\right)^2$ $S(t) = 4S_0 \left(\frac{t}{T}\right)^3 - 12S_0 \frac{t^2}{T^2} + 3S_0$</p>
IV. Синусoidal қонунилар		$a(t) = \frac{\pi S_0}{T^2} \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right)$ $U(t) = \frac{S_0}{T} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right]$ $S(t) = S_0 \left[\frac{t}{T} - \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right]$
		$a(t) = a_{\max} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$ $U(t) = a_{\max} \frac{T}{2\pi} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right)\right]$ $S(t) = a_{\max} \frac{T^2}{2\pi} \left[\frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)\right]$

2-§. Тўрт звеноли механизмларнинг асосий типларини кўйилган турли шартларга мувофиқ лойиҳалаш

Механизмларни синтез қилиш (ёки лойиҳалаш) масаласига асос солган киши улуғ рус олими П. Л. Чебишевдир. Биз қуйида совет олимларидан Н. И. Левитский ишлаб чиққан йўл билан механизмлар лойиҳалашни кўриб ўтамыз.

Масalani тушунтириш учун 2. 1-шаклда кўрсатилган тўрт звеноли механизмни оламыз.

AB кривошипнинг ҳаракат қонуни қуйидаги математик боғланишда берилган бўлсин:



2.1-шакл. Тўрт звеноли механизм.

$$\alpha = \alpha(t) \quad (5. 1)$$

Етакланувчи CD звенонинг ҳаракат қонуни қуйидаги боғланишда бўлсин:

$$\psi = \psi(t) \quad (5. 2)$$

(5. 1) ва (5. 2) тенгламалардан умумий параметр бўлган t вақтни чиқариб ташлаб, қуйидаги математик боғланишни ҳосил қиламыз:

$$\psi = f(\alpha) \quad (5. 3)$$

Бу тенглама фақат механизм параметрлари орқали тузилади. Бунинг учун механизм параметрларини қуйидагича белгилаб олиш маъқулроқдир:

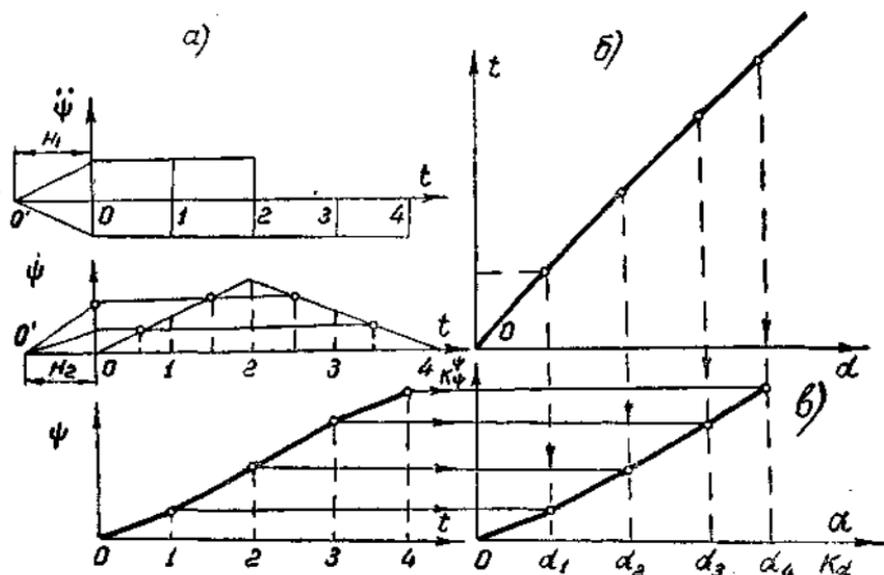
$$\frac{l_{AB}}{l_{AB}} = 1; \quad \frac{l_{BC}}{l_{AB}} = l; \quad \frac{l_{CD}}{l_{AB}} = r; \quad \frac{l_{AD}}{l_{AB}} = d$$

AB ва CD звеноларнинг бошланғич вазиятларини α_0 ва ψ_0 билан белгиласак, механизмда топилши лозим бўлган α , ψ , l , r ва d параметрлар бўлади.

Агар AB ва CD звеноларнинг x ўқи билан ҳосил қилган α_1 , α_2 , α_3 , ..., α_m ; ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 , ..., ψ_m вазиятлари берилган бўлса, қуйидаги тенгламаларни ёзишимиз мумкин:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \psi(\alpha_1) \\ \psi_2 &= \psi(\alpha_2) \\ &\dots \\ &\dots \\ \psi_m &= \psi(\alpha_m) \end{aligned} \quad (5. 4)$$

(5. 4) да тенгламалар сони номаълум параметрлар сонига тенг бўлса, у ҳолда, масалани назарий жиҳатдан ечиш осон, аммо бу масалани амалий жиҳатдан ечиш қийин бўлгани учун, одатда, баъзи параметрлар берилган бўлади. Шу муносабат билан, α ва ψ ларнинг берилган қийматлари параметрлар сонига қараб танланади; бунда масалани ечиш осонлашади. Бундай ҳолда биз истаган ҳаракат қонунини юзага чиқариш масаласи звеноларнинг вазиятлари тўғрисидаги масалага келтирилади ва осонлик билан ечилади.



2.2-шакл. а — бурчак тезланиши, бурчак тезлиги ва $\psi = \psi(t)$ графиги; б — $\alpha = \alpha(t)$ графиги; в — $\psi = \psi(\alpha)$ графиги.

Етакловчи звено билан етакланувчи звено орасидаги боғланиш бурчак тезликлари ёки бурчак тезланишлари орқали берилган бўлса, уларнинг бири-ичинини икки марта, иккинчисини эса бир марта интеграллаб, иккала звено орасидаги бурчак боғланишини топишимиз (2. 2-шакл, а, в).

2. 2-шаклдаги в $\psi = \psi(\alpha)$ графигидан етакловчи звенонинг $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ вазиятлари учун етакланувчи звенонинг ψ_1, ψ_2, ψ_3 вазиятларини аниқлаб, 2.1-шаклдан қуйидаги вектор тенгламани ёзишимиз мумкин:

$$AC = AB + BC = AD + DC$$

$AB = l = 1$ деб олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\vec{i} + \vec{l} = \vec{d} + \vec{r} \quad (5. 5)$$

2. 3-шаклдаги тегишли векторларни x ва y ўқларига проекциялаб, қуйидагиларни ҳосил қилиш мумкин:

$$\begin{aligned} x \text{ ўқига проекцияси} & \rightarrow \cos \alpha_i + l \cos \delta_i = d + r \cdot \cos \psi_i, \\ y \text{ ўқига проекцияси} & \rightarrow \sin \alpha_i + l \sin \delta_i = r \cdot \sin \psi_i, \end{aligned} \quad (5. 6)$$

(5. 6) тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\begin{aligned} l \cos \delta_i &= d + r \cdot \cos \psi_i - \cos \alpha_i, \\ l \sin \delta_i &= r \cdot \sin \psi_i - \sin \alpha_i \end{aligned} \quad (5. 7)$$

(5. 7) тенгламани квадратга кўтариб, сўнгра қўшсак қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$l^2 = d^2 + r^2 + 1 + 2d \cdot r \cdot \cos \psi_i - 2 \cdot d \cdot \cos \alpha_i - 2r \cdot \cos(\psi_i - \alpha_i) \quad (5. 8)$$

(5. 8) тенгламанинг чап томонида фақат $\cos \alpha_i$ ни қолдириб, уни қуйидаги кўринишга келтираемиз:

$$\cos \alpha_i = r \cdot \cos \psi_i - \frac{r}{d} \cos(\psi_i - \alpha_i) + \frac{d^2 + r^2 + 1 - l^2}{2d} \quad (5. 9)$$

(5. 9) тенгламани қуйидагича ихчамлаштирамиз:

$$\left. \begin{aligned} p_0 &= r \\ p_1 &= \frac{r}{d} \\ p_2 &= \frac{d^2 + r^2 + 1 - l^2}{2d} \end{aligned} \right\}$$

Бунда (5. 9) тенглама қуйидаги кўринишга киради:

$$\cos \alpha_i = p_0 \cdot \cos \psi_i + p_1 \cos(\psi_i - \alpha_i) + p_2 \quad (5. 10)$$

Агар (5. 10) тенгламадаги α_i , ψ_i лар ўрнига берилган α_1 , α_2 , α_3 ва ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 ларни қўйсак, учта чизиқли тенгламадан иборат қуйидаги система ҳосил бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha_1 &= p_0 \cos \psi_1 + p_1 \cos(\psi_1 - \alpha_1) + p_2 \\ \cos \alpha_2 &= p_0 \cos \psi_2 + p_1 \cos(\psi_2 - \alpha_2) + p_2 \\ \cos \alpha_3 &= p_0 \cos \psi_3 + p_1 \cos(\psi_3 - \alpha_3) + p_2 \end{aligned} \right\} \quad (5. 11)$$

Бу тенгламани ечиб, p_0 , p_1 ва p_2 ларни топамиз, улар орқали механизмнинг r , d ва l параметрлари топилади.

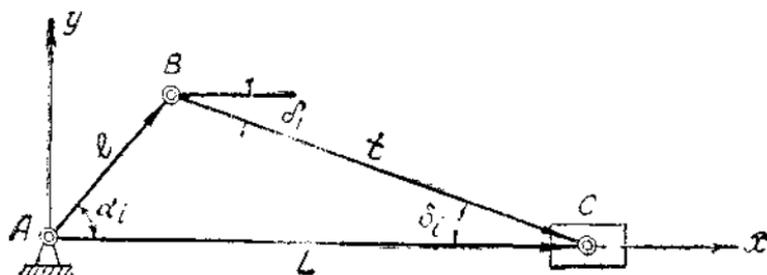
Агар механизм кривошип билан коромислонинг икки вазияти орқали лойиҳаланса, механизмнинг битта параметрини ихтиёрий равишда танлаб олишимиз мумкин, демак, бу масала бир неча ечимга эгадир.

(5. 8) тенгламани аксиал кривошип-шатунли механизмга татбиқ қилсак, $r = 0$ бўлганидан, тенглама қуйидаги кўринишга киради (2. 4- шакл):

$$\cos \alpha_1 = \frac{d^2 + 1 - l^2}{2d} \quad (5. 12)$$

(5. 12) тенгламани d га нисбатан ечиб, қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$d = \cos \alpha_1 \pm \sqrt{\cos^2 \alpha_1 - (1 - l^2)} \quad (5. 13)$$



2.4- шакл. Кривошип-шатунли механизм.

2. 4- шаклдаги механизм параметрларини x ва y ўқларига проекциялаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 + l \cdot \cos \delta_1 &= d \\ \sin \alpha_1 - l \cdot \sin \delta_1 &= 0 \end{aligned} \quad (5. 14)$$

(5. 14) тенгламаларнинг иккала томонини квадратга кўтариб, сўнгра қўшсак, қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$d^2 - 2d \cdot \cos \alpha_1 + (1 - l^2) = 0. \quad (5. 15)$$

(5. 15) тенглама d га нисбатан ечилса, (5. 13) тенглама ҳосил бўлишини кўриш қийин эмас.

3-§. Механизм кинематик схемаларини синтезлаш

Энди механизмлар кинематик схемаларини синтезлаш масалалари билан танишиб ўтамиз. Механизмлар ичида энг кўп тарқалганлари шарнирли механизмлар бўлиб, улардан баъзиларининг кинематик схемаларини синтезлаш масалаларини кўриб чиқамиз.

А. шарнирли 4-звеноли механизм кинематик схемасини лойиҳалаш. Бундай механизм лойиҳалашни асосан қуйидаги уч гурппага бўлиш мумкин:

- 1) звеноларнинг энг чекка силжишларига қараб лойиҳалаш;
- 2) чиқувчи ва кирувчи координаталарнинг берилган боғланишга қараб лойиҳалаш;
- 3) шатундаги бирор нуқтанинг берилган бирор траектория чиқишига қараб лойиҳалаш.

Масалани равшанлатиш учун 3. 1-шаклда кўрсатилган 4-звеноли механизм қурамиз.

Бундай механизмнинг нормал ишлаши учун босим бурчаги ҳамма вақт $\beta < 90^\circ$ шартини бажариши керак. Агар оёқ педали томонидан қўйилган P куч AB шатун бўйлаб йўналса, у ҳолда босим бурчаги $\beta = 90^\circ$ га яқинлашган бўлади. Бундай ҳолда етакланувчи звено — кривошип (3) иккита «ўлик» ҳолатга эга бўлади, яъни соат стрелкаси айланган томонга ёки унга тескари томонга айлана олиши мумкин. Шундай қилиб $\beta = 90^\circ$ бўлганда ўз-ўзидан тормозланиш ҳолати пайдо бўлади. Бундан қутулишнинг йўли механизм инверциясидир, яъни механизм звенолари етарли тезликка эга бўлса, кривошип бу ҳолатдан ўтиб кетади.

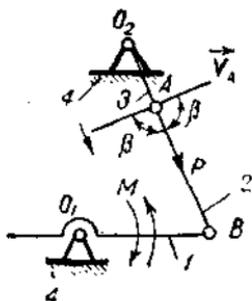
Умуман олганда, «ўлик» ҳолатларнинг бўлмаслиги учун, механизм кинематик схемасини шундай тузиш керакки, унинг ҳолатлари ичда босим бурчаги ҳамма вақт $\beta < 90^\circ$ шартини қондирсин.

Бу айтилган ҳолат механизм кинематик схемасининг параметрларини топиш билан боғлиқ. Шунинг учун ҳам синтез масаласининг сонсиз-саноқсиз ечимлари бўлганлигидан уни математик ноаниқ масала деб қаралади. Синтез масаласи аналитик ва график усул билан ҳал этилиши мумкин, аммо конструкторлик практикасида масаланинг график ҳал этилиши маъқулдир. Аналитик ҳал этиш эса катта ҳисоб ишларини олиб бориш билан боғлиқ.

Биз қуйида график усулни кўриб чиқамиз:

1) 4-звеноли механизм (3. 2-шакл) шатунини берилган икки ҳолатига қараб синтезлаш. Бунда шатуннинг икки A_1B_1 ва A_2B_2 ҳолатлари берилган. Шатуннинг шу ҳолатларини таъминловчи механизмнинг кинематик схемаси тузилсин.

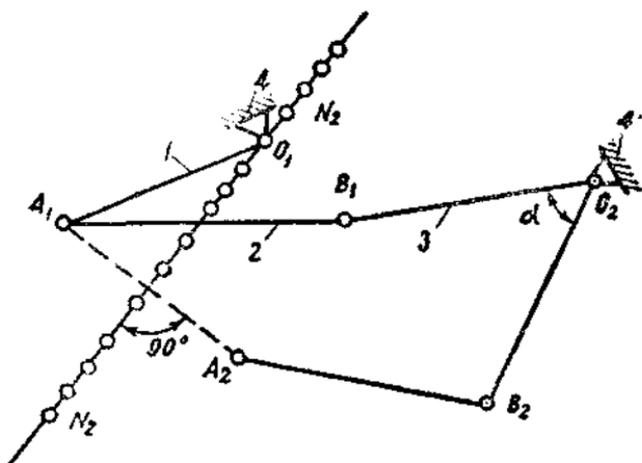
Ечиш. Масалани ечиш учун A_1 ва B_1 нуқталар A_2 ва B_2 ҳолатларига ўтишида бирор ёйдан ўтишларини эслаб, A_1 ни A_2 билан ва B_1 ни B_2 билан тўғри чизик орқали туташтирамиз. A_1A_2 нинг қоқ ўртасидан A_1 нуқтани ва B_1B_2 нинг қоқ ўртасидан B_1 нуқталарни танлаб, сўнг улар орқали $N_1N_1 \perp A_1A_2$ ва $N_2N_2 \perp B_1B_2$



3.1-шакл.

ларни бериш ҳам мумкин. Буни тўғри ҳал қилиш конструкторнинг малакасига боғлиқ.

3) Етакловчи звено тўла айланганда коромисло берилган α бурчак оралиғида тебраниши керак бўлган тўрт звеноли механизм кинематик схемасини яратиш билан танишамиз. Бундай ҳолат



3.3- шакл.

газлама тўқув автоматларида учрайди. O_2B_1 ва O_2B_2 — коромисло ҳолатлари берилган (3. 4- шакл).

Ечиш. Ихтиёрий O_1 нуқтани кривошипнинг айланиш маркази деб оламиз. Танланган O_1 нуқта билан B_1 ни тўғри чизиқ орқали бирлаштирамиз. Натижада $O_1A_1B_1O_2$ дан иборат 4 звеноли механизм ҳосил қиламиз.

$O_1A_1B_1$ бир тўғри чизиқда ётганда коромисло энг чекка ҳолатда бўлади, у ҳолда

$$\begin{aligned} O_1B_1 &= A_1B_1 + O_1A_1 = AB_1 + O_1A \\ O_1B_2 &= A_2B_2 - O_1A_2 = AB_2 - O_1A \end{aligned} \quad (5.16)$$

Бу икки тенгламадан кривошип ва шатуннинг узунлигини топиш мумкин:

$$O_1A = \frac{O_1B_1 - O_1B_2}{2} \text{ (мм);} \quad AB_1 = AB_2 = AB = \frac{O_1B_1 + O_1B_2}{2} \text{ (мм)}$$

Масаланин чексиз ечим бор.

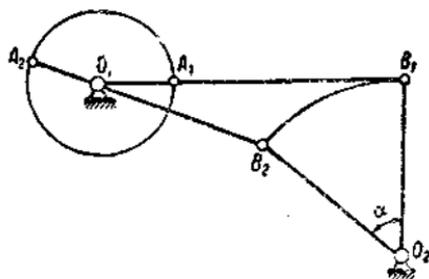
4) Икки коромислоли 4 звеноли механизм кинематик схемасини коромислоларнинг берилган икки ҳолатига қараб лойиҳалаш билан танишиб чиқамиз. 3. 5- шаклда O_1A_1 ва O_2B_1 ҳамда O_1A_2

ва O_2B_2 ҳолатлар берилган. Бу ҳолатларни таъминловчи шатуннинг узунлиги топилсин. Бу масalani илгаригига ўхшаш йўл билан ҳал этиш мумкин.

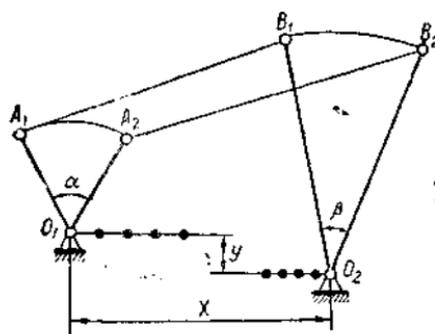
Ечиш. Бунинг учун A_1 ни B_1 билан туташтирамиз. $A_1B_1 = A_2B_2 = AB$ эканлигини эътиборга олиб A_2 дан AB билан B_2 ни улагунча O_2 ни ўзгартириб тураемиз. Бунда AB шатун билан x ва y лар танланади. Бундай ҳол учун ҳам масаланинг чексиз ечими бўлади.

5) Икки коромислоли тўрт звеноли механизм коромислоларининг берилган икки ҳолатига қараб аналитик синтезлаш билан танишиб ўтамиз (3. 6-шакл).

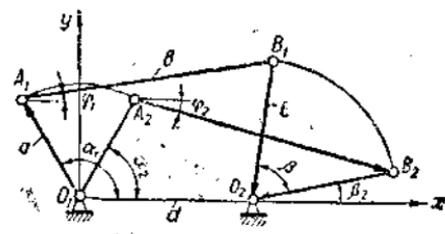
Масalani ҳал этмоқ учун механизмнинг икки ҳолатидаги узунлик параметрларини ox ва oy ўқларига проекциялаб чиқамиз.



3.4-шакл



3.5-шакл.



3.6-шакл.

ox ўқига проекциялари:

$$\begin{cases} -a \cdot \cos \alpha_1 + b \cdot \cos \varphi_1 - c \cdot \cos \beta_1 - d = 0 \\ a \cdot \sin \alpha_1 + b \cdot \sin \varphi_1 - c \cdot \sin \beta_1 = 0 \\ a \cos \alpha_2 + b \cdot \cos \varphi_2 - c \cdot \cos \beta_2 - d = 0 \\ a \cdot \sin \alpha_2 - b \cdot \sin \varphi_2 - c \cdot \sin \beta_2 = 0 \end{cases} \quad (5. 17)$$

oy ўқига проекциялари:

$$\begin{cases} b \cdot \cos \varphi_1 = d + a \cos \alpha_1 + c \cdot \cos \beta_1 \\ b \cdot \sin \varphi_1 = -a \cdot \sin \alpha_1 + c \cdot \sin \beta_1 \end{cases} \quad (5. 18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b \cdot \cos \varphi_2 = d - a \cdot \cos \alpha_2 + c \cdot \cos \beta_2 \\ b \cdot \sin \varphi_2 = -a \cdot \sin \alpha_2 + c \cdot \sin \beta_2 \end{array} \right\} \quad (5. 19)$$

(5. 18) ва (5. 19) ларнинг ҳар икки томонини квадратга ошириб, сўнг қўшсак, φ_1, φ_2 лардан қутуламиз:

$$\begin{aligned} b^2 &= d^2 + a^2 \cos^2 \alpha_1 + c^2 \cdot \cos^2 \beta_1 + 2a \cdot d \cdot \cos \alpha_1 + 2d \cdot c \cdot \cos \beta_1 + \\ &+ 2ac \cos \alpha_1 \cdot \cos \beta_1 + a^2 \cdot \sin^2 \varphi_1 - 2a \cdot c \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta_1 + c^2 \cdot \sin^2 \beta_1 = \\ &= d^2 + a^2 + c^2 + 2ad \cdot \cos \alpha_1 + 2d \cos \beta_1 + 2ac \cdot \cos (\alpha_1 + \beta_1) \end{aligned} \quad (5. 20)$$

ёки

$$\begin{aligned} b^2 &= d^2 + a^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + c^2 \cdot \cos^2 \beta_2 - 2ad \cdot \cos \alpha_2 + 2d \cdot c \cdot \cos \beta_2 - \\ &- 2ac \cdot \cos \alpha_2 \cos \beta_2 + a^2 \cdot \sin^2 \alpha_2 - 2ac \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 + c^2 \cdot \sin^2 \beta_2 = \\ &= d^2 + a^2 + c^2 - 2ad \cos \alpha_2 + 2dc \cdot \cos \beta_2 - 2ac \cdot \cos (\alpha_2 - \beta_2) \end{aligned} \quad (5. 21)$$

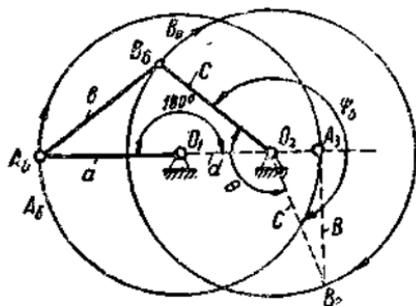
Ҳар икки томонини бир-биридан айирамиз:

$$\begin{aligned} 2ad (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + 2dc (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) + \\ + 2ac [\cos (\alpha_1 + \beta_1) - \cos (\alpha_2 - \beta_2)] = 0 \end{aligned} \quad (5. 22)$$

(5. 22) тенгламадан a ни ва (5. 20) тенгламадан b ни топамиз. C билан d ларни берилган деб фараз этамиз:

$$a = \frac{d \cdot c (\cos \beta_2 - \cos \beta_1)}{c [\cos (\alpha_1 + \beta_1) - \cos (\alpha_2 - \beta_2)] + d (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)}, \quad (5. 23)$$

$$b = ; \frac{a^2 + d^2 + c^2 - 2ad \cos \alpha_1 + 2dc \cos \beta_1 + 2ac \cos (\alpha_1 + \beta_1)}{2} \quad (5. 24)$$



3.7- шикл.

яна 180° га бурилиб, O_1A_0 ҳолатини эгалласа, у ҳолда O_2B_0 яна O_2B_0 ҳолатига ўтади ва $\theta = 360^\circ - \psi^\circ$ га айланган бўлади. Шундай қилиб, тезликнинг ошиш коэффициенти қуйидагича топилади:

$$360k - \psi \cdot k = \psi; \quad k = \frac{\psi^\circ}{360^\circ - \psi^\circ}; \quad \psi^\circ = \frac{360 \cdot k}{1 + k} \quad (5. 25)$$

6) Энди икки кривошипни 4 звеноли механизмни аналитик синтезлаш йўлини кўриб чиқамиз. Аввало тезликнинг ошиш коэффициенти билан танишиб ўтамиз (3. 7- шакл).

Агар етакловчи звено O_1A бўлса, у ҳолда O_1A_0 ҳолатидан соат стрелкаси айланган томон ҳаракатланиб, 180° га айланса, O_2B_0 ўз ҳолатидан O_2B_0 га ўтади, яъни $\psi_0^\circ = 360^\circ - \theta^\circ$ га айланади. Агар O_1A айланишда давом этиб,

Энди механизмни синтезлашга ўтамиз. Бизга тезликнинг ошиш коэффициенти k берилган бўлсин. Икки кривошипни 4 звеноли механизмнинг геометрик параметрлари a , b , c ва d лар топилсин (3. 7- шакл).

Еч иш. $\triangle O_2A_0B_0$ ва $\triangle O_2A_3B_3$ учбурчакларни текшираемиз. Буларга косинуслар теоремасини қўллаб, қуйидагиларни топимиз мумкин:

$\triangle O_2A_0B_0$ дан

$$b^2 = (a + d)^2 + c^2 - 2(a + d) \cdot c \cdot \cos \angle A_0O_2B_0,$$

$\triangle O_2A_3B_3$ дан

$$b^2 = (a - d)^2 + c^2 - 2(a - d) \cdot c \cdot \cos \angle A_3O_2B_3$$

Иккаласининг тенглигидан фойдаланиб C ни топамиз:

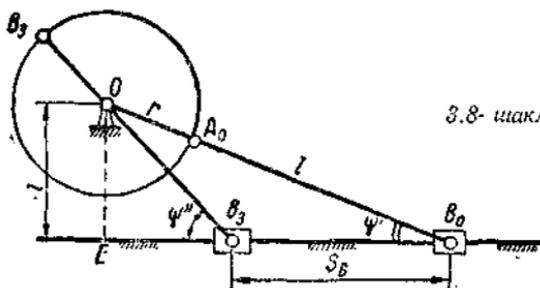
$$c = \frac{2ad}{(a + d) \cos \angle A_0O_2B_0 - (a - d) \cos \angle A_3O_2B_3} \quad (5. 26)$$

a , d ва θ ларга ўзимиз қиймат бериб, c ни топамиз ва b ни қуйидаги тенгликдан аниқлаймиз:

$$b = \sqrt{(a + d)^2 + c^2 - 2(a + d) \cdot c \cdot \cos \angle A_0O_2B_0} \quad (5. 27)$$

Биз бу ҳолларда фақат масалани геометрик ҳал этдик, холос. Агар босим бурчаги ҳисобга олинса, масала анча мураккаблашадн.

Юқориди баён қилинганларга асосан исталган тезликнинг ошиш коэффициентини қаноатлантирадиган механизмни синтезлаш мум-



3.8- шакл.

кинлигини кўриш қийин эмас. Агар k берилса, биз юқоридаги формулалар асосида ψ^0 бурчагини топамиз ва масалани оёшга ўтамиз. ψ_0 орқали θ ни топиш ҳам мумкин.

Энди кривошип-шатун механизмни кинематик схемасини синтезлаш масаласи билан танишиб чиқамиз. Масалани тушунтириш учун десикенал кривошип-шатун механизмнинг ползун маркази бегини бўлини (оралиқни) ҳисоблаймиз (3. 8- шакл).

$\triangle OB_0B_3$ дан

$$S_B = \sqrt{(l+r)^2 - e^2} - \sqrt{(l-r)^2 - e^2} \quad (5. 28)$$

Агар $e = 0$ бўлса, у ҳолда механизм аксиал бўлиб,

$$S_B = l + r - l + r = 2r$$

бўлади.

(5. 28) формуладан кўринишича дезаксиал кривошип-шатун механизмида S_B шатун узунлигига боғлиқ бўлиб, аксиал механизмида эса, S_B шатун узунлигига боғлиқ эмас, у фақат кривошип узунлигига пропорционалдир.

3.8- шаклдан қуйидагиларни оламиз:

$$\sin \psi' = \frac{e}{r+l}; \quad \psi' = \arcsin \left(\frac{e}{r+l} \right),$$

$$\sin \psi'' = \frac{e}{l-r}; \quad \psi'' = \arcsin \left(\frac{e}{l-r} \right).$$

Агар $e = 0$ бўлса, $\psi' = \psi'' = 0$.

Грасгоф теоремаси. Немис олими Ф. Грасгоф биринчи бўлиб, 4 звеноли механизмларнинг ҳаракат шартларини ишлаб чиққан. Барча шарнирли 4 звеноли механизмларни асосан қуйидаги уч гурппага бўлиш мумкин:

1. Таркибидаги ўзи энг кичик ва энг катта звенолар узунлигининг йиғиндиси қолган икки звенолари узунликларининг йиғиндисидан кичик бўлган 4 звеноли механизмлар.

$$(a)_{\min} + (b)_{\max} < c + d \quad (5. 29)$$

2. Биринчи гурппадаги айtilган шартнинг тескарисини таъминловчи 4 звеноли механизмлар яъни икки коромислоли механизмлардан иборат бўлади:

$$(a)_{\min} + (b)_{\max} > c + d \quad (5. 30)$$

3. Биринчи ёки иккинчи гурппадагилар шартининг тенглигини таъминловчи 4 звеноли механизмлар, яъни:

$$(a)_{\min} + (b)_{\max} = c + d \quad (5. 31)$$

Юқорида баён қилинган шартлар 4 звеноли механизмнинг айлана олиш шартлари бўлиб, у *Грасгоф теоремаси* номи билан юритилади. Юқоридаги шартлар бажарилса, механизм нормал ҳаракатда бўла олади.

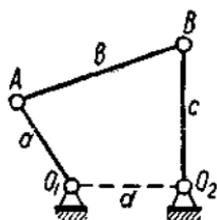
Икки кривошипли механизмнинг хусусий ҳоли 3. 9- шаклда кўрсатилган, бу механизмда $d = a$, $c = b$

$$a_{\min} + b_{\max} = c + d \quad (5. 32)$$

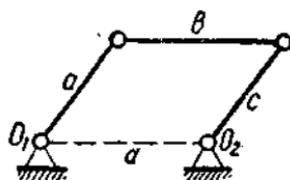
Шарнирли параллелограмм механизмнинг хусусий ҳоли шарнирли ромб механизмидир. Бундай механизмларда $a = b = c = d$ шarti мавжуддир (3. 10-шакл):

$$a + b = b + c \quad (5. 33)$$

Шарнирли 4 звеноли механизмдаги босим ва узатиш бурчаклари тўғрисида икки оғиз гапириб ўтишга тўғри келади. Бундай механизмда агар a — етакловчи звено бўлса, унинг кириш коор-



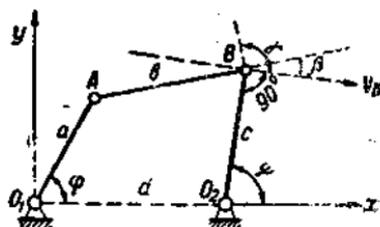
3.9-шакл.



3.10-шакл.

динатасини φ орқали, c — етакланувчи звено бўлса, унинг чиқиш координатасини ψ орқали белгилаб оламиз ва улар орасидаги боғланишни $\psi = f(\varphi)$ орқали ифодалаймиз (3. 11-шакл).

β бурчаги шатун (b) дан қоромисло (c) га ҳаракат узатишдаги босим бурчаги деб аталади. Бу бурчак шатун ўқи билан B нуқтанинг абсолют тезлиги орасидаги бурчакдир. Узатиш бурчаги γ эса B шарнир марказининг абсолют (v_{BO_2}) ва нисбий тезликлари (v_{BA}) орасидаги бурчакдир. Ҳар иккала бурчак ҳам ўзгарувчан бўлиб, улар кириш координатаси (φ) нинг функцияларидир:



3.11-шакл.

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \xi(\varphi) \\ \beta &= \eta(\varphi) \end{aligned} \right\} \quad (5. 34)$$

Энди кривошип-шатунли механизм звеноларининг чекка ҳолатларига қараб синтезлаш масаласи билан танишиб чиқамиз.

Ползун механизмнинг тўла оралиғи берилган. Шу S оралиқни таъминловчи механизмнинг параметрларини аниқлаш талаб қилиниди.

Б.ч.и.ш. Кривошип тўла айланганда ползун шу оралиқни ўтган бўлади. Агар аксиал механизм бўлса $e = 0$ бўлади, у ҳолда

$S = 2r$; $r = 0,5S$; бундай ҳолда фақат шатун узунлигини топиш лозим бўлади.

$\frac{r}{l} = \lambda < 1$. Одатда $\lambda = 1:3 \rightarrow 1:8$ оралиқда қабул этилади. λ кичик бўлса, босим бурчаги кам бўлади, аммо механизм габарити катталашади; λ катта бўлса габарит кичиклашади.

$$l = \lambda \cdot r.$$

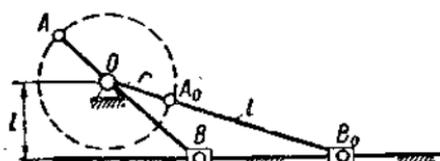
Шундай қилиб, r топилгач λ ни ўзимиз танлаб, l ни топамиз.

Агар дезаксиал механизм бўлса (3. 13-шакл), у ҳолда e берилган бўлади, демак, O нуқтанинг ҳолати ҳам маълум бўлади (3. 12-шакл).

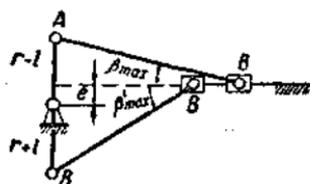
$$OB_0 = l + r, \quad OB = l - r.$$

Бундан

$$r = \frac{OB_0 - OB}{2}, \quad l = OB_0 - r.$$



3.12-шакл.



3.13-шакл.

Механизмнинг рационал вариантини танламоқ учун босим бурчаклари маълум чегарада, яъни ползуннинг иш юриши учун ва салт қайтиши учун β_1 ва β_2 бурчакларни тўғри танлашимиз лозим.

Масалани аналитик усулда ҳал этамиз. r , l ва e ларни қуйидагича топамиз (3. 13-шакл):

$$\beta_{\max} = \arcsin \frac{r}{l} \text{ — аксиал механизм учун}$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \beta'_{\max} = \arcsin \frac{r-e}{l} \\ \beta_2 &= \beta''_{\max} = \arcsin \frac{r+e}{l} \end{aligned} \right\} \quad (5. 35)$$

$$S = \sqrt{(l+r)^2 - e^2} - \sqrt{(l-r)^2 - e^2}$$

β_1, β_2 ларни бериб, λ ни танлаб, l ни топамиз, сўнг l ни ҳамда r ни ҳам топамиз. Шаклдан қуйидаги тенгликни оламиз:

$$\left. \begin{aligned} r - e &= l \cdot \sin \beta_1 \\ r + e &= l \cdot \sin \beta_2 \end{aligned} \right\} \quad (5.36)$$

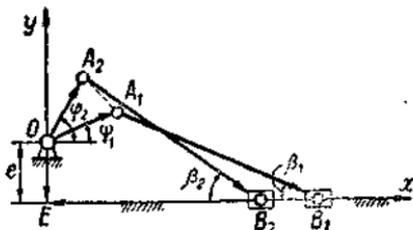
$$\left. \begin{aligned} r &= \frac{1}{2} l (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \\ l &= \frac{1}{2} l (\sin \beta_2 - \sin \beta_1) \end{aligned} \right\}$$

r, l ларни (5.35) га қўйиб, e ни топамиз:

$$e = S^2 \cdot \frac{1 + \sin \beta_1 \sin \beta_2 + \sqrt{(1 + \sin \beta_1 \sin \beta_2)^2 - (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2}}{2 (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)} \quad (5.37)$$

Мисол. $S=50$ мм, $\beta_1 = \arcsin 0,2$, $\beta_2 = \arcsin 0,4$ бўлса, механизм схемаси қуйидаги ўлчамларда бўлади: $r = 24,9$ см, $l = 83$ см, $e = 8,3$ см. Агар механизм аксиал бўлса, $\beta = \arcsin 0,2$; $r = 25$ см, $l = 125$ см. Бундан дезаксиал механизмнинг габарити ихчам эканлигини кўриш қийин эмас.

Энди кривошипни тебранма ҳаракатланувчи (коромислоли) кривошип-шатунли механизмни синтезлаш масаласи билан танишиб чиқамиз.



3 14-шакл.

Механизм ҳолати маълум деб фараз қилайлик (3. 14-шакл).

Механизм звеноларининг узунликларини ox ва oy ўқларига проекция-лаймиз:

$$\left. \begin{aligned} \sum x &= r \cos \varphi_1 + l \cdot \cos \beta_1 - B_1 E = 0 \\ \sum x &= r \cdot \cos \varphi_2 + l \cdot \cos \beta_2 - B_2 E \end{aligned} \right\} \quad (5.38)$$

$$r (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) + l (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) = B_1 B_2 = S \quad (5.39)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= r \cdot \sin \varphi_1 - l \sin \beta_1 - l = 0 \\ \sum y &= r \cdot \sin \varphi_2 - l \cdot \sin \beta_2 - l = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$r (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) - l (\sin \beta_1 - \sin \beta_2) = 0 \quad (5.40)$$

Бу тенгламалардан S, β_1, β_2 ларни берилган деб қараб, r ва l параметр-ларни топамиз:

$$r = S \frac{\sin \beta_1 - \sin \beta_2}{(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \cdot (\sin \beta_1 - \sin \beta_2) + (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)} \quad (5.41)$$

$$l = r \cdot \frac{\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2}{\sin \beta_1 - \sin \beta_2} \quad (5.42)$$

Дезаксиалнинг узунлиги қуйидагича топилади:

$$e = r \cdot \sin \varphi_1 - l \cdot \sin \beta_1 = r \cdot \sin \varphi_2 - l \cdot \sin \beta_2 \quad (5.43)$$

Ползуннинг энг катта оралиғи (S) ва коромислоннинг энг катта бурчакка айланиши $\mu^\circ (\varphi_2 - \varphi_1)$ лар механизм иштирок этадиган технологик процессга боғлаб топилади, ammo φ_1 , β_1 ва β_2 лар олдиндан бериллади.

Энди кулисаларни механизм кинематик схемасини синтезлаш масаласи билан танишиб чиқамиз. Биз қуйидаги учта ҳолатни текшириб ўтамиз:

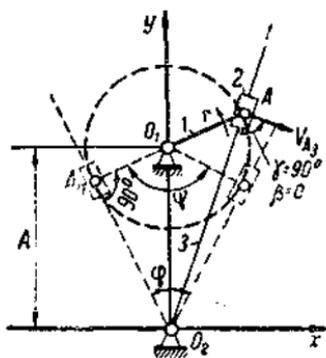
1- ҳолат. (3. 15- шакл). $\frac{r}{A} < 1$ шаклдан:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{r}{A}; \quad \varphi = 2 \arcsin \frac{r}{A} \quad (5.44)$$

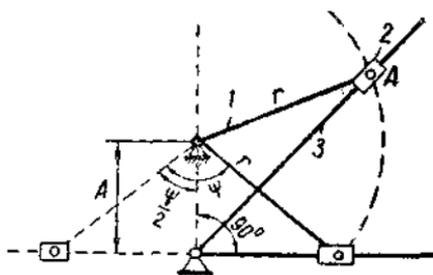
Кулисанing бурчак тезлиги у соат стрелкаси айланган томонга айланишида ва унга тескари айланганда бирдай бўлмайди.

Кулисанing бир томонга айланиши кривошипнинг ψ° га айланишига мос келса, унинг аслига қайтиши эса $360^\circ - \psi^\circ$ га тўғри келади. Шундай қилиб, ўртача тезликнинг ўзгариш коэффициенти қуйидагича бўлади:

$$k = \frac{360^\circ - \psi}{\psi} = \frac{360^\circ}{\psi} - 1 = \frac{360^\circ}{2 \left(90^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} - 1 = \frac{360^\circ}{180^\circ - \varphi} - 1. \quad (5.45)$$



3.15- шакл.



3.16- шакл.

2- ҳолат. $r : A > 1$ (3. 16- шакл). Бу ҳолда кулиса тўла айланади. Кривошип бир текисда айланса, кулиса бир текисда айланмайди ($\omega_{кул} \neq const$).

Кривошип бир чекка ҳолатидан иккинчисига ўтишида ψ° га айланса, унинг тўла айланиб ўз ўрнига қайтиши эса $360^\circ - \psi^\circ$ бўлади. Тезликнинг ўртача ошмиш коэффициенти қуйидагича топилади:

$$k = \frac{360^\circ - \psi}{\psi} = \frac{360^\circ}{\psi} - 1.$$

Шаклдан қуйидагини оламиз:

$$\psi = 2 \arccos \frac{A}{2r}; \quad \cos \frac{\psi}{2} = \frac{A}{2r}.$$

3- ҳолат. $r = A$. Бундай ҳолатда кулиса тўлиқ айланади. $\psi = 2\varphi$
 Кривошип кулиса $= \frac{\psi}{\varphi} = \frac{2\varphi}{\varphi} = 2$, яъни $r : A = 1$ ҳолат учун кривошип 2 марта айланса кулиса бир марта айланар экан:

$$l = \frac{\omega_{\psi}}{\omega_{\varphi}} = 2.$$

VI боб.

ОЛИЙ ЖУФТЛИ МЕХАНИЗМАЛАР ЛОЙИҲАЛАШ АСОСЛАРИ

1- §. Ҳаракатни узатиш тўғрисидаги умумий масала

Ҳозирги замон техникасида ишлатиладиган механизмлар таркибида икки хил кинематик жуфт — олий ва қуйи жуфтлар учраши мумкин. Кўпчилик механизмлар таркибида фақат қуйи жуфтлар бўлиб, баъзи механизмларда эса иккала хил жуфт бўлиши мумкин.

Механизмлар лойиҳалаш, асосан, уч босқични ўз ичига олади. Булардан бири биз истаган ҳаракат қонунини бера оладиган механизмнинг кинематик схемасини тузиш. Иккинчиси механизмнинг узоқ муддат ишлашини, мустаҳкамлигини ва юқори фойдали иш коэффициентини таъминлай оладиган конструктив формалар ишлаб чиқиш ва учинчиси лойиҳаланувчи механизмнинг технологик ва техника-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлашдан иборатдир.

Машина ва механизмлар назариясида, биз талаб қилган, яъни маълум технологик процессда керак бўладиган ҳаракат қонунини бера оладиган механизмнинг кинематик схемасини тузиш масаласи механизмлар лойиҳалашда асосий масаладир. Демак, ҳозирги замон техникасида механизмлар лойиҳалашнинг асосий масаласи ҳаракатни бир турдан бошқа турга айлантиришдан иборат бўлиб, асосан, қуйидагиларни ўз ичига олади:

1) бир ўқ атрофида бўладиган айланма ҳаракатни бошқа ўқ атрофида бўладиган ҳаракатга айлантириш;

2) бир ўқ атрофида бўладиган айланма ҳаракатни тўғри чизиқли ҳаракатга айлантириш;

3) тўғри чизиқли ҳаракатни айланма ҳаракатга айлантириш;

4) тўғри чизиқли ҳаракатни бошқа тўғри чизиқли ҳаракатга айлантириш;

5) механизмдаги нуқталардан бирини технологик процессда талаб қилинган траекторияга солиб юбориш.

Юқорида баён қилинганларни амалга ошириш учун, бир-бирини ҳаракат узатадиган икки звенонинг ҳаракат қонунлари вақтга нисбатан берилган бўлиши керак. Механизмдаги бирор нуқтани

технологик процесда талаб этилган траекторияга тушириш учун бу траектория аналитик усулда (тенглама ёрдами билан) ёки шу траекторияда ётувчи нуқталар орқали, яъни график усулда берилиши керак.

Кўпинча, берилган ҳаракатни амалга ошириш масаласи қуйи жуфтлари бор механизмдан кўра, қуйи ва олий жуфтлари бўлган механизмлар орқали яхшироқ ҳал қилинади. Бунинг сабаби шуки, текисликда қуйи жуфтлар фақат иккита жуфтидан — айланма ва илгариланма жуфтлардан иборат бўлади, олий жуфтларнинг эса тури жуда кўп бўлади.

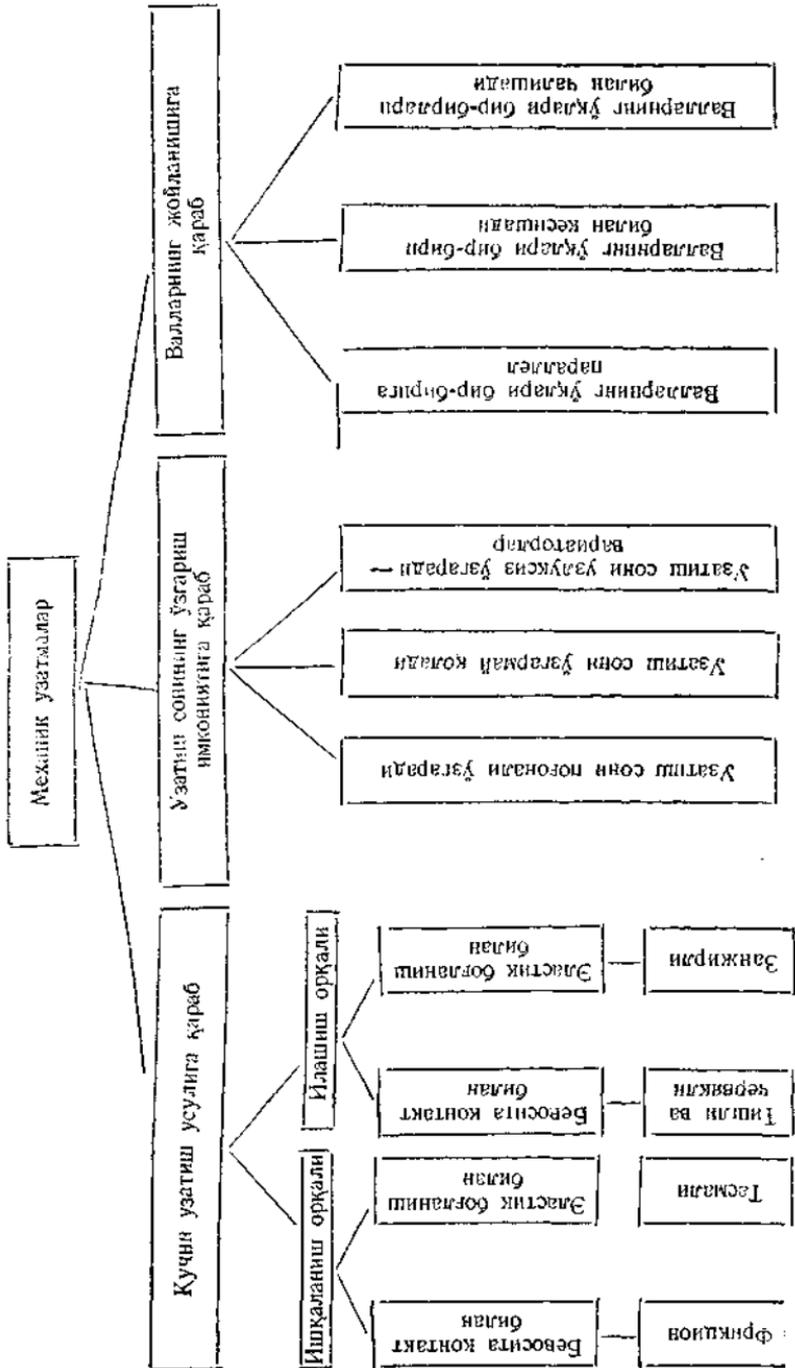
Шу сабабли ҳозирги замон техникасида технологик процесслар учун керак бўладиган ҳаракат турларини аниқ амалга оширишда олий ва қуйи жуфтлар бўлган механизмлардан фойдаланилади, фақат қуйи жуфтлари бўлган механизмлар воситасида ҳаракатнинг талаб қилинган тури тақрибийгина ҳосил қилинади.

Бинобарин, ҳаракатнинг технологик процесдаги аҳамиятига қараб механизм танлаш конструкторнинг ихтиёрида бўлади.

Қуйи жуфтларнинг элементлари текислик, цилиндрик сиртлар ва сферик сиртлар бўлиши 10- параграфда айтиб ўтилган эди: аммо олий жуфтларнинг элементлари нисбий ҳаракатдаги центроидалар ёки ўзаро эгилувчан эгри чизиқлар бўлади. Агар олий жуфт элементлари центроида бўлса, бундай элементлар бир-бирига нисбатан сирғанмасдан юмалайди, агар олий жуфт элементлари ўзаро эгилувчан эгри чизиқлар бўлса, бундай элементлар бир-бирига нисбатан сирғаниб юмалайди. Шу сабабли, лойиҳаланадиган механизмлар таркибида олий жуфтлар бўлса, уларнинг элементларини лойиҳалаш нисбий ҳаракатдаги центроидани ёки ўзаро эгилувчан эгри чизиқларни лойиҳалашдан иборат бўлади. Шундай қилиб, таркибида олий жуфт элементлари — центроидалар бўлган механизмлар *центроидали механизмлар* деб, таркибидаги олий жуфт элементлари ўзаро эгилувчан эгри чизиқлар бўлган механизмлар *кулачокли механизмлар* ёки *тишли механизмлар* деб аталади.

Оний айланиш маркази оний *тезлик маркази* деб ҳам аталади. Текис шаклнинг ҳаракати вақтида оний тезликлар маркази қўзғалувчан ва қўзғалмас текисликларда узлуксиз ҳаракат қилиши мумкин. Оний марказларнинг қўзғалмас текисликдаги геометрик ўрни (траекторияси) *қўзғалмас центроида* ёки *қўзғалмас полюдия* деб, қўзғалувчан текисликдаги траекторияси эса *қўзғалувчан центроида* ёки *қўзғалувчан полюдия* деб аталади. Масаланинг тушунарли бўлиши учун, рельсда кетаётган вагон гилдиракларини оламиз. Агар вагон гилдираги рельс устида сирғанмасдан юмаласа, айланаётган гилдирак учун қўзғалмас центроида рельснинг ўзи бўлиб, қўзғалувчан центроида вагон гилдирагининг айланасидир.

Механик узатмалар классификацияси



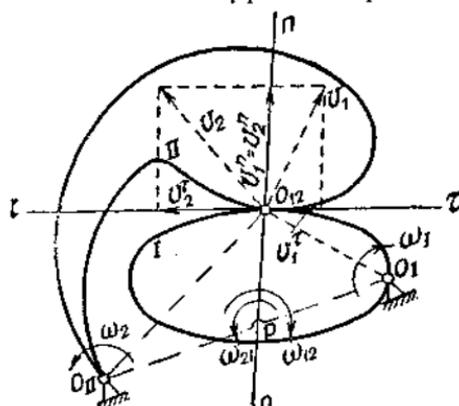
Агар оний марказлар фазода сирт ҳосил қилса, улар аксоида деб аталади. Центроидага ўхшаш, аксонда ҳам қўзғалувчан ва қўзғалмас бўлади. (Бу ҳол учун оний марказ бўлмай, балки оний ўқ бўлади, шу оний ўқ цилиндрик ёки конус сиртлар ҳосил қилиши мумкин.)

Механик узатмалар классификацияси 4-жадвалда берилган.

2-§. Нисбий ҳаракатдаги центроналар

Ҳаракат нисбий ва абсолют бўлиши мумкин. Агар бирор жисм ҳаракати қўзғалмас координаталар системасига нисбатан олиб текширилса, бундай ҳаракат абсолют ҳаракат деб, қўзғалувчан системага нисбатан олиб текширилса, бундай ҳаракат нисбий ҳаракат деб аталади.

Олий кинематик жуфт ҳосил қилувчи ҳар қандай икки звенонинг нисбий ҳаракати эркинмас ҳаракат бўлиб, бу звенолар



2.1-шакл. Ўзаро доимо контактда бўлган икки звено.

ҳаракатланиш жараёнида бир-бирига бевосита тегиб туриш шарти билан боғланган. Нисбий ҳаракатнинг нормал содир бўлиб туриши учун икки звенодан иборат кинематик жуфт звенолари ўз элементлари воқитасида бир-бирига доимо тегиб туришидан ташқари, уларнинг контакт нуқталарида (тегиб турган нуқталарида) бир-бирига кўрсатган босими ҳам мумкин қадар кам бўлиши лозим.

Масала тушунарли бўлиши учун, ўзаро доимо контактда бўлган ва бир текисликка параллел равишда ҳаракат қиладиган

икки звенони оламиз (2.1-шакл).

Агар бу текислик сиз ўқиб турган варақ юзаси бўлса, иккала звенонинг проекциялари I ва II кўринишдаги профиллардан иборат бўлади. Бу профиллар шу онда бир-бири билан $O_{1,2}$ нуқтада уринади. Шундай қилиб, $O_{1,2}$ нуқтада иккита нуқта бўлиб, уларнинг бири (I) I профилга, иккинчи (2) эса II профилга тегишлидир.

Иккала нуқтанинг ҳам ўз абсолют тезлиги бор. Бу тезликлардан бири v_1 , иккинчиси эса v_2 дир. Иккала тезликни ҳам профилларнинг контакт нуқтасига ўтказилган умумий нормал (nn)

ва тангенсиал ($\tau\tau$) чизиқларга проекциялаймиз. v_1^n, v_2^n тезликлар nn нормалга туширилган проекция бўлса, \bar{v}_1^x, \bar{v}_2^x тезликлар $\tau\tau$ тангенсиалга туширилган проекциядир. v_1 ва v_2 тезликларнинг тангенсиал компонентлари айирмаси v_{12}^x ҳар қандай миқдор бўлса ҳам икки профилнинг доимо контактда бўлиш шартига таъсир этмайди, шу тезликлар нормал компонентларининг айирмаси (v_{12}^n) исталган миқдор бўлавермай, балки доимо контактда бўлиш шартининг бажарилиши учун нолга тенг бўлиши керак.

Шундай қилиб, икки звенодан тузилган кинематик жуфтнинг доимо контактда туриш шарти бажарилиши учун қуйидаги тенгликлар бўлиши шарт:

$$\begin{aligned}\bar{v}_{12}^x &= \bar{v}_1^x - \bar{v}_2^x \\ \bar{v}_{12}^n &= \bar{v}_1^n - \bar{v}_2^n.\end{aligned}\quad (6. 1)$$

Умумий текисликка параллел вазиятда ва ўзаро доимо контактда бўлиб ҳаракат қилувчи икки звенонинг контакт нуқтасидаги абсолют тезликларининг контакт нуқтасига ўтказилган умумий нормалга туширилган проекциялари бир-бирига тенг бўлади:

$$\bar{v}_1^n = \bar{v}_2^n. \quad (6. 2)$$

I ва II звеноларнинг айланиш марказлари (O_I ва O_{II}) оний айланиш марказлари бўлиб, оний айланиш ўқларининг проекцияларидир. Оний айланиш ўқлари бирор сирт (аксоида) ясава, уларнинг проекциялари бўлган оний айланиш марказлари центроидалар (полодиялар) ясаши юқорида айтиб ўтилган эди.

I ва II звеноларнинг нисбий ҳаракатларини яхшироқ ўрганиш учун шу иккала звенодан бири фикран қўзғалмас ҳолатга келтирилса, қулай бўлади.

Бунинг учун иккала звенони қаттиқ система деб қараб, уни O_I атрофида — ω_1 бурчак тезлиги билан айлантираемиз. Ҳолда I профилли звенонинг бурчак тезлиги ноль, II профилли звенонинг оний бурчак тезлиги эса қуйидагича бўлади:

$$\bar{\omega}_{21} = \bar{\omega}_2 + (-\bar{\omega}_1). \quad (6. 3)$$

Бу ерда ω_{21} II звенонинг I звенога нисбатан бурчак тезлигини ифодалайди. Тенгламадан маълум бўлишича, II звенони қўзғалмас деб фараз қилиб, бутун системани O_{II} атрофида — ω_2 бурчак тезлиги билан айлантирсак, I звенонинг II звенога нисбатан ҳаракати қуйидагича бўлади:

$$\bar{\omega}_{12} = \bar{\omega}_1 + (-\bar{\omega}_2), \quad (6. 4)$$

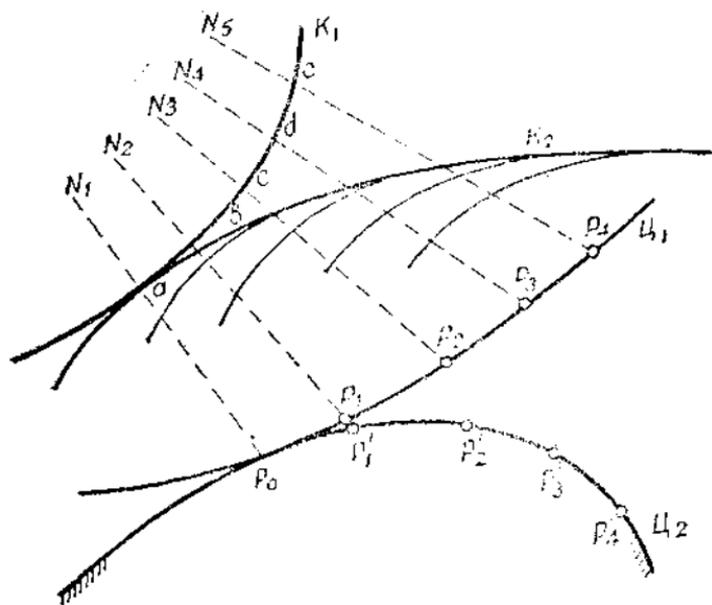
бундан $\bar{\omega}_{12} = -\bar{\omega}_{21}$ эканлиги кўриниб турибди. ω_{12} — I профилли звенонинг II профилли звенога нисбатан оний бурчак тезлиги бў-

либ, унинг оний айланиш маркази P нуқтада бўлади. P нуқта икки звенонинг абсолют айланиш ўқларини туташтирувчи O_1O_{II} чизиқ устида ётади.

Олий кинематик жуфт элементларига математика нуқтаи назаридан қарасак ва жуфтнинг иккала элементининг бир-бирига нисбатан ҳаракатини ўрганмоқчи бўлсак, у ҳолда, кинематик жуфтнинг қўзғалмас элементи эгувчи, қўзғалувчан элементи эса эгилувчи эгри чизиқлар эканлигини кўриш қийин эмас. Олий кинематик жуфт элементларидан исталган бирини қўзғалмас деб қараб, иккинчисининг биринчисига нисбатан ҳаракатини уларнинг центродалари орқали ўрганса ҳам бўлади. Шундай қилиб, олий кинематик жуфт элементлари бир-бирига нисбатан думалаб сирғаниб ҳаракат қилганлиги ҳамда бу элементлар бир-бирига нисбатан эгилувчан эгри чизиқлар бўлгани учун ҳам улар ўзаро эгилувчи чизиқлардир.

Шунинг учун ҳам олий кинематик жуфтнинг элементларидан бирининг нисбий ҳаракати улар центродаларининг думалаши орқали берилиб, жуфт элементларидан бири маълум бўлса, у ҳолда, иккинчи элементнинг бутун ҳолати эгилувчи эгри чизиқ сифатида топилиши мумкин. Масаланинг тушунарли бўлиши учун кинематик жуфт элементини тонамиз (2. 2-шакл).

Олий кинематик жуфт ҳосил қилувчи K_1 эгувчи эгри чизиқ ва иккала звенонинг центродалари (ω_1 ва ω_2) берилган; K_1 эгри



2.2-шакл.

чизиққа мос бўлган K_2 эгувчи эгри чизиқни топиш керак, деб фараз қилайлик. Бунинг учун K_1 эгилувчи эгри чизиқни тенг бўлақларга бўламиз. Бўлинган ёйларнинг нуқталарини a, b, c, d, e ҳарфлари билан белгилаб, шу нуқталарга нормал чизиқлар ўтказамиз (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5). Бу нормалларнинг ζ_1 центрoидa билан кeсишув нуқталарини P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 билан белгилаймиз. Энди ζ_2 центрoидaга $\tilde{P}_0P_1, \tilde{P}_1P_2, \tilde{P}_2P_3, \tilde{P}_3P_4$ ёйларга тенг ёйларни қўйиб, унда P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 нуқталарни ҳосил қиламиз. Бу нуқталардан эгилувчи эгри чизиққача бўлган масoфaлар aP_0, bP_1, cP_2, dP_3 ва eP_4 кeсмaлар бўлгани учун ζ_2 центрoидaдаги P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 нуқталарни марказ қилиб oлиб, шу радиуслар билан ёйлар чизамиз. Бу ёйларнинг эгилувчиси ζ_2 эгри чизиқни ҳосил қилади.

Ҳозирги замон техникасида ишлатиладиган oлий кинемaтик жуфтлi мeхaнизмлар жуда кўп. Бундай мeхaнизмлар таркибига кирувчи звeнoларнинг aйланиш сонлари ёки бурчак тезликларни oрасидaги бoғлaнishi билан бизни қизиқтиради. Бу тезликлар звeнoларининг турли вазиятлари учун ўзгaрувчан ва ўзгarmас миқдорлар бўлиши мумкин, яъни иккaлa звeнo oрасидa ҳаракат бир-бирига узатилиб, бутун бир давр ичида бурчак тезликларни бир-бирига тенг бўлиши ёки тенг бўлмаслиги ҳам мумкин. Шундай қилиб айланмa ҳаракатда бўлган икки звeнoнинг ишини узатиш нисбати ва узатиш сони деб аталадиган хaрактеристикa воситасидa ўрганиш маъқулроқдир. Узатиш нисбати eтaкловчи звeнoнинг бир мaртa aйланишида eтaклaнувчи звeнoнинг нечa мaртa aйланиши кераклигини билдиради; уни eтaклaнувчи звeнoнинг минутигa aйланиш сонини eтaкловчи звeнoнинг минутигa aйланиш сонига бўлиш йўли билан топиш мумкин:

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (6.5)$$

бу ерда n_2 —eтaклaнувчи звeнoнинг минутигa aйланиш сони;
 n_1 —eтaкловчи звeнoнинг минутигa aйланиш сони;
 i_{21} —звeнoлар oрасидaги узатиш нисбати.

Узатиш сони узатиш нисбaтининг тeскариси бўлиб, eтaклaнувчи звeнoнинг бир мaртa aйланишида eтaклaнувчи звeнoнинг нечa мaртa aйланишини кўрсaтaди:

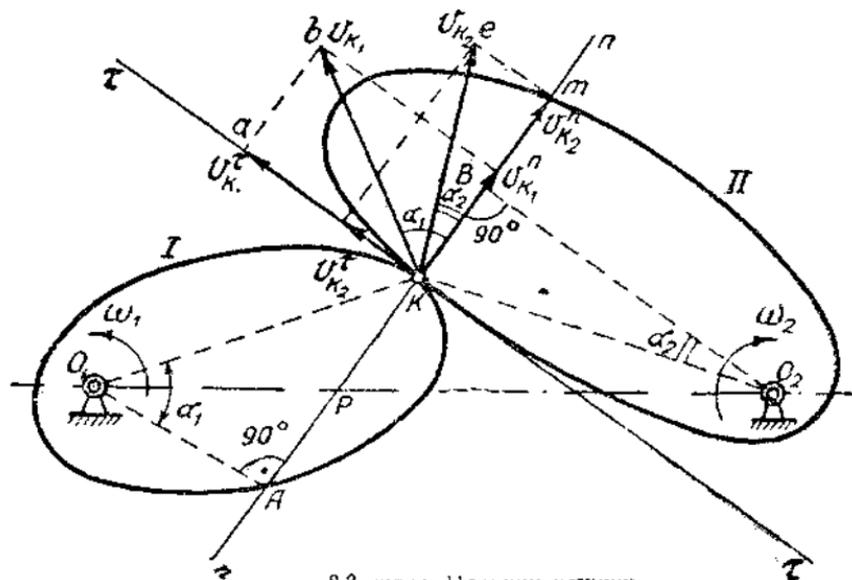
$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (6.6)$$

бу ерда i_{12} —икки звeнo oрасидaги узатиш сони.

Узатиш нисбати билан узатиш сонининг кўпайтмаси бирга тенг:

$$i_{21} \cdot i_{12} = 1. \quad (6.7)$$

Теорема: Олий кинематик жуфт элементларининг шу ондаги контакт нуқталарига ўтказилган нормаль шу жуфт звеноларининг айланиш марказларини туташтирувчи чизиқни (бу чизиқ марказлар чизиғи деб аталади) звеноларнинг бурчак тезликларига тесқари пропорционал икки кесмага бўлади.



2.3-шакл. Шашни қонуни

2.3-шаклда I ва II профилли икки звено ўз профилларидаги K_1 ва K_2 нуқталар орқали контакт ҳолатидадир. Биринчи звено O_1 марказ атрофида ω_1 бурчак тезлиги билан, иккинчи звено эса O_2 айланиш ўқи атрофида ω_2 бурчак тезлиги билан айланади.

Шаклдан кўринишича, биринчи звенога тегишли K_1 нуқтанинг айланма ҳаракатдаги чизиқли тезлиги v_{K_1} бўлиб, у $l_{O_1K_1}$ радиусга тик йўналган:

$$v_{K_1} = \omega_1 \cdot l_{O_1K_1} \quad (6.8)$$

Иккинчи звенога тегишли K_2 нуқтанинг айланма ҳаракатдаги чизиқли тезлиги v_{K_2} бўлиб, у $l_{O_2K_2}$ радиусга тик йўналган:

$$v_{K_2} = \omega_2 \cdot l_{O_2K_2} \quad (6.9)$$

v_{K_1} ва v_{K_2} тезликларни контакт нуқтаси (K) га ўтказилган нормал (nn) билан тангенциал ($\tau\tau$) чизиқларга проекциялаб, қуйидаги ўхшаш учбурчакларни ҳосил қиламиз:

$$\triangle O_1AK_1 \sim \triangle Kba; \quad \triangle O_2BK_2 \sim \triangle Kct; \quad \triangle O_1AP \sim \triangle O_2BP$$

v_{K_1} , v_{K_2} тезликларни тузувчилари орқали ифодалаймиз:

$$\begin{aligned}\bar{v}_{K_1} &= \bar{v}_{K_1}^n + \bar{v}_{K_1}^t, \\ \bar{v}_{K_2} &= \bar{v}_{K_2}^n + \bar{v}_{K_2}^t.\end{aligned}\quad (6.10)$$

Икки звенонинг доимо кинематик жуфтлик шароитида туриши учун тезликларнинг нормал тузувчилари бир-бирига тенг бўлиши шарт:

$$\bar{v}_{K_1}^n = \bar{v}_{K_2}^n. \quad (6.11)$$

Агар тезликларнинг тангенциал тузувчилари тенг бўлса, соф думаланиш, агар тенг бўлмаса, сирганиб думаланиш бўлади. Шаклдан кўринишича:

$$v_{K_1}^n = v_{K_1} \cdot \cos \alpha_1 = \omega_1 \cdot l_{O_1K_1} \cos \alpha_1 = \omega_1 \cdot l_{O_1A}, \quad (6.12)$$

$$v_{K_2}^n = v_{K_2} \cdot \cos \alpha_2 = \omega_2 \cdot l_{O_2K_2} \cos \alpha_2 = \omega_2 \cdot l_{O_2B}. \quad (6.13)$$

Нормал тезликларнинг тенглигидан фойдаланиб, қуйидагиларни ёзамиз:

$$\omega_1 \cdot l_{O_1A} = \omega_2 l_{O_2B} \quad (6.14)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{l_{O_2B}}{l_{O_1A}}. \quad (6.15)$$

$\triangle O_1AP \sim \triangle O_2BP$ ўхшашликлардан фойдаланиб, қуйидагиларни ҳосил қилиш мумкин:

$$\frac{l_{O_2B}}{l_{O_1A}} = \frac{BP}{AP} = \frac{O_2P}{O_1P} \quad (6.16)$$

(6.15) ва (6.16) тенгликлардан қуйидаги келиб чиқади:

$$l_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P} \quad (6.17)$$

(6.17) тенглик теоремани исботини беради.

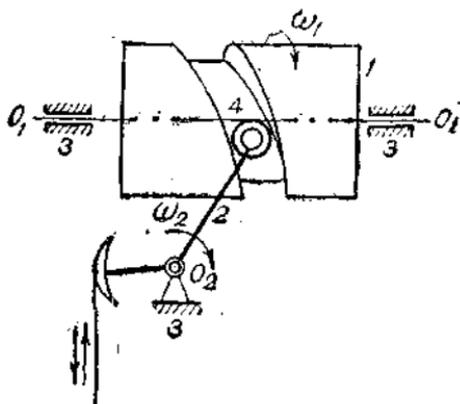
2. 3-шаклда тасвирланган икки звено орасидаги узатиш сони l_{12} шу звеноларнинг турли вазиятлари учун турлича бўлади, чунки икки звено профилларининг уриниш нуқталарига ўтказилган нормал чизиқ уларнинг турли вазиятларида O_1O_2 марказлар чизиғининг турли нуқтасида кесиб ўтади, O_1P_1 , O_2P кесмалар эса ўзгариб туради. Шунинг учун l_{12} ҳам звеноларнинг турли вазиятлари учун турличадир.

VII боб.

КУЛАЧОКЛИ МЕХАНИЗМЛАР ВА УЛАРНИ ЛОЙИҲАЛАШ

1-§. Текисликда ва фазода ҳаракатланувчи кулачокли механизмлар

Кулачокли механизмлар таркибида олий ва қуйи кинематик жуфтлар бўлади. Бундай механизмлар воситаси билан етакланувчи звенонинг исталган ҳаракат қонунини олиш мумкин. Текисликда ҳаракатланувчи кулачокли механизмлар таркибидаги кулачок ролик ва толкатель (етақланувчи звено) бир текисликда ёки бир неча параллел текисликда ҳаракат қилиши мумкин, фазода ҳаракатланувчи кулачокли механизмларда эса кулачок бир текисликда ёки унга параллел текисликларда ҳаракат қилса, унинг таркибидаги етакланувчи звено кулачок ҳаракатланадиган текисликка параллел бўлмаган бошқа текисликда ҳаракат қилади.



1.1-шакл. Фазовий кулачокли механизм:
1 — кулачок; 2 — толкатель; 3 — қўзғалмас звено.

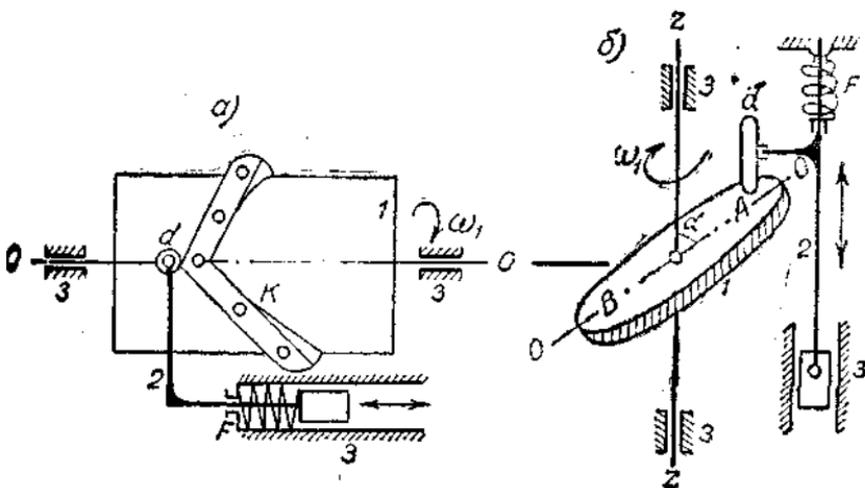
фазада тебранма ҳаракат қила бошлайди. Толкателнинг ҳаракат қонунига қараб, ариқчанинг сирт бўйлаб қандай кетиши аниқланади.

1. 2-шакл, а, б да фазовий кулачокли механизмлардан иккитаси кўрсатилган. Булардан бирида (1. 2-шакл, а) цилиндрик сирт устига ўрнатилган K белбоққа толкател (2) нинг учига d ролик F пружина воситасида доимо тегиб туради. Фазовий кулачок ролини ўйновчи I звено ўз ўқи (OO) атрофида ω_1 бурчак тезлиги билан айланса, толкатель горизонтал йўналишда чап ва ўнга тебранма ҳаракат қилиб туради. Толкатель чапга ҳаракат-

1.1-шаклда фазода ҳаракатланувчи (фазовий) кулачокли механизмлардан бири кўрсатилган. Шаклда кўрсатилган цилиндрик барабан (1) ўз ўқи (O_1O_1) атрофида ω_1 бурчак тезлиги билан айланади. Барабаниннг сиртига маълум ҳаракат қонунига мослаб кичик ариқча ўйилган, шу ариқча ичига кулачок толкателига ўрнатилган ролик (4) тушиб туради. Ролик ўз ўқи (O_2) атрофида бемалол айлана олади. Барабан айлангач, толкатель ўз ўқи атро-

ланганда пружина сиқилади, пружинанинг эластиклик кучи толкателни ўнг томонга суради.

1. 2-шакл, б да горизонтал текисликка қия қилиб ўрнатилган диск (1) ўзининг вертикал (z) ўқи атрофида ω_1 бурчак тезлиги билан айланади. Шундай қилиб, дисkning A томони келса,



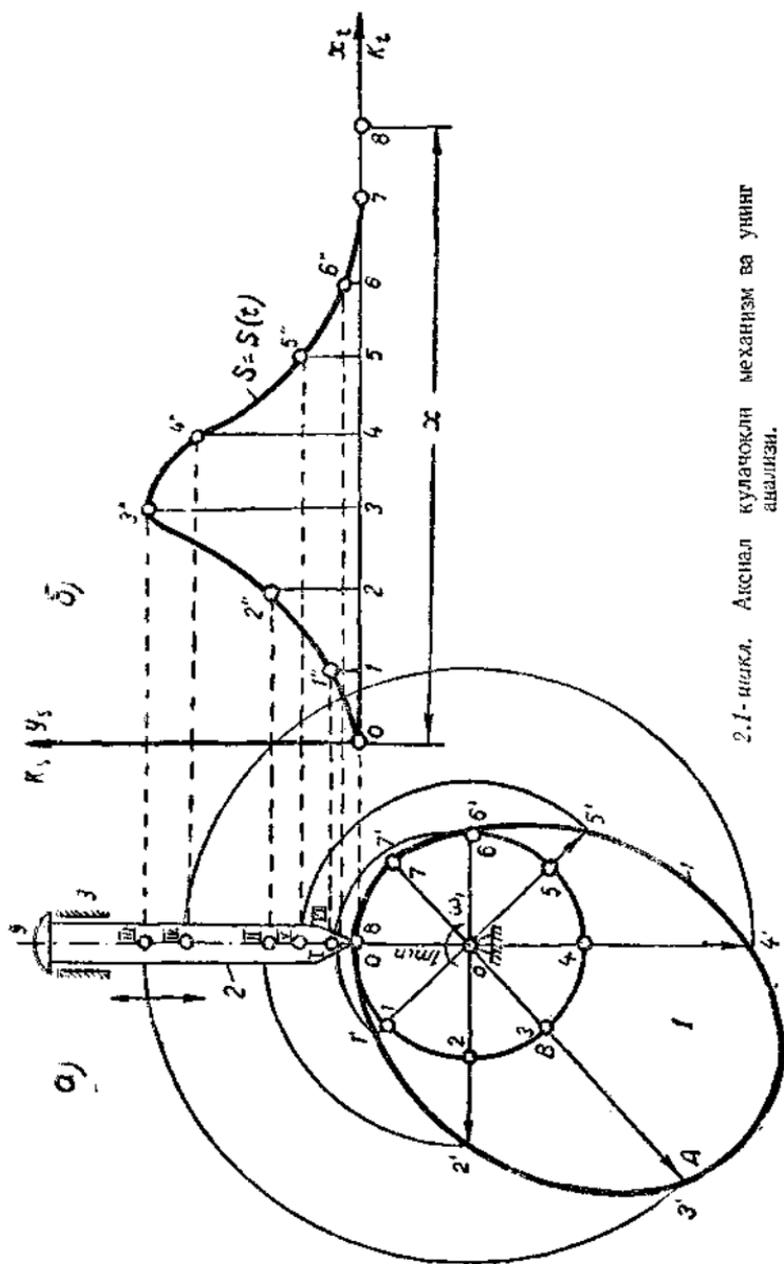
1.2- шакл. Фазовий кулачокли механизм.

толкатель (2) юқорига кўтарилади, толкателнинг учига ўрнатилган F пружинанинг эластиклик кучи толкателни пастга туширади. Демак, диск билан толкатель орасидаги кинематик жуфт куч воситасида бириктирилган олий жуфтдир.

Шундай қилиб, кулачокли ҳар қандай механизмда, унинг фавақда ёки текисликда ҳаракатланишидан қатъи назар, битта кулачок ва битта толкатель (штанга) бўлади. Баъзан, фазовий кулачоклар кесик конус ва бошқа геометрик шаклларда бўлиши мумкин.

2-§. Кулачокли механизмларнинг анализи

Энди, текисликда ҳаракат қилувчи учи ўткир толкателли кулачокли механизмни анализ қиламиз (2. 1-шакл, а). Шаклдан 1 рақами билан кулачок, 2 рақами билан эса ўткир учли толкатель кўрсатилган. Агар кулачок ω_1 бурчак тезлиги билан айланганда, кулачокнинг кичик радиуси учи (A_0) билан толкатель урилиб турган, буида толкатель энг паст вазиятда бўлади, агар кулачокнинг шунга катта радиус-вектори (OA) учи (A) билан толкатель урилса, толкатель энг баланд вазиятда бўлади. Шундай қилиб, кула-



2.1- илкл. Акснл кулачокл механзм ва уннт адаллн.

чокнинг ҳар айланишида толкатель $S_{\max} = (OA - OA_0)$ оралиқда кўтарилиб, яна ўз жойига қайтиб келади. Агар кулачок ҳар секундда 10 марта айланса, толкатель секундига 10 марта юқори кўтарилиб, 10 марта пастга тушади, яъни гармоник тебравма ҳаракат қилади.

Толкателнинг (етақланувчи звенонинг) ҳаракат қонунини тегиш кулачокли механизмнинг анализи деб аталади. Бунинг учун механизм кулачоғининг бир айланиши ичида толкателнинг ҳаракат қонунини бўлиш кифоя, чунки кулачокнинг навбатдаги айланишида толкателнинг ҳаракат қонуни аввалгисининг такрорланишидан иборат бўлади.

Масалани анализ қилишдан аввал кулачокли механизмни қўғозга K_m масштабда чизамиз (2. 1-шакл, а), сўнгра кулачокнинг кичик радиуси (r_{\min}) билан айлана чизиб, шу айланани бир қанча тенг бўлақларга бўламиз. 2. 1-шакл, а кичик айлана тенг саккиз бўлаққа бўлинган. Кулачок соат стрелкаси юрадиган томонга айланаётганлиги учун, айлана бўлақлари чап томондан θ , 1 , 2 , 3 , \dots , 8 деб номерланади. Шаклдан кўринишича, $r_{\min} = \theta 0 = 01 = 02 = 03 = \dots = 08$. Шу радиусларни давом эттириб, уларнинг кулачок профили билан учрашув нуқталарини $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, $5'$, $6'$, $7'$ лар орқали белгилаймиз. Шундай қилиб $00'$, $01'$, $02'$, $03'$, $04'$, $05'$, $06'$, $07'$ лар кулачок профилидаги тегишли $0'$, $1'$, $3'$, $4'$, $5'$, $6'$, $7'$ нуқталарнинг радиус-векторларидир. Радиус-векторлар катталашиб борганда толкатель юқорига кўтарилади, кичиклашиб борганда эса толкатель пастга тушади. Шаклдан кўринишича, толкателнинг максимал кўтарилиш оралиғи $S_{\max} = K_m \cdot AB$ кесмасига тенгдир.

Кулачокнинг O нуқтасини марказ олиб, $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, \dots нуқталарни толкателнинг OY ўқига чиқарамиз-да I , II , III , IV , V , VI , VII нуқталарни ҳосил қиламиз.

Толкателнинг кўтарилиш-тушиш графигини тузиш учун декарт координаталар системасининг ординаталар ўқида толкателнинг кўтарилиш-тушишини K_s масштабда, абсциссалар ўқида эса кулачокнинг бир айланиши учун кетган вақт (T) ни K_t масштабда қўйиб чиқамиз (2. 1-шакл, б).

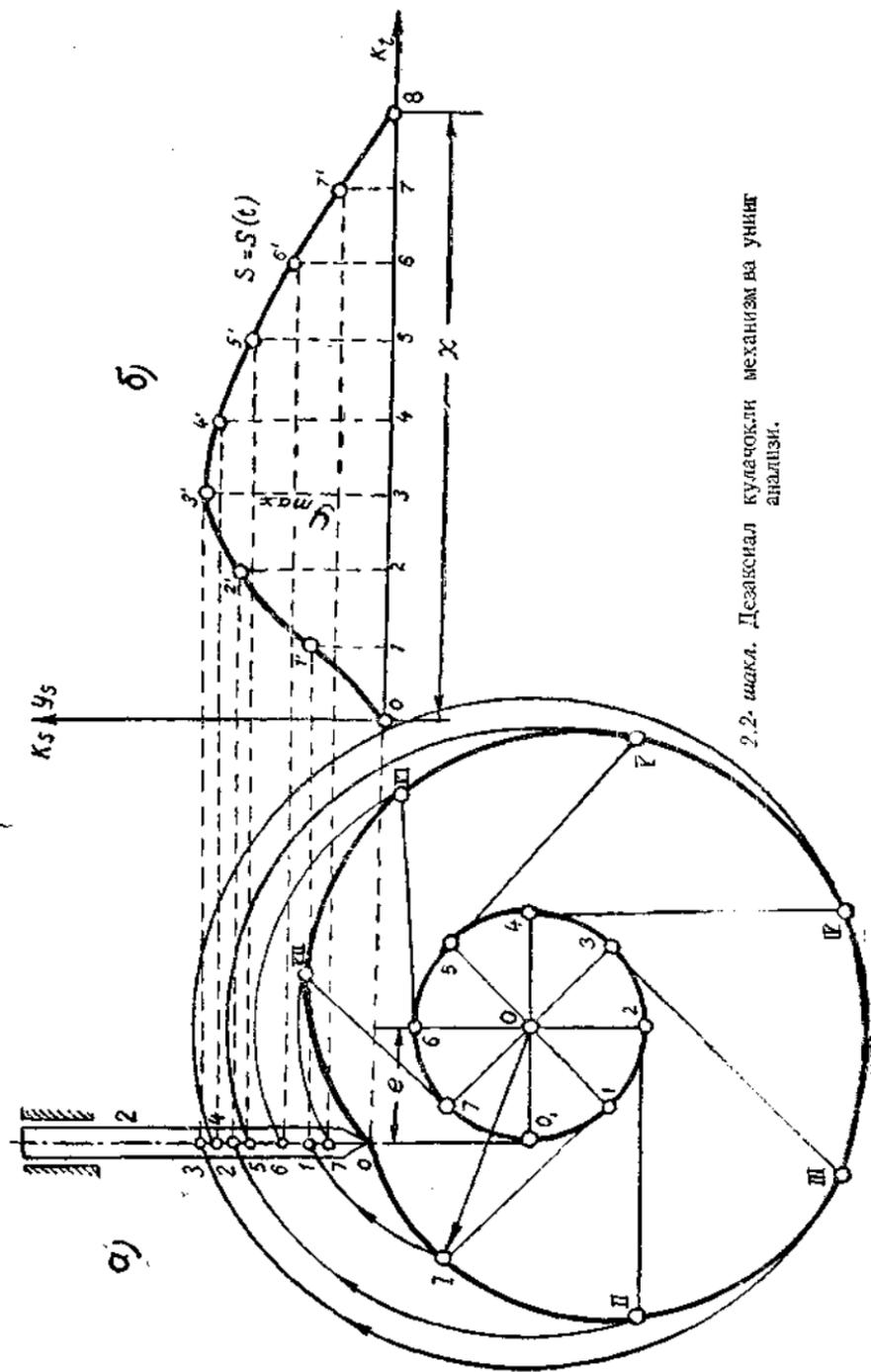
K_t масштаб қуйидагича топилади:

$$K_t = \frac{T}{x} = \frac{60''}{x \cdot n}, \quad (7. 1)$$

бу ерда n — кулачокнинг минутига айланиш сони;

x — 08 — абсциссалар ўқида олинган ихтиёрый кесма.

Кулачокнинг энг кичик радиуси билан чизилган айланани саккизга тенг бўлаққа бўлганимиз учун, x оралиқни ҳам саккизга тенг бўлаққа бўламиз-да, уларни θ , 1 , 2 , 3 , \dots , 8 билан белгилиб чиқамиз. Ана шу нуқталардан ординаталар кўтариб, улар



2.2. илкл. Дезаксиал кулачкови механизам ва унинг анализ.

нинг I, II, III, ..., VII нуқталардан ўтказилган горизонтал чизиқлар билан кесишув нуқталарини 1'', 2'', 3'' орқали белгилаймиз; уларни ўзаро туташтирсак, K_s масштабдаги $01''2''3''4''5''6''7''8''$ эгри чизиғи, яъни $S-t$ графиги ҳосил бўлади. $y_{\max} = \overline{44''}$ қилиб олиб, K_s масштабни қуйидагича топамиз:

$$K_s = \frac{S_{\max}}{y_{\max}} = \frac{K_M \cdot AB}{y_{\max}} \left[\frac{м}{мм} \right], \quad (7.2)$$

$S-t$ графигини исталган метод билан бир марта дифференциалласак $v-t$ графиги, икки марта дифференциалласак толкателнинг a^t-t тезланиш графиги чиқади.

2. 2-шакл, a толкатели ўткир учли бўлган дезаксиал кулачокли механизм кўрсатилган. Бу механизм K_M масштабда чизилган деб фараз қилайлик. Кулачокли механизмнинг дезаксиали e бўлсин. Механизмни анализ қилиш, яъни механизм толкателининг ҳаракат қонунини топиш учун, O марказдан e радиус билан айлана чизамиз. Марказдан ўтказилган горизонтал чизиқнинг толкатель ўқи билан кесишув нуқтасини O_1 билан белгилаймиз, толкателнинг вертикал ўқи e радиусли айланага уринма бўлади. Айланани O_1 дан бошлаб, тенг бўлақларга бўламиз. 2. 2-шакл, a да бу айлана саккизта тенг бўлақка бўлинган. Бўлиниш нуқталарини 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 билан белгилаб, ҳар қайси нуқтадан уринма ўтказамиз. Шу уринмаларнинг кулачок профили билан кесишув нуқталарини 0, I, II, III, ..., VIII рақамлари билан белгилаймиз. Агар бу нуқталарни кулачок маркази (O) билан туташтирсак, 0I, 0II, 0III, ..., 0VIII радиус-векторлар ҳосил бўлади. Шу радиус-векторларни радиус қилиб олиб, толкатель ўқи билан кесишгунча бирин-кетин айланалар чизамиз-да, уларнинг кесишув нуқталарини 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, ... рақамлари билан белгилаймиз (2. 2-шакл, a).

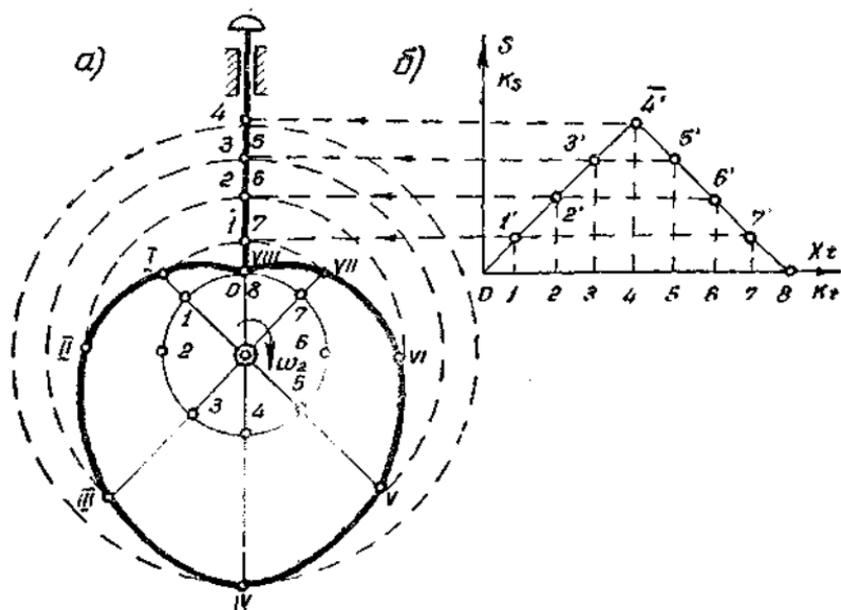
(7. 1) формуладан фойдаланиб, абсциссалар ўқида K_s масштабда вақтни қўямиз-да, x оралиқни саккизта тенг бўлақка бўламиз, бўлиниш нуқталари 1, 2, 3, ..., 8 дан ординаталар ўтказиб, уларнинг толкателдаги нуқталардан ўтказилган горизонтал чизиқлар билан кесишув нуқталарини 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7' орқали белгилаймиз, бу нуқталарни туташтирсак, K_s масштабда $S-t$ графиги ҳосил бўлади. $S-t$ графигининг K_s масштаби қуйидаги формуладан топилади (2. 2-шакл, б):

$$K_s = \frac{S_{\max}}{y_{\max}} = \frac{K_M \cdot \overline{03'}}{y_3} \left[\frac{м}{мм} \right] \quad (7.3)$$

$S-t$ графигини дифференциаллаб, $v-t$ ва a^t-t графикларини ҳосил қиламиз.

3-§. Кулачокли механизмларнинг кинематик лойиҳасини тузиш

Кулачокли механизмлар лойиҳалашнинг асосан икки усули бор. Булардан бири кулачокли механизмларни кинематик лойиҳалаш бўлса, иккинчиси динамик лойиҳалашдир. Кинематик лойиҳалашда етакланувчи звенонинг ҳаракат қонуни ва профилининг шакли топилиши лозим бўлган кулачокнинг энг кичик радиуси билан толкателнинг максимал кўтарилш оралиғи берилади. Агар толкателнинг ҳаракат қонуни $a'-t$ графиги билан берилган бўлса, оралиқ $(s-t)$ графигини олиш учун $a'-t$ ни икки марта интеграллаш лозим бўлади. Агар толкателнинг ҳаракат қонуни асосида лойиҳаланиши лозим бўлган кулачокнинг энг кичик радиуси узатиш бурчаги (γ) ҳисобга олиниб топилса ва топилган энг кичик радиус асосида кулачок профилининг шакли тузилса, бу усулда лойиҳалаш *динамик лойиҳалаш* деб аталади. Динамик лойиҳаланган кулачокли механизмлар кулачокнинг ҳар қандай тезликдаги ҳаракатида ҳам нормал ишлай олади. Агар узатиш бурчаги ҳисобга олинмасдан лойиҳаланган кулачокли механизмлар бўлса, у ҳолда, кулачокнинг айланиши жараёнида толкатель ўз йўналирувчиси орасига тикилиб қолиши мумкин, бундай механизмлар ногўфри ишлайди, бунинг оқибатида эса синиш ҳам мумкин.



3.1- рақ. Кулачокли механизмни лойиҳалаш.

Кулачокли механизмларни кинематик лойиҳалаш учун кулачокнинг энг кичик (минимал) радиуси (ρ_{\min}) билан толкателнинг ҳаракат қонуни тезлик, тезланиш ёки $S-t$ графиги шаклида берилиши лозим. Агар ҳаракат қонуни a^t-t графиги шаклида берилса, уни икки марта интеграллаш, $v-t$ графиги шаклида берилган бўлса, бир марта интеграллаш йўли билан $S-t$ графигини ҳосил қилиш мумкин. 3. 1-шакл, б да $S-t$ графиги берилган. Кулачокнинг шаклини тузиш қийин эмас. Бунинг учун кулачокнинг минимал радиуси билан айлана чизиб, уни тенг (8, 12, 16, 26) бўлақларга бўламиз. $S-t$ графиги абсциссасидаги x оралиқни ҳам худди шунча тенг бўлақларга бўламиз.

$S-t$ графигидаги абсциссалар ўқини кулачокнинг минимал радиусли айланасига уринма қилиб ўтказамиз ва шу график ординаталарини кулачок толкателига проекциялаймиз-да, ундаги тегишли нуқталарни минимал радиусли айлана радиусларининг давомига проекциялаб, шу нуқталарни ўзаро туташтирсак, кулачок профили ҳосил бўлади. 3. 1-шакл, а да $S-t$ графигини қанқатлантирувчи ρ_{\min} асосида лойиҳаланган аксиал кулачокли механизм кўрсатилган.

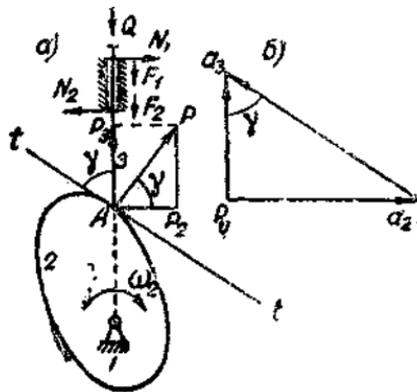
4-§. Узатиш бурчаги ҳақида тушунча;

кулачок профилининг динамик лойиҳасини тузиш

Кулачокли механизмларнинг нормал шароитда ишлашини таъминлаш жуда катта аҳамиятга эга. Бу масала толкателнинг йўналиши билан кулачок профилининг боғланиш нуқтасига ўтказилган уринма чизиқ орасидаги бурчакка боғлиқдир. Бу бурчакни γ билан белгилаймиз ва уни узатиш бурчаги деб атаймиз (4. 1-шакл, а).

Толкателнинг кулачок профили билан шу онда боғланган нуқтасининг абсолют ва нисбий тезликлари орасидаги ўткир бурчак узатиш бурчаги деб аталади.

Агар толкатель билан кулачок профили орасидаги ишқаланиш кучи эътиборга олинмаса, масала осонлашади. Бу идеал ҳолат бўлиб, кўпнча, амалий масалаларда етарли натижалар берибди. Кулачокдан толкателга ўтказилган ҳаракатлантирувчи куч (P) кулачок профилдаги A нуқтага ўтказилган нормал Чизиқ устидан кетади; уни параллело-

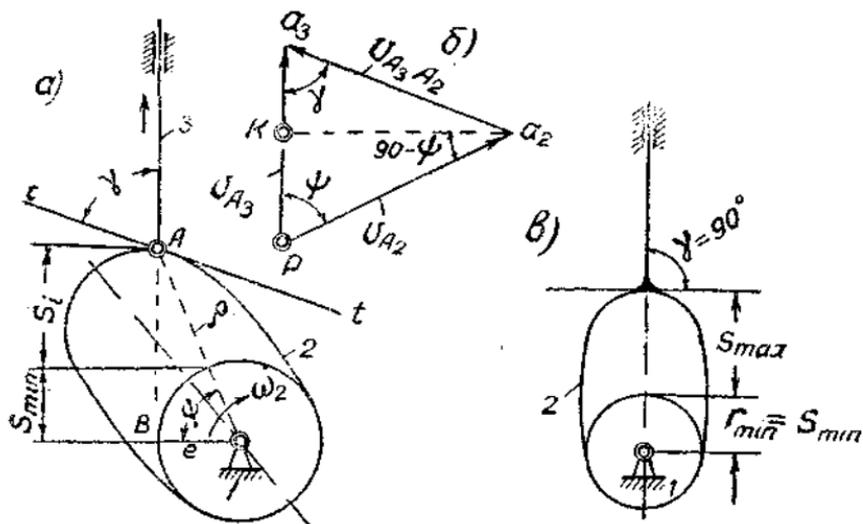


4.1-шакл: а — кулачокли механизм; б — узатиш бурчаги.

грамм қондасига биноан, толкателъ бўйлаб ва толкателга тик қилиб ажратсак бўлади. Булардан биринчисини P_2 ва иккинчисини P_3 билан белгилаб, қуйидагиларни ҳосил қилиш мумкин (4.1-шакл):

$$\begin{aligned} P_2 &= P \cdot \cos \gamma \\ P_3 &= P \cdot \sin \gamma \end{aligned} \quad (7.5)$$

Булардан P_3 фойдали қаршилик (Q) ни мувозанатлаш учун сарфланади, P_2 эса толкателни қўзғалмас йўналтирувчи томон сиқади. Бунинг натижасида толкателъ билан унинг йўналтирувчиси орасида ишқаланиш кучи ҳосил бўлади. Ишқаланиш кучи толкателъ ҳаракатига тескари йўналган бўлади (F_1, F_2) ва унинг ҳаракатига қаршилик кўрсатади. Шаклдан кўринишича, P_3 куч қанча кўп ва P_2 куч қанча кам бўлса, толкателъ ҳаракати яхшиланиб, механизм нормал ишлайдиган бўлади. Бу ҳолат γ бурчак катталашганда бўлади.



4.2-шакл: а — дезаксиал кулачокли механизм; б — тезликлар плани; в — текис толкателли кулачокли механизм.

Юқорида баён этилганлардан шундай хулосага келиш мумкин: агар γ бурчак 90° га тенг бўлса ва ўзгармаса ($\gamma = 90^\circ = \text{const}$), кулачокли механизм энг яхши механизмлардан бўлади. Бундай талабга жавоб берувчи механизмлар учун текис толкателли кулачокли механизмлардир (4.2-шакл, в).

Шундай қилиб, кулачокли механизмларнинг бошқа хиллари учун бурчак тажриба йўли билан топилган γ_{\min} бурчакдан кичик бўлмаслиги, яъни $\gamma \geq \gamma_{\min}$ бўлиши шарт. Агар бу шарт бажарилмаса, кулачокли механизмларнинг конструкциялари ноқулай ту-

зилган бўлади, оқибатда эса толкатель билан йўналтирувчи орасида ниҳаланиш кучи кўпайиб, механизм деталлари қизий бошлайди, ортиқча энергия сарфланади ва, баъзи ҳолларда, толкатель ўз йўналтирувчиси орасида ҳаракатлана олмай, унга тикилиб қолади.

Агар узатиш бурчаги (γ) рухсат этилгандан кичик бўлса, бундай кулачокли механизмнинг толкатели кулачок айланган томонга қараб эгилиши ва кулачок айланмай қолиши мумкин.

Кўп марта ўтказилган тажрибалар асосида, илгариланма ҳаракатланувчи толкательли кулачокли механизмлар учун $\gamma_{\min} = 60^\circ$, айланма ҳаракатланувчи толкательли кулачокли механизмлар учун эса $\gamma_{\min} = 45^\circ$ қилиб олиш тавсия этилади.

Кулачокли механизмларни кинематик анализ қилиш ёки синтез қилишда кулачокнинг минимал радиуси берилган бўлади. Агар кулачокли механизмлар анализ қилиниб, ундаги ҳаракат узатиш бурчаги (γ) топилса, бу нарса кулачокли механизмларнинг динамик анализи масаласи бўлади. Агар ҳаракат узатишнинг берилган (рухсат этилган) минимал бурчаги (γ) га асосланилиб, кулачок шакли топилса, кулачокли механизмларни динамик лойиҳалаш масаласи ҳал қилинган бўлади.

Узатиш бурчаги билан кулачокнинг геометрик элементлари орасидаги боғланишни топиш учун 4. 2-шакл, б ни кўриб чиқамиз. Бу шаклда 4. 2-шакл, а да тасвирланган кулачокли механизмнинг тезликлар плани кўрсатилган бўлиб, у қуйидагича тузилган:

\bar{v}_{A_2} — кулачокдаги A_2 нуқтанинг абсолют тезлиги;

$\bar{v}_{A_3A_2}$ — толкатель боғланиш нуқтасининг нисбий тезлиги;

\bar{v}_{A_3} — толкательнинг абсолют тезлиги.

$$\bar{v}_{A_3} = \bar{v}_{A_2} + \bar{v}_{A_3A_2}$$

$$v_{A_2} = \omega_2 \cdot l_{OA_2}$$

Тезликлар планини тузиш учун p қутбдан \bar{pa}_2 вектор кесма-ни OA_2 га тик қилиб қўямиз ва pa_2 нинг a_2 учидан $t-t$ танген-сналга параллел чизиқ ўтказамиз, сўнгра p дан толкатель ўқига параллел чизиқ ўтказиб, иккала чизиқнинг кесишув нуқтаси a_3 ни тонамиз (4. 2-шакл, б). Шундай қилиб, pa_2a_3 учбурчак ҳосил бўлиди, бу учбурчак тезликлар планидир.

Масалани ҳал қилиш учун тезликлар планининг a_2 учидан \bar{pa}_3 га тик ўтказиб, k нуқтани топамиз; $\triangle ka_2a_3$ дан қуйидаги топилади:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a_2k}{a_2k} = \frac{\bar{pa}_2 \cdot \sin \psi}{\bar{pa}_3 - \bar{pa}_2 \cdot \cos \psi} = \frac{v_{A_2} \cdot \sin \psi}{v_{A_3} - v_{A_2} \cdot \cos \psi} \quad (7. 6)$$

$v_{A_2} = \omega_2 \cdot l_{OA_2}$ эканлигини эътиборга олиб, қуйидаги тенгликни ҳосил қиламиз:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S + S_{\min}}{\left(\frac{v_{A_2}}{\omega_2}\right) - e} \quad (7.7)$$

Агар кулачокли механизм аксиал бўлса, эксцентриситет $e=0$ бўлади, у ҳолда, (7.7) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S + S_{\min}}{\left(\frac{v_{A_2}}{\omega_2}\right)} \quad (7.8)$$

(7.8) формуладаги S_{\min} кулачокнинг минимал радиусига тенг эканлигини кўриш қийин эмас (4.2-шакл, θ). Кулачокли механизм кулачоғининг исталган вазияти учун узатиш бурчаги рухсат этилган узатиш бурчагидан кам бўлмаслиги шарт, бунинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\gamma \geq |\gamma_{\min}| \quad (7.9)$$

Кулачокли механизмларнинг исталган хили учун узатиш бурчаги танлаб олинса, қолган иш S_{\min} қийматини ёки аксиал кулачокли механизмлар учун минимал радиус ρ_{\min} ни топишдан иборат бўлади. Агар лойиҳаланувчи кулачокнинг минимал радиусини рухсат этилган узатиш бурчагига асосланиб топсак, у ҳолда, масала динамик ҳал қилинган бўлади, буни юқорида айтиб ўтган эдик. S_{\min} ёки ρ_{\min} икки усул билан: 1) танлаб олиш методи билан, 2) график метод билан топилиши мумкин.

Танлаш методи билан топишда (7.7) ёки (7.8) формуладан фойдаланилади, яъни кулачокнинг ҳар қайси вазияти учун v_{A_2} билан S аниқланиб, S_{\min} топилади:

$$S_{\min} = \left(\frac{v_{A_2}}{\omega_2} - e\right) \cdot \operatorname{tg} \gamma_{\min} - S \quad (7.10)$$

$$S_{\min} = \left(\frac{v_{A_2}}{\omega_2}\right) \cdot \operatorname{tg} \gamma_{\min} - S \quad (7.11)$$

Бу формулаларда аргументлар S ва v_{A_2} бўлиб, S_{\min} функция ролини ўйнайди; унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

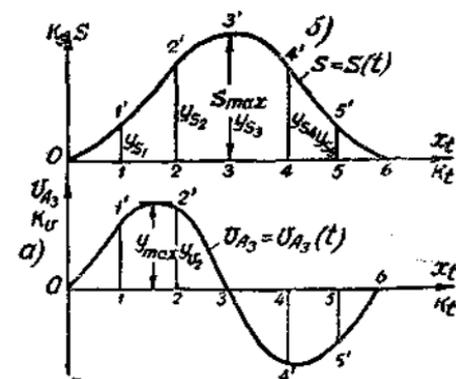
$$S_{\min} = f(v_{A_2}, S) \quad (7.12)$$

Шундай қилиб, кулачокнинг 8—12—24 вазиятлари учун S_{\min} нинг қийматларини аниқлаб, бу қийматларнинг энг каттасини танлаб оламиз; танланган ана шу S_{\min} асосида чизилган кулачок

чизигининг z чизиги билан кесишув нуқтасини O_1 билан белгилаймиз. $O_1K B_2$ учбурчакдан қуйидагини топамиз:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\min} = \frac{O_1O_0 + O_0K}{KB_2} = \frac{z + y_{S_2}}{\left(\frac{v_{A_1}}{K_S \omega_2}\right) - e} \quad (7.15)$$

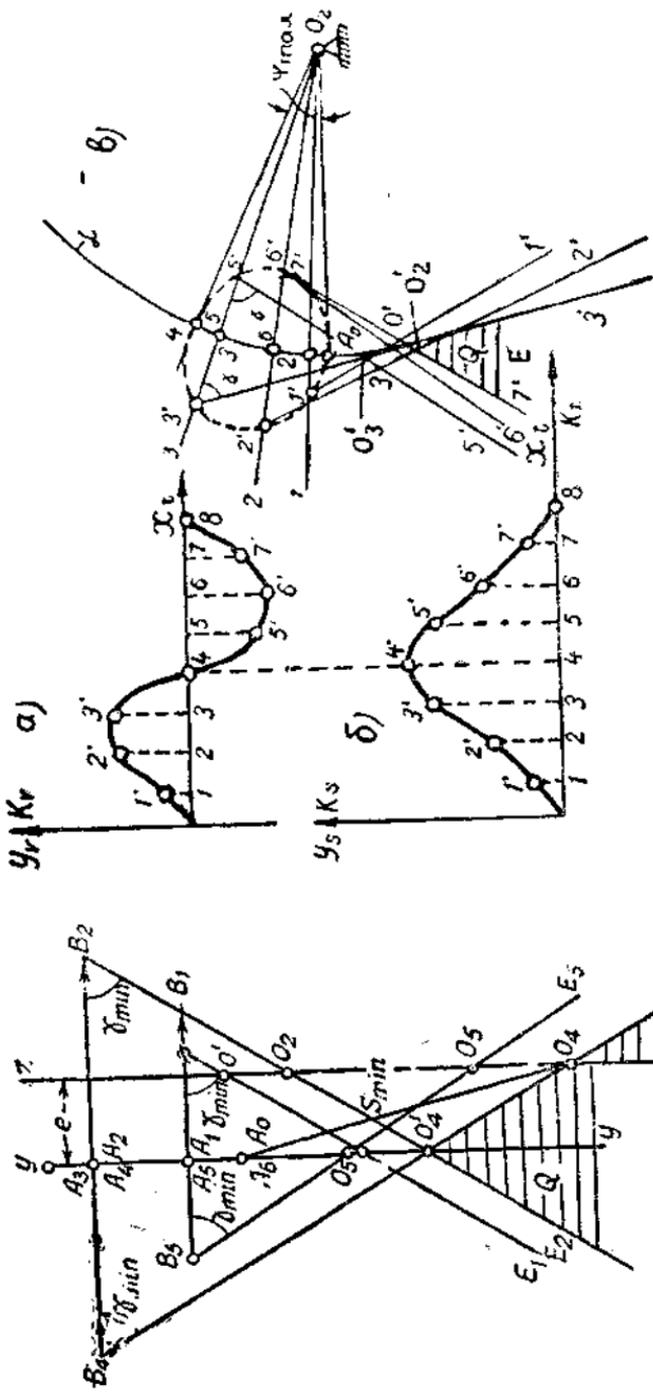
(7.15) формула худди (7.7) формулага ўхшайди, чунки $O_1O_0 = S_{\min}$; $O_0K = S$ дир. Шунинг учун O_1 нуқта дезаксиал кулачокли механизм кулачокининг 2-вазияти учун кулачок маркази ролини ўйнайди. Худди ана шу вазият учун кулачокнинг маркази O_2 нуқтадан юқорида бўла олмайди, чунки ўрушат этилган γ_{\min} дан кичик бўлиб, шу вазиятда толкатель йўналтирувчига тикилиб қолади. Шунинг учун ҳам кулачок маркази O_1 нуқтада ёки ундан



4.4- шакл: а — толкателнинг тезлишлар графиги; б — толкателнинг ораллиқ графиги.

дан пастроқда (O_2 нуқтада) бўлиши мумкин. Агар кулачок маркази O_1 нуқтада бўлса, унинг минимал радиуси $\rho_{\min} = \bar{O}_1A_0$ бўлади, агар кулачок маркази O_2 нуқтада бўлса, кулачокнинг минимал радиуси $\rho_{\min} = O_2A_0$ бўлади.

Биз кулачокнинг фақат 2-вазияти учун минимал радиусни топдик, бошқа вазиятлари учун (бизнинг шаклда 6 та вазияти бор) эҳтимол бу тўғри келмас. Шунинг учун кулачокнинг барча вазиятлари учун $A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, \dots, A_5B_5$ ларни топиб, A_1B_1, A_2B_2, \dots ларни толкателдаги A_1, A_2 нуқталардан yy ўқининг ўнг томонига, A_4B_4, A_5B_5 ларни эса yy ўқидан чап томонга қўямиз ва уларнинг тегишли нуқталаридан (B_1, B_2, B_3, B_4 лардан) B_1E_1, B_2E_2, \dots чизикларни γ_{\min} бурчак ҳосил қиладиган тарзда ўтказамиз (4. 5-шакл); уларнинг z ўқи билан кесишув нуқталаридан энг паstkисини марказ деб ҳисобласак, масала тўғри ҳал қилинган бўлади. Шундай қилиб, 4. 5-шаклдан дезаксиали e бўлган кулачокли механизм учун кулачок маркази z ўқида ётувчи O_4 бўлиб, минимал радиуси эса $\rho_{\min} = O_4A_0 = O_4A_6$ дир. Агар кулачок шу минимал радиус асосида лойиҳаланса, олинган дезаксиал кулачокли механизм минимал габаритли кулачокли механизм бўлади. Агар кулачокли механизмнинг габаритини катталаштирмақчи бўлсак, кулачок марказини O_4 дан пастроқда танлаймиз



4.5-шакл: Аксиал ва дезаксиал кулачокли механизмларнинг минимал радиусларини график усулда топил.

4.6-шакл: а — тезлик графиги; б — оралик графиги; в — ρ шунинг график усулда топилши.

Шаклдаги штрихланган соҳанинг ихтиёрий нуқтаси янги дезаксиал кулачокли механизм кулачокининг маркази бўла олади.

Агар лойиҳаланувчи кулачокли механизм аксиал кулачокли механизм бўлса, у ҳолда, $e = 0$ бўлиб, кулачокнинг айланиш ўқи yy ўқи устида ётиши мумкин. 4. 5-шаклдан кўринишича бундай кулачокли механизм учун минимал радиус $\rho_{\min} O_4 A_0 = O_4 A_0$ бўлади. Шундай қилиб, шу радиус билан лойиҳаланган кулачок габарити минимал бўлиб, Q соҳасидан янги кулачокларнинг айланиш марказларини топса бўлади.

Толкатели бир ўқ атрофида тебранма ҳаракат қилувчи кулачокли механизм лойиҳалаш зарур бўлса ва толкателининг ҳаракат қонуни $v-t$ шаклида берилган бўлса, $v-t$ (4. 6-шакл, а) графигини интеграллаш йўли билан $S-t$ ни ҳосил қиламиз (4. 6-шакл, б). Сўнгра, толкателнинг радиуси билан исталган O_2 нуқтадан α ёйини чизамиз ва шу ёйдан ихтиёрий A_0 нуқтани танлаб, уни толкатель учининг энг пастки нуқтаси деб қабул қиламиз. $S-t$ графигидаги ораллиқларни A_0 нуқтадан бошлаб α ёйга қўйсақ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 нуқталар ҳосил бўлади, бу нуқталарни марказ билан туташтирамиз.

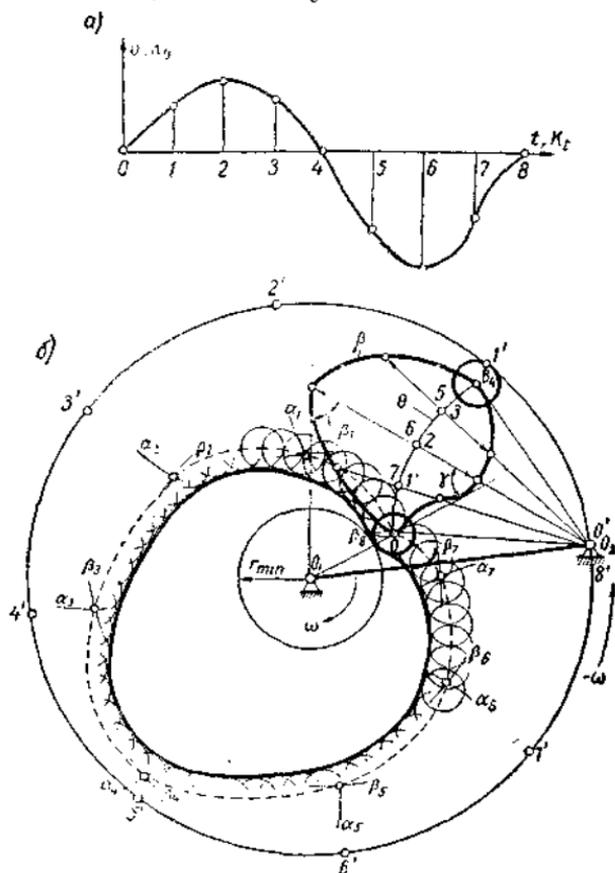
Тезлик графигидан y_{v_1} , y_{v_2} , y_{v_3} ларни ўлчаб оламиз-да, K_v га кўпайтириб, чиққан натижани ω_2 га бўламиз, ҳосил бўлган кесмаларни $O_2 1$, $O_2 2$, $O_2 3$ радиуслар давомига қўйиб, $1'$, $2'$, $3'$, ..., нуқталарни оламиз ва уларни бир-бири билан туташтирамиз, y_{v_4} , y_{v_5} , y_{v_6} , тезлик ординаталарининг ҳақиқий қийматларини топамиз да, уларни ω_2 га бўлиб, натижани $O_2 5$, $O_2 6$, $O_2 7$ радиусларнинг ўнг томонига қўйсақ, $5'$, $6'$, $7'$ нуқталар ҳосил бўлади. α ёйини чап ва ўнг томондаги 0 , $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, $5'$, $6'$, $7'$, $8'$ ларни бир-бири билан туташтирсак, ёпиқ чизиқ ҳосил бўлади (4. 6-шакл, в). Олинган $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, $5'$, $6'$, $7'$ нуқталардан тегишли радиусларга γ_{\min} бурчак остида жуфт чизиқлар ўтказамиз ва уларнинг кесишув нуқталарини O'_1 , O'_2 , O'_3 лар орқали белгилаймиз. Шаклдан кўринишича, лойиҳаланувчи минимал габаритли кулачокнинг маркази O'_2 да бўлиши керак; шу кулачокнинг минимал радиуси $\rho_{\min} = O'_2 A_0$ бўлади. Агар кулачок маркази O'_1 да бўлса, кулачокнинг $2'$, $6'$ вазиятларида $\gamma < \gamma_{\min}$ бўлади, агар кулачок маркази O'_3 да бўлса, кулачокнинг $1'$, $2'$, $6'$, $7'$ вазиятларида $\gamma > \gamma_{\min}$ бўлиб, кулачокнинг нормал ишлаши бузилади. Шундай қилиб, O'_2 марказдан пастдаги штрихланган Q соҳада лойиҳаланувчи кулачок марказини ихтиёрий равишда танлаш мумкин. Танланган бу марказ асосида лойиҳаланган кулачокнинг габарити O'_2 марказ асосида лойиҳаланган кулачок габаритидан катта бўлади. Шунинг учун O'_2 нуқтани марказ қилиб олиб $\rho_{\min} = O'_2 A_0$ радиус билан лойиҳалан-

ган кулачокли механизм минимал габаритли кулачокли механизм деб аталади.

Энди толкатели маълум ўқ атрофида тебраиша ҳаракатланувчи кулачокли механизми лойиҳалаш билан танишиб ўтамиз. Биз 4. 6-шакл, в да шундай кулачокнинг минимал радиусини топиш билан танишиб ўтган эдик. Бу минимал радиус $\rho_{\min} = O_2 B_0$ деб фараз қилайлик. Толкателнинг B учи Q ёйида ҳаракатланади, унинг узунлиги $l_{O,B}$ га тенг. B нуқтанинг максимал оралигини қуйидаги-ча топамиз

$$S_{\max} = l_{O,B} \cdot \psi_{\max}$$

Бу ёйга $S-t$ графигидан ўтилган тегишли ораликларни K_s масштабида қўйиб чиқамиз ва 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 нуқталарни оламиз. 4. 7-шакл, а даги $K_s = \omega$ масштабда чизилган тезлик



4.7-шакл.

графигидан қатор ординаталарни ўлчаб ва уларни α ёйидаги 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 нуқталарни O_2 билан бирлаштирган радиуснинг чап ва ўнг томонларига қўйиб, улар учини бирлаштириб, β овални оламиз. Шу овалга γ бурчагида уримма ўтказиб, кулачок маркази O_1 ни топамиз. Сўнгра кулак профилнинг тескари айлантириш йўли билан қурамиз. Бунинг учун O_1O_2 радиус билан айлана чизамиз. Агар кулачок соат стрелкаси айланган томонга айланса, биз кулачок механизмини қаттиқ система деб қараб, уни O_1 марказ атрофида ω бурчак тезлиги билан айлантирамиз. Унда гўё кулачок фикран тўхтаган бўлади, толкатель эса марказ атрофида айланиб, унинг айланиш ўқи қатор 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8' ҳолатларни олган бўлади (4. 7-шакл, б). Бу метод тескари айлантириш методи деб аталади. Толкателнинг θ ёйидаги энг пастки ҳолати B_0 нуқтада бўлиб, шу нуқтани O_1B_0 ва O_2B_0 радиуслар билан чизилган ёйларнинг кесишган нуқтаси деб қараш мумкин. Толкатель маркази O_2 нуқтадан 1' нуқтага кўчганда кулачок профилнинг B_1 нуқтаси O_1B_1 ва O_2B_1 радиуслар билан чизилган α_1 ва β_1 ёйларнинг кесишган нуқтаси эканлигини кўриш қийин эмас. Худди шундай B_2 нуқта 2' B_2 билан O_1B_2 (ёки 0,2 радиус) радиуслар чизган α_2 , β_2 ёйларнинг кесишган нуқтаси эканлиги бизга аёндыр. Масалани шундай давом эттириб, B_3, B_4, \dots, B_8 нуқталарни топамиз. Бу нуқталарни бирлаштириб, кулачок профилни қурамиз. Қурилган профиль кулачокнинг назарий профили деб аталади. Кулачок механизмининг толкатели роликли бўлса, у ҳолда ролик радиуси билан шу назарий профилни марказ қилиб қатор айланалар чизамиз ва шу чизилган айланаларнинг эгувчиси кулакнинг иш профили бўлади. Шундай қилиб, тескари айлантириш методи билан кулачок механизми кулагининг назарий ва иш профилларини қурдик ҳамда кулачокли механизм кинематик схемасини синтезладик. Бундай синтезлаш динамик синтезлаш бўлиб, бу йўл билан топилган кулачокли механизм нормал ишлайди.

5- §. Лойиҳалашнинг аналитик методи

Кулачокли механизм толкателининг ҳаракат қонунини аналитик усулда текшириш ва кулачок толкателининг аналитик усулда берилган ҳаракат қонунига қараб, шу ҳаракат қонунини берувчи кулачок лойиҳалаш мумкин.

Кулачокнинг хусусий ҳоли эксцентрикдир. Эксцентрик геометрик ўқи силжиган айланадан иборатдир. Бизга эксцентриситети e ва радиуси r бўлган эксцентрикли механизм берилган бўлсин (5. 1-шакл). Шу механизм толкателининг ҳаракат қонунини топиш керак. Масалани ечишда эксцентрикнинг бурчак тезлиги ω ўлчармас соп деб фараз қиламиз.

Масалани ечиш учун ox ва oy ўқларини таянлаб, координаталар бошини қўзғалмас O айланиш ўқида қилиб оламиз.

Шаклдан кўринишича:

$$x = e \cdot \cos \varphi + \sqrt{r^2 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}$$

ёки

$$\varphi = \omega \cdot t$$

$\frac{e}{r} = \lambda$ ни қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз

$$x = e \cdot \cos(\omega t) + r \cdot \sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \omega t)^2} \quad (7. 16)$$

Бу тенглама толкателнинг ҳаракат қонунини ифодаловчи тенгламадир. Толкателнинг тезлиги (7. 16) тенгламадан бир марта ҳосилла олиш йўли билан топилади:

$$v = \frac{dx}{dt} = - \left[e \cdot \omega \cdot \sin \omega t + \frac{\lambda^2 \cdot r \cdot \omega \cdot \sin 2\omega t}{2\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \omega t}} \right] \quad (7. 17)$$

Энди, толкателнинг аналитик усулда берилган ҳаракат қонунига қараб, кулачок шаклини лойиҳалаймиз. Масалан, кулачок толкатели тўғри чизикли ҳаракат қилади, унинг аналитик тенгламаси қуйидагича бўлсин:

$$x = a \cdot t + b \quad (7. 18)$$

Агар кулачокнинг минутига айланиш сони n бўлса, унинг 1 марта айланиши учун кетадиган вақт қуйидагича топилади:

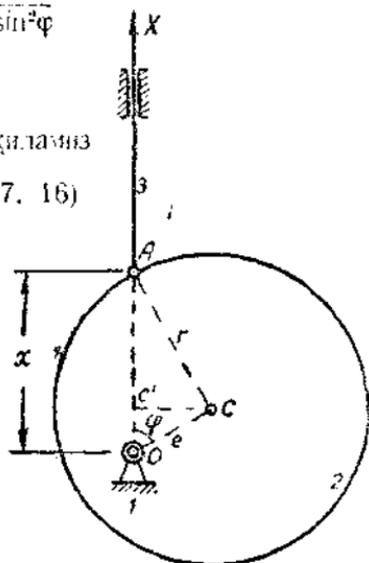
$$T = \frac{60''}{n} \left(\frac{\text{сек}}{\text{айн}} \right)$$

Кулачок ярим марта айланганда толкатель кўтарилади, яна ярим марта айланганда эса толкатель тушади. Бошланғич даврда, яъни $t = 0$ бўлганда, $x_0 = b$ бўлади—толкателнинг координаталар бошидан энг баландга кўтарилиши $t = \frac{T}{2}$ сек вақт ичида бўлади:

$$x_{\max} = at + b = \frac{a \cdot T}{2} + b$$

Толкатель тушаётган вақтда:

$$x = x_{\max} - a \cdot t = \left(\frac{a \cdot T}{2} + b \right) - a \cdot t \quad (7. 19)$$



5.1-шеха. Кулачокли механизм: 1 — қўзғалмас ядро; 2 — эксцентрик (кулачок); 3 — толкатель.

бўлади. $t = \frac{T}{2}$ секунддан сўнг толкатель ўзининг асли вазиятига қайтиб келади.

(7. 18) ва (7. 19) тенгламалардан фойдаланиб, толкателнинг исталган вақт ичидаги вазиятини топамиз. Агар кулачокнинг минимал радиуси билан чизилган айлана 12 та тенг бўлакка бўлинган бўлса, ҳар бир интервал учун кетган вақт $\frac{T}{12} = \frac{60''}{12 \cdot n}$ бўлади. Вақтнинг бир неча қийматини қўйсақ, қуйидагилар келиб чиқади:

$$\begin{aligned} t &= 0; & x_0 &= b = \rho_{\min} \\ t_1 &= \frac{T}{12}; & x_1 &= \left(\frac{aT}{12} + b\right) \\ t_2 &= \frac{T}{6}; & x_2 &= \left(\frac{aT}{6} + b\right) \\ t_3 &= \frac{T}{4}; & x_3 &= \left(\frac{aT}{4} + b\right) \\ t_4 &= \frac{T}{3}; & x_4 &= \left(\frac{aT}{3} + b\right) \\ t_5 &= \frac{5T}{12}; & x_5 &= \left(\frac{5aT}{12} + b\right) \\ t_6 &= \frac{T}{2}; & x_6 &= \left(\frac{aT}{2} + b\right) \end{aligned}$$

Олинган x_1, x_2, \dots, x_6 ларни координаталар бошидан толкатель ўқи бўйлаб қўйиб чиқамиз. Сўнгра, толкателнинг пастга тушиш қонунини ифодаловчи (7. 19) формуладан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned} x_7 &= \frac{5aT}{12} + b & x_{10} &= \frac{aT}{6} + b \\ x_8 &= \frac{aT}{3} + b & x_{11} &= \frac{aT}{12} + b \\ x_9 &= \frac{aT}{4} + b & x_{12} &= x_0 = \rho_{\min} \end{aligned}$$

Булар 5. 2-шаклдагидай ўрнатилса, кулачокли механизм кулачок профилини лойиҳалаш қийин бўлмайди.

5. 2-шаклда кулачок профилининг минимал радиуси $\rho_{\min} = b$ га тенг бўлиб, унинг профили 3- § да кўрсатилгандай олиб борилади.

Энди дезакскал кулачокнинг айланиш ўқининг ўнг томонидан ўтувчи ва толкателли илгариланма-қайтма ҳаракатланувчи кулачокли механизмни аналитик лойиҳалаш билан тавнишиб чиқамиз (5. 3-шакл). Шаклдан қуйидагиларни белгилаб оламиз: $\alpha_i = \angle C_i A B_0$ — кулачокнинг профили бўйича олинган бурчак; $\varphi_i = \angle C_i A B_i$ — кулачокнинг айланиш бурчаги, у ҳолда шаклдан қуйидаги тенгликни ёзишимиз мумкин:

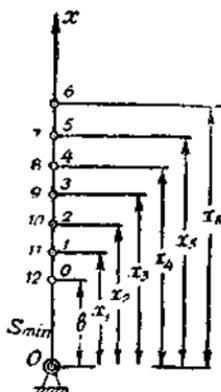
$$\alpha_i^0 = \varphi_i^0 + \delta \quad (7.20)$$

Бу ерда

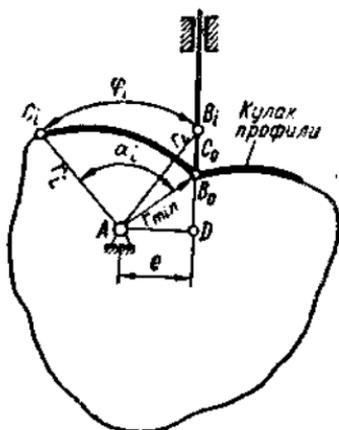
$$\delta = \angle B_1AD - \angle B_0AD \quad (7. 21)$$

$\triangle AB_1D$ дан қуйидаги тригонометрик ифодани ёзиб оламиз:

$$\operatorname{tg} \angle B_1AD = \frac{S_0 + S_i}{e}, \quad \angle B_1AD = \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0 + S_i}{e} \right)$$



5.2-шакл. Толкателнинг вазиятлари.



5.3-шакл.

$\triangle AB_0D$ дан қуйидаги тригонометрик ифодани ёзиб оламиз ва $\angle B_0AD$ ни топамиз:

$$\operatorname{tg} \angle B_0AD = \frac{S_0}{e}; \quad \angle B_0AD = \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0}{e} \right)$$

Ҳар иккала топилган бурчакларни (7. 20)га қўйиб, α_i учун қуйидаги ифодани оламиз:

$$\alpha_i = \varphi_i + \left| \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0 + S_i}{e} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0}{e} \right) \right| \quad (7. 22)$$

Агар дезаксиал кулачок айланиш [марказининг чап томонида бўлса, (7. 22) тенгламанинг кўрғиниши қуйидагича бўлади (5. 4-шакл):

$$\alpha_i = \varphi_i - \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{S_0 + S_i}{e} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0}{e} \right) \right] \quad (7. 23)$$

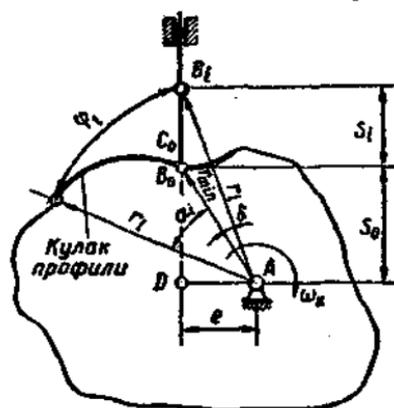
Агар кулачокли механизм аксиал бўлса ($l = 0$), у ҳолда қуйидаги тенгликка эга бўламиз (5. 5-шакл):

$$\alpha_i = \varphi_i \quad (7. 24)$$

Кулачок профилини аналитик лойиҳалаш қуйидаги тартибда олиб борилади: аввало толкателнинг ҳаракат қонуни аналитик

ёки график усулда берилган бўлади. $S = s(\varphi)$ қонунига φ нинг қийматини кетма-кет бериб, S_i нинг қатор қийматларини топиб оламиз. Сўнгра ρ_{\min} ва e нинг топилган қийматларидан фойдаланиб, S_0 ни қуйидагича топамиз:

$$S_0 = \sqrt{\rho_{\min}^2 - e^2} \quad (7. 25)$$



5.4- шакл.



5.5- шакл.

Топилганлардан фойдаланиб, ўзгарувчи радиус векторларни қуйидаги тенгликдан топамиз:

$$\rho_i = \sqrt{(S_0 + S_i)^2 + e^2} \quad (7. 26)$$

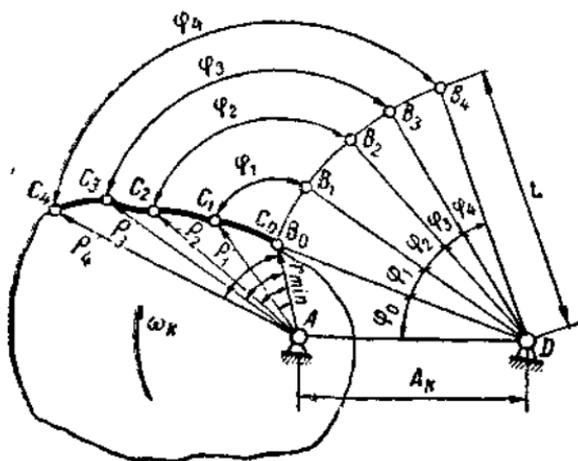
α_i ва ρ_i ларнинг топилган қатор қийматларига асосланиб, кулачокнинг профили ясаллади.

Энди толкатели маълум ўқ атрофида тебранма ҳаракатланувчи кулачокли механизм кулачок профилини аналитик лойиҳалаш методи билан танишиб чиқамиз (5. 6- шакл). Шаклдаги A_K , L ва толкателнинг бошланғич ҳолатини белгиловчи ψ_0 бурчак (параметрлар) берилди ёки маълум йўл билан топилади. Бу параметрга кўра механизмнинг шаклдаги бошланғич ҳолатини белгилаб оламиз. Сўнгра график ёки аналитик берилган $\psi = \psi(\varphi)$ қонундан фойдаланиб, $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ қийматларга мос келадиган ψ_1, ψ_2, \dots ларни топиб оламиз. Шу топилган бурчаклар остида толкатель учининг қатор B_1, B_2, B_3, \dots ҳолатларини белгилаб оламиз. Кулак профилидаги бирор C_i нуқтанинг толкатель учининг ёйдаги учрашган нуқтаси B_i эканлигини билиш учун толкателни кулак айланган томонга қаратиб φ_i бурчакка буриш керак бўлди. B_i нинг C_i даги ҳолатини топмоқ учун айтганимизнинг тескарисини қилишимиз керак, яъни AB_i радиусини φ_i га тескари айлантирамиз ва унинг уч C_i ни берганлигини биламиз.

AB_0D ва AB_iD учбурчаклардан фойдаланиб қуйдагиларни топиб олиш қийин эмас:

$$\rho_i = \sqrt{A_K^2 + L^2 - 2A_K \cdot L \cdot \cos(\psi_0 + \psi_i)} \quad (7.27)$$

$$\rho_{\min} = \sqrt{A_K^2 + L^2 - 2A_K \cdot L \cdot \cos \psi_0} \quad (7.28)$$



5.6- шакл.

Шаклдан δ бурчак қуйдагича топилишини кўриш қийин эмас:

$$\delta = \angle B_0AD - \angle B_iAD$$

Ҳар иккала учбурчакларга синуслар теоремасини қўллаб, қуйдагиларни ҳосил қиламиз:

$$\frac{\sin \angle B_0AD}{L} = \frac{\sin \psi_0}{\rho_{\min}}, \quad \frac{\sin \angle B_iAD}{L} = \frac{\sin(\psi_0 + \psi_i)}{\rho_i}$$

Бундан

$$\angle B_0AD = \arcsin\left(\frac{L}{\rho_{\min}} \cdot \sin \psi_0\right); \quad \angle B_iAD = \arcsin\left[\frac{L}{\rho_i} \sin(\psi_0 + \psi_i)\right]$$

Бу топилган учбурчаклардан фойдаланиб, кулачок профили бўйича бурчаклар қуйдагича топилади:

$$\alpha_i = \psi_i \pm \left\{ \arcsin\left(\frac{L}{\rho_{\min}} \sin \psi_0\right) - \arcsin\left[\frac{L}{\rho_i} \sin(\psi_0 + \psi_i)\right] \right\} \quad (7.29)$$

Шундай қилиб α_i ва ρ_i ларни топиб жадвал тузамиз ва кулачок профилини ясаймиз. Бунинг учун $\psi_i = \psi(\varphi)$ қонунига асосан $\rho_i = \rho_i(\psi_i)$ ни топиш лозим бўлади, сўнгра $\alpha_i = \psi_i \pm \delta(\psi_i)$ дан фойдаланиб α_i ни топилади. Охири ҳар иккала функциядан умумий

параметр ψ_i ни чиқариб $\rho_i = \rho_i(\alpha_i)$ ни топамиз. Бу эса топилиши лозим бўлган кулачок профилининг қутб координатада олинган тенгламасидир.

Кўп ўтказилган тажрибалар шуни кўрсатадики: ψ_0 ни $10^\circ - 30^\circ$ чегарасида олиш керак, у ҳолда $\psi_{\max} = \psi_0 + \psi_i = 50^\circ - 60^\circ$ чегарасида бўлиши керак. Агар бурчак шу кўрсатилган чегаралардан катта олинса кулачокли механизм конструкцияси мураккаблаша боради, яъни кулачок толкатель ўқиға тегиб қолиш эҳтимоли ҳосил бўлади.

Кулак механизмларини ўрганишда толкателлар ҳаракатининг баъзи бир характеристикалари билан танишиб ўтиш мақсадга мувофиқдир. Ҳаракатнинг характери нуқтан назаридан кулак механизмлар, бир оз бўлса-да, понали механизмларга ўхшаб кетади. Ҳар қандай кулак механизмда толкателнинг ҳаракати аналитик равишда қуйидагича ифодаланishi мумкин:

$$y = y(\varphi) \quad (7.30)$$

бу ерда y — толкатель ҳаракати—функция;

φ — кулакнинг айланиш бурчаги.

Агар кулак ўзгармас бурчак тезлиги билан айланадиган бўлса, у ҳолда (7.30) тенглик қуйидагича ёзилади:

$$y = y(t) \quad (7.31)$$

$$\varphi = \omega \cdot t \quad (7.32)$$

бу ерда t — кулакнинг φ бурчакка айланишига тўғри келадиган вақт;

ω — кулакнинг бурчак тезлиги.

Толкателнинг тезлиги ва тезланиши (7.30) дан вақтга нисбатан ҳосилла олиш йўли билан топилади, яъни

$$\text{тезлик } v = \frac{dy}{dt} \quad (7.33)$$

$$\text{тезланиш } a = \frac{d^2y}{dt^2} \quad (7.34)$$

Кулачокли механизмларни лойиҳалашда толкателнинг тезланиш графиги жуда аҳамиятлидир. Бу айниқса катта тезлик билан ишловчи механизмларга тааллуқлидир. Кулачокли механизмларни анализ қилиш йўли билан силташ, шовқин чиқариб ишлаши, вибрация, кинематик жуфт элементларининг ейрилиши каби кулачокли механизмнинг динамикаси тўғрисида тўла фикрга эга бўлиш мумкин. Силташ ҳодисалари механизмнинг нормал ишлашини қийинлаштиради, ёқимсиз товушлар чиқишига сабаб бўлади. Шундай ҳодисаларнинг рўй бермаслиги учун толкателнинг тезланиш графиги бир текисда бўлиши ва унинг максимал қиймати мумкин қадар кам бўлишини кўзда тутиш лозим.

Кулачокли механизмдаги тезланишнинг оний вақт ичидаги (жуда қисқа вақт ичида) ўзгариши *тезланиш градиенти* ёки *тезланиш пульси* деб аталади. Шундай тезланишнинг оний ўзгариши вақтида механизм кинематик жуфт элементларида «пульсация» ҳодисаси рўй беради. Тезланиш градиенти қуйидагича топилади:

$$\sigma = \frac{d^3y}{dt^3} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{da}{dt} \quad (7.35)$$

Агар тезланиш градиенти кичик бўлса, механизмдаги вибрация ҳолатлари ҳам кам бўлади.

Толкателнинг ҳаракат тенгламаси (ёки кулачок профилнинг тенгламаси) φ нинг функцияси сифатида берилса, тезлик ва тезланишлар қуйидагича топилади:

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d\varphi}{d\varphi} \cdot \frac{dy}{d\varphi} = \omega \frac{dy}{d\varphi} \quad (7.36)$$

$$a = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \cdot \frac{d^2y}{d\varphi^2} = \omega^2 \cdot \frac{d^2y}{d\varphi^2} \quad (7.37)$$

Шундай қилиб, кулачок профили ёки толкателнинг ҳаракат тенгламаси тенглама шаклида берилган бўлса, тезланиш ва тезланиш градиенти каби кинематик характеристикаларни олиш мумкин. Бу эса кулачокли механизм қонуниятларини математик ўрганишнинг ўзгинасиدير.

Энди ҳаракат қонуларининг классификацияси билан тапишиб ўтамиз. Толкателнинг ҳаракат қонуни, асосан, икки группа эгри чизиқлар орқали бериллади. Булардан бири оддий даражали функция кўринишида бўлса, иккинчи группаси тригонометрик кўринишида бўлади. Тригонометрик функция кўринишидаги ҳаракат қонунига асосланган кулачокли механизм даражали функция кўринишидаги эгри чизиқларга асосланиб қурилганига қараганда яхши ишлайдиган, чидамли, арзон, вибрацияси кам бўлади.

Оддий даражали функция кўриниши умумий ҳолда қуйидагича бўлиши мумкин:

$$y = y(\varphi) = A \cdot \varphi^k \quad (7.38)$$

бу ерда k — исталган сон;

A — ўзгармас коэффициент.

Агар кинематик ҳаракатларни топмоқчи бўлсак, тенгламадан вақтга нисбатан ҳосила оламиз, яъни ($\varphi = \omega \cdot k$ бўлган ҳол учун):

$$\text{тезлик} \quad v = A \cdot k \cdot \varphi^{k-1} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad (7.39)$$

$$\text{тезланиш} \quad a = A \cdot k(k-1)\omega^2 \cdot \varphi^{k-2} \quad (7.40)$$

$$\text{пульс} \quad \sigma = Ak(k-1)(k-2)\varphi^{k-3}\omega^3 \quad (7.41)$$

$k = 1$ бўлса, $v = A \cdot \omega$ — тезлик горизонтал тўғри чизиқ қонуни билан ўзгаради, яъни ўзгармайди, тезланиш нолга тенг бўлади;

$k = 2$ бўлса, $v = 2A\omega \cdot \varphi$ — тезлик координата бошидан ўтувчи тўғри чизиқ қонуни билан ўзгаради, бу чизиқнинг абсцисса ўқиға оғиш бурчаги қуйидагича топилади:

$$\alpha = \arcsin \operatorname{tg}(2A \cdot \omega) \quad (7.42)$$

Тезланиши эса $a = 2A\omega^2$ — ўзгармас миқдор. Бундай хоссали эгри чизиқ—параболадир. Юқорида кўрсатилган ҳар иккала ҳолат учун ($k = 1, 2$) пульсация бўлмайди, чунки $\sigma = \frac{da}{dt} = 0$.

Агар $k = 3$ бўлса, y ҳолда бундай чизиқ кубик парабола бўлиб, шу ҳолат учун тезлик, тезланиш ва ўзгармас пульс қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} v &= 3A\omega\varphi^2 \\ a &= 6A\omega^2 \cdot \varphi \\ \sigma &= 6A\omega^3 \end{aligned}$$

Тригонометрик қонуниятлар оддий гармоник ҳаракат кўринишидаги, циклоидал ва гармоник билан эллиптик ҳаракатлар қўшилмасидан вужудга келган ҳаракат қонуниятларида берилиши мумкин. Булардан биринчисининг тезланиши косинусоида, иккинчисиники эса синусоида бўлиши мумкин.

Масалани ойдинлаштирмақ учун шундай бир мисолни кўрайлик. Кулак $n = 240 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ билан айланмоқда, $\varphi = 60^\circ$ кулак бурчагида тезланиш мусбат бўлиб, толкатель $y = 13 \text{ мм}$ кўтарилади. Кулачок $\varphi_0 = 40^\circ$ га айланган ҳолатидаги тезлик ва тезланишлар топилисин. Бу масалада $k = 2$ бўлган оддий даражали функция ишлатилсин.

$$\text{Кулакнинг бурчак тезлиги } \omega = \frac{\pi \cdot 240}{30} = 8\pi \text{ рад/сек.}$$

$$\varphi \text{ нинг радиандаги ҳисоби } = \frac{60\pi}{180} = \frac{\pi}{3} \text{ рад.}$$

ω ва α ни (7.38) тенгламага қўйиб, ҳаракат йўлини оламин:

$$y = 13 = A\varphi^k = A\left(\frac{\pi}{3}\right)^2$$

$$\text{бундан } A = \frac{13}{\left(\frac{\pi}{3}\right)^2} = \frac{117}{10} = 11,7$$

Тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$y = 11,7 \cdot \varphi^2$$

$$\text{Тезлик } v = y' = 2 \cdot 11,7 \cdot \omega \cdot \varphi = 23,4 \cdot 8\pi \cdot \frac{40\pi}{180} = 416 \text{ мм/сек}$$

$$\text{Тезланиш } a = y'' = 23,4\omega^2 = 23,4(8\pi)^2 = 15\,000 \text{ мм/сек}^2$$

Етакланувчи звено ҳаракат қонунининг полином кўриниши билан танишиб чиқамиз. Полином кўринишидаги ҳаракат қонуни умумий ҳолда қуйидагича ифодаланади:

$$y = \sum_{i=0}^k A_i \varphi^i = A_0 + A_1 \varphi + A_2 \varphi^2 + A_3 \varphi^3 + \dots + A_k \varphi^k \dots \quad (7.43)$$

бу ерда y — етакланувчи звенонинг силжиши;

φ — y га мос келган кулакнинг айланган бурчаги;

A_i — ўзгармас коэффициент.

Ҳаракат қонуни тенглама билан полином кўринишида берилганда ҳисоб ишларини олаб боришни фикран тартибга солишга тўғри келади. Бунда кулачок қандай бурчакка айланганда етакланувчи звено максимал йўлни босиши ва унинг миқдорини билиш лозим бўлади.

Лойиҳалашнинг аналитик усулида ҳосил қилинган (7.18) тенглама (7.47) тенгламанинг $k=1$ бўлган хусусий ҳоли эканлигини энди кўришимиз қийин эмас.

Агар $k=2$ бўлса (6.59) тенглама қуйидаги 2-даражали полином кўринишини олади:

$$y = A_0 + A_1 \varphi + A_2 \varphi^2 \quad (7.44)$$

Чегара шартларини қўйиш йўли билан A_0 , A_1 , A_2 коэффициентларни олишимиз мумкин.

$\varphi=1$ бўлса $y=0$, $y'=0$ ва $\varphi=0$ бўлса $y=1$, $y'=2$ бўлсин.

Бу шартларни иккинчи даражали поли ом ва унинг ҳосиласига қўйиб коэффициентларни топамиз:

$$\begin{aligned} 0 &= A_0 + A_1 + A_2; & 1 &= A_0, A_1 = -2 \\ 0 &= A_1 + 2A_2; & A_2 &= +1 \end{aligned}$$

Шундай қилиб, қуйидаги тенгламалар толкателнинг босган йўли, тезлиги ва тезланишини ифодалайди:

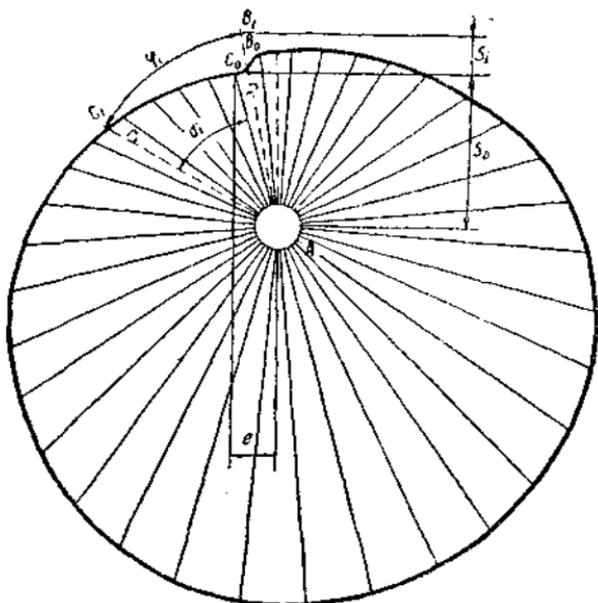
$$\left. \begin{aligned} y &= 1 - 2\varphi + \varphi^2 \\ y' &= +2(\varphi - 1) \\ y'' &= 2 \end{aligned} \right\} \quad (7.45)$$

(7.45) тенгламалар графиги 5. 7-шаклда тасвирланган. Тезланиш ўзгармас бўлганлигидан унинг градиенти $\left(\frac{d^2y}{dt^2} = y''\right)$ нолга тенгдир.

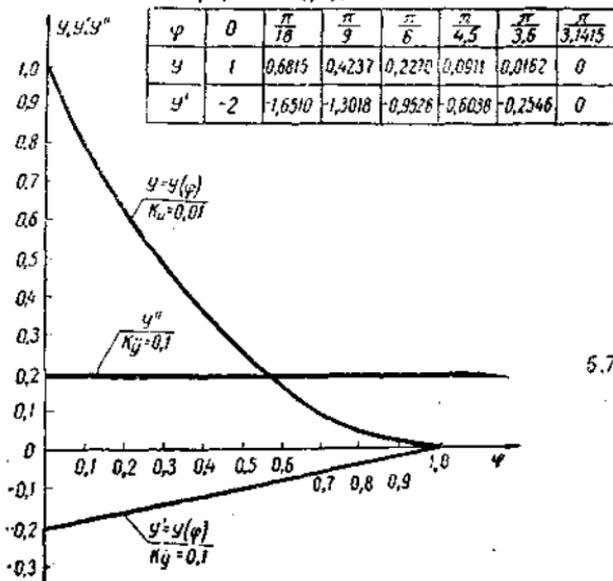
Энди 2- ва 3-даражали полиномлар билан танишиб чиқамиз.

Агар $k=3$ бўлса, полином қуйидаги кўринишда бўлади:

$$y = A_0 + A_1 \varphi + A_2 \varphi^2 + A_3 \varphi^3 \quad (7.46)$$



$$y = 1 - 2\varphi + \varphi^2, \quad y' = 2(\varphi - 1), \quad y'' = 2$$



5.7 - шокка.

Чегара шартлари қуйидагича бўлганда тенглама коэффициентлари қандай бўлиши аниқлансин. Бундай полином учун тўртта чегара шартлари бўлади:

$$\varphi = 0, \quad y = 0, \quad y' = 0, \quad \varphi = 1, \quad y = 1, \quad y' = 0$$

Буларни (7. 46) ва унинг ҳосиласига қўйиб, қуйидагиларни топамиз:

биринчи шартдан. $A_0 = 0, A_1 = 0,$

иккинчи шартдан:

$$A_0 + A_1 + A_2 + A_3 = 1$$

$$A_1 + 2A_2 + 3A_3 = 0$$

ларни ҳосил қиламиз.

Тенгламадан $A_2 = +3, A_3 = -2$ эканлигини аниқлаймиз.

Шундай қилиб, юқоридаги чегара шартларини қаноатлантирувчи полином, тезлик ва тезланиш ҳамда унинг градиенти қуйидаги кўринишда бўлади:

$$y = 3\varphi^2 - 2\varphi^3 \quad (7. 47)$$

$$y' = 6(\varphi - \varphi^2) \quad (7. 48)$$

$$y'' = 6(\varphi - 2\varphi) \quad (7. 49)$$

$$y''' = -12 \quad (7. 50)$$

Демак, агар полином кўриниши 5- даражали бўлса, чегара шартлари олтига, 7- даражали бўлса, чегара шартлари саккизга бўлар экан.

VIII б о б

ТЕКИСЛИҚДА ҲАРАКАТЛАНУВЧИ ШЕСТЕРНЯЛИ МЕХАНИЗМЛАР

1-§. Шестерняли механизмлар ва уларнинг турлари

Шестернялар (тишли ёлдираклар) воситасида бир валнинг айланма ҳаракати бошқа бир валга узатилади. Шестернялар воситаси билан ҳаракат бир звенодан иккинчи звенoga тўхтовсиз ва тўхтаб-тўхтаб узатилиши мумкин.

Биз бу китобда фақат цилиндрлик ва конус шестернялардан тузилган механизмлар билан танишиб чиқамиз, тўғривоғи, бу механизмларнинг геометрияси ва кинематикасини ўрганамиз. Икки звено орасидаги узатиш сони ўзгармас $i_{12} = \text{const}$ бўлиши учун улар профилининг тегишиб (боғланиб) турган нуқталарига ўтказилган умумий нормал ҳамма вақт марказлар чизигининг ўзгармас

нуқтасидан ўтиши шарт. Бу нуқта *иллашиш қутби* деб аталади. Бундай шартни бажарувчи тиш профиллари *туташма профиллар* деб, шестернялар эса *туташма шестернялар* деб аталади. Бир қанча текширишлар натижасида, туташма профиллар ичида энг афзали эвольвентали профиллар эканлиги ва уларнинг қўйилган талабни яхши қондириши мумкин эканлиги аниқланди.

Кейинги йилларда узатмаларнинг нуқта ишлашига бўлган талаблар кундан-кунга оша борди. Бу масала олимларимизни турли профиллар тўғрисида ўйлашга мажбур этди. Механик олимлар бундай масалани ҳал этиш учун тиш профили алоҳида формулага эга бўлиши кераклиги ҳақида фикр юритиб, оқибат натижада тишлар профили циклоидал эгри чизиқ бўлиши кераклигини аниқладилар.

XVIII асрнинг иккинчи ярмида рус академиги Л. Эйлер бундай иш учун математик эгри чизиқ — эвольвентани таклиф этди.

Эвольвентани ҳосил қилиш машинасозлик чизмачилигидан маълум бўлганлигидан бу ҳақда қисқачагина маълумот бериб ўтамиз.

Илашиш процессида бўлган икки тиш профили эвольвентанинг бир қисмигинадир. Шестерняли механизмлар цилиндрик, конус, рейкали, червякли, огма тишли ва бошқа кўп хиллардан иборат бўлиб, бу гилдиракларнинг тиш профиллари эвольвента, циклоида, эпициклоида, гипоциклоида ва айлана шаклида бўлиши мумкин.

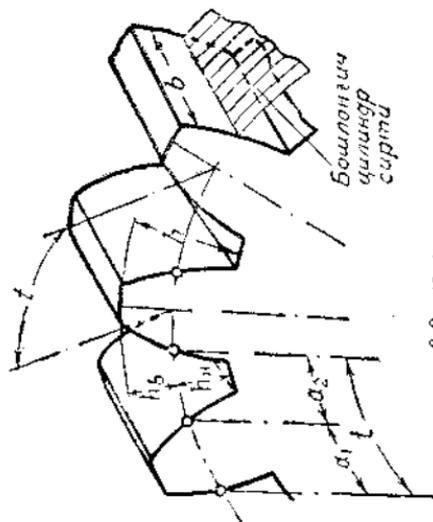
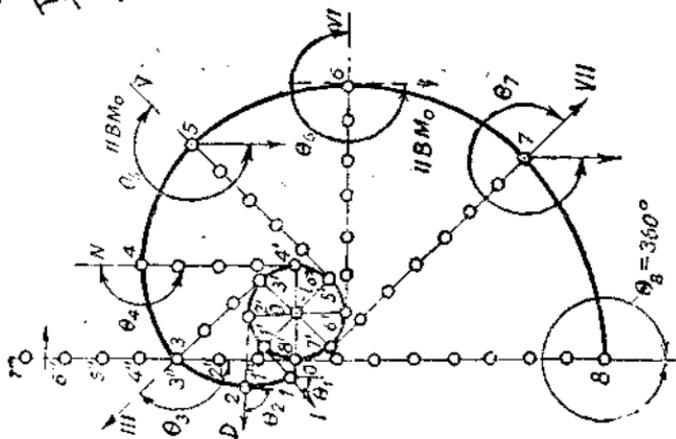
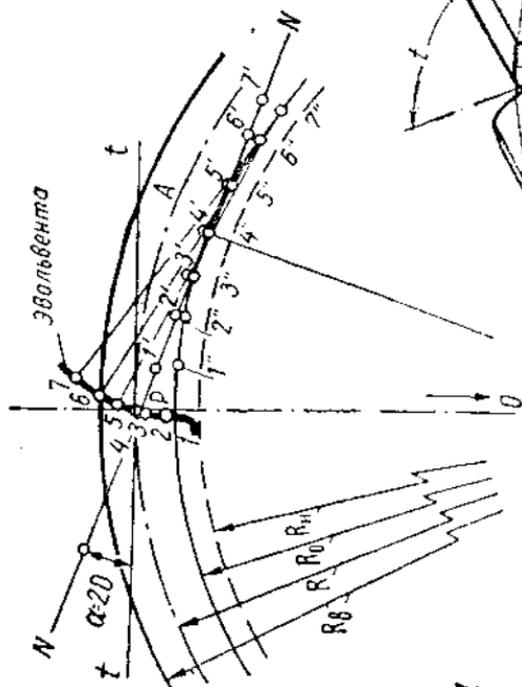
Биз қуйида фақат эвольвента ва айлана профили тишли гилдираклар кинематикаси билан танишиб чиқамиз.

2-§. Эвольвента бўйича илашиш ва унинг хоссалари

Эвольвента ўзига хос эгри чизиқ бўлиб, маълум тартибда ясалади. Эвольвента, оддий қилиб айтганда, айлананинг ёйилмасидир; айлананинг маълум нуқтаси шу айланага ўтказилган уринмаларга чиқариб борилса, бу нуқта *эвольвента* деб аталувчи эгри чизиқ чизади (2.1-шакл). Бунда: $\overline{11'} = \overline{01'}$; $\overline{22'} = \overline{02'}$; $\overline{33'} = \overline{03'}$; $\overline{44'} = \overline{04'}$; $\overline{55'} = \overline{05'}$; $\overline{66'} = \overline{06'}$; $\overline{77'} = \overline{07'}$; $\overline{88'} = \overline{08'}$.

Ёйилган айланага (эволютага) уринма бўлган чизиқлар эвольвентанинг тегишли нуқталарининг эгрилик радиусларидир. Шестернялардаги тиш профилининг қандай эгри чизиқ бўлиши кераклиги ҳақида олимлар асрлар бўйи бош қотириб келдилар. Бу масалани XVIII асрнинг иккинчи ярмида Россия Фацлар академиясининг академиги Леонард Эйлер ҳал қилди. У тишларнинг профили эвольвента бўлганда шестерняларнинг бир текисда айланishi мумкинлигини топди.

Биз қуйида тишнинг эвольвента профилини қандай ҳосил қилиши билан танишиб ўтамиз (2.2-шакл, а). Тишнинг эвольвента профи-



2.2- шакла.

2.1- шакла.

6

a

лини ҳосил қилишда O марказдан R бошланғич айлана радиуси билан ёй чизиб оламиз. OP вертикал чизиқ ўтказиб P нуқтадан R га тик қилиб tt — уринма чизиқни ўтказамиз. Шу уринма чизиққа $\alpha = 20^\circ$ бурчак остида NN нормал чизиқни (ёки ташкил этувчи чизиқни) ўтказамиз. Сўнгра O марказдан NN га тик чизиқ ўтказиб, унинг NN билан кесишган нуқтасини A билан белгилаймиз. Сўнгра $OA = R_0$, яъни асосий айлана радиуси билан ёй чизамиз. Энди AP ни тенг бўлақларга бўлиб оламиз ($1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', \dots$), A нуқтадан бошлаб асосий айланани ҳам худди шундай бўлақларга бўлиб чиқамиз ($1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'', 7'', \dots$). Эвольвентанинг хоссасига асосан эвольвентанинг исталган нуқта-сига ўтказилган эгрилик радиуси эволютага уринма эканлигидан фойдаланиб, эвольвента қисмини қурамиз. NN нормал чизиқ эволюта устида сирғанмасдан фақат юмаланиши натижасида, яъни $1'$ нуқта $1''$ устига тушганда $\overline{1''1} = \overline{1'1}$, $2'$ нуқта $2''$ нуқта устига тушганда $\overline{2''1} = \overline{2'2}$, $3'$ нуқта $3''$ устига тушганда $\overline{3''1} = \overline{3'3}$, $4'$ нуқта $4''$ устида бўлганда $\overline{4''1} = \overline{4'4}$, $5'$ нуқта $5''$ устида бўлганда $\overline{5''1} = \overline{5'5}$, $6'$ нуқта $6''$ устида бўлганда $\overline{6''1} = \overline{6'6}$ ва ниҳоят $7'$ нуқта $7''$ устида бўлганда $\overline{7''1} = \overline{7'7}$ бўлади. Шундай қилиб, $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ нуқталарни бирлаштирсак 2.2-шакл, a даги эвольвента эгри чизигини ҳосил қилган бўлади. Эвольвентанинг 1 нуқтаси эволютада (асосий айланада) бўлади. Шу нуқтани O марказ билан бирлаштирамиз. Шаклдаги эвольвентани тиш шаклига келтириш учун тиш параметрларидан фойдаланиб симметрия йўли билан қолган ярмини қуриш қийин эмас. Бу эса кейинроқ аён бўлади.

Тишли гилдирак аксонометрик кўринишининг бир қисми 2.2-шакл, b да тасвирланган.

Тишларнинг барча ўлчамлари бошланғич цилиндрдан ёки унинг ортогонал проекцияси — бошланғич айланадан ҳисобланади. Шестернялар ўнгга ва чапга айланиши мумкин.

Эвольвента профилли тишли гилдираклар ҳозирги кунга қадар жаҳон машинасозлигида катта ўрин олиб келмоқда. Эвольвента профилли тишли гилдираклар ишлатилмаган машинасозлик соҳасини учратиб қийин. Шунинг учун биз ҳам нормал эвольвента профилли тишли гилдираклар геометрияси ва кинематикаси билан батафсил танишиб ўтамиз. Эвольвента математик тенгламаси бўлган эгри чизиқ бўлиб, уни *техникавий чизиқ* деб ҳам атайдилар.

Эвольвентанинг параметрлари асосий айланаси диаметри орқали аниқланади. Эвольвента функциясининг қуйидагича бўлиши математика курсидан маълум (2.3-шакл).

$$\beta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha = i \operatorname{inv} \alpha$$

2.3- шаклдан:

$$A_0B = \rho_3 = R_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\theta \cdot R_0}{R_0} = \theta; \quad \beta = \theta - \alpha$$

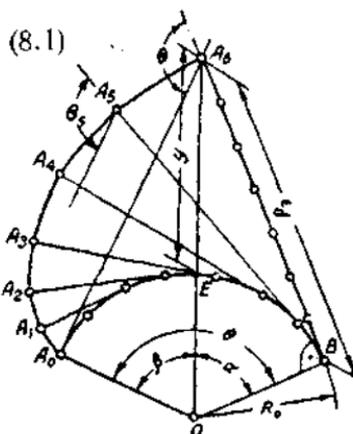
оканлигини кўриш қийин эмас. Яна шу шаклдан:

$$(y + R_0) \cos \alpha = R_0; \quad y = \frac{R_0}{\cos \alpha} (1 - \cos \varphi)$$

Шундай қилиб, эвольвентанинг қуйидагича параметрик тенгламасини олдик:

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{R_0}{\cos \alpha} (1 - \cos \alpha) \\ \beta &= \operatorname{tg} \alpha - \alpha = \operatorname{inv} \alpha \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

Эвольвента профилли иккита шестерня бир-бири билан илашса, у ҳолда профиллар боғланиши фақат қия тўғри чизик бўйлаб боради. Эвольвентанинг хоссасига кўра, эвольвентали туташма профилларнинг умумий боғланиш нуқтасига ўтказилган нормал эвольвентанинг асосий айланаларига (эволюталарига) уринма бўлади. Шу нормал чизикнинг асосий айланадаги уриниш нуқтасидан эвольвентагача бўлган кесма эвольвентанинг шу нуқтадаги эгрилик радиуси деб аталади ва ρ_3 билан белгиланади (2.3- шакл).



2.3- шакл.

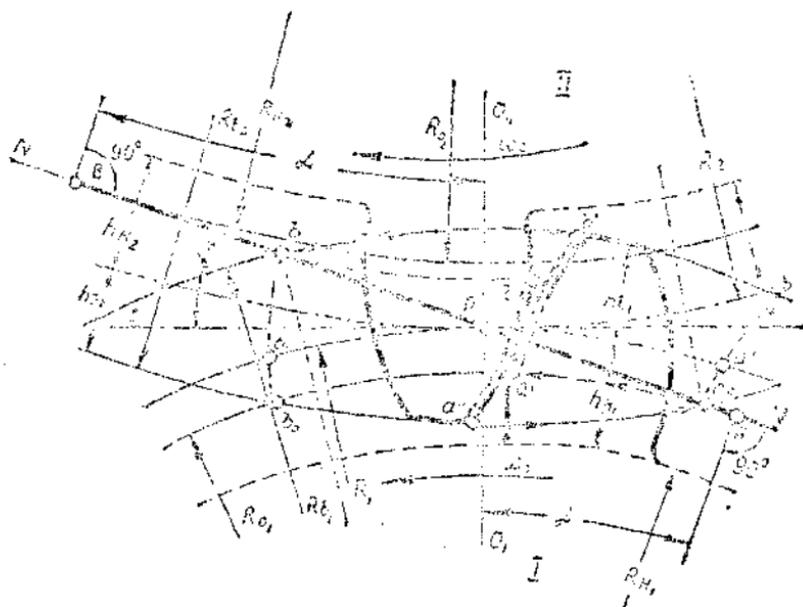
Бир жуфт шестерня тишларининг профиллари бир-бири билан нормал (ёки кўзгалмас NN текисликда) доимо илашиб туради (2.4- шакл). NN чизик эвольвента профилли шестерняларнинг умумий нормали ёки илашиш чизиги деб аталади. Ҳақиқатан тишнинг баландлиги маълум даражада бўлиб, тиш профиллари айланиш процессида фақат ab чизикдагина илашади. ab чизик амалий илашиш чизиги деб, AB чизик эса назарий илашиш чизиги деб аталади (2.4- шакл). α — илашиш бурчаги дейилади.

Шестернялардан бири чексиз катталаштирилса, шестерня билан рейканинг илашуви ҳосил бўлади (2.5- шакл). Бунда ҳам умумий нормал (NN) ўз ҳолича қолади.

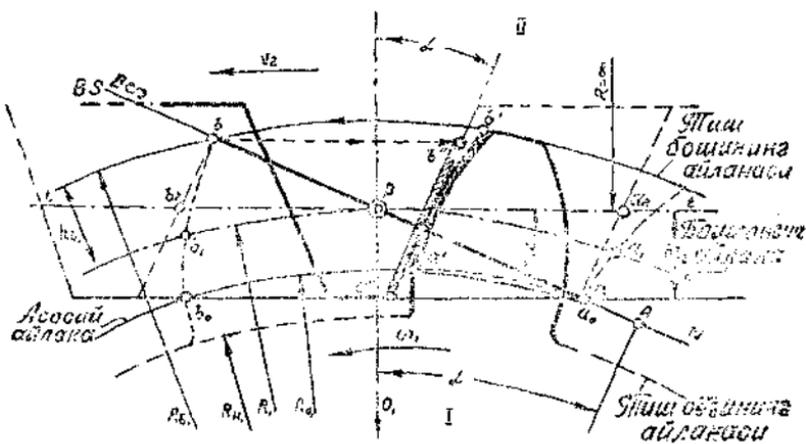
Эвольвента профилли шестерняларнинг афзаллиги нимада, деши саволга қуйидагича жавоб бериш мумкин:

1) илашишнинг тўғрилигини бузмасдан туриб, икки шестерня ўқлари оралигини ўзгартириш мумкин;

2) берилган шестерня тишининг профилли эволюта эгрилик радиуси орқали топилади ва у туташ ёлдиракка боғлиқ бўлмайди.

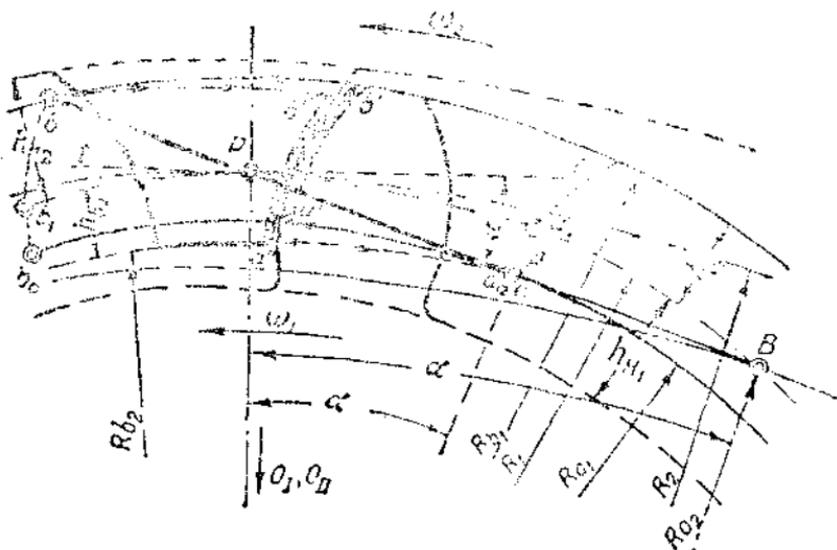


2.4- шака. Танқри иланиши.



2.5- шака. Рейкали иланиши.

2.6-шакада бир жуфт профилнинг ички илашувни кўрсатилган. $I_{12} = \text{const}$ бўлиши учун икки профилнинг боьланши нуқтадаги ўтказилган уранима (AB) ҳамма вақт P нуқтадан ўтиши керак. Нуқта қутё бўлиб, иккала шестернянинг марказлари O_1 ва O_2 буруч теэлик парига теэкари пропорцияда бўлади.



2.6-шака. Ички илашши.

Ҳар қайси тишнинг профилида, асосан, тўртта айлана бўлади; 2.4-шакада O_1 ва O_2 марказли шестернялар тишларининг биттадан эвольвентасини профилни кўрсатилган; улардан қуйидагиларни кўрамиз:

1. R_1 , R_2 — биринчи ва иккинчи тиш профилларининг боьлангич айланаси (бўлувчи айланаси) радиуслари. Улар қуйидаги формулалардан топилади:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{mz_1}{2} = \frac{t \cdot z_1}{2\pi} \\ R_2 &= \frac{mz_2}{2} = \frac{t \cdot z_2}{2\pi} \end{aligned} \quad (8.2)$$

- t — тишларнинг қадами;
 z_1 , z_2 — иккала шестернянинг тишлари сони;
 m — шестернялар модули (ёки илашши модули). Бу катталик ОСТ 1597 дан олинди.

2. R_{O_1}, R_{O_2} — иккала шестернянинг асосий айланаси (эволю-
таси) радиуслари. Улар қуйидагича топилади:

$$\begin{aligned} R_{O_1} &= R_1 \cdot \cos \alpha \\ R_{O_2} &= R_2 \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (8.3)$$

α — илашиш бурчаги; у стандарт эвольвента профилли шес-
тернялар учун 20° қабул қилинган.

3. R_{b_1}, R_{b_2} — иккала шестерня тишлари бошининг радиуслари;
улар қуйидагича топилади:

$$\begin{aligned} R_{b_1} &= R_1 + h_{b_1} \\ R_{b_2} &= R_2 + h_{b_2} \end{aligned} \quad (8.4)$$

h_{b_1} — биринчи шестерня тиши бошининг баландлиги;

h_{b_2} — иккинчи шестерня тиши бошининг баландлиги.

4. R_{H_1}, R_{H_2} — иккала шестерня тишлари оёқлари айланаси-
нинг радиуслари. Улар қуйидагича топилади:

$$\begin{aligned} R_{H_1} &= R_1 - h_{H_1} \\ R_{H_2} &= R_2 - h_{H_2} \end{aligned} \quad (8.5)$$

h_{H_1} — биринчи шестерня тиши оёғининг баландлиги;

h_{H_2} — иккинчи шестерня тиши оёғининг баландлиги.

5. \overline{AB} — назарий илашиш чизиги;

6. \overline{ab} — амалий илашиш чизиги;

7. $\overline{a'b'}$ — биринчи шестерня тиши профилнинг иш қисми;

8. $\overline{a''b''}$ — иккинчи шестерня тиши профилнинг иш қисми;

9. $t-t$ — умумий уринма чизиги;

10. ω_1, ω_2 — I ва II шестерняларнинг бурчак тезликлари.

11. a нуқта — илашишнинг бошланиши; бу нуқтада I шестерня
тиши профилидаги a' нуқта II шестерня тиши профилидаги a''
нуқта билан контактда бўлади.

12. b нуқта I шестерня тиши профилидаги b' нуқта билан
(тишининг боши) II шестерня тиши профилидаги b'' нуқта кон-
тактда бўлади.

2.4-шаклдан кўринишича, илашиш бошланишида I шестерня
тишининг чап профили $a_0 a' b$ вазиятда бўлса, илашишнинг охирида
худди шу профиль $b b_1 b_0$ вазиятга келади.

Шундай қилиб, I шестерня тиши профилнинг кўрсатилган
икки вазиятда бошланғич айлана бўйлаб $a' b_1$ ёй босиб ўтилади.
Ана шу $a' b_1$ ёй илашиш ёйи деб аталади.

Илашиш ёйининг тиш қадамига нисбати қопланиш коэффициентини деб аталади.

Қопланиш коэффициентини аналитик ва практик чизиқлар воситасида топиш мумкин. Агар $\overline{dd'}$ ёйини бошланғич айлана орқали ўлчаб, уни илашиш ёйи десак ва асосий айланадаги ёйини $\overline{cc_1}$ орқали белгилаб олсак, у ҳолда илашиш бошланишидан то илашиш охиригача ҳар иккала ёй қуйидагича топилади (2.7-шакл):

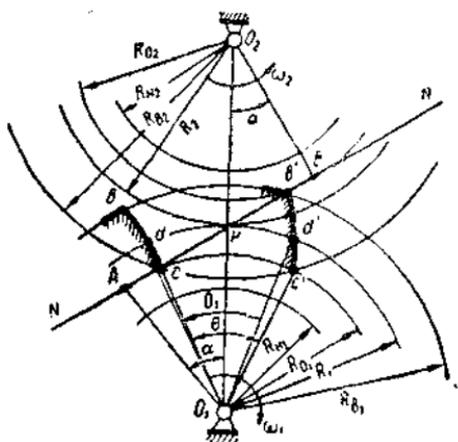
$$\overline{dd'} = R_1 \theta_1$$

$$\overline{cc'} = R_{O_1} \theta_1$$

бундан

$$\theta_1 = \frac{\overline{cc_1}}{R_{O_1}}$$

$$\overline{dd'} = R_1 \frac{\overline{cc_1}}{R_{O_1}} = \frac{\overline{cc_1}}{\left(\frac{R_{O_1}}{R_1}\right)} = \frac{\overline{cc_1}}{\cos \alpha}$$



2.7-шакл.

Эвольвентанинг хоссасидан фойдаланиб, асосий айланадаги $\overline{cc_1}$ ёйини амалий илашиш чизиғи орқали белгилаб оламиз:

$$\overline{CC'} = \overline{AC'} - \overline{AC} = \overline{AB} - \overline{Aa} = \overline{ab}$$

Шундай қилиб, қопланиш коэффициентини топиш учун илашиш ёйини тиш қадамига бўламиз ва илашиш ёйи ўрнинга $\frac{\overline{ab}}{\cos \alpha}$ ни қўйиб қуйидаги формулани оламиз:

$$e = \frac{\overline{a'b_1}}{t} = \frac{\overline{ab}}{t \cdot \cos \alpha} \quad (8.6)$$

чунки $\overline{a'b_1} = \frac{\overline{ab}}{\cos \alpha}$ эканлиги шаклдан маълум. Қопланиш коэффициенти нормал тишлар учун ҳамма вақт $e > 1$ шартини қаноатлантириши керак.

Қопланиш коэффициенти тўғрисида қуйидагиларни айтиш лозим:

1) икки гилдиракининг узлуксиз илашиши учун илашиш ёйи ҳамма вақт тиш қадамидан катта бўлиши керак, яъни $\overline{dd'} \geq t$;

2) $\overline{aa'} < t$ бўлса, биринчи жуфт тишлар илашишдан чиқиб, ҳади иккинчиси илашишга кирмаган бўлади ва тишли узатиш бўхтабди;

3) агар $\overline{aa'} = t$ бўлса, ҳамма вақт, айти бир вақтда, фақат бир жуфт тиш илашиш ҳолатида бўлади;

4) $t < \overline{aa'} < 2t$ бўлса, қисман айти бир вақтда икки жуфт тиш илашиш ҳолатида бўлиб, сўнгра яна бир жуфт тиш илашишда бўлади.

Шундай қилиб, илашиш ёғининг тиш қадамига нисбати айти бир вақтда илашиш ҳолатида бўлган жуфт тишлар сонини билдиради. Илашиш коэффициентини $1,13 \leq 2$ чегарасида олиш тавсия этилади.

13. Тиш бошининг баландлиги $h_b = m$, тиш оёғининг баландлиги $h_n = 1,2 m$, тишнинг тўла баландлиги $h = h_b + h_n = 2,2 m$ бўлади.

Тиш боши баландлигининг тиш модульга нисбати *тиш баландлигининг коэффициенти* деб аталади ва f билан белгилади:

$$f = \frac{h_b}{m}$$

Нормал баландликдаги тишлар учун бу коэффициент 1 га тенг, қисқартирилган тишлар учун 0,8 олинади.

Тишли гилдираклардан узатмалар ясашда конструктор унинг габаритини ихчам қилишга уринади, мумкин қадар тишлар сонини камайтиришга интилади. Азмо кам тишли гилдираклар ясашда тишни кесувчи асбоб тиш оёғининг бир қисминини кесиб кетади. Шунинг учун тиш бағри қўрқилмаслигини таъминловчи гилдиракдаги минимал тишни топиш катта аҳамиятга эга. z_{\min} эса узатиш сонига, тиш баландлигига ҳамда илашиш бурчагига боғлиқдир. Одатда $\alpha = 20^\circ$ учун гилдиракдаги минимал тишлар сони $z_{\min} = 17 \div 25$, $\alpha = 15^\circ$ учун эса $z_{\min} = 35 \div 40$ қилиб олинади.

Тиш оёқчалари қўрқилмаслиги учун тишларни коррекциялаш (тузатиш) лозимдир. Бу эса тиш баландлигини камайтириш ($h = 1,8 m$, $h_b = 0,8 m$, $h_n = m$ ва илашиш бурчагини катталаштириш йўли билан олиб борилади. Шунинг учун ҳам $\alpha = 15^\circ$ дан 20° га ўтилган.

14. Тишли илашишда шестернялар марказларининг оралиги

$$L = O_1O_2 = R_1 + R_2 = \frac{m}{2} (z_1 + z_2)$$

бўлади.

2.5-шаклда рейкали илашиш манзараси кўрсатилган. Бу ерда $a'b'$ — эвольвентали профиль 1 шестерня профилининг иш қисми;

$a''b''$ — рейка профилининг иш қисми. Шундай қилиб, илашиш манзарасидаги aa_1a_1 вазият I шестерня тиши профилининг илашиш бошланиши олдидаги вазияти бўлиб, aa_0a_2 вазият рейканинг шу ондаги вазиятидир. Тиш профилининг илашиш охиридаги вазияти $b_0b_1b_1$ бўлса, рейка тишининг профилли bb_2 вазиятга келади. Шундай қилиб, ab чизиқ бўлиб илашиш процесси содир бўлиб, илашиш бошланишидан то илашиш охиригача тишли филдирак бошланиш аёланада a_1b_1 ёйни ўтса, рейка бошлангич чизиқ бўлиб a_2b_2 тўғри горизонтал араллиқни босиб ўтади. Рейкали илашиш учун қопланиш коэффициентининг математик ифодаси (8.6) формуласидек топилади:

$$\varepsilon = \frac{\overline{a_1b_1}}{t} = \frac{\overline{a_2b_2}}{t \cos \alpha}$$

2.6-шаклда ички илашиш манзараси кўрсатилган.

Ички илашиш ҳам худди ташқи ва рейкали илашиш каби дур, ammo бунда шестернялар маркази бир томонда бўлади. a_0aa_1 — ички шестерня тиши профилининг илашиш бошланишидаги вазияти; b_0bb_1 — шу профилининг илашиш охиридаги вазияти; $\overline{a_1b_1}$ — илашиш ёйи; \overline{ab} — амалий илашиш чизиғи; $\overline{a''b''}$ — ички шестерня тиши профилининг иш қисми; $a''b''$ — ташқи шестерня тиши профилининг иш қисми.

Ички илашиш учун ҳам қопланиш коэффициенти худди ташқи ва рейкали илашишдаги сингари топилади; шаклдаги илашиш учун қопланиш коэффициентининг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\varepsilon = \frac{\overline{a_1b_1}}{t} = \frac{\overline{ab}}{t \cdot \cos \alpha}$$

Қопланиш коэффициентини аналитик усулда топиш ҳам мумкин. Агар сиз тишли филдираклардаги илашиш процессига яхши назар солсангиз, у ҳолда қопланиш коэффициенти формуласидаги сурат — амалий илашиш чизиғи қуйидагига тенг эканлигини кўриши қийин эмас (2.7-шакл):

$$ab = \sqrt{R_{b_1}^2 - R_{O_1}^2} + \sqrt{R_{b_2}^2 - R_{O_2}^2} - (R_1 + R_2) \cdot \sin \alpha \quad (8.7)$$

ab нинг қийматини ўрнига қўйсақ:

$$\varepsilon = \frac{\overline{ab}}{t \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{R_{b_1}^2 - R_{O_1}^2} + \sqrt{R_{b_2}^2 - R_{O_2}^2} - (R_1 + R_2) \sin \alpha}{t \cdot \cos \alpha} \quad (8.8)$$

Шундай қилиб, қопланиш коэффициенти мураккаб функция бўлиб, у асосан ташқи, ички ва рейкали илашишлар учун ила-

шиш бурчаги (α), тиш бошининг баландлиги (h_b), икки филдирак ўртасидаги узатиш сони ва тишлар сонига боғлиқдир. Бу айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$v = v(\alpha, h_b, i_{12}, z_1, z_2). \quad (8.9)$$

Тишли илашиш модули ҳақида тўхтаб ўтамиз. Чет элларда (Англия ва АҚШда) ҳозиргача асосий узунлик ўлчови дюймдир. Бир дюйм = 25,4 миллиметр. Бу ерда тишли филдиракларни лойиҳалаш асосида питч, яъни диаметрал қадам ётади. Питч бошланғич айлана диаметрининг бир дюймга тўғри келган тишлар сонини билдиради.

$$D'' = \frac{z}{P}; \quad D'' = \frac{t \cdot z}{\pi} = mz = \frac{z}{P}$$

ёки

$$m = \frac{1''}{P} = \frac{25,4 \text{ мм}}{P}$$

Модуль билан питч орасидаги боғланиш қуйидаги тенгликдан топилади:

$$mP = 25,4 \text{ мм} \quad (8.10)$$

Мисол. Модуль $m = 10$ бўлса, питч $P = \frac{25,4}{10} = 2,54$ тиш/1 дюйм.

Модуль (m) 1 тишга тўғри келган бошланғич айлана диаметридаги узунликни билдирса, питч (P) 1 дюймга тўғри келган тишлар сонини билдиради.

Тишли илашишдаги узатиш сонининг математик ифодаси қуйидагичадир:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (8.11)$$

(8.11) формуладаги узатиш сони (i_{12}) умумий бўлиб, уни қуйидаги уч ҳол учун татбиқ этамиз:

1. Ташқи илашиш учун $i_{12} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1}$, чунки I шестерня соат стрелкаси юрайдиган томон айланса, II шестерня унга тескари томон айланади, шунинг учун унга минус (—) ишораси қўйилади.

2. Ички илашиш учун $i_{12} = +\frac{Z_2}{Z_1} = +\frac{R_2}{R_1}$, чунки I шестерня соат стрелкаси томон (ёки аксинча) айланса, II шестерня ҳам шу томонга айланади, шунинг учун унга плюс (+) ишораси қўйилади.

3. Рейкали узатма учун икки ҳол бўлиши мумкин: бириинчисида етакловчи звено I шестерня бўлиб, етакланувчи звено рейкадир; бу ҳол учун узатиш сони:

$$i_{12} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\infty}{Z_1} = \infty$$

бўлади, иккинчисида рейка етакловчи, шестерня эса етакланувчи звенодир. Бундай ҳол учун узатиш сон:

$$i_{21} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_1}{\infty} = 0$$

бўлади.

Ҳозирги кунда машинасозликда асосан 1754 йилда Л. Эйлер томонидан тавсия этилган эвольвента профилли тишли гилдираклар ишлатилишини айтиб ўтган эдик. Эвольвентали илашишда қулай афзалликлар бўлса ҳам, у камчиликлардан ҳоли эмас. Асосан контакт чизиқларидаги чидамлиликнинг камлиги эвольвентали илашишнинг асосий камчилигидир. Бунинг учун материаллар қаршилиги фанига асосланган ҳолда тишларнинг контактдаги мустаҳкамлигини фақат сифатли материал танлаш ва узатманинг габаритини ошириш билан таъминлаш мумкин. Бу эса анча қимматга тушади ва узатма қўполлашади.

Новиков илашиши билан ишлайдиган узатмаларда температура 65° гача боради. Бу эса эвольвентали илашишга қараганда 10°—20° камдир. Бир жуфт тиш илашишига тўғри келган ишқаланишга йўқолиш—1%, эвольвентали тишли узатмада 2—3% ни ташкил қиларди.

Тиш профилини ўзгартириш соҳасида кўпгина олимлар ишладилар. Бу олимларнинг идеялари иш профиллари қабарик-ботиқ бўлганда контактдаги кучланишлар энг қулай бўлган тишли гилдиракларни ишлаб чиқиш эди. Бундай уринишлар ҳамон амалий ечимга эга бўлмади.

Техника фанлари доктори Михаил Леонтьевич Новиков (1915—1957 йиллар) 1954 йилда тишлари нуқтали контактга эга бўлган тишли илашиш назариясини ишлаб чиқди. М. Л. Новиков илашишида ясалган тиш профиллари айлана ёйидан иборат бўлиб, узатмалар эса эвольвента профилли узатмаларга нисбатан 2—3 марта кўп кучланишга чидамлидир.

Новиков узатмалари катта кучлар талаб қиладиган узатмаларда қўлланади. Бунда контакт зонасининг катталиги қувват узатишни оширса, ҳаракат узатилишидаги тиш профилларининг нисбий юмалаши ишқаланишни камайтирарди.

М. Л. Новиков 1956 йилда янги илашиш назарияси учун Ленин мукофотиغا сазовор бўлди.

Эвольвента профилли тишли механизмдаги туташма профиль контактдаги нисбий пухталлик етарли даражада эмас. Бундай механизм габаритлари ўқлараро масофа билан характерланади.

Контактнинг пухталиги юза бўйича контактнинг эзилишидаги кучланишга боғлиқ (2.8-шакл).

ρ_1 — биринчи гилдирак тиши профилнинг эгрилик радиуси;

ρ_2 — иккинчи гилдирак тиши профилнинг эгрилик радиуси;

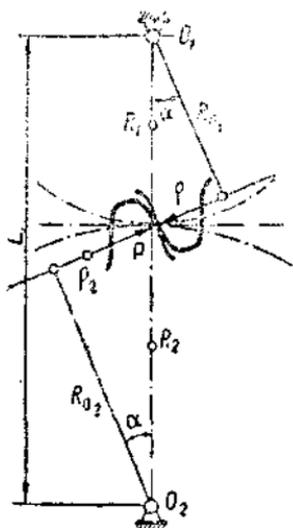
R_1 — шестерня бошланғич айланасининг радиуси;

R_2 — гилдирак бошланғич айланасининг радиуси;

α — илашиш бурчаги;

L — ўқлараро масофа.

Чизиқли контактининг камчилиги яна шундан иборатки, тишлар шик тайёрланмайди, баъзан валларда деформация бўлади. Булар эса тиш чизиғи бўйича тушадиган кучни бунга текисла тарқалтишни бузади.



2.8-шакл.

Новиков илашишида тутақ профилларнинг контакт нуктаси цилиндрик ўқларга параллел чизиқ бўйлаб бўлади. Эвольвентли илашишда эса бу нукта нормал чизиқ бўйлаб боришини кўрган эдик. Шунинг учун Новиков илашишидаги ён кесмидаги илашиш коэффициентини олганда тенгдир, чунки илашиш чизиғи бу ҳолат учун олган тенг. Новиков узатмасидаги тишлар оғма тишлар бўлганлигидан илашиш коэффициентининг бўлиши шартдир. Чунки оғма тишли гилдираклар учун илашиш коэффициентини қуйидаги формула билан топилар эди:

$$\epsilon_k = \epsilon + \frac{b \cdot \operatorname{tg} \beta}{t_s} \quad (8.11)$$

Бу ерда t_s — оғма тишли илашишдаги ён қадам;

b — тишнинг кенлиги;

ϵ — эвольвент тишли илашишдаги илашиш коэффициентини;

β — оғма тишнинг бошланғич цилиндрга оғиш бурчаги.

Агар $\epsilon = 0$ бўлса, Новиков илашиши учун илашиш коэффициентини қуйидагича топилди:

$$\epsilon_n = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \beta}{t_s} \quad (8.12)$$

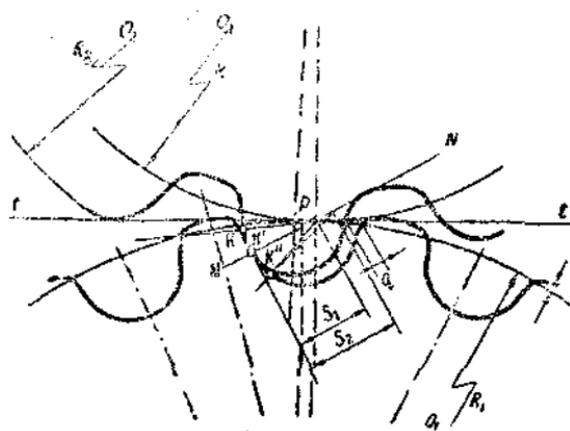
Ўқ бўйича қадам $t_c = t_s \cdot \operatorname{tg} \beta$ ни ҳисобга олганда Новиков илашиши учун β , b ва t_s ларни таъдил йўли билан ҳамма вақт $\epsilon_n > 1$ ни олиш мумкин. Қўпинча $\epsilon_n = 1,05 \div 1,2$ оралиғида бўлади.

Тишларининг ёнрақми айлана бўлган ва гилдирак ўқларига тик бўлган Новиков илашишининг тишини профиллаш билан танишиб ўтамиз (2.9-шакл).

Агар узатиш сони i_{21} ва икки гилдирак марказларининг оралиғи (L) берилган бўлса, у ҳолда O_1 ва O_2 марказлардан чиқадиган бошланғич айланалар радиуслари қуйидагича топилди:

$$R_1 = L \cdot \frac{i_{21}}{i_{21} + 1}; \quad R_2 = L \cdot \frac{1}{i_{21} + 1} \quad (8.13)$$

Худди эвольвентали илавишидагидек илашнинг кутби $P-L$ чизиги устида ва икки абланнинг урнинг нуқтасида бўлади. Босим бурчаги (умумий урнинг билан умумий нормалнинг ён қирқимга проекцияси орасидаги бурчак) $\alpha_s = 20^\circ - 30^\circ$ оралигида қабул этилади. Тишларнинг бошланғич цилиндрга оғиш бурчаги $\beta = 10^\circ - 30^\circ$ оралигида олинади. Тиш қабарик профилнинг ра-



2.9- шакл.

диусини тегиб, y билан кутбин марказ қилиб ёй чизамиз. Бу радиус тахминан қуйидагича топилади:

$$\rho_1 = 1,25 m_0 = (0,05 \div 0,2) R_1 \quad (8.14)$$

Ботиқ профиль радиуси қуйидагича топилади:

$$\rho_2 = (1,03 \div 1,10) \rho_1 \quad (8.15)$$

Умуман Невиков илавишида тишли илдирак тиш бошининг радиуслари қуйидагича топилади:

$$\left. \begin{aligned} R_{b1} &= R_1 + (1 - k)l \\ R_{b2} &= R_2 + h \end{aligned} \right\} \quad (8.16)$$

бу ерда l — силжини;

$k = 0,1 \div 0,2$ — тиш боши билан тиш бағри орасидаги оралиқни билдирувчи коэффициент;

h — тиш бошининг бошланғич айланадан чиқиши.

Қабарик ва ботиқ тишларнинг кенглиги бошланғич айлана бўйича ўлчаниб, икки туташ тишлар орасидаги муносабат қуйидагича бўлади:

$$\frac{a_1}{a_2} = 1,3 \div 1,5$$

бунда a_1 — қабариқ тиш кенглиги;

a_2 — ботиқ тиш кенглиги.

Бундан бошқа a_1 билан a_2 нинг ён қирқим қадами билан ён оралик орасидаги боғланишда кўрсатиш мумкин:

$$a_1 + a_2 = t_s - q \quad (8.17)$$

бунда $t_s = \pi \cdot m_s$ — ён томон илашмиш қадами,

$q = 0,2 \div 0,4$ мм — ён оралик.

Новиков илашмишида ишловчи тишли ғилдираклар тушунарли бўлиши учун қуйида тишли ғилдирак параметрларини ҳисоблаш тартиби келтирилади. Бунда асосан механизмдаги (узатмадаги) ғилдирак тишларининг сони, тиш модули ва α_s билан β лар берилган бўлиши шарт.

Берилганлар: $z_1, z_2, m_n, \alpha_s^*, \beta^\circ$.

ҲИСОБЛАШ ТАРТИБИ

1. Торец модули: $m_s = \frac{m_n}{\cos \beta}$

2. Тишлар сонининг йиғиндиси:

$$z_c = z_1 + z_2$$

3. Ўқлараро масофа:

$$L = 0,5 m_s \cdot z_c$$

4. Торец қадам:

$$t_s = \pi m_s$$

5. Бошланғич айланаларнинг диаметрлари:

$$D_1 = m_s \cdot z_1, \quad D_2 = m_s \cdot z_2$$

6. Иккала ғилдирак тишларининг тўлиқ баландлиги:

$$h = f m_n$$

бунда $f = 1,25$ — тиш баландлигининг коэффициентини.

7. Қабариқ тиш бошининг баландлиги:

$$h'_b = m_n$$

8. Қабариқ тиш оёғининг баландлиги:

$$h'_n = 0,25 m_n$$

9. Радиал зазор (оралиқ)

$$C = 0,25 m_n$$

10. Тишлар учларининг диаметрлари:

$$D_{b_1} = D_1 + 2h'_1 = m_s \cdot z_1 + 2m_n = m_n \left(\frac{z_1}{\cos \beta} + 2 \right)$$

$$D_{b_1} = D_2 = m_s \cdot z_2 = m_n \frac{z_2}{\cos \beta}$$

11. Тиш бағри (ўймаси) айланаларининг диаметрлари:

$$D_{n_1} = D_1 - 2h'_1 = m_n \frac{z}{\cos \beta} - 2 \cdot 0,25m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} - 0,5 \right)$$

$$D_{n_2} = D_2 - 2h = m_n \frac{z_2}{\cos \beta} - 2,5m_n = m_n \left(\frac{z_2}{\cos \beta} - 2,5 \right)$$

12. Силжиниш миқдори:

$$l = k_1 \cdot m_s$$

бунда, $k_1 = 1,35 \div 1,5$ — коэффициент.

13. Торец қирқимидаги қабариқ тиш профилининг эгрилик радиуси:

$$\rho_1 = l$$

14. Торец қирқимидаги ботиқ тиш профилининг эгрилик радиуси:

$$\rho_2 = k_2 \cdot m_s,$$

бунда

$$k_2 = 1,725$$

15. Қабариқ тишнинг бошланғич айлана ёйи бўйича қалинлиги (кенглиги):

$$a_1 = m_s (2k - \xi k)$$

16. Ботиқ тишнинг бошланғич айлана ёйи бўйича қалинлиги:

$$a_2 = t_s - S_1$$

Геометрик ҳисоблашдан сўнг қуйидагича тартибда иш олиб борамиз:

1. L масофа оралиғида бўлган филдиракларнинг O_1 ва O_2 марказларини белгилаб оламиз.

2. O_1 ва O_2 нуқталардан R_1 ва R_2 бошланғич айлана радиуслари билан айланалар чизамиз.

3. P нуқта орқали бошланғич айланаларга умумий уринма ўтказамиз, сўнг босим бурчаги α , билан контактдаги сиртларга умумий нормал NN ўтказамиз.

4. K нуқтада NN чизиқни кесувчи ρ_1 радиусли айланани P марказда чизамиз ва бу айлана бўйича эса кичик қабариқ филдирак (шестерня) профили чизилади.

5. NN чизигида олинган M нуқтадан ρ_2 радиус билан айлана чизамиз, бу айлана K нуқтасида ρ_1 радиусли айлана билан катта филдирак тишларининг ботиқ филлари чизилади. Шу йўл

билан ҳосил қилинган профиллар $K'K''$ қисмида бири-бирига амалӣ жиҳатдан қўшилиб кетади.

Ботққ профилли чегараловчи K'' нуқта билангина асос устида ётади.

K' нуқта K'' нуқтага MV чизигига тебратган сопида тегилади. K' ва K'' нуқталар ақсала елтиррак тинчлариники r_1 ва r_2 бўлиб тишлар учлариники радиусларига тенгликдир.

Тишлар профилларини қуршининг қалъига r_1 ва r_2 қилиб кўриб турибди.

3. §. Шестернялардан тузилган мураккаб узатчалар

Ҳозирги замон машина, механизм ва асбоблари таърифоти тишлик биланраклар жудда катта ўрни тутади. Тишлик шестернясиз бир залдан иккинчи ёки учинчи қатга айланма ҳаракат узатиш анча қийин. Тишлик шестернялар узатишда

даги узатни сови шу тишлик шестернялардан тузилган механизмлар турига кўра топилди. Масалан, 3.1-шаклда тишлари сови z_1 , z_2 , z_3 бўлган учта шестернядан иборат механизм кўрсатилган. Бундай механизмга қаторли узатма деган ном берилган.

O_1 , O_2 , O_3 — шестерняларнинг марказлари бўлиб, биринчи шестерня билан учинчи шестерня орасидаги узатни сови тапиш лозим бўлса, у ҳолда, қуйидагича тап тутамиз:

$i_{12} = -\frac{z_1}{z_2} = z_1$ ва z_2 шестернялар орасидаги узатни сови;

$i_{23} = -\frac{z_2}{z_3} = z_2$ ва z_3 шестернялар орасидаги узатни сови.

Буларнинг ақсала таъғини берганини кўрайтирсак, қуйидаги тенглама қолди:

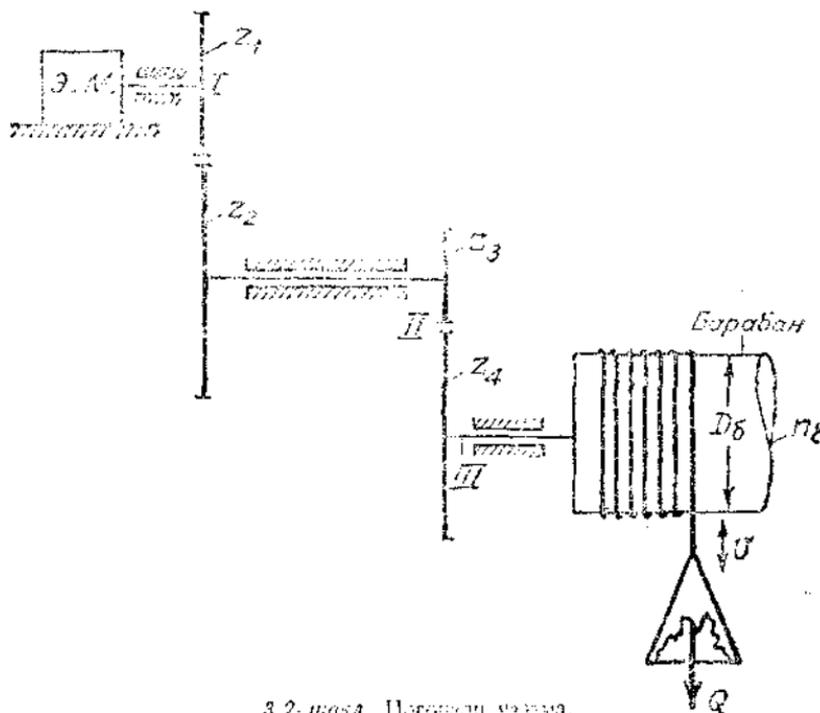
$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{23} = \left(-\frac{z_1}{z_2}\right) \cdot \left(-\frac{z_2}{z_3}\right) = +\frac{z_1}{z_3} \quad (8.12)$$

(8.12) тенгламадан i_{13} мусбат эканлигини англаш мумкин. Шундай қилиб, қаторли узатма учта шестернядан иборат бўлса, балки тўртта шестернядан иборат бўлса, умумий узатни сови қуйидагича бўлар экан:

$$i_{14} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} = \left(-\frac{z_1}{z_2}\right) \cdot \left(-\frac{z_2}{z_3}\right) \cdot \left(-\frac{z_3}{z_4}\right) = -\frac{z_1}{z_4} \quad (8.13)$$

Агар қаторли узатмадаги тизли ендираклар сони n та бўлса, у ҳолда, узатишлар сони $n - 1$ бўлади; биринчи шестерня билан n шестерня орасидаги узатиш сони ҳам қуйидагича таъини мумкин:

$$i_{1-n} = i_{12} \cdot i_{23} \cdots i_{(n-1)n} = (-1)^{n-1} = \frac{z_2}{z_1} \cdots \frac{z_n}{z_{n-1}} \quad (8.11)$$



3.2-шема. Планетали узатма.

Шестернали узатмалар қаторли бўлмаб, ҳамсони бўлиши ҳам мумкин (3.2-шакл). У ҳолда z_1 шестерня билан z_3 шестерня орасидаги узатиш сони қуйидагича таъини мумкин:

$$i_{12} = -\frac{z_2}{z_1}$$

$$i_{31} = -\frac{z_3}{z_2}$$

Иккала тенгламани бир-бирига кўпайтирсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{31} = +\frac{z_3}{z_1} \cdot \frac{z_1}{z_2} \quad (8.15)$$

3.2-шаклдан маълум бўлишича, айланма ҳаракат I валдан z_1, z_2, z_3, z_4 шестернялар орқали II ва III валларга узатилади. Бу ерда z_1, z_2 ва z_3, z_4 шестернялар иштирок этади. Агар жуфт шестернялар сони n та бўлса, валлар сони $n + 1$ бўлиб, k та шестерня учун умумий узатиш сони қуйидагича бўлади:

$$i_{1(n+1)} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} \cdot \dots \cdot i_{(k-1)k} \cdot (-1)^n \quad (8.16)$$

ёки

$$i_{1(n+1)} = \frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6 \cdot \dots \cdot z_k}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5 \cdot \dots \cdot z_k} \cdot (-1)^n$$

Агар шестернялар конуссимон бўлса, бундай механизм учун ҳам умумий узатиш сони (8.14) ёки (8.16) формулалардан топилади.

Энди оғма тишли ғилдираклар ёки винтли ғилдираклардан бир оз маълумот бериб ўтамиз. Эвольвентли тишли ғилдираклардан ташкил этилган узатмаларда асосан қопланиш коэффициентини (ϵ) 1,4 ÷ 2,2 ўрталарида бўлар эди. Илашини ёйи тиш қадамидан қанча катта бўлса, тишли узатмада узлуксиз илашини яхшилана боради. Узлуксиз илашини шартин асосан ϵ ни катталаштириши йўли билан олиб борилади. Бу масала эса оғма ёки винт тишли ғилдираклар йўли билан бажарилади.

4-§. Дифференциал ва планетар механизмлар (эпициклик механизмлар)

Планетар ва дифференциал механизмлар ҳам хилма-хил механизм, машина ва асбобларда турли вазифаларни бажариш — ҳаракатларни қўшиш ёки айириш учун ишлатилади.

Оддий шестерняли механизм таркибидаги шестерняларнинг ўқлари қўзғалмас бўлса, эпициклик механизм таркибидаги шестернялардан бирининг ёки бир нечасининг ўқи ҳаракатда бўлади. Масалани равшанроқ тушунтириш учун 4.1-шаклни кўздан кечирамиз. Бунда асосий 4 та звено бўлиб, учтаси z_1, z_2, z_3 шестернялар, тўртинчиси эса H стерженьдир. Бундай механизмлар ҳам Чебишевнинг тузилиш формуласи асосида анализ қилинади.

4.1-шаклдаги механизмнинг икки ҳоли бўлади:

1. Планетар механизм — бунда z_1 шестерня (марказий шестерня) қўзғалмас ($n_1 = 0$) бўлиб, H стержень (бу стержень водило деб аталади) минутага n_n марта айланади. z_2, z_3 шестернялар сателлит деб аталади, улар мураккаб ҳаракат қилади. Бу шестернялар водило билан бирга, O_1 ўқ атрофида айланади ва ўз ўқлари (O_2, O_3) атрофида нисбий ҳаракат қилади. Бунда:

қўзғалувчи звенолар сони $n = 3$;

V класс кинематик жуфтлар сони $P_5 = 3$;

IV класс кинематик жуфтлар сони $P_4 = 2$.

Чебишевнинг тузилиш формуласига кўра, планетар механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси қуйидагича топилади:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - 1. \quad P_1 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1.$$

Демак, планетар механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 1$ бўлар экан.

2. Дифференциал механизм — бунда H водило O_1 атрофида минутига n марта айланса, z_1 марказий шестерня O_1 атрофида (марказий ўқ атрофида) минутига n_1 марта айланади. Сателлит деб аталувчи z_2, z_3 шестернялар мураккаб ҳаракат қилади. Бунда:

қўзғалувчан звенолар сони $n = 4$;

V класс кинематик жуфтлар сони

$$P_5 = 4;$$

IV класс кинематик жуфтлар сони

$$P_4 = 2.$$

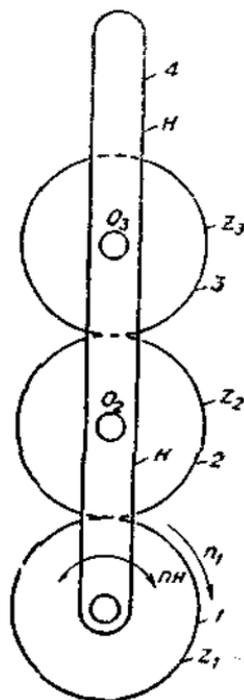
Механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси қуйидагича бўлади:

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

$$W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2.$$

Демак, дифференциал механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси $W = 2$ бўлар экан.

Дифференциал механизмлар очиқ ва ёпиқ бўлади. Булар воситасида сателлитнинг реверс ҳаракатларини олиш мумкин. Ички илашишли дифференциал механизмларда механик фойдали иш коэффициенти таъқисига қараганда катта бўлади. Биз қуйида фақат планетар ва дифференциал механизмлар кинематикаси билан танишиб ўтамиз.



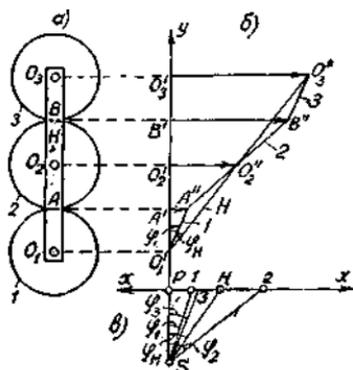
4.1-шакл. Дифференциал ва планетар механизм.

5. §. Виллис формуласи

Марказий шестерня соат стрелкаси юрадиган томон минутига n_1 марта айланиб, водило худди, шу томон минутига n_H марта айланиётган бўлсин (5.1-шакл). Биз шаклда кўрсатилган механизмдаги звеноларнинг ҳаммасини бикр система деб қараб, бутун системани O_1 ўқ атрофида соат стрелкаси юрадиган томонга текшири томон минутига n_H марта айлантирсак, водилонинг минутига айланиш сони нолга тенг бўлиб, гўё қўзғалмайдигандай бўлади, шунинг учун z_1 шестерня билан z_2 шестернянинг айланиш сони n_H та

камаяди, яъни: $n^* = n_1 - n_2$ — дифференциал механизм оддий шестерняли «*» — «я» механизмга айланиб, уларнинг айланиш сонлари n_1, n_2 булади.

Бундай ҳолда оддий шестерняли механизм учун z_x шестерня билан z_2 шестерня орасидаги узатиш сони i_{2x} уйдагича топилади:



5.1- шакл. а — дифференциал механизм; б — теъликлар учбурчаги; в — бурчак теъликлари ёки айланиш сонлари плани.

$$i_{2x} = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad (8.17)$$

i_{2x} шестерня билан z_3 шестерня орасидаги узатиш сони ҳам куйидагича топилади:

$$i_{23} = \frac{P_x - P_H}{z_3 \cdot n_H} \quad (8.18)$$

Эпициклик механизмлар учун умумий узатиш сони водилони фикран тухтатиш методи билан топилади.

Агар $i_{23} < 0$ булса, i_{23} ва z_3 гилдираклар бир-бирига тескари томонларга айланган булади;

Агар $i_{23} > 0$ булса, ҳар иккала гилдирак (i_{23} ва z_3) бир томонга айланган булади.

Агар охири звенонинг номери k булса, формулани умумий курунишда куйидагича ёзиш мумкин:

$$i_{k1} = \frac{n_1}{n_k} \quad \text{«А» — «и»} \quad (8.19)$$

ёки:

$$i_{k1} = \frac{P_k - P_1}{z_k} \quad (8.20)$$

(8.20) формула эпициклик механизмларнинг универсал формуласи ёки *Виллис формуласи* деб аталади. Универсал формула ёрдами билан эпициклик механизмлар кинематикасини урганиш *аналитик метод* дейилади.

k звенонинг бурчак теълигини жадвал методи билан ҳам топиш мумкин. Бунда, асосан, жадвал тузилиб, мураккаб ҳаракатлар содда ҳаракатларга булинади ва, шундан кейин, улар цушилади. Масалани равшанлаштириш учун 4.1-шаклдаги дифференциал механизм z_3 шестернясининг минутига айланиш сонини топамиз. Водило билан z_1 шестернянинг минутига айланиш сонлари (n_1 ва n_3) берилган. Масалани ечиш учун куйидаги жадвални тузамиз:

Харакатнинг характери	z_1 шестернянинг минутига айланиш сони	Водилонинг минутига айланиш сони	z_2 шестернянинг минутига айланиш сони
1. Водилонни қўзғалмас деб олиб, z_1 шестерняни берилган n_1 билан айлантирамиз .	n_1	0	$\frac{n_1}{i_{13}} = n_3^*$
2. Барча звеноларни қаттиқ жисм деб ҳисоблаб, системани O_1 ўқ атрофида n_H билан айлантирамиз	n_H	n_H	n_H
3. Водилонни қўзғалмас деб қараб, z_1 шестерняни n_H билан айлантирамиз	$-n_H$	0	$-\frac{n_H}{i_{13}}$
4. Айтилганларнинг учаласини устунча бўйлаб қўшамиз	n_1	n_H	$n_3 = \frac{n_1}{i_{13}} + n_H \left(1 - \frac{1}{i_{13}}\right)$

3-устунчадаги $n_3 = \frac{n_1}{i_{13}} + n_H \left(1 - \frac{1}{i_{13}}\right)$ (8.20) формулага ўхшайди. Аналитик ва жадвал методларидан фойдаланиш кўпинча ноқулай бўлади. Бундай ҳолларда графоаналитик усулдан фойдаланишга тўғри келади. Бу усул ўзининг яққол кўриниши ва, айниқса, бурчак ва чизқили тезликлар йўналишларининг яққоллиги билан афзалдир. Амалий ишларда бу усулда кичик хатолар бўлишига қарамай, ундан унумли фойдаланилади.

5.1-шаклдаги дифференциал механизм K_M масштабда чизилган, 1 шестернянинг тишлари сони z_1 бўлиб, минутига айланиш сони n_1 дир. Водилонинг минутига айланиш сони n_H берилган. Агар 2 ва 3 шестерня тишларининг сони z_2, z_3 бўлса, шу шестерняларнинг (сателлитларнинг) бир минут ичида айланиш сонларини топиш керак. Масала графоаналитик усулда ечилади: n_1 ва n_H лар соат стрелкаси юрадиган томон айланади. Масалани ечиш учун водилонинг O_3 нуқтаси билан 1 филдиракдаги A нуқтанинг чизқили тезликларини топамиз:

$$v_A = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \cdot R_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \cdot \frac{m \cdot z_1}{2} \quad (8.21)$$

$$v_{O_3} = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \cdot R_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} (R_1 + 2R_2 + R_3) \quad (8.22)$$

Тезликлар масштабни танлаймиз:

$$K_v = \frac{v_A}{A' - A''} \left[\frac{m \text{ сек}^{-1}}{mm} \right] \quad (8.23)$$

$$O_3^*O_3^* = \frac{v_{O_3}}{K_v} [\text{мм}] \quad (8.24)$$

Механизмга (5.1-шакл, а) яқинроқ жойдан вертикал *yy* чизигини чизамиз ва бу чизиққа механизмдаги асосий O_1, A, O_2, B, O_3 нуқталарнинг проекцияларини туширамиз. O_3 нуқтадан $O_3^*O_3^*$ вектор кесмани ўнг томонга қараб оламиз. O_3^* ни O_1^* билан туташтириб, $O_1^*O_3^*$ чизиқни ҳосил қиламиз. Бу чизиқни *H* билан белгилаймиз. Ана шу *H* чизиқ водилоннинг тезликлар чизигини беради. A' дан $A''A''$ вектор кесмани қўямиз. A'' ни O_1^* билан туташтириб, $A''O_1^*$ ни ҳосил қиламиз ва уни *l* сони билан белгилаймиз. Бу чизиқ *l* шестернянинг тезликлар чизигини беради. O_2^* дан $O_3^*O_3^*$ га параллел чизиқ ўтказамиз ва унинг *H* тезликлар чизиги билан кесишув нуқтасини O_2^* билан белгилаймиз. $O_2^*O_2^*$ кесма K_v масшабда v_{O_2} ни бериши бизга маълум. A'' билан O_2^* ни туташтириб, ҳосил бўлган чизиқни давом эттирамиз. B' дан ўтказилган горизонтал чизиқ $A''O_2^*$ нинг давоми билан кесишиб, B'' ни ҳосил қилади. $A''O_2^*B''$ чизиқ 2 шестернянинг тезликлар чизигини беради; уни 2 сони билан белгилаймиз.

B'' ни O_3^* билан туташтириб, $O''B''$ чизигини ҳосил қиламиз. Бу чизиқ 3 гилдиракнинг O_3 атрофида айланишидаги тезликлар чизигини беради; уни 3 сони билан белгилаймиз. *yy* чизигининг пастроғидан ихтиёрий *P* нуқтани танлаб олиб, ундан *xx* горизонтал чизиқ ўтказамиз. *P* дан пастроқда *PS* ихтиёрий масофада *S* нуқтани танлаб оламиз. Шу *S* нуқтадан O_1^*A'' га параллел ўтказиб, $\overline{S1}$ ни; $O_1^*O_3^*$ га параллел *SH* ни, $A''B''$ га параллел $\overline{S2}$ ни, O_3^*B'' га параллел *S3* ни ҳосил қиламиз (5.1-шакл, в).

5.1-шакл, б даги график дифференциал механизмнинг чизиқли тезликлар учбурчаги, 5.1-шакл, в даги чизма эса бурчак тезликлари ёки айланиш сонларининг планидир. $\triangle O_1^*O_3^*O_3^* \infty \triangle PSH$ ўхшашликдан қуйидаги пропорцияни тузамиз:

$$\frac{\overline{PH}}{PS} = \frac{O_3^*O_3^*}{O_1^*O_3^*} = \text{tg } \varphi_H; \quad \omega_H = \frac{v_{O_3}}{l_{O_1O_3}} = \frac{K_v \cdot O_3^*O_3^*}{K_m \cdot O_1^*O_3^*} = \frac{K_v}{K_m} \cdot \text{tg } \varphi_H$$

$$\omega_H = \frac{K_v}{K_m} \cdot \frac{PH}{PS} = K_\omega \cdot PH [\text{сек}^{-1}] \quad (8.25)$$

Худди шунингдек, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\omega_1 = \frac{K_v}{K_m} \cdot \frac{PI}{PS} = K_\omega PI [\text{сек}^{-1}] \quad (8.26)$$

$$\omega_2 = \frac{K_2}{K_n} \cdot \frac{P2}{PS} = K_\omega \cdot P2 [\text{сек}^{-1}] \quad (8.27)$$

Шундай қилиб, PH кесма K_ω масштабда ω_H ни, PI кесма K_ω масштабда ω_1 ни ва $P2$ кесма K_ω масштабда ω_2 ни берши юқоридаги формулалардан кўриниб турибди.

Шундай қилиб, 5.1-шакл, в даги чизма бурчак тезликларни плани бўлиб, ундаги xx ўқида ётувчи $P1$, $P2$, $P3$, PH кесмалар K_ω масштабда тегишли звеноларнинг бурчак тезликларини берар экан.

5.1-шакл, в дан тегишли звеноларнинг минутига айланиш сонларини топиш мумкин. Бунинг учун қуйидаги формуладан фойдаланамиз:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \quad n = \frac{30}{\pi} \cdot \omega \quad (8.28)$$

(8.24), (8.26), (8.27) тенгламаларни (8.28) га қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$n_H = \frac{30}{\pi} \cdot K_\omega \cdot \overline{PH} = K_n \cdot PH \left(\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right) \quad (8.29)$$

$$n_1 = \frac{30}{\pi} \cdot K_\omega \cdot \overline{PI} = K_n \cdot PI \left(\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right) \quad (8.30)$$

$$n_2 = \frac{30}{\pi} \cdot K_\omega \cdot \overline{P2} = K_n \cdot P2 \left(\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right) \quad (8.31)$$

Демак, PH , PI , $P2$ кесмалар $K_n \left(\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right)$ масштабда тегишли звеноларнинг минутига айланиш сонларини берар экан.

Юқорида айтилганлардан маълумки, тегишли звеноларнинг бурчак тезликларини ёки минутига айланиш сонларини топиш учун, уларнинг планларини тузиб, сўнгра K_ω ва K_n масштабларни топиш керак; аммо бурчак тезликлари ва айланиш сонлари планидан фойдаланиб (5.1-шакл, в) K_ω , K_n масштабларни ҳисоблаб ўтирмай, тегишли звеноларнинг бурчак тезликларини ёки айланиш сонларини қуйидагича топиш мумкин:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{P2}{P1}; \quad \omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{P2}{P1};$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{P3}{P1}; \quad \omega_3 = \omega_1 \cdot \frac{P3}{P1};$$

Қуйидаги пропорциядан фойдаланса ҳам бўлади:

$$\frac{\omega_2}{\omega_H} = \frac{P2}{PH}; \quad \omega_2 = \omega_H \cdot \frac{P2}{PH};$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_H} = \frac{P3}{PH}; \quad \omega_3 = \omega_H \cdot \frac{P3}{PH}$$

Пропорцияни айланиш сонлари орқали тузиб, тегишли звеноларнинг минутига айланиш сонларини қуйидагича топамиз:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{P2}{P1}; \quad n_2 = n_1 \cdot \frac{P2}{P1} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right];$$

$$\frac{n_3}{n_1} = \frac{P3}{P1}; \quad n_3 = n_1 \cdot \frac{P3}{P1} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

n_1 , n_H лар берилганлиги учун, қуйидагича пропорциялар тузса ҳам бўлади:

$$\frac{n_2}{n_H} = \frac{P2}{PH}; \quad n_2 = n_H \cdot \frac{P2}{PH} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

$$\frac{n_3}{n_H} = \frac{P3}{PH}; \quad n_3 = n_H \cdot \frac{P3}{PH} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right].$$

Эпициклик механизмларнинг кинематикасини графоаналитик усул билан текширишда звеноларнинг бурчак тезликлари, айланиш сонлари ва нуқталарнинг чизиқли тезликлари мусбат ва манфий бўлишига эътибор бериш керак. Агар чизиқли тезлик мусбат бўлса, унинг масштаб вектор кесмаси вертикал чизиқнинг ўнг томонига, манфий бўлса, шу вертикалнинг чап томонига қаратиб қўйилади.

Бурчак тезликлар билан айланиш сонларининг планидан (5. 1-шакл, в) қуйидаги қоидага кўра, уларнинг мусбат ёки манфий бўлишини билиб олиш мумкин:

а) агар бурчак тезлиги ва айланиш сонини кўрсатувчи $P1$, $P2$, PH , ... кесмалар yu ўқининг ўнг томонида ётса, мусбат; б) агар улар yu ўқининг чап томонида ётса, манфий бўлади.

Эпициклик механизмларнинг кинематикасини графоаналитик йўл билан ўрганишда, кўпинча, механизмнинг профил проекциясини чизиш (90° га буриб проекциялаш) анча қулайлик туғдиради. Масалани равшанроқ тасаввур қилиш учун 5. 1-шакл, а даги механизмнинг профил проекцияси вертикал тўғри чизиқда бўлиб, A , B , O_2 , O_3 нуқталарнинг чизиқли тезликлари проекциялари эса нуқтага айланади. Бундан буён масалани яққол ҳал этиш учун эпициклик механизмларнинг профил проекцияларини

чизиб, тегишли нуқталарнинг чизиқли тезликларини соат стрелкаси юрадиган томон 90° га буриб тасвирлаймиз. Масалани ойдинлаштириш учун масалалар ечамиз.

МАСАЛАЛАР

38- масала. 5. 2- шакл, а да профил проекцияда чизилган энциклик механизмнинг кинематикаси уч йўл билан ўрганилсин.

$$z_1 \approx 40; \quad z_2 = 80; \quad z_3 = 60; \quad z_4 = 60; \quad z_5 = 180.$$

$n_1 = 120 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$ — 1 марказий шестернянинг минутига айланиш сони;

$n_5 = 0$ — 5 марказий шестерня қўзғалмас;

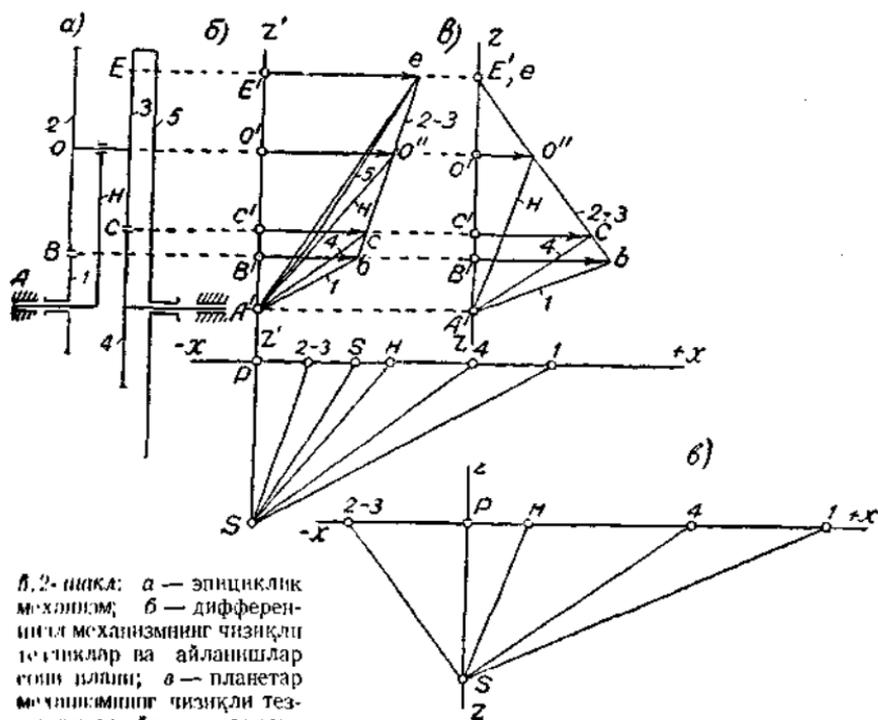
n_A — валнинг (ёки водилонинг) минутига айланиш сони;

$n_4 = 4$ шестернянинг минутига айланиш сони.

n_A ва n_4 ни топши керак.

Ечиш: механизмнинг қандай механизм эканлигини Чебишевнинг тузилиш формуласидан фойдаланиб текширамиз:

$$\omega = 3 \cdot n - 2P_5 - P_4$$



5. 2- шакл: а — энциклик механизм; б — дифференциал механизмнинг чизиқли тезликлар ва айланишлар сони пили; в — планетар механизмнинг чизиқли тезликлар ва айланишлар сони пили.

$n = 4$ қўзғалувчан звенолар сонн;

$P_5 = 4$;

$P_4 = 3$.

$$\omega = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 3 = 1$$

Демак, Б. 2-шакл, а даги механизм 5 шестерняси қўзғалмас бўлган тақдирда планетар механизм бўлар экан, чунки унинг бу вазияти учун қўзғалувчанлик даражаси бирга тенг.

а) Механизм кинематикасини аналитик усулда текшираимиз. $I - H - 2$, $3 - 5$ планетар механизм учун универсал формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{1-5} = \frac{n_1 - n_H}{n_5 - n_H}$$

I шестернядан 5 шестернягача бўлган умумий узатиш сонини топамиз:

$$i_{1-5} = i_{12} \cdot i_{35} = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(+\frac{z_5}{z_3}\right) = -\frac{80}{40} \cdot \frac{180}{60} = -6; \quad \frac{120 - n_H}{0 - n_H} = -6$$

$$n_H = 17,1 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

$I - H - 2$, $3 - 4$ механизм учун универсал формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{1-4} = \frac{n_1 - n_H}{n_4 - n_H}$$

I шестернядан 4 шестернягача бўлган умумий узатиш сонини топамиз:

$$i_{1-4} = i_{12} \cdot i_{34} = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(-\frac{z_4}{z_3}\right) = \frac{80 \cdot 60}{40 \cdot 60} = +2$$

n_1 , i_{1-4} ва n_H ларнинг қийматини универсал формулага қўйиб, қуйидагича оламиз:

$$+2 = \frac{120 - 17,1}{n_4 - 17,1}; \quad n_4 = 68,5 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

б) механизм кинематикасини жадвал усулида текшираимиз. $I - H - 2$, $3 - 5$ механизм учун жадвал қуйидагича тузилади:

Тартиб номери	Ҳаракатнинг характери	z_1 шестернянинг айланмиш сонн	H водило- нинг айланмиш сонн	z_2 шестернянинг айланмиш сонн
1	Водилони қўзғалмас деб олиб, I филдиракни берилган n_1 билан айлантираимиз . . .	n_1	0	$\frac{n_1}{i_5}$
2	Бутун системани қаттиқ жисм деб олиб, уни марказий ўқ атрофида n_H билан айлантираимиз	n_H	n_H	n_H
3	Водилони қўзғалмас деб олиб, I филдиракни ($-n_H$) билан айлантираимиз	$-n_H$	0	$-\frac{n_H}{i_5}$
4	Ҳар қайси устунчадагиларни қўшамиз	n_1	n_H	$\frac{n_1}{i_5} + n_H \left(1 - \frac{1}{i_5}\right)$

Жадвалдаги 3-устунча 5 шестерняга тегишли бўлган учун волга теги:

$$\frac{n_1}{i_{15}} + n_H - \frac{n_H}{i_{16}} = 0$$

бундан:

$$n_A = n_H = \frac{n_1}{1 - i_{15}} = \frac{120}{1 - (-6)} = 17,1 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

1 — H — 2, 3 — 4 механизм учун жадвал тузимиз.

Таг-либ номери	Харакатнинг характери	z ₁ шестернянинг айланмиш соми	H водило-нинг айланмиш соми	z ₄ шестернянинг айланмиш соми
1	Водилони қўзғалмас деб олиб, I шестерняни берилган n ₁ билан айлантирамиз . . .	n ₁	0	$\frac{n_1}{i_{14}}$
2	1 — H — 2, 3 — 4 механизмни қаттиқ жисм деб олиб, уни марказий ўқ атрофида (+ n _H) билан айлантирамиз	n _H	n _H	n _H
3	Водилони қўзғалмас деб олиб, I шестерняни (- n _H) билан айлантирамиз	- n ₁	0	$-\frac{n_H}{i_{14}}$
4	Ҳар қайси устунчадагиларни қўшамиз	n ₁	n _H	$\frac{n_1}{i_{14}} + n_H - \frac{n_H}{i_{14}}$

$$n_4 = \frac{120}{2} + 17,1 \left(1 - \frac{1}{2} \right) = 68,5 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

в) механизм кинематикасини графоаналитик усулда текширамиз.

Тишли ёлдирақлар модули m = 10 мм деб қабул қиламиз (бу сон беш-кача бўлиши ҳам мумкин), у ҳолда, шестерняларнинг радиусларини қуйидагича ҳисоблаб чиқамиз:

$$R_1 = \frac{m \cdot z_1}{2} = \frac{10 \cdot 40}{2} = 200 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{m \cdot z_2}{2} = \frac{10 \cdot 80}{2} = 400 \text{ мм}$$

$$R_3 = \frac{m \cdot z_3}{2} = \frac{10 \cdot 60}{2} = 300 \text{ мм}$$

$$R_4 = \frac{m \cdot z^4}{2} = \frac{10 \cdot 60}{2} = 300 \text{ мм}$$

$$R_5 = \frac{m \cdot z_5}{2} = \frac{10 \cdot 180}{2} = 900 \text{ мм}$$

Механизмнинг қапчалик тўғри ишловини A ва A₁ валларнинг вазиятига қараб, яъни уларнинг бир чизиқ устида ётиш-ётмаслигига қараб билиш мумкин. Бунини қуйидаги аниқиятдан биламиз:

$$R_H = R_1 + R_2 = R_3 + R_4 = R_5 - R_6$$

$$R_H = 200 + 400 = 300 + 300 = 900 - 300 = 600 \text{ мм}$$

Демак, механизмнинг нормал ишлаши учун зарур шарт мавжуд экан.
5. 2-шакл, *a* да кўрсатилган механизм куйидаги масштабда чизилган:

$$K_M = \frac{R_1}{AB} = \frac{0,2}{10} = 0,02 \left[\frac{м}{мм} \right]$$

Тегишли шестерняларнинг ҳақиқий катталикларини K_M масштабга бўлиб, уларнинг масштаб қийматларини топамиз; 5. 2-шакл, *a* да кўрсатилган механизм ана шу масштаб қийматлардан фойдаланиб чизилган.

1 шестерняга тегишли *B* нуқтанинг айланма ҳаракатдаги чизиқли тезлигини топамиз:

$$v_B = \omega_1 \cdot R_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \cdot R_1 = \frac{3,14 \cdot 120}{30} \cdot 0,2 = 2,506 \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

Тезликлар учбурчагининг масштабини куйидагича топамиз:

$$K_v = \frac{v_B}{B'b} = \frac{2,506}{25} = 0,1 \left[\frac{\text{мсек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

Ихтиёрий нуқтада \dot{u} ўтказилган z вертикал чизиққа (5. 2-шакл, *o*) механизмдаги асосий *A, B, O, C, E* нуқталар проекциясини тушираемиз ва ундаги тегишли нуқталарни A', B', O', C', E' ҳарфлари билан белгилаймиз. Шу нуқталарда тезликлар нолга тенг. $\overline{B'b} = 25$ мм кесмени B' нуқтадан \dot{u} г томонга қаратиб қўямиз (v_B тезлик минус бўлганда эди, Bb кесмени z чизиқнинг чап томонига қўяр эдик). Шундай қилиб $B'b$ кесма 1 шестернядаги B нуқтанинг чизиқли тезлигини $K_v = 0,1$ масштабда ифодалайди. B нуқта 1 ва 2 шестерняларга тегишлидир. 2 билан 3 шестерня O ўқида маҳкам ўрнашган бўлганидан B нуқта 3 шестерняга ҳам тегишлидир. Аммо 3 шестернядаги E нуқта 5 шестерняга ҳам тааллуқлидир. 5 шестерня қўзғалмас бўлганидан E нуқтанинг тезлиги нолга тенг ($v_E = 0$). Шунинг учун e нуқта z чизиғида E' нуқта билан бирга бўлади ($E'e = 0$). b билан e ни туташтириб, be чизиғини ҳосил қиламиз. be чизиғи 2 ва 3 шестерняларнинг (сателлитларнинг) тезликлар чизиғи деб аталади. O' дан горизонтал ўтказиб, унинг be билан кесишув нуқтасини O'' орқали белгилаймиз. Шундай қилиб, $O'O''$ кесма O нуқтанинг K_v масштабдаги тезлигини билдиради. O'' ни A' билан туташтириб, $O'A'$ чизиғини ҳосил қиламиз. Бу чизиқ водилонинг тезликлар чизиғи (т. ч.) деб аталади. 3 шестернядаги C нуқта 4 шестерняга ҳам тегишлидир. Аммо 3 шестернядаги E ва O нуқталарнинг тезликлари бизга маълум. Шунинг учун eb чизиғида C ҳам ётади. C ни A' билан туташтириб $A'C$ чизиғини ҳосил қиламиз. Бу чизиқ 4 шестернянинг тезликлар чизиғи (т. ч.) деб аталади. Шу тарзда $A'B'C'O'E'eO''CbA'$ дан иборат тезликлар учбурчагини ҳосил қилдик (5. 2-шакл, *o*). z чизиғида ихтиёрий P нуқтани танлаб оламиз ва ундан xx горизонтал чизиғини ўтказамиз. Сўнгра z чизиғида ихтиёрий PS кесмени оламиз. S нуқтадан 1 вилдиранинг тезликлар чизиғига параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтасини 1 орқали белгилаймиз ($\triangle A'B'b \cap \triangle SPI$). S дан 2 ва 3 шестерняларнинг тезликлар чизиғига параллел ўтказамиз ва унинг xx чизиғи билан кесишув нуқтасини 2 ва 3 орқали белгилаймиз ($\triangle B'b'e \cap \triangle S-2-3P$). S дан водилонинг тезликлар чизиғига параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтасини H орқали белгилаймиз. S дан 4 шестерня тезликлар чизиғига параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтасини 4 орқали белгилаймиз ($\triangle A'C'C \sim \triangle SP4$).

Шу тарзда $S(2-3)PHIS$ учбурчакни ҳосил қилдик. Бу учбурчақдаги $PI, P(2-3), P4, PH$ — кесмалар тегишли эноларнинг маълум K_v масш-

табдаги бурчак тезликлари ёки K_n масштабдаги айланиш совлари эканлигини (8. 25), (8. 31) формулалардан билиш қийин эмас.

а) водилонинг минутига айланиш сони қуйидаги пропорциядан топилади:

$$\frac{n_H}{n_1} = \frac{PH}{PI}; \quad n_H = n_1 \cdot \frac{PH}{PI} = 120 \cdot \frac{10}{67} = 17,8 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

Аналитик усулда ёки жадваллар усулида $n_H = 17,1 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$ эди. Графоаналитик усулда қилинган хато 4,1 процентни ташкил этар экан.

б) сателлитнинг минутига айланиш сони қуйидагича топилади:

$$\frac{n_{2-3}}{n_1} = \frac{P(2-3)}{PI}; \quad n_{2-3} = \frac{n_1 \cdot P(2-3)}{PI} = 120 \cdot \frac{22}{67} = 39,6 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

в) 4 шестерняники қуйидагича топилади:

$$\frac{n'}{n_1} = \frac{P4}{PI}; \quad n_4 = n_1 \cdot \frac{P4}{PI} = 120 \cdot \frac{40}{67} = 70,3$$

Аналитик усулда $n_4 = 68,5$ эди.

39-масала. Агар 5. 2-шакл, а да кўрсатилган механизм шестернялари тишларининг сони ўзича қолиб, минутига айланиш совлари:

$$n_4 = 200 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]; \quad n_A = n_H = 120 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

бўлса, 1 ва 5 шестерняларининг минутига айланиш совлари (n_1 ва n_5) қандай бўлади?

Ечиш: бу ҳол учун механизмдаги барча звенолар қўзғалувчандир. Шунинг учун Чебишев формуласидаги:

$n = 5$ — қўзғалувчан звенолар сони;

$P_3 = 5 - V$ класс кинематик жуфтлар сони;

$P_4 = 3 - IV$ класс (олий) кинематик жуфтлар сони.

$$\omega = 3 \cdot n - 2 \cdot P_3 - P_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 3 = 2,$$

Демак, бу механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси 2 бўлиб, ўзи дифференциал механизм экан.

а) аналитик усул. Бу усулда n_1, n_5 ларни топамиз. 4 шестерня билан 1 шестерня орасидаги, яъни 4—2, 3—H—1 механизмнинг узатиш сони қуйидагича ёзилади:

$$i_{4-1} = \frac{n_4 - n_H}{n_1 - n_H} = i_{42} \cdot i_{21} = \left(-\frac{z_3}{z_4} \right) \left(-\frac{z_1}{z_2} \right) = \frac{60}{60} \cdot \frac{40}{80} = \frac{1}{2}$$

бу формулага берилганларни қўйсақ:

$$\frac{1}{2} = \frac{200 - 120}{n_1 - 120} = \frac{80}{n_1 - 120}$$

келиб чиқади, бундан:

$$n_1 = 280 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

б) 4 шестерня билан 5 шестерня орасидаги узатиш сони, яъни 4—2, 3—H—5 механизмнинг узатиш сони қуйидаги универсал формуладан топилади:

$$i_{45} = \frac{n_4 - n_H}{n_5 - n_H}; \quad i_{45} = i_{42} \cdot i_{25} = \left(-\frac{z_3}{z_4} \right) \left(+\frac{z_5}{z_3} \right) = -\frac{z_5}{z_4}$$

$i_{45} = -3$ ва берилганларни универсал формулага қўйиб, n_3 ни топамиз:

$$-3 = \frac{200 - 1200}{n_3 - 120}; \quad n_3 = 147 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

в) жадвал усули. Бу усулда иккита жадвал тузилади, булардан бири $4 - (2 - 3) - H - 5$ дифференциал механизм учун, иккинчиси эса $4 - (2 - 3) - H - 1$ дифференциал механизм учундир. $4 - (2 - 3) - H - 1$ механизм учун жадвал тузамиз:

Тартиб номери	Харакатнинг характери	z_1 шестернянинг айланishi соми	H водило-нинг айланishi соми	z_2 шестернянинг айланishi соми
1	Водилони қўзғалмас деб олиб, z_1 шестерняни берилган n_4 билан айлантираемиз.	n_4	0	$\frac{n_4}{i_{41}}$
2	Бу тув системани қаттиқ жисм деб қараб, уни марказий ўқ атрофида n_H билан айлантираемиз	n_H	n_H	n_H
3	Водилони қўзғалмас деб олиб, z_2 шестерняни $-n_H$ билан айлантираемиз	$-n_H$	0	$-\frac{n_H}{i_{42}}$
4	Устунчалардагиларни қўшамиз	n_4	n_H	$n_4 + n_H \left(1 - \frac{1}{i_{41}} \right)$

$$n_1 = \frac{200}{\left(\frac{1}{2} \right)} + 120 \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{2} \right)} \right) = 280 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

$4 - (2 - 3) - H - 5$ механизм учун жадвал тузамиз:

Тартиб номери	Харакатнинг характери	z_4 шестернянинг айланishi соми	H водило-нинг айланishi соми	z_5 шестернянинг айланishi соми
1	Водилони қўзғалмас деб олиб, z_4 шестерняни берилган n_4 билан айлантираемиз	n_4	0	$n_4 = \frac{n_4}{i_{45}}$
2	Системани қаттиқ жисм деб олиб, уни марказий ўқ атрофида n_H билан айлантираемиз	n_H	n_H	n_H
3	Водилони қўзғалмас деб олиб, z_5 шестерняни $(-n_H)$ билан айлантираемиз	$-n_H$	0	$-\frac{n_H}{i_{45}}$
4	Устунчалардагиларни қўшамиз	n_4	n_H	$\frac{n_4}{i_{45}} + n_H \left(1 - \frac{1}{i_{45}} \right)$

$$n_3 = \frac{200}{3} + 120 \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 147 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

г) графоаналитик усул:

$$v_C = \frac{\pi \cdot n_4}{30} \cdot R = \frac{3,14 \cdot 200}{30} \cdot 0,3 = 6,28 \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

$$K_v = \frac{v_C}{CC'} = \frac{6,28}{20} = 0,314 \left[\frac{\text{м сек}^{-1}}{\text{мм}} \right]$$

$$v_D = \frac{\pi n_H}{30} (R_1 + R_2) = \frac{3,14 \cdot 120}{30} \cdot 0,6 = 7,5 \text{ [м сек}^{-1}\text{]}$$

$$O'O'' = \frac{v_D}{K_v} = \frac{7,5}{0,314} = 24 \text{ [мм]}$$

$CC' = 20$ мм билан $O'O'' = 24$ мм кесмалар $z'z'$ чизигидаги C' ва O'' нуқталардан ўнг томонга қаратиб қўйилади (5. 2-шақл, б). 4 шестернязаги C нуқта 3 шестерняга ҳам тегишли; шунинг учун C билан O'' ни туташтирамиз. CO'' ни давом эттириб, унинг E' дан ўтказилган горизонтал билан кесишув нуқтаси (e) ни топамиз. Аг чизиги 5 шестернянинг тезликлар чизиги, $co'e$ эса 2 — 3 сателлитнинг тезликлар чизигидир. В нуқта 2 ва 1 шестерняларга тегишли бўлганидан b нуқта $co''c$ нинг давомида ётади. $A'B$ чизиги 1 филдиррақнинг тезликлар чизиги, $A'O''$ — водилонинг тезликлар чизиги, $A'C$ — 4 шестернянинг тезликлар чизиги.

$z'z'$ чизигидан ихтиёрый P нуқтани таялаб, PS ораллиқда S нуқтани топамиз. Шу S нуқтадан $A'b$ га параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтаси (I) ни, $A'C$ га параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтаси (H) ни, AO'' га параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтаси (5) ни ва Be га параллел ўтказиб, унинг xx билан кесишув нуқтаси ($2-3$) ни топамиз. Шундай қилиб, $SP(2-3)5H4IS$ учбурчак бурчак тезликларни ёки айлланиш сонлари плавни бўлиб, ундан қўйидагиларни топамиз:

$$\frac{n_4}{n_1} = \frac{P4}{PI}; \quad n_1 = n_4 \cdot \frac{PI}{P4} = 200 \cdot \frac{54}{39} = 277 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

Айлланиш сони аналитик усул ва жадвал усули билан топилганда 3 та фарқ қилади, бу эса 1,07 процентни ташкил этади.

5 шестернянинг минутига айлланиш сони қўйидагича топилади:

$$\frac{n_5}{n_4} = \frac{P5}{P4}; \quad n_5 = n_4 \cdot \frac{P5}{P4} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

ёки:

$$\frac{n_5}{n_4} = \frac{P5}{PH}; \quad n_5 = n_H \cdot \frac{P5}{PH} \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

6-§. Фазода ҳаракатланувчи шестерняли механизмлар

Бундай механизмлар машиналар таркибида кўп учрайди. Улар жумласига конус шестерняли узатмалар, винтли узатмалар ва червякли узатмалар кирилади. Биз фақат конус шестерняли ва чер-

вякли механизмлардаги узатиш сонларини топиш билангина танишиб ўтамиз.

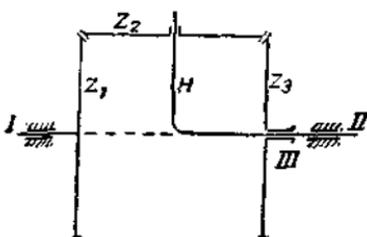
6. 1-шаклда конус шестернялардан тузилган эпциклик механизм кўрсатилган. Агар механизмдаги водило деб аталувчи H звенони қўзғалмас деб қарасак, у ҳолда, механизм конус шестернялардан тузилган оддий механизмга айланади.

Агар z_1 шестерня ўрнатилган I вал етакловчи бўлиб, z_3 шестерня етакланувчи бўлса, улар орасидаги узатиш сонлари қуйидагича топилади:

$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{23} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_2} = \frac{n_1}{n_3} \quad (8.32)$$

Бундан:

$$n_3 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_3} = n_1 \cdot i_{31} = n_1 \cdot i_{13}^{-1} \quad (8.33)$$



6.1-шакл. Фазовий эпциклик механизм.

6. 1-шаклдаги механизмнинг қўзғалувчанлик даражасини қуйидагича топамиз:

$$\omega = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - P_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1$$

Агар 6. 1-шаклдаги механизм водилеси ҳам қўзғалувчан бўлса ($n = 4$), у ҳолда, механизмнинг қўзғалувчанлик даражаси қуйидагича бўлади:

$$\omega = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - P_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2$$

Демак, механизм бундай ҳол учун дифференциал механизмга айланади. Бундай дифференциал механизм учун универсал формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{13} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} \quad (8.34)$$

(8.34) формуладан: а) n_1 , n_H маълум бўлса, n_3 ни топиш мумкин ёки б) n_1 , n_3 маълум бўлса, n_H топилади.

6. 1-шаклдаги звенолардан z_1 , z_3 шестерняларнинг бири қўзғалмас бўлса, механизм планетар механизмга айланади. Агар $n_1 = 0$ бўлса, (8.34) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$i_{13} = \frac{-n_H}{n_3 - n_H} \quad (8.35)$$

Агар z_3 шестерня қўзғалмас бўлса, ($n_3 = 0$), бу ҳол учун (8.35) формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{13} = \frac{n_1 - n_H}{-n_H} = \frac{z_3}{z_1} \quad (8.36)$$

6. 1-шаклдаги механизм ҳам уч ҳолда бўлиши мумкин:

а) звенолардан бодило (H) қўзғалмас, бундай ҳолда механизм фазовий оддий тишли механизмга айланади. Агар z_1 шестерня етакловчи ва z_3 шестерня етакланувчи бўлса, улар орасидаги узатиш сони қуйидагича топилади:

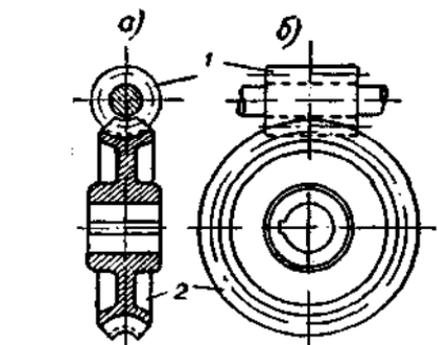
$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{23} \quad (8.37)$$

б) звенолардан z_3 шестерня қўзғалмас бўлса, бу ҳол учун универсал формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{13} = \frac{n_1 - n_H}{-n_H} = \frac{z_3}{z_1} \quad (8.38)$$

в) барча звенолар қўзғалувчан бўлса, универсал формула қуйидагича ёзилади:

$$i_{13} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} \quad (8.39)$$



6.2-шакл. Пилталаш машинасининг оддийлаштирилган дифференциал механизми.

40-масала. 6. 2-шаклда пилталаш машинасининг оддийлаштирилган дифференциал механизми берилган.

$$n_1 = 300 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]; \quad n_a = 180 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]; \quad z_1 = 36; \quad z_2 = 36;$$

$$z_3 = 36; \quad z_a = 40; \quad z_b = 120.$$

n_3 ни топиш керак.

Еч ниш:

Аввало n_H ни топишимиз:

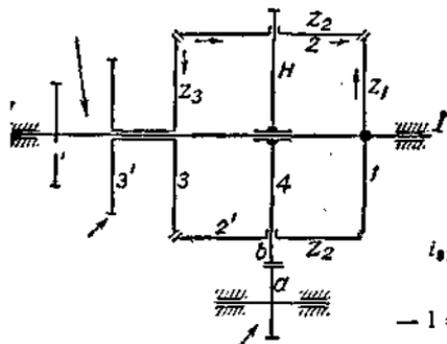
$$i_{ab} = \frac{n_a}{n_H} = -\frac{z_b}{z_a} = -3$$

$$n_H = \frac{n_a}{i_{ab}} = -\frac{180}{3} = -60 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

Универсал формуладан фойдаланамиз:

$$i_{s1} = \frac{n_s - n_H}{n_1 - n_H}; \quad i_{s1} = -\frac{z_1}{z_3} = -1.$$

$$-1 = \frac{n_s - (-60)}{180 - (-60)}; \quad n_s = -300 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$



6.3-шакл. Червяккли узатма: а — перпендикуляр проекцияси; б — профил проекцияси.

Агар червякнинг киримлари сони k червяк филдираги тишларининг сони z_k бўлса, у ҳолда, червяк билан червяк филдираги

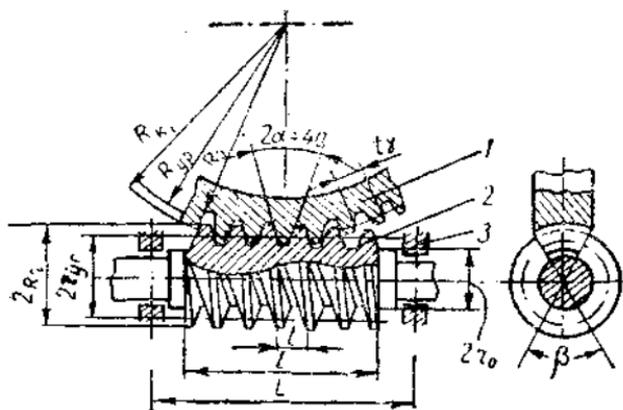
6. 3-шаклда червяккли узатма тасвирланган. Червяклар, одатда, бир киримли, икки киримли, уч киримли тўрт киримли ва беш киримли бўлади. сони k червяк филдираги тишларининг сони z_k бўлса, у ҳолда, червяк билан червяк филдираги

орасидаги узатиш сони (i_{12}) қуйидагича ёзилади:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_k}{k} \quad (8.40)$$

Агар $k = 1$, $z_k = 100$ бўлса, у ҳолда, $i_{12} = 100$ бўлади. Бунинг маъноси қуйидагини аниқлатади: агар бир киримли червяк 100 марта айланса, червяк ёлдираги бир марта айланади, чунки $i_{12} = 100$.

Червякдаги киримлар сони қанча кўп бўлса, червякни узатманинг узатиш сони (i_{12}) шунча кичиклашади.



6.3- шакл, А.

Червякни узатма (механизмлар) ҳаракатида ҳосил бўлган плашшнни яхши пайқаш учун червяк ёлдираги текислиги билан кесилган ҳолатни текшириш (6.3-шакл, А) маъқул.

Узатиш сони қуйидагича топилади:

$$i_{чк} = \frac{z_k}{z_ч} = \frac{\omega_ч}{\omega_k}$$

z_k — червяк ёлдираги тишлари сони,

$z_ч$ — червяк кирими ($z_ч = 1, 2, 3, 4, 5$)

Шаклда червяк қирқими трапецияли тишлар (рейка) ҳолига келиб қолди:

$$v_k = \omega_k \cdot R_k = \frac{h}{T}; \quad h = 2\pi \cdot r_{yp} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

T — червякнинг бир айланиши учун кетган вақт: $T = \frac{2\pi}{\omega_k}$

$$\omega_k \cdot R_k = \frac{h}{T} = \frac{2\pi r_{yp} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\left(\frac{2\pi}{\omega_k}\right)} = \omega_k \cdot r_{yp} \operatorname{tg} \alpha.$$

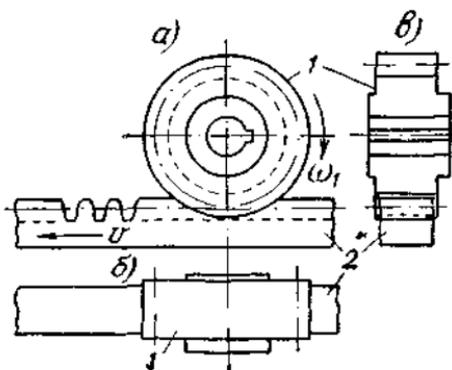
ёки

$$\frac{\omega_{\text{ч}}}{\omega_{\text{к}}} = i_{\text{чк}} = \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{зр}} \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{z_{\text{к}}}{z_{\text{ч}}}$$

Червякларда $\alpha = 3^\circ \div 30^\circ$ (кўпинча, $\alpha = 5^\circ \div 20^\circ$ қабул этилади).

Шестерняли узатма цилиндрлик эвольвента профилли шестернялардан иборат бўлиб, шестернялардан бирининг радиуси чексиз бўлса, у ҳолда узатма рейкали узатмага айланади. 6.4-шаклда рейкали узатманинг учта проекцияси тасвирланган; булардан 1 — шестерня бўлиб, 2 — рейкадан иборат. Агар 1 шестернянинг тишлари сони z_1 бўлса, рейканинг тишлари сони $z_2 = \infty$ бўлади. Шестерня билан рейка орасидаги узатиш сони қуйидагича ёзилади:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\infty}{z_1} = \infty$$



6.4-шакл. Рейкали узатма: а — вертикал проекцияси; б — горизонтал проекцияси; в — профил проекцияси.

ёки:

$$n_2 = \frac{n_1}{\infty} = 0 \quad (8.41)$$

(8.41) формуладан кўринишича, рейканинг айланиш сони $n_2 = 0$ бўлар экан. Рейкали узатмада етакловчи звено рейка ёки гилдирак бўлиши мумкин. Рейкали узатмада рейканинг тезлиги фақат тўғри чизиқли бўлиб, бу тезлик рейка ва шестерня профиллари уриниш нуқтасининг айланма ҳаракатидан келиб чиққан чизиқли тезлигига тенгдир.

Бу тезликнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$v = \omega_1 \cdot R_1 = \omega_1 \cdot \frac{m \cdot z_1}{2} \text{ [м сек}^{-1}\text{]} \quad (8.42)$$

Бу ерда ω_1 — I шестернянинг бурчак тезлиги;

R_1 — I шестернянинг бошланғич айланаси радиуси.

Агар чизиқли тезлик (v) билан бошланғич айлана радиуси (R_1) маълум бўлса, шестернянинг бурчак тезлиги ёки минутига айланиш сони қуйидагича топилади:

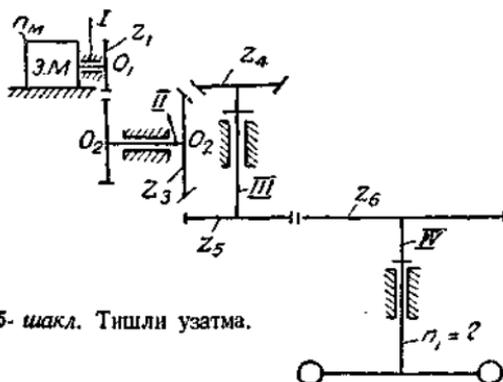
$$\omega = \frac{v}{R_1} = \frac{2 \cdot v}{m \cdot z_1}$$

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot m \cdot z_1} = \frac{60 \cdot v}{i \cdot z_1} \quad (8.43)$$

МАСАЛАЛАР

41-масала. 6. 5-шаклда кўрсатилган механизмдаги IV звонининг минутига айланиш сони топилсин. Электр моторнинг минутига айланиш сони $n = 950$, шестерняларнинг тишлари сони: $z_1 = 10$, $z_2 = 20$, $z_3 = 30$, $z_4 = 40$, $z_5 = 20$, $z_6 = 40$.

Е чиш: I валдан IV валгача бўлган умумий узатиш сонини топамиз:



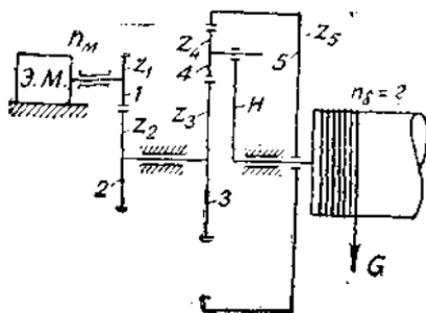
6.5-шакл. Тишли узатма.

$$i_{I-IV} = \frac{n_M}{n_{IV}} = \frac{z_2 z_4 z_6}{z_1 z_3 z_5} = \frac{20 \cdot 40 \cdot 40}{10 \cdot 30 \cdot 20} = 3$$

$$n_{IV} = \frac{3}{16} \cdot 950 \approx 178 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

Шундай қилиб, электр моторн минутига 950 марта айланганда IV вал минутига 178 марта айланар экан.

42-масала. 6. 6-шаклда кўрсатилган дифференциал механизмдаги барабаннинг минутига айланиш сони n_5 топилсин. $n_M = 950 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$, $z_1 = 10$, $z_2 = 20$, $z_3 = 30$, $z_4 = 10$, $z_5 = 60$, $n_5 = 150 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$.



6.6-шакл. Дифференциал узатма.

Е чиш: z_3 шестерня 3—4—H—5 дифференциал механизмнинг марказий шестернясидир. Водлонинг минутига айланиш сони билан барабаннинг минутига айланиш сони бир хил, чунки улар бир ўққа ўтказилган; 2 ва 3 шестерняларнинг айланиш сони ҳам бир хилдир.

2, 3 шестерняларнинг айланиш сонларини топамиз:

$$i_{12} = \frac{n_M}{n_2} = -\frac{z_2}{z_1} = -2;$$

$$n_2 = n_3 = -\frac{950}{2} = -475 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

Дифференциал механизмнинг узатиш сонини универсал формуладан фойдаланиб топамиз:

$$i_{35} = \frac{n_3 - n_H}{n_5 - n_H} = \frac{n_3 - n_6}{n_5 - n_6}; \quad i_{35} = -\frac{z_5}{z_3} = -2$$

Бу формулага сон қийматларини қўйсак:

$$\frac{-475 - n_6}{150 - n_6} = -2; \quad n_6 = 58,3 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

келиб чиқади.

43-масала. 6. 7-шаклда кўрсатилган дифференциал механизмдаги барабанинг минутига айланиш сони топилсин.

$$n_H = 950 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]; \quad n_1 = 400 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]; \quad z_1 = 10; \quad z_2 = 15; \quad z_3 = 20; \quad z_4 = 40.$$

Ечиш: водилога электр мотори ўрнатилган. Электр мотори водило билан бирга айланади. 4 шестерня билан барабан бир ўққа ўтказилгани учун уларнинг минутига айланиш сонлари ҳам бир-бирига тенг.

I — 2 — 3 — H — 4 дифференциал механизм учун универсал формулани татбиқ этамиз:

$$i_{41} = \frac{n_4 - n_H}{n_1 - n_H};$$

$$i_{41} = \left(-\frac{z_3}{z_4}\right) \cdot \left(-\frac{z_2}{z_3}\right) \cdot \left(\frac{z_1}{z_2}\right) = -\frac{z_1}{z_4} = -\frac{1}{4};$$

бундан:

$$-\frac{1}{4} = \frac{n_4 - 950}{400 - 950}; \quad n_4 = n_6 = 1087,5 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

келиб чиқади.

Шундай қилиб, $n_1 = 400$, $n_H = 950$ бўлганда барабан электр мотори айланган томонга минутига 1037,5 марта айланар экан.

Агар шу масаладаги $n_H = -950$ бўлса, у ҳолда:

$$n_4 = n_6 = -1232,5 \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$$

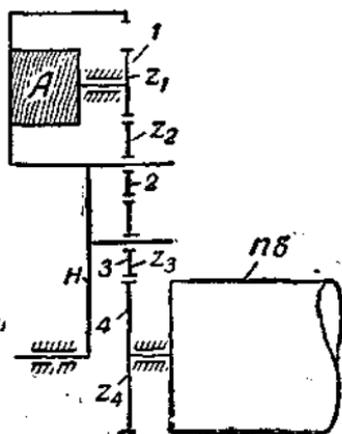
булади.

Бундай вариантда барабанинг минутига айланиш сони — 1262,5 га тенг бўлиб, йўналиши водило томон бўлади.

44-масала. 6. 8-шаклда автомобилнинг узатмалар қўтиси тасвирланган. Двигателдан ҳаракат I валга, ундан z_1 , z_2 шестернялар орқали II валга узатилади. II вал донм ҳаракатда бўлади. Узатмалар қўтисиди 4 хил узатиш сони бор. Шу узатиш сонлари топилсин.

Ечиш:

$$\text{биринчи тезликдаги узатиш сони: } i_{I-II} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_4} = 3,115;$$



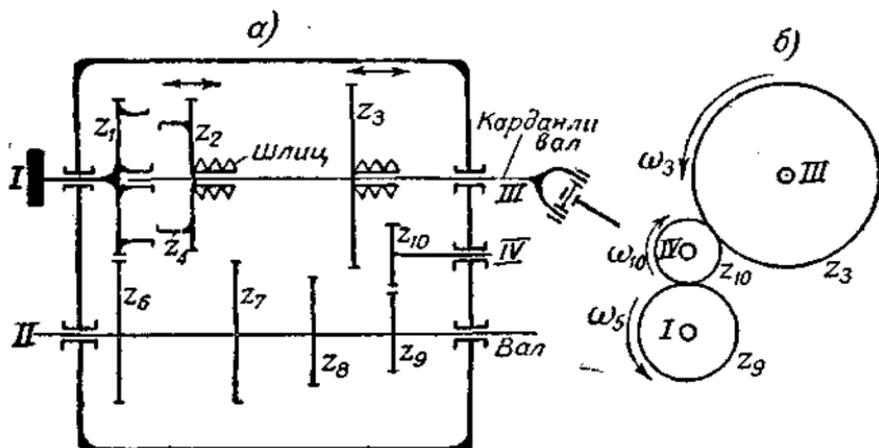
6.7-шакл. Дифференциал узатма.

иккинчи тезликдаги узатиш сони: $i_{I-III} = \frac{z_6}{z_1} \cdot \frac{z_2}{z_7} = 1,772$;

учинчи тезликдаги узатиш сони: $i_{I-III} = \frac{z_4}{z_1} = +1$;

автомобилни орқага юргизишдаги узатиш сони:

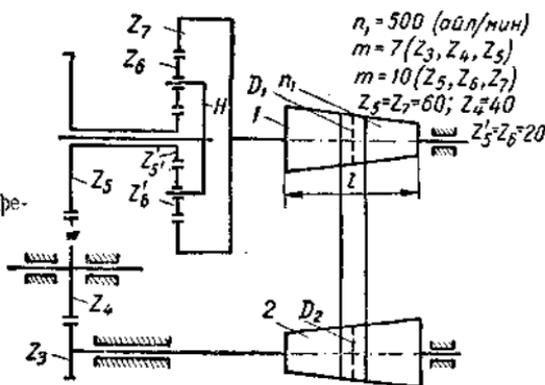
$$i_{I-III} = \left(-\frac{z_6}{z_1}\right) \cdot \left(-\frac{z_{10}}{z_9}\right) \cdot \left(\frac{z_3}{z_{10}}\right) = -\frac{z_6}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_9} = -3,738$$



6.8-шакл. Автомобилнинг узатмалар қутиси: а — вертикал проекцияси; б — профил проекцияси.

45-масала. 6. 9-шаклда йигирув фабрикасида ишлатиладиган пилталаш машинаси дифференциал механизмнинг оддийлаштирилган кинематик схемаси берилган. 1, 2 конондлар ва z_3, z_4, z_5 шестернялар орқали дифференциал механизмнинг z_6 марказий шестернясига ҳаракат узатилади. z_7 марказий шес-

6.9-шакл. Конондли дифференциал механизм.



терия коноид билан бирга ҳаракатланади. Водило мураккаб ҳаракат қилади. Шу водилонинг айланиш сони топилсин.

Е ч и ш: n_3 айланиш сони қуйидагича топиллади:

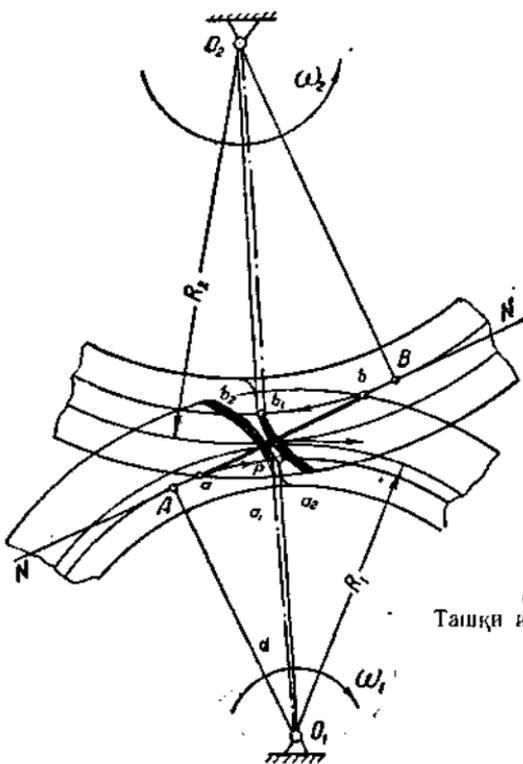
$$i_{15} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{z_5}{z_8}; \quad n_5 = n_1 \cdot i_{15}^{-1}, \quad n_5 = n_5'$$

$z_5' - z_6 - z_7 - H$ дифференциал механизм учун Виллис формуласини ёзамиз:

$$i_{5'-7} = \frac{n_5' - n_H}{n_7 - n_H}; \quad i_{5'-7} = -\frac{z_7}{z_5'}$$

$$n_H = n_1 \cdot i_{15} \cdot \frac{1 - i_{5'-7}}{1 - i_{5'-7}}$$

46-масала. 6. 10-шаклда ташқи илашишли узатма кўрсатилган. R_1, R_2 — бошланғич айлананинг радиуслари; ω_1, ω_2 — иккала шестернянинг бурчак тезликлари; a — илашиш боши; b — илашиш охири; ab — амалий илашиш чизиғи; t — тишлар қадами. Шулардан фойдаланиб, бир жуфт тишнинг илашиш бошланишидан то илашиш охиригача кетган вақт (I) топилсин.



6.10-шакл.
Ташқи илашишли узатма.

Ҳеч нш: қопланш коэффициентини формуласидан фойдаланамиз:

$$e = \frac{\bar{ab}}{t \cos \alpha} = \frac{\bar{dd}'}{t} = \frac{R_1 \cdot \varphi_1}{t} = \frac{R_1 \cdot \omega_1 T}{t},$$

бундан:

$$T = \frac{\bar{ab}}{R_1 \omega_1 \cos \alpha} = \frac{\bar{ab} \cdot i_{12}}{\omega_1 \cdot R_2 \cdot \cos \alpha} \text{ [сек]}$$

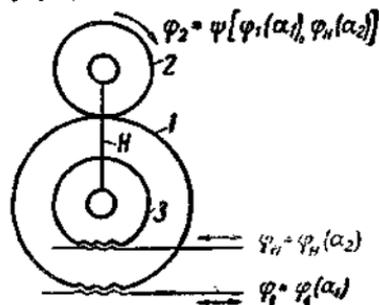
ёки:

$$T = \frac{ab}{\omega_2 \cdot R_2 \cdot \cos \alpha} \text{ [сек]}$$

келиб чиқади.

7-§. Сателлитни ўзгарувчан бурчак тезликля эпциклик механизмларининг аналитик кинематикаси

7. 1-шаклда кўрсатилган дифференциал механизмнинг эркинлик даражаси иккита, шунинг учун марказий ғилдирак (1) билан водило (H) ларга ўзгармас тезлик бериб, сателлит тезлигини Виллис формуласидан фойдаланиб топишни илгари кўриб ўтган эдик.



7.1- шакл.

Энди сателлит сиртидаги бирор нуқтанинг юрган йўли (траекторияси), тезлиги ва тезланишлари билан танишиб чиқамиз. Кўп сателлитли планетар механизм ҳозирги замон вертикал шпинделли пахта териш машинасининг териш аппаратидаги асосий механизмдир.

Биз қуйидаги дифференциал механизм сателлитининг ўзгарувчан тезлигини аналитик усулда топиш билан танишиб ўтамиз.

Агар марказий ғилдирак билан водило қандайдир механизм воситасида $\varphi_1 = \varphi_1(\alpha_1)$, $\varphi_H = \varphi_H(\alpha_2)$ қонун билан ҳаракатланса, у ҳолда сателлитнинг ҳаракати қуйидагича бўлади:

$$\varphi_2 = \psi(\varphi_1, \varphi_H) = \psi[\varphi_1(\alpha_1), \varphi_H(\alpha_2)] \quad (8.44)$$

Сателлитнинг бурчак тезлигини топиш учун (8.44) дан вақтга нисбатан ҳосила оламиз:

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial \varphi_H} \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \quad (8.45)$$

$$\ddot{\varphi}_2 = \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi_1^2} \cdot \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi_H^2} \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial \varphi_H} \cdot \frac{\partial^2 \varphi_H}{\partial t^2} \quad (8.46)$$

Планетар механизм учун (8. 45) ва (8. 46) тенгламалар нуқтидаги кўринишга эга бўлади:

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{\partial\psi}{\partial\varphi_H} \cdot \frac{\partial\varphi_H}{\partial t} \quad (8. 47)$$

$$\ddot{\varphi}_2 = \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi_H^2} \cdot \frac{\partial\varphi_H}{\partial t} + \frac{\partial\psi}{\partial\varphi_H} \cdot \frac{\partial^2\varphi_H}{\partial t^2} \quad (8. 48)$$

Марказий гилдираги ва водилоси ўзгармас тезлик билан ҳаракатланувчи дифференциал механизм учун сателлитнинг бурчак тезлигини (8. 45) тенглама билан солиштириб, тенгламадаги ω_1 ва ω_H лар олдндаги коэффициентлар қуйидагича бўлишини кўриш қийин эмас:

$$\frac{\partial\psi}{\partial\varphi_1} = \frac{1}{i_{12}}; \quad \frac{\partial\psi}{\partial\varphi_H} = \left(1 - \frac{1}{i_{12}}\right) \quad (8. 49)$$

Бундай механизм сателлитда бурчак тезланиш бўлмайди.

Мисол тариқасида 7. 1-шаклдаги механизмни текшириб кўрамиз. Бунда марказий гилдирак билан водилонинг ҳаракат қонунлари қуйидагича бўлишини кўриш қийин эмас:

$$\varphi_1(\alpha_1) = \frac{X_{B_1}(\alpha_1)}{R_1}; \quad \varphi_H(\alpha_2) = \frac{X_{B_2}(\alpha_2)}{R_3} \quad (8. 50)$$

Бу ерда $X_{B_1}(\alpha_1)$ ва $X_{B_2}(\alpha_2)$ — кривошип механизмнинг илгариланма ҳаракатланувчи звеноларининг ҳаракат қонунлари;

R_1, R_3 — тегишли гилдиракларнинг радиуслари;

α_1, α_2 — тегишли кривошипларнинг айланиш бурчаклари.

Агар марказий гилдирак билан водило ўзгармас бурчак тезлик билан айланса, у ҳолда $\varphi_1 = \alpha_1$ ва $\varphi_H = \alpha_2$ бўлади.

Агар аксиал кривошип-шатушли механизмлар берилган бўлса, у ҳолда тегишли ползунларнинг ҳаракат қонунлари қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} X_{B_1} &= r_1(1 - \cos \alpha_1) + \frac{r_1^2}{2l_1} \cdot \sin^3 \alpha_1 \\ X_{B_2} &= r_2(1 - \cos \alpha_2) + \frac{r_2^2}{2l_2} \cdot \sin^3 \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (8. 51)$$

Бу ерда $\alpha_1 = K_1 \cdot t$, $\alpha_2 = K_2 \cdot t$;

K_1 ва K_2 — тегишли кривошипларнинг бурчак тезликлари.

(8. 50) тенгламадан фойдаланиб марказий гилдирак билан водилонинг ҳаракат қонунларини қуйидагича топамиз:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(\alpha_1) &= \frac{X_{B_1}}{R_1} = \frac{r_1}{R_1} (1 - \cos \alpha_1) + \frac{r_1^2}{2R_1 l_1} \sin^2 \alpha_1 \\ \varphi_H(\alpha_2) &= \frac{X_{B_2}}{R_2} = \frac{r_2}{R_2} (1 - \cos \alpha_2) + \frac{r_2^2}{2R_2 l_2} \sin^2 \alpha_2 \end{aligned} \right\} (8. 52)$$

$$\varphi_2 = \psi[\varphi_1(\alpha_1), \varphi_H(\alpha_2)] = A_1(1 - \cos \alpha_1) + B_1 \cdot \sin^2 \alpha_1 + A_2(1 - \cos \alpha_2) + B_2 \cdot \sin^2 \alpha_2 \quad (8. 53)$$

бунда

$$A_1 = \frac{r_1}{R_1}; \quad B_1 = \frac{r_1^2}{2R_1 l_1}, \quad A_2 = \frac{r_2}{R_2}, \quad B_2 = \frac{r_2^2}{2R_2 l_2}$$

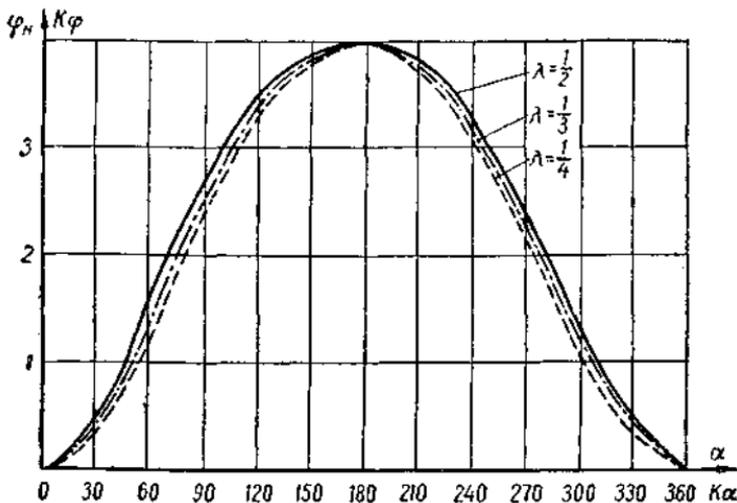
(8. 53) тенгламадан ҳосила олиб, сателлитнинг бурчак тезлигини топамиз:

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = A_1 \cdot K_1 \cdot \sin \alpha_1 + B_2 \cdot K_1 \cdot \sin 2\alpha_1 + A_2 K_2 \cdot \sin \alpha_2 + B_2 K_2 \cdot \sin 2\alpha_2 \quad (8. 54)$$

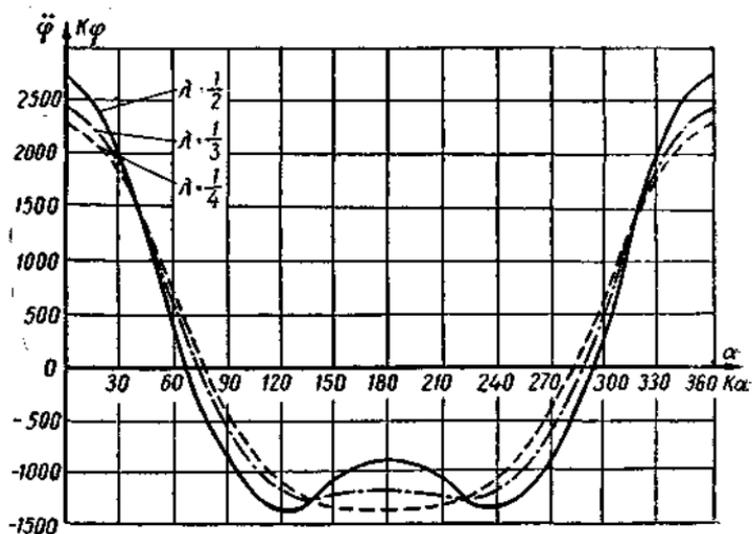
Бурчак тезланиши

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi}_2 = \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} &= A_1 K_1^2 \cos \varphi_1 + 2B_1 K_1^2 \cdot \cos 2\alpha_1 + A_2 K_2^2 \cdot \cos \alpha_2 + \\ &+ 2B_2 \cdot K_2^2 \cdot \cos 2\alpha_2 = K_1^2 (A_1 \cos \varphi_1 + 2B_1 \cos 2\alpha_1) + \\ &+ K_2^2 (A_2 \cdot \cos \alpha_2 + 2B_2 \cos 2\alpha_2) \end{aligned} \quad (8. 55)$$

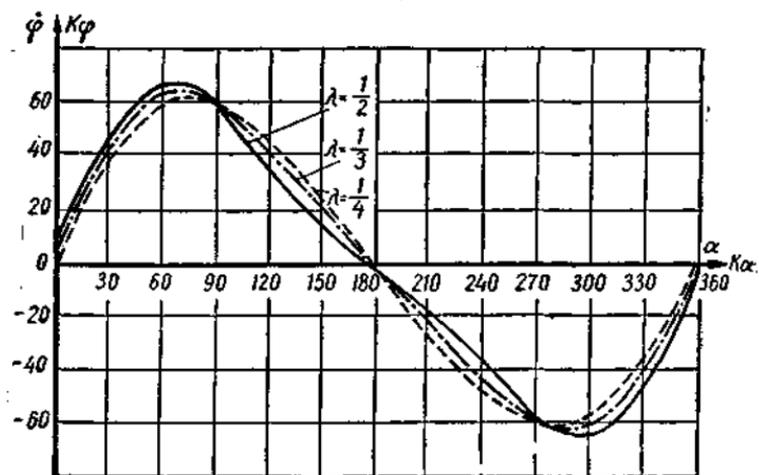
бўлади. Агар $r_1 = R_1$, $r_2 = R_2$, $l_1 = l_2 = l$ бўлса, у ҳолда



7.2- шакл, А.



7.2-шакл, Б.



7.2-шакл, В.

$A_1 = A_2 = 1$, $B_1 = B_2 = \frac{r}{2l} = \frac{\lambda}{2}$ бўлади. Бундай ҳол учун сателлитнинг ҳаракат қонуни қуйидаги тенгламалар орқали топилди:

$$\varphi_2 = 2 - \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 + \frac{\lambda}{2} (\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2) \quad (8.56)$$

$$\dot{\varphi}_2 = K_1 \cdot \sin \alpha_1 + K_2 \sin \alpha_2 + \frac{\lambda K_1}{2} \cdot \sin 2\alpha_1 + \frac{\lambda K_2}{2} \sin 2\alpha_2 \quad (8.57)$$

α	φ_1	φ_2	φ_3	φ_1	φ_2	φ_3	φ_1	φ_2	φ_3
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000	2700,00	2399,94	2250,00
10	0,0461	0,0404	0,0382	18,116	13,836	12,978	2618,28	2336,40	2195,46
20	0,1791	0,1595	0,1499	30,282	26,946	25,344	2380,86	2151,00	2036,16
30	0,3980	0,3513	0,3305	42,990	38,658	36,498	2008,80	1858,86	1783,80
40	0,6746	0,6457	0,5713	53,340	48,414	45,954	1535,04	1483,02	1456,92
50	1,0078	0,9100	0,8611	60,732	55,806	53,346	1000,80	1052,82	1078,92
60	1,3750	1,2499	1,1875	64,950	60,618	58,458	450,00	592,94	675,00
70	1,7575	1,6103	1,5367	66,024	62,808	61,206	-73,80	156,06	270,90
80	2,1377	1,9761	1,8953	64,218	62,508	61,650	-533,16	-251,28	-110,34
90	2,5000	2,3333	2,2500	60,000	60,000	60,000	-900,00	-599,94	-450,00
100	2,8321	2,6705	2,5897	53,958	55,668	58,326	-1158,12	-876,24	-735,30
110	3,1255	2,9783	2,9047	46,740	49,956	51,558	-1305,00	-1075,14	-960,30
120	3,3750	3,2499	3,1875	38,970	43,302	45,438	-1350,00	-1200,00	-1125,00
130	3,5790	3,4812	3,4323	31,188	36,114	38,574	-1313,28	-1261,26	-1235,16
140	3,7979	3,6697	3,6353	23,796	28,722	31,162	-1222,56	-1274,58	-1300,68
150	3,8570	3,8153	3,7945	17,010	21,342	23,502	-1108,80	-1258,74	-1333,80
160	3,9239	3,9043	3,8947	10,878	14,094	15,696	-989,46	-1219,34	-1334,16

170	3,9853	3,9796	3,9774	5,286	6,996	7,854	927,00	1208,88	1349,82
180	4,0000	4,0000	4,0000	0,000	0,000	0,000	900,00	1200,00	1350,00
190	3,9853	3,9796	3,9774	-5,286	-6,996	-7,854	927,00	1208,88	1349,82
200	3,9239	3,9043	3,8947	-10,878	-14,094	-15,696	989,46	1219,34	1334,16
210	3,8570	3,8153	3,7945	-17,010	-21,342	-23,502	1108,80	1258,74	1333,80
220	3,7979	3,6697	3,6353	-23,796	-28,722	-31,182	1222,56	1274,58	1300,68
230	3,5790	3,4812	3,4323	-31,188	-36,114	-38,574	1313,28	1261,26	1235,16
240	3,3750	3,2499	3,1875	-38,970	-43,302	-45,438	1350,00	1200,00	1125,00
250	3,1255	2,9783	2,9047	-46,740	-49,956	-51,558	1305,00	1075,14	960,30
260	2,8321	2,6705	2,5897	-53,958	-55,668	-58,326	1158,12	876,24	735,30
270	2,5000	2,3333	2,2500	-60,000	-60,000	-60,000	900,00	599,94	450,00
280	2,1377	1,9761	1,8953	-64,218	-62,508	-61,650	533,16	251,28	110,34
290	1,7575	1,6103	1,5367	-64,024	-62,808	-61,206	73,80	156,06	270,90
300	1,3750	1,2499	1,1875	-64,950	-60,618	-58,458	450,00	599,94	675,00
310	1,0078	0,9100	0,8611	-60,732	-55,806	-53,346	1000,80	1052,82	1078,92
320	0,6746	0,6457	0,5713	-53,340	-48,414	-45,964	1535,04	1483,02	1456,92
330	0,3930	0,3513	0,3305	-42,990	-38,658	-36,498	2008,80	1858,86	1783,80
340	0,1791	0,1595	0,1499	-30,282	-26,946	-25,344	2380,86	2151,00	2036,16
350	0,0461	0,0404	0,0383	-18,116	-13,836	-12,978	2618,08	2336,40	2196,46
360	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000	2700,00	2393,94	2250,00

$$\ddot{\varphi}_2 = K_1^2 \cdot \cos \alpha_1 + K_2^2 \cdot \cos \alpha_2 + \lambda \cdot K_1^2 \cdot \cos 2\alpha_1 + \lambda K_2^2 \cos 2\alpha_2 \quad (5. 58)$$

Агар икки кривошип синхрон ва синфаз айланса, у ҳолда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ва $K_1 = K_2 = K$ бўлади. Сателлитнинг ҳаракат қонуни қуйидаги кўринишни олади:

$$\varphi_2 = 2(1 - \cos \alpha) + \lambda \cdot \sin^2 \alpha \quad (8. 59)$$

$$\dot{\varphi}_2 = 2 \cdot K \cdot \sin \alpha + \lambda \cdot K \cdot \sin 2\alpha \quad (8. 60)$$

$$\ddot{\varphi}_2 = 2K^2 \cdot \cos \alpha + 2\lambda K^2 \cdot \cos 2\alpha = 2K^2(\cos \alpha + \lambda \cdot \cos 2\alpha) \quad (8. 61)$$

Охирги (8. 59), (8. 60) ва (8. 61) тенгламаларнинг α га нисбатан графиклари $K = 30 \text{ сек}^{-1}$, $\lambda = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ қийматлар учун 7. 2-шакл А, Б, В лардаги графикда берилган. Ҳақиқий қийматлари эса 4-жадвалда келтирилган.

8-§. Оддий, планетар ва дифференциал механизм етакланувчи звеноларининг аналитик кинематикаси

I. Оддий механизм. Агар етакловчи звено φ_1 бурчакка айланса, етакланувчи φ_2 га айланади. Улар орасидаги боғланиш қуйидагича бўлади:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot i_{21}$$

i_{21} — иккала филдирак орасидаги узатиш сони.

Етакланувчи звено сиртидаги бирор А нуқтанинг параметрик тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_1 + R_2(1 - \cos i_{21}\varphi_1) \\ y &= \mp R_2 \cdot \sin i_{21} \cdot \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.62)$$

Аслида (8.62) тенгламани ўлчовсиз кўринишда тасвир этиш қулайдир. Бунинг учун тенгламанинг иккала томонини R_2 га бўлиб, қуйидаги ўлчовсиз параметрик тенгламани ҳосил қиламиз:

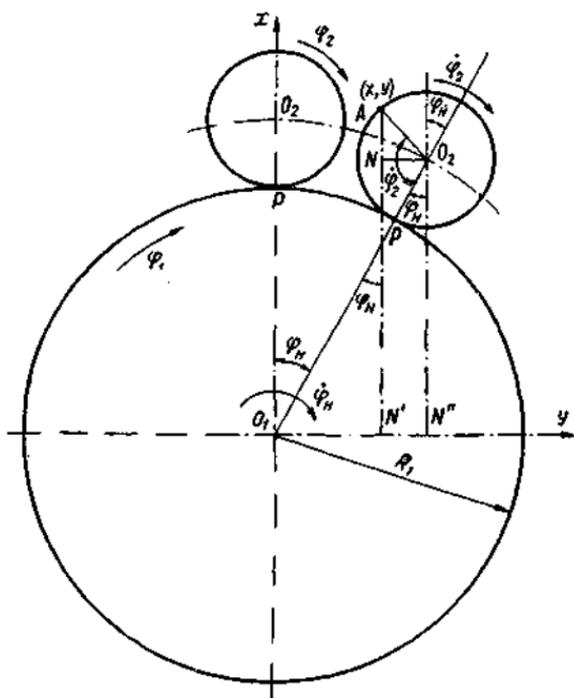
$$\left. \begin{aligned} i_x &= \frac{x}{R_2} = i_{21} + (1 - \cos i_{21}\varphi_1) \\ i_y &= \frac{y}{R_2} = \sin i_{21} \cdot \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.63)$$

Ўлчовсиз радиус вектор қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} i_p &= \sqrt{i_x^2 + i_y^2} = \sqrt{2 + i_{21}^2 + 2i_{21}(1 - \cos i_{21}\varphi_1) - 2 \cos i_{21} \cdot \varphi_1} = \\ &= \sqrt{2(1 + i_{21}) + i_{21}^2 - 2(1 + i_{21}) \cos i_{21} \cdot \varphi_1} = \\ &= \sqrt{2(1 + i_{21})(1 - \cos i_{21} \varphi_1) + i_{21}^2} \end{aligned} \quad (8.64)$$

II. Планетар механизм. Планетар механизм сателлитининг бирор A нуқтаси параметрик тенгламасининг қуйидагича бўлишини 8.1-шаклдан кўриш қийин эмас:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_H \cos \varphi_H - R_2 \cos (1 + i_{21}) \varphi_H \\ y &= R_H \sin \varphi_H - R_2 \sin (1 + i_{21}) \varphi_H \end{aligned} \right\} \quad (8.65)$$



8.1-шакл.

Бу ерда $R_H = R_1 + R_2$ — водилонинг узунлиги;

φ_H — водилонинг бурчак йўли;

$i_{21} = \frac{R_1}{R_2}$ — узатиш сони.

(8.65) параметрик тенгламаларни ўлчовсиз тенгламаларга айлантирамиз:

$$\left. \begin{aligned} i_{px} &= \frac{x}{R_2} = (1 + i_{21}) \cos \varphi_H - \cos (1 + i_{21}) \varphi_H \\ i_{py} &= \frac{y}{R_2} = (1 + i_{21}) \sin \varphi_H - \sin (1 + i_{21}) \varphi_H \end{aligned} \right\} \quad (8.66)$$

$$i_p = \sqrt{i_{px}^2 + i_{py}^2} = \sqrt{(1 + i_{21})^2 + 1 - 2(1 + i_{21}) \cdot \cos i_{21} \varphi_H} \quad (8.67)$$

III. Дифференциал механизм. Дифференциал механизм сателлити сиртидаги бирор A нуқтанинг параметрик тенгламаси қуйидагича бўлади (8.1-шакл):

$$\begin{aligned} x &= (R_1 + R_2) \cos \varphi_H - R_2 \cdot \cos [(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \\ y &= (R_1 + R_2) \sin \varphi_H - R_2 \cdot \sin [(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \end{aligned} \quad (8.68)$$

Ёки:

$$\left. \begin{aligned} i_{\partial x} &= \frac{x}{R_2} = (1 + i_{21}) \cos \varphi_H - \cos [(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \\ i_{\partial y} &= \frac{y}{R_2} = (1 + i_{21}) \sin \varphi_H - \sin [(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \end{aligned} \right\} \quad (8.69)$$

$$i_{\partial \rho} = \sqrt{i_{\partial x}^2 + i_{\partial y}^2} = \sqrt{(1 + i_{21})^2 + 1 - 2(1 + i_{21}) \cos (\varphi_H + \varphi_1) \cdot i_{21}} \quad (8.70)$$

Шундай қилиб, оддий тишли (ёки дискли), планетар ва дифференциал механизмларнинг ташқи илашиш ҳоллари учун сателлит сиртидаги (етақланувчи звено) нуқта ҳаракат қонуни параметрик тенгламаларининг ўлчовли ва ўлчовсиз ҳоллари баён этилди. Энди шу тенгламалардан боғлиқсиз вақтга нисбатан ҳосила олиб, тезлик ва тезланишларнинг ўлчовли ва ўлчовсиз параметрик тенгламаларини топамиз.

I. Оддий механизмнинг етақланувчи звеноси сиртидаги нуқта тезлик ва тезланишларининг параметрик ўлчовли ва ўлчовсиз тенгламаларини ҳосил қилиш учун (8.62) ва (8.63) тенгламалардан вақтга нисбатан ҳосила оламиз:

Тезлик:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= R_2 \omega_1 \cdot i_{21} \cdot \sin i_{21} \varphi_1 \\ v_y &= -R \omega_1 \cdot i_{21} \cdot \cos i_{21} \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.71)$$

Ўлчовсиз тезликлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\partial x} &= i_{21} \cdot \sin i_{21} \varphi_1 \\ i_{\partial y} &= -i_{21} \cdot \cos i_{21} \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.72)$$

Тезланиш:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= R_2 \omega_1 \cdot i_{21}^2 \cdot \cos i_{21} \varphi_1 \\ a_y &= R_2 \cdot \omega_1 \cdot i_{21}^2 \cdot \sin i_{21} \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.73)$$

Ўлчовсиз тезланишлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\partial x} &= +i_{21}^2 \cdot \cos i_{21} \varphi_1 \\ i_{\partial y} &= +i_{21}^2 \cdot \sin i_{21} \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.74)$$

II. Планетар механизм сателлити сиртидаги нуқта тезлик ва тезланишларининг параметрик ўлчовли ва ўлчовсиз тенгламала-

рини (8.65) ва (8.66) тенгламалардан вақтга нисбатан ҳосилла олиб топамиз:

Тезлик:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -(R_1 + R_2) \omega_H \cdot \sin \varphi_H + R_2(1 + i_{21})\omega_H \cdot \sin(1 + i_{21})\varphi_H \\ v_y &= (R_1 + R_2) \omega_H \cdot \cos \varphi_H - R_2(1 + i_{21})\omega_H \cdot \cos(1 + i_{21})\varphi_H \end{aligned} \right\} (8.75)$$

Ўлчовсиз тезликлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\dot{x}} &= \frac{v_x}{R_H \omega_H} = -\sin \varphi_H + \sin(1 + i_{21})\varphi_H \\ i_{\dot{y}} &= \frac{v_y}{R_H \omega_H} = \cos \varphi_H - \cos(1 + i_{21})\varphi_H \end{aligned} \right\} (8.76)$$

Тезланиш:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= -R \cdot \omega_H^2 \cdot \cos \varphi_H + R_2(1 + i_{21})^2 \cdot \omega_H^2 \cdot \cos(1 + i_{21})\varphi_H \\ a_y &= -R \cdot \omega_H^2 \cdot \sin \varphi_H + R(1 + i_{21})^2 \cdot \omega_H^2 \cdot \sin(1 + i_{21})\varphi_H \end{aligned} \right\} (8.77)$$

Ўлчовсиз тезланишлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\ddot{x}} &= \frac{a_x}{R_H \omega_H^2} = -\cos \varphi_H + (1 + i_{21})^2 \cdot \cos(1 + i_{21})\varphi_H \\ i_{\ddot{y}} &= \frac{a_y}{R_H \omega_H^2} = -\sin \varphi_H + (1 + i_{21})^2 \cdot \sin(1 + i_{21})\varphi_H \end{aligned} \right\} (8.78)$$

III. Дифференциал механизм сателлити сиртидаги нуқта тезлик ва тезланишларининг параметрик ўлчовли ва ўлчовсиз тенгламаларини (8.68), (8.69) тенгламалардан вақтга нисбатан ҳосилла олиб топамиз:

Тезлик:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -R_H \omega_H \sin \varphi_H + R_2[(1 + i_{21})\omega_H + i_{21}\omega_1] \cdot \sin[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \\ v_y &= R_H \omega_H \cos \varphi_H - R_2[(1 + i_{21})\omega_H + i_{21}\omega_1] \cdot \cos[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \end{aligned} \right\} (8.79)$$

Ўлчовсиз тезликлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\dot{x}} &= -\sin \varphi_H + \left[1 + \frac{i_{21}\omega_1}{(1 + i_{21})\omega_H}\right] \cdot \sin[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \\ i_{\dot{y}} &= \cos \varphi_H + \left[1 + \frac{i_{21}\omega_1}{(1 + i_{21})\omega_H}\right] \cdot \cos[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \end{aligned} \right\} (8.80)$$

Тезланиш:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= -R_H \cdot \omega_H^2 \cos \varphi_H + R_2[(1 + i_{21})\omega_H + i_{21}\omega_1]^2 \cdot \cos[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \\ a_y &= -R_H \cdot \omega_H^2 \sin \varphi_H + R_2[(1 + i_{21})\omega_H + i_{21}\omega_1]^2 \cdot \sin[(1 + i_{21})\varphi_H + i_{21}\varphi_1] \end{aligned} \right\} (8.81)$$

Ўлчовсиз тезланишлар тенгламаси:

$$\left. \begin{aligned} i_{\ddot{\alpha}x} &= -\cos \varphi_H + \left[(1 + i_{21}) + \frac{i_{21}}{(1 + i_{21})} \cdot \frac{\omega_H^2}{\omega_H^2} + 2i_{21} \frac{\omega_1}{\omega_H} \right] \times \\ &\times \cos [(1 + i_{21}) \varphi_H + i_{21} \varphi_1] \\ i_{\ddot{\alpha}y} &= -\sin \varphi + \left[(1 + i_{21}) + \frac{i_{21}}{(1 + i_{21})} \cdot \frac{\omega_1^2}{\omega_H^2} + 2i_{21} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_H} \right] \times \\ &\times \sin [(1 + i_{21}) \varphi_H + i_{21} \varphi_1] \end{aligned} \right\} \quad (8.82)$$

Энди баъзи хусусий ҳоллар билан танишиб ўтамыз.

а) $i_{21} = 1$ бўлган хусусий ҳол.

Оддий механизм учун нуқта ҳаракати қонунининг параметрик тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_1 + R_2 (1 - \cos \varphi_1) \\ y &= R_2 \cdot \sin \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.83)$$

Планетар механизм учун:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_H \cos \varphi_H \cdot R_2 \cos 2\varphi_H \\ y &= R_H \cdot \sin \varphi_H \cdot R_2 \sin 2\varphi_H \end{aligned} \right\} \quad (8.84)$$

Дифференциал тенглама учун:

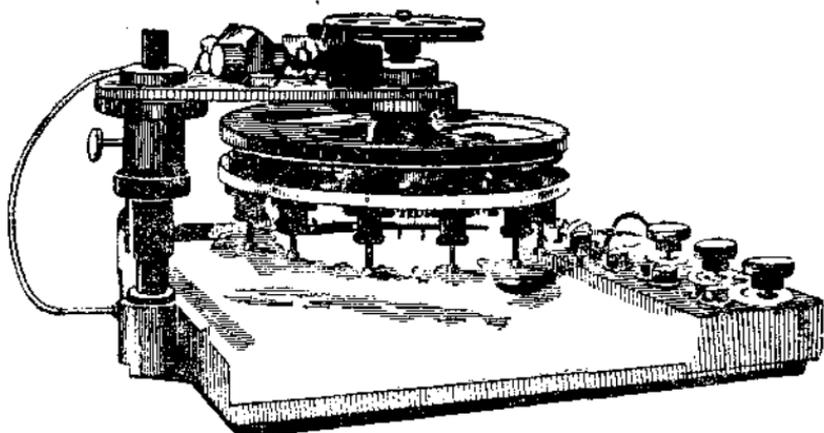
$$\left. \begin{aligned} x &= (R_1 + R_2) \cos \varphi_H - R_2 \cdot \cos (2\varphi_H + \varphi_1) \\ y &= (R_1 + R_2) \cdot \sin \varphi_H - R_2 \cdot \sin (2\varphi_H + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \quad (8.85)$$

бўлади.

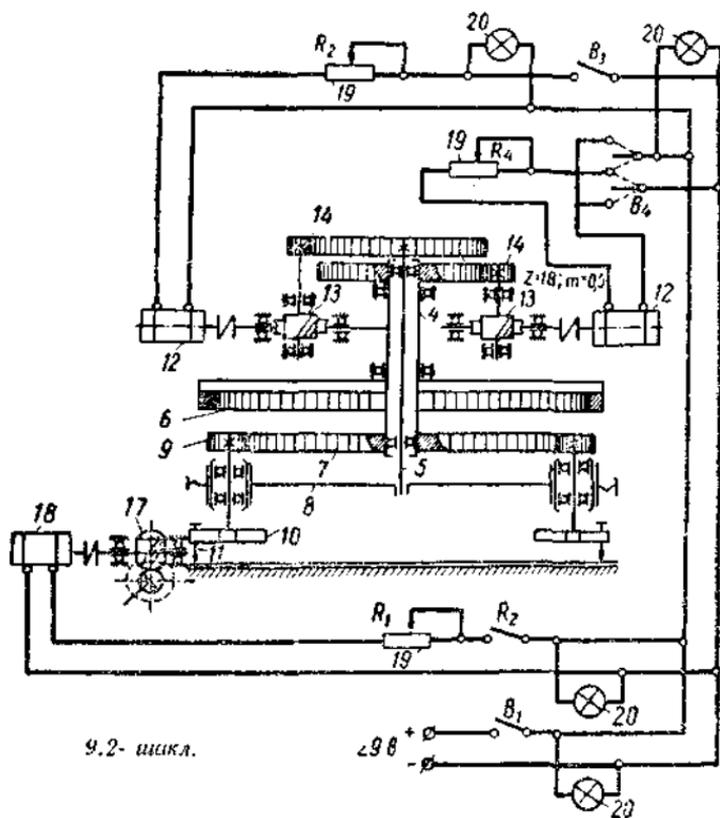
9-§. Универсал эпи-гипоциклограф

Эпициклик механизмлар ҳозирги замон машиналарида кўплаб ишлатилади. Вертикал шпинделли пахта териш машинаси агрегатининг териш аппаратида асосий ролни ўйнайдиган звено худди планетар механизмдаги сателлитга ўхшашдир. Бу сателлитлар сонини 12—15 тадан бўлиб, улар пахта териш барабанига (барабан водило родини ўйнайди) ўрнатилади.

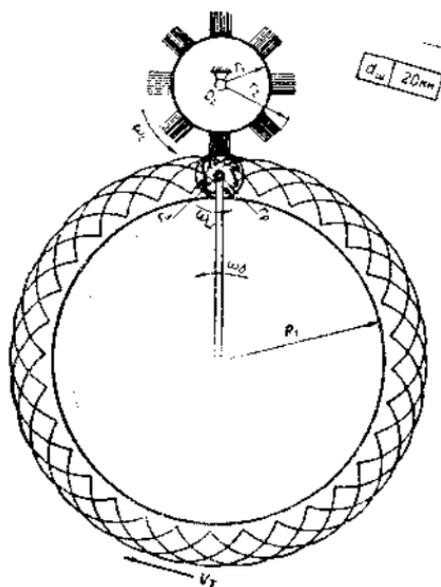
Пахта тупидан териш вақтида шпинделлар (сателлитлар) ички илашишли планетар механизм сифатида ишлайди, пахтани шпинделдан ажратиш олиш зонасида эса ташқи илашишли планетар механизм сифатида ишлайди. Шундай қилиб, шпинделлар териш зонасида бир томонга айланса, пахтани шпинделдан ажратиш зонасида тесқари томонга айланади. Бундай ҳаракат *реверс* ҳаракат деб аталади. Шпинделда унинг узунлиги бўйлаб тўрт қатор тишлар бўлиб, улар шпиндель узунлиги бўйлаб бир томонга йўналган бўлади. Шундай қилиб, шпиндель тишлари



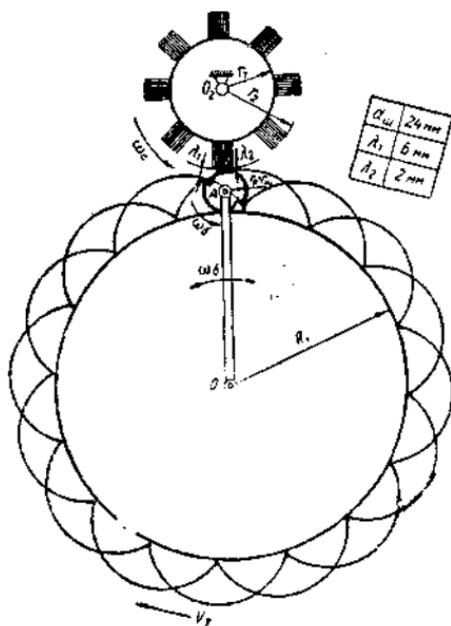
9.1- шакл.



9.2- шакл.



9.3- шакл.



9.4- шакл.

пахта териш зонасида *гипоциклоида* чизса, пахтани шпинделдан ажратиш зонасида *эпициклоида* чизади. Пахта териш укуми, асосан, барабандаги шпиндель марказининг чизиқли тезлигининг шу барабанны (ёки териш аппаратини) олиб юривчи трактор тезлигига бўлган нисбатига боғлиқ деб қаралади.

Шундай қилиб, шпиндель тишлари пахта териш зонасида пахта тупларига нисбатан чўзиқ *гипоциклоида* чизади.

Шундай ҳаракатлар траекториясини текшириш мақсадида автор идеясига асосан «универсал *эпигипоциклограф*» деб аталувчи асбоб ясалган (9.1-шакл).

Бу асбоб асосан ички ва ташқи илашишли ва 12 та сателлитли *эпициклик* механизм бўлиб, унинг сателлитларида махсус чизгичлар ҳам бор. Бу чизгичлар маълум чизиқли тезликка эга бўлган 30 см кенгликдаги оқ қоғозга *эпициклоида* ёки *гипоциклоидалар* чизади. Асбоб асосан 3 та ҳаракат манбаига эга.

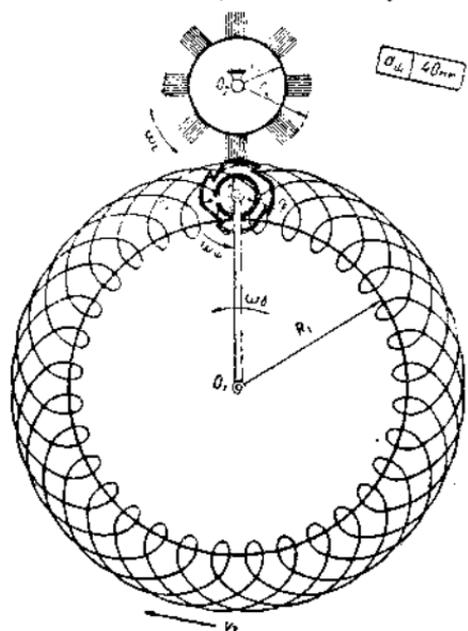
Асбоб механизмларининг принципиал кинематик схемаси 9.2-шаклда кўрсатилган. Марказий филдираклар 6, 7 ва водило 8 ҳаракатни мотор 12 дан редуктор 13 ва шестернялар орқали олади. 30 см кенг-

ликдаги қоғоз мотор 18 ва редуктор 17 ҳамда фрикцион валлар орқали ҳаракатга келтирилади. Марказий филдираклар, водило ҳамда қоғоз юритадиган механизм ҳаракатини махсус реостатлар 19 орқали исталган тезликда ўрнатиш мумкин.

Ҳар бир шпиндель 9 нчида махсус планшайба 10 ўриштирилган бўлиб, бу планшайбаларга 4 тадан чизмач қаламчалар 11 ўриштирилган. Ҳар бир қаламнинг радиусини 10—20 мм ўртасида ўрнатиш мумкин. Марказий филдираклар ўнг ва чап томонга улагич B_1 орқали айлантрилади. Шундай қилиб, лента тортувчи механизм ишламаган ҳолда ва маълум тезлик билан ҳаракатланаётганда эпициклоида ва гипоциклоидаларни қоғозга чизиб олиш мумкин бўлади. Сателлит радиуси 10 мм, 12 мм ва 20 мм, водилонинг радиуси 108 мм бўлган ҳолатлар учун худди шундай эпициклоидалар 9.3, 9.4 ва 9.5-шаклларда кўрсатилган. 9.3-шаклда қисқартирилган, 9.4-шаклда эса нормал ва 9.5-шаклда узайтирилган эпициклоидалар олинган.

Прибор чексиз имкониятларга эга. Ундан фойдаланиб исталган вариантдаги эпи-гипоциклоидаларни чизиш мумкин ва шу траекториялар орқали тегишли хулосалар чиқарса бўлади.

Хулоса қилиб айтганда, асбоб орқали олинган траекториялар ҳозирги ишлатилаётган шпиндель тишларининг жойлашиши винт чизиги бўйлаб боришини тақозо этади, чунки тишларнинг винт чизиги бўйлаб жойлашишида очилган пахта билан узлуксиз илашиш қобилияти намоён бўлади. Тишлар ораси тўлиб, активлиги йўқолмаслиги учун у IV класс кинематик жуфт сингари таркибий бўлишлиги, пахтани териш процессида тишли элементнинг автоматик равишда тебраниб туришини таъминлайдиган конструкция яратиш мақсадга мувофиқ бўлур эди.



9.5-шакл.

II қисм

МЕХАНИЗМЛАР ДИНАМИКАСИ

IX боб

КИНЕТОСТАТИКА

1-§. Механизмлар динамикасининг асосий масалалари

Умуман, ҳаракатдаги ҳар қандай звенода қуйидаги ташқи кучлар ва моментлар бўлиши мумкин:

а) звенонинг ўз оғирлиги; бу ҳам куч бўлиб, унинг вектори ҳамма вақт ер маркази томон йўналган; уни G ҳарфи билан белгилаймиз;

б) звено ўзгарувчан тезлик билан илгариланма ҳаракат қилса, инерция кучи пайдо бўлади; бу кучни P_a ҳарфи билан белгилаймиз;

в) звено ўзгарувчан тезлик билан мураккаб ҳаракат қилса, у ҳолда, звенода P_a кучдан ташқари, яна инерция кучининг моменти ҳам пайдо бўлади; бу моментни M_a ҳарфи билан белгилаймиз;

г) механизм звенолари бир-бири билан олий ёки қуйи кинематик жуфтлар орқали боғланади. Шунинг учун механизмнинг ҳаракати вақтида шу кинематик жуфтларда реакция кучлари пайдо бўлади. Бу кучларни $P_{12}, P_{23}, P_{34}, \dots$ билан белгилаймиз. Бу ерда P_{12} —1 звенонинг 2 звенога таъсир кучи; P_{23} —2 звенонинг 3 звенога таъсир кучи ва P_{34} —3 звенонинг 4 звенога таъсир кучи. Жисмни қўзғатувчи сабаб *куч* деб аталади.

Кучнинг таъсири иш билан аниқланади.

Машина ва механизмлар динамикаси асосан қуйидаги масалалар билан шуғулланади:

1. Машина ва механизм кинематик жуфтларидаги реакция кучларини инерция кучлари ҳисобга олнган ҳолда аниқлаш.

Бу динамиканинг *кинетостатика қисми* (ҳаракатдаги статика) деб аталади.

2. Машина ва механизмларга берилган энергиянинг тарқалиш қонуни, яъни энергетик баланс орқали машина ёки механизмларнинг фойдали иш коэффициентларини топш.

3. Машина ва механизмлардаги айрим звеноларнинг ёки звено нўқталарининг берилган кучлар таъсиридаги ҳақиқий ҳаракат қонунларини топиш.

4. Машина ва механизмлар ҳаракатининг бир текисда бўлишини таъминлаш.

5. Машина ва механизмлардаги звено массаларини мувозанатлаш.

Юқорида баён этилганлар билан бирма-бир танишиб чикамиз. Ҳар қандай механизм ёки машина бирор технологик процессни қандай бажаришини унинг таркибидаги звеноларга таъсир этаётган кучлар группаси билан танишиб ўтмасдан туриб ўрганиб бўлмайди. Механизмга ёки машинага таъсир этаётган барча кучларни асосан қуйидаги бешта группага бўлиб ўрганиш мақсадга мувофиқдир.

1. Механизм ёки машинани ҳаракатлантирувчи кучлар.

2. Машинага таъсир қиладиган фойдали қаршилик кучлари.

3. Машина ҳаракати вақтида пайдо бўладиган зарарли қаршилик кучлари.

4. Машина таркибидаги звеноларнинг оғирлик кучлари.

5. Машина звеноларининг эгри чизикли ва ўзгарувчан тезликдаги ҳаракатлари вақтида пайдо бўладиган инерция кучлари ва шу кучларнинг моментлари.

Юқорида айтиб ўтилган кучларнинг ҳар бирини алоҳида-алоҳида таърифлаймиз:

Ҳ а р а к а т л а н т и р у в ч и к у ч л а р. Машинанинг қабул органига (звеносига) таъсир қилиб, уни ҳаракатга келтирувчи кучларга *ҳаракатлантирувчи кучлар* дейилади. Ҳаракатлантирувчи кучларнинг йўналишлари ҳаракат йўналиши билан бир хил бўлади, шунинг учун ҳаракатлантирувчи кучнинг бажарган иши мусбат бўлади. 2.3-шаклда P_g — ҳаракатлантирувчи куч кривошип-шатунли механизмнинг етакловчи звеноси $OA(2)$ нинг A шарнирига қўйилган бўлиб, у A нўқта тезлиги билан бир йўналишда бўлади. Баъзи ҳолларда ҳаракатлантирувчи куч ҳаракат йўналиши билан фақат ўткир бурчак ташкил қиладди. Шунинг учун P_g куч билан A нўқта тезлиги орасидаги бурчак қуйидаги тенгсизлик билан белгиланади:

$$0^\circ \leq \left(\vec{P}_g, \vec{v}_A \right) < 90^\circ \quad (9.1)$$

Шунинг учун P_g кучнинг иши мусбатдир.

Фойдали қаршилик кучлари. Қандай кучнинг ишини машина енгизиш зарур бўлса, у кучга *фойдали қаршилик кучи* дейилади. Асосан машиналар фойдали қаршилик кучларини енгизиш учун ишлайди. 2.3-шаклдаги кривошип-шатунли механизм орқали цилиндр ичидаги қотишма прессланади. Қотишма-

нинг поршенга кўрсатган қаршилиги фойдали қаршилиқ кучи бўлиб, у шаклда P_{ϕ} деб белгиланган. Фойдали қаршилиқ кучи ҳамма вақт ҳаракатга тескари йўналган бўлиб, куч билан ҳаракат (тезлик) орасидаги бурчак қуйидаги тенгсизлик билан ифодаланади:

$$90^{\circ} < \left(\overline{P}_{\phi}, \overline{v} \right) \leq 180^{\circ} \quad (9.2)$$

Фойдали қаршилиқ кучларининг бажарган ишлари ҳамма вақт манфий бўлади.

Зарарли қаршилиқ кучлари. *Зарарли қаршилиқ кучлари* машинанинг ҳаракати вақтида пайдо бўлади. Масалан, 2.3-шаклдаги механизмнинг ҳаракати вақтида унинг таркибига кирувчи кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш кучлари (F_{ϕ} , F_A , F_B , F_4 кучлар). Шунингдек, машина ҳаракатланаётганда унинг звеноларига ташқи муҳит ҳам таъсир қилади (масалан, ҳаво, сув ва ҳоказолар). Бундай таъсир кучлари ҳам ҳаракат йўналиши (тезлик) билан ўтмас бурчак ташкил этади ва бу бурчак (9.2) тенгсизлик билан белгиланади. Шунинг учун бундай кучларнинг бажарган ишлари ҳам манфий бўлади.

Оғирлик кучлари. Машинанинг горизонтга нисбатан ҳаракат қилувчи қисмларининг оғирлик марказлари ўзгарганда оғирлик кучларининг бажарган ишлари ҳам ўзгариб боради. Бу кучларнинг бажарган ишлари ҳаракат қилувчи звеноларнинг оғирлик маркази кўтарилиши ёки пасайишига қараб мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Агар 2.3-шаклдаги G_3 шатуннинг оғирлиги ва G_4 шток билан поршеннинг оғирлиги бўлса, у ҳолда G_3 юқорига кўтарилганда унинг бажарган иши манфий бўлади, чунки G_3 кучнинг йўналиши билан ҳаракат йўналиши орасидаги бурчак (9.2) тенгсизликдан аниқланади, агар G_3 куч пастга қараб йўналса, унинг бажарган иши мусбат бўлади, чунки G_3 куч билан ҳаракат йўналиши орасидаги бурчак (9.1) тенгсизликдан аниқланади. G_4 оғирлик кучи ҳаракат йўналишига тик бўлгани учун унинг бажарган иши полга тенг бўлади.

Инерция кучлари. Машина қисмларининг (звеноларининг) эгри чизиқли ва ўзгарувчан тезликдаги ҳаракатлари вақтида инерция кучлари пайдо бўлади. Айниқса катта тезлик билан потекис ҳаракатланувчи звеноларда инерция кучлари кўп бўлади. Тезлик ўзгармас бўлса, илгариланма-қайтар ҳаракатланувчи звенонинг инерция кучи бўлмайди. Тез юрадиган машиналарда инерция кучларини ҳисобга олиш динамик ҳисоблашнинг асосий масаласи ҳисобланади. Инерция кучларини алоҳида диққат билан қуйидаги параграфда ўрганамиз.

Инерция кучи ҳақида тўлиқ тасаввурга эга бўлиш учун «Волга» машинасида саёҳат қилайлик. Шофёр машинанинг олди-

да, сиз унинг ёнида ўтирибсиз. Машина уйингиздан узоқлаша бошлади. Машина бирдан тезлашса, сиз тўсатдан орқага қандайдир куч билан итариласиз ва машина маълум тезлик олиб соатига ўзгармас тезлик билан юра бошлагандан кейингина ўз ўрнингизда беозор ўтирасиз. Машинага бирдан тормоз бериб уни тўхтатиш зарур бўлиб қолди. Қандайдир тезлик билан кетаётган машина жуда қисқа вақт ичида тўхтаса сиз бенхтиёр олдинга интиласиз. Бас, бу айтилганларнинг биринчисидан маълум бўлишича (машина тезланаётганда орқага итарилишингиз) тезланиш олдинга, яъни тезлик билан бир йўналишда бўлганда силжишга тескари йўналган куч билан орқага ташландингиз. Машина бир хил тезлик билан ҳаракатланганда сизга ҳеч қандай куч таъсир қилмайди. Агар машина бирдан тўхтаса, тезланиш орқага йўналган бўлади. Сиз тазланишга тескари йўналган куч билан (инерция кучи) олдинга интиласиз. Шундай қилиб, биз машинанинг илгариланма ҳаракати вақтидаги ҳолатни кўрдик, холос.

Фараз қилайлик, сиз машинада кета туриб бирданига ўнг ёки чап томонга бурилдингиз. Агар машина ўнг томонга бурлса, сиз чап қўлингиз томон бенхтиёр қийшаясиз. Сизни қийшайтирувчи куч марказга интилма тезланишга тескари йўналган инерция кучидир. Агар машина чап томонга бурлса, сиз ҳам машина ичида ўнг қўлингиз томонга қийшаясиз.

Машинада кета туриб йўлда учраган баландлик ёки чуқурликдан ўтадиган бўлсак, ўзини худди оғирлашгандек ёки енгиллашгандек сезамиз. Агар машина баландлик (дўнглик) жойдан ўтадиган бўлса, бунда пайдо бўлган инерция кучи сизни юқорига кўтармоқчи бўлади; шу онда оғирлигингиз инерция кучи қадар камаяди. Агар машина чуқурлик жойдан ўтадиган бўлса оғирлигингиз инерция кучи қадар ортади ва сиз ўзингизни оғирлашгандек сезасиз.

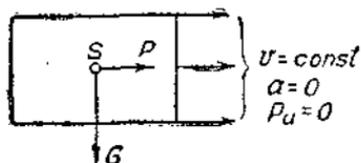
2-§. Механизм звеноларидаги инерция кучларини ҳисобга олиш

Звеноларга таъсир этувчи кучлар ичида инерция кучи катта аҳамиятга эга. Инерция кучи ўзгарувчан чизиқли тезлик ёки бурчак тезлиги билан ҳаракатланувчи звенолардагина учрайди. Тезланиш билан ҳаракатланувчи звенонинг ҳаракатлантирувчи звенога кўрсатган таъсир кучи *инерция кучи* деб аталади. Агар звено ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилса, у ҳолда, инерция кучи ҳам бўлмайди (2.1-шакл).

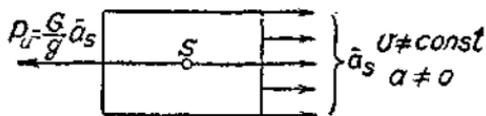
Илгариланма (тўғри чизиқли) ҳаракатдаги звенони олайлик (2.2-шакл). Шаклдаги звено ўнг томонга v тезлик ва a тезланиш

билан ҳаракатланаётган бўлсин, у ҳолда звенонинг барча нуқталари бир хил тезлик ва тезланишга эга бўлади. Агар звенонинг dm массасининг инерция кучини ҳисобласак, у қуйидагича бўлади:

$$dP_u = -dm \cdot a$$



2.1-шакл.



2.2-шакл.

$a = a_s$ эканлигини эътиборга олиб ва звенони бир жинсли деб қараб, тенгликни интеграллаймиз:

$$\bar{P}_u = - \int dm \cdot a_s = -m \cdot a_s \quad (9.3)$$

бунда

$$m = \frac{G}{g}, \quad (9.4)$$

бу ерда, P_u — звенонинг инерция кучи;
 a_s — звено оғирлик марказининг тезланиши;
 m — звенонинг массаси;
 G — звенонинг оғирлиги;
 g — оғирлик кучининг тезланиши.

Ньютоннинг ҳар қандай таъсир акс таъсир вужудга келтиради деган қонунига биноан, инерция кучи тезланиш олувчи звенодан тезланиш берувчи звеного қарама-қарши қўйилганлиги учун (9.3) тенгламанинг ўнг томонига минус ишораси қўйилади. Бу минус ишораси P_u кучининг тезланишга қарама-қарши йўналганлигини билдиради, холос.

Масала фақат S нуқтанинг (2.2-шакл) тезланишини топишни талаб қилади. Агар бу масала ечилса P_u инерция кучининг миқдори ва йўналишини топиш мумкин. Биз механизмдаги ползунга тегишли S нуқтанинг тезланишини аналитик усулда топишга киришамиз. Бунинг учун S нуқтани кривошип-ползушли механизмнинг ползун маркази деб қараймиз ва унинг ҳаракат қонунини қуйидагича топамиз (2.3-шакл):

$$OB = X_B = r \cdot \cos \varphi + l \cdot \cos \psi \quad (9.5)$$

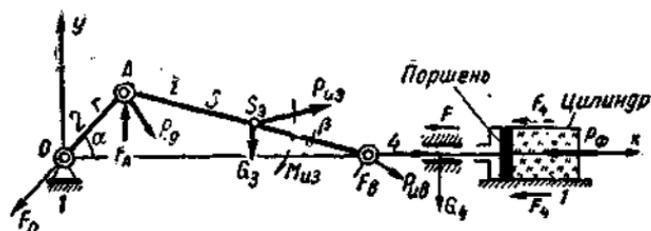
$\triangle OAB$ га синуслар теоремасини татбиқ этсак:

$$\frac{r}{\sin \psi} = \frac{l}{\sin \varphi}, \quad \text{бундан} \quad \sin \psi = \frac{r}{l} \cdot \sin \varphi = \lambda \cdot \sin \varphi$$

$\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi}$ эканини эътиборга олсак, X_s ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$X_s = r \cdot \cos \varphi + l \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}, \quad (9.6)$$

бу ерда α умумлаштирилган координаталарда $X_B - B$ нуқтанинг ҳаракат қонунини ифодалайди. Бу тенгликдан вақтга нисбатан



2.3-шакл.

икки марта ҳосилга олсак, B нуқтанинг тезлиги ва тезланишини топамиз;

тезлиги:

$$v_s = \frac{dx_s}{dt} = -r \cdot \omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2 \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right) \quad (9.7)$$

тезланиши:

$$a_s = -r \cdot \omega^2 \left(\cos \varphi + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi (1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi) - \lambda^3 \cdot \sin^2 2\varphi}{4 (1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \right) \quad (9.8)$$

Агар λ нинг иккинчи ва ундан юқори даражалари қатнашган ҳадларини ташлаб юборсак, тезланиш учун қуйидаги тақрибий формула ҳосил бўлади:

$$a_B \approx -r \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$$

Ползун массасининг инерция кучи қуйидагича бўлади:

$$P_u \approx -m \cdot a_B = -\frac{G}{g} \cdot r \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi) \quad (9.9)$$

Энди биз айланма ҳаракат қилувчи ва мураккаб ҳаракат қилувчи звено массаларининг тезланишлари ва инерция кучларини топиш билан қисқача танишиб ўтамиз.

Агар оғирлиги G бўлган ($m = \frac{G}{g}$ массали) қандайдир звено бирор $\alpha\alpha$ эгри чизиқ бўйлаб ҳаракатланса [агар у ипга боғланиб, ип таранглигида айланса (2.4-шакл)], m массали жисм турган ёйнинг оний эгрилик радиуси ρ бўлади. U ҳолда m масса икки тезланишга эга бўлади. Булардан бири ρ радиус бўйлаб эгрилик

марказига қараб йўналган нормал тезланиш бўлиб, унинг скаляр миқдори қуйидагича топилади:

$$a^n = \frac{v^2}{\rho} = \omega^2 \cdot \rho \quad (9.10)$$

Иккинчиси эса уринма (ёки эгрилик радиуси ρ га тик) бўйлаб йўналган тангенциал (уринма) тезланишдир. Бу тезланишни тезликдан ҳосил олиб топамиз:

$$a^t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega \cdot \rho)}{dt} = \rho \cdot \frac{d\omega}{dt} = \rho \cdot \varepsilon \quad (9.11)$$

ε — нуқтанинг бурчак тезланиши.

Шундай қилиб, тўлиқ тезланишнинг скаляр миқдори қуйидагича топилади:

$$a = \sqrt{(a^n)^2 + (a^t)^2} = \rho \cdot \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2} \quad (9.12)$$

Унинг йўналиши эса μ бурчак орқали топилади:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{a^t}{a^n} = \frac{\varepsilon}{\omega^2}; \quad \mu = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\varepsilon}{\omega^2} \right) \quad (9.13)$$

Нормал инерция кучи a^n тезланишга қарама-қарши йўналган бўлиб, унинг скаляр миқдори қуйидагича топилади:

$$P_u^n = -a^n \cdot m = -\frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot \rho \quad (9.14)$$

(9.14) тенгламанинг ўнг томонидаги (—) ишора кучнинг тезланишга қарама-қарши йўналишини билдиради, холос.

Тангенциал (уринма) инерция кучи эса a^t тезланишга қарама-қарши йўналган бўлиб, у қуйидагича топилади:

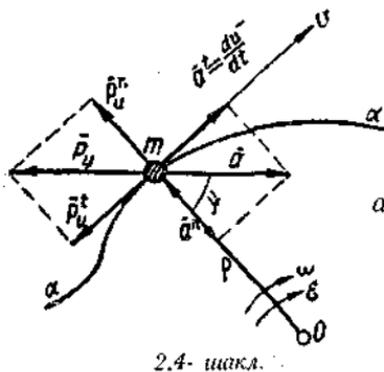
$$P_u^t = -m \cdot a^t = -\frac{G}{g} \cdot \varepsilon \cdot \rho \quad (9.15)$$

Тўлиқ инерция кучининг скаляр миқдори қуйидагича топилади:

$$P_u = \sqrt{(P_u^n)^2 + (P_u^t)^2} = \frac{G}{g} \rho \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \quad (9.16)$$

Қўлибча тўлиқ инерция кучини Декарт координаталари системасининг ўқларига проекция шаклида ифодаланса ҳам бўлади, у ҳолда унинг вектор ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\vec{P}_u = -\frac{G}{g} (\vec{x} + \vec{y}) = -\frac{G}{g} \left(\frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} + \frac{d^2 \vec{y}}{dt^2} \right) \quad (9.17)$$

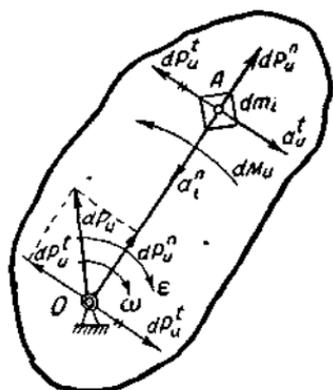


2.4-шакл.

Агар звено маълум ўқ атрофида айланма ҳаракат қилган (2.5-шакл) ва унинг шу O ўқ атрофида қилган ҳаракатининг бурчак тезлиги ω ва бурчак тезланиши ε бўлса, у ҳолда, инерция кучи ва инерция кучининг моменти қуйидаги мулоҳаза асосида топилди: O ўқи атрофида айланувчи жисм (звено)нинг ихтиёрий еридаги $OA = r_i$ масофадан dm_i массачани ажратамиз. Бундай массачалар звенода жуда кўп бўлади. Айланма ҳаракатда бўлган звенонинг бурчак тезлиги ва бурчак тезланиши шу звенога тегишли эканлигини эътиборга олсак, r_i радиус вектори dm_i массача O ўқи атрофида ω бурчак тезлиги ва ε бурчак тезланиши билан айланади, деб қараш мумкин.

А нуқта қуйидаги нормал ва тангенциал (уринма) тезланишларга эгадир:

$$\begin{aligned} a_i^n &= \omega^2 \cdot r_i \\ a_i^t &= \varepsilon \cdot r_i \end{aligned} \quad (9.18)$$



2.5-шакл. O ўқи атрофида ўзгарувчан бурчак тезлиги билан айланувчи звено.

dm_i массача чизиқли тезланишларга эга бўлгани учун, унинг айланиш даврида қуйидаги нормал ва тангенциал инерция кучлари келиб чиқади:

$$\begin{aligned} d\bar{P}_u^n &= -\bar{a}_i^n \cdot dm_i \\ d\bar{P}_u^t &= -\bar{a}_i^t \cdot dm_i \end{aligned} \quad (9.19)$$

$d\bar{P}_u^n$ — dm массачанинг нормал инерция кучи бўлиб, \bar{a}_i^n тезланишга қарама-қарши йўналади.

$d\bar{P}_u^t$ — dm_i массачанинг тангенциал инерция кучи бўлиб, \bar{a}_i^t тезланишга қарама-қарши йўналади (2.5-шакл).

Механика қондасига биноан, $d\bar{P}_u^n$ ва $d\bar{P}_u^t$ инерция кучларини звенонинг айланиш ўқи (O) га кўчирамиз. У ҳолда O га $d\bar{P}_u^n$ ўз йўналишида кириб, ($d\bar{P}_u^t$, $d\bar{P}_u^n$) ноль система кучлар пайдо бўлади. Шундай қилиб, O нуқтада $d\bar{P}_u^n$, $d\bar{P}_u^t$ ва ($d\bar{P}_u^t$, $d\bar{P}_u^n$) жуфт кучнинг моменти пайдо бўлади. Натижада қуйидагилар келиб чиқади:

$$\begin{aligned} d\bar{P}_u^t &= -\varepsilon \cdot r_i \cdot dm_i \\ d\bar{P}_u^n &= -\omega^2 \cdot r_i \cdot dm_i \\ dM_u &= [r_i, d\bar{P}_u^t] \end{aligned} \quad (9.20)$$

Ерда $d\bar{P}_u - dm_i$ массачанинг тўла инерция кучи;

$d\bar{M}_u - d\bar{P}'_u$ кучнинг моменти.

Звено массаси бутун ҳажми бўйлаб бир текисда тарқалган деб олиб, (9.20) тенгламани интеграллаймиз, натижада қуйидагилар келиб чиқади:

$$\begin{aligned} P_u^n &= \int d\bar{P}_u^n = - \int \omega^2 \cdot r_i \cdot dm_i = - \omega^2 \cdot r_s \cdot m_s \\ P_u^t &= \int dP'_u = - \int \varepsilon \cdot r_i \cdot dm_i = - \varepsilon \cdot r_s \cdot m_s \\ M_u &= \int dM_u = - \int \varepsilon \cdot r_i^2 \cdot dm_i = - \varepsilon \cdot I_o \end{aligned} \quad (9.21)$$

бу ерда, r_s — звено оғирлик маркази (s) нинг айланиш ўқиғача бўлган масофаси, яъни звено оғирлик марказининг радиус-вектори;

m_s — звенонинг массаси;

I_o — звено массасининг O айланиш ўқиға нисбатан инерция моменти ($\text{кг}\cdot\text{см}\cdot\text{сек}^2$).

Шундай қилиб, 2.5-шаклда кўрсатилган звено учун айланиш ўқи (O) га \bar{P}_u^n , P'_u кучлар билан M_u момент қўйилган бўлади (2.6-шакл).

Икки куч ва моментни звенонинг s оғирлик марказига келтирамиз, у ҳолда, s нуқтага (\bar{P}'_u , \bar{P}''_u) ноль системани қўямиз; \bar{P}_u^n куч эса ўз йўналишида s нуқтага келади.

Шунда s нуқтага қўйилган \bar{P}_u^n , \bar{P}'_u кучларни геометрик қўшиб, \bar{P}_u ни оламиз. Бундан ташқари, s нуқтага нисбатан моментлар мувозанатини қуйидагича ёзамиз:

$$M_{us} = -M_u + P'_u \cdot r_s = -I_o \cdot \varepsilon + \varepsilon \cdot m_s r_s^2 \quad (9.22)$$

(9.22) тенгламадаги I_o ўрнига ўзи билан боғланган ифодасини қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$M_{us} = -(I_s + m_s \cdot r_s^2) \cdot \varepsilon + m_s \cdot r_s^2 \cdot \varepsilon$$

ёки

$$M_{us} = -\varepsilon \cdot I_s \quad (9.23)$$

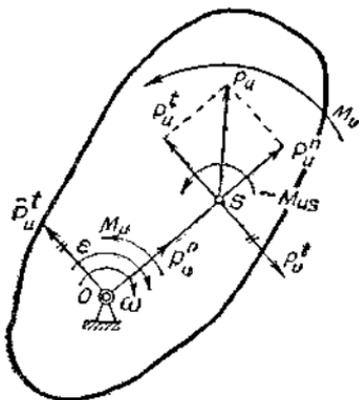
Шундай қилиб, O га қўйилган \bar{P}_u^n , \bar{P}'_u кучлар ва момент ўрнига s нуқта қўйилган \bar{P}_u^n , \bar{P}'_u кучлар ва M_{us} моментни олдик (2.6-шакл):

$$\begin{aligned} \bar{P}_u^n + \bar{P}'_u &= \bar{P}_u \\ M_{us} &= -I_s \varepsilon \end{aligned} \quad (9.24)$$

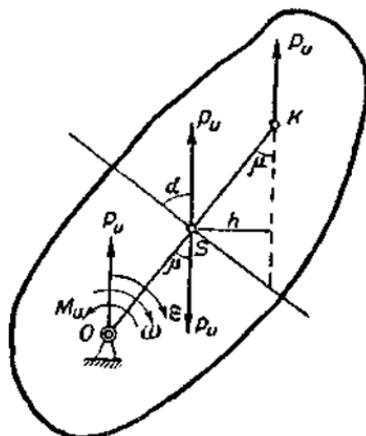
бу ерда, I_s — звено массасининг s дан ўтувчи ўққа нисбатан инерция моменти;

M_{us} — инерция кучининг звено массаси оғирлик марказидан ўтувчи ўққа нисбатан моменти.

(9.24) формулада кўрсатилган \bar{M}_{us} билан \bar{P}_u ни \bar{O}_s давомида бирор k нуқтага қўйилган биргина \bar{P}_u куч билан алмашти-



2.6-шакл. O ўқи атрофида ўзгарувчан бурчак тезлиги билан айланувчи звено ва унинг O ўқи-га келтирилган инерция кучи ҳамда инерция кучи моменти.



2.7-шакл. Инерция кучини зарб марказига келтириш.

риш мумкин. Бунинг учун $M_{us} = P_u \cdot h$ шартидан фойдаланиб, номуъалум h ни топамиз (2.7-шакл):

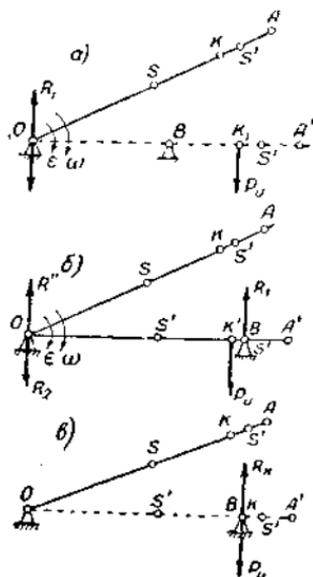
$$h = \frac{M_{us}}{P_u} \quad (9.25)$$

$$\overline{SK} = \frac{h}{\sin \mu} = \frac{M_{us}}{P_u \cdot \sin \mu} = \frac{I_s \cdot \epsilon}{P_u^t} = \frac{I_s}{m_s \cdot r_s} \quad (9.26)$$

Шундай қилиб, s нуқтадаги P_u ва M_{us} катталиклар ўрнига O нуқтадан $I_k = I_{os} + I_{sk}$ масофада турувчи биргина P_u кучни олдик. k нуқта зарб маркази деб аталади (2.7-шакл). Зарб маркази айланма ҳаракатда бўлган звенодаги барча инерция кучларининг йиғиндиси қўйилган нуқтадир. Зарб марказини аниқ топишнинг техникада катта аҳамияти бор. Масалани равшанроқ тушунтирмақ учун қуйидаги уч ҳолни текшириб чиқамиз (2.8-шакл. a , b , $в$).

1. Қўлингиздаги (синаб кўрсангиз ҳам бўлади) OA таёқ билан кўзгалмас B нуқтага урмоқдасиз, деб фараз қилайлик. O

нуқта таёқнинг қўлингиз билан ушланган қисми бўлсин. \overline{OA} таёқдаги s, s' ва k нуқталардан бири — k зарб маркази бўлсин. Таёқ билан B нуқтага s нуқта орқали урилган бўлсин (2.8-шакл, а), у ҳолда k зарб марказига қўйилган P_u кучни мувозанатлаш учун қўлингиз билан таёқнинг O учидан пастга босишиниз керак. B нуқтага таёқнинг урилиши (ёки таёқнинг OA вазиятдан OA' вазиятга ўтиши) қисқа вақт ичида бўлгани учун таёқ урилган вақтда қўлингиз қаттиқ оғрийди. Бу эса R_1 реакция кучининг қўлингизга таъсиридир.



2.8-шакл. а, б — O нуқтада зарб таъсири бўлади; v — k нуқта тўғри топилиб, B — нуқтага урилса, O нуқтада зарб таъсири бўлмайди.

кучини сезмайди (2.8-шакл, в), яъни O нуқтада (қўлингиз ушлаган жойда) реакция кучи nolга тенг бўлади. Демак, зарб билан ишловчи механизмдаги кинематик жуфтда (O нуқтада) реакция кучлари бўлмаслиги учун зарб марказининг тўғри топилиши шарт экан.

Бир неча хусусий ҳолни текшириб чиқамиз:

1. OA звонининг оғирлик маркази (s) ўзгармас бурчак тезлиги билан O ўқи атрофида айланаётган бўлсин. У ҳолда $\epsilon = 0$, $M_u = 0$ (2.9-шакл, а) бўлади. Ёлғиз битта нормал инерция кучи пайдо бўлиб, унинг қиймати қуйидагича топилади:

$$P_u = -\omega^2 \cdot I_{os} \cdot \frac{G}{g} \quad (9.27)$$

2. OA звено s оғирлик марказидан ўтувчи ва шаклга тик ўқ атрофида ўзгарувчан бурчак тезлиниши билан айланмоқда, деб фараз қилайлик (2.9-шакл, б), у ҳолда, $P_u^n = 0$, $P_u^t = 0$ бўлиб, қуйидаги моментгина қолади:

$$M_u = -I_s \cdot \varepsilon \quad (9.28)$$

3. OA звено s оғирлик марказидан ўтувчи ва шаклга тик ўқ атрофида ўзгармас бурчак тезлиги билан айланмоқда, деб фараз қилайлик (2.9-шакл, в). У ҳолда $\bar{P}_u^n = 0$; $\bar{P}_u^t = 0$; $M_u = 0$ бўлади. Бу энг яхши ва идеал вазиятдир.

Агар механизм таркибдаги звено мураккаб текис ҳаракат қилса, у ҳолда бундай звенонинг инерция кучини бир неча усулда топниш мумкин қуйидаги усуллар билан танишиб чиқамиз:

- 1) график усул;
- 2) қўшимча моментлар усули;
- 3) оний тезланишлар марказидан фойдаланиш усули;
- 4) алмашинувчи массалар усули.

1. График усул. Масалани равшанроқ тушунтириш учун мисолни конкрет механизмда ишлаймиз.

OAB кривошип-шатунли механизм берилган бўлсин (2.10-шакл, а). AB шатун мураккаб, яъни ялгариланма ва айланма ҳаракат қилади. AB шатуннинг оғирлик маркази (s) шатуннинг инерция кучи қўйилган нуқта ва инерция кучи қиймати топилсин. Бунинг учун механизмни шу ондаги вазияти учун тезланишлар планини тузамиз (2.10-шакл, б). Тезланишларнинг вектор тенгласига асосланамиз:

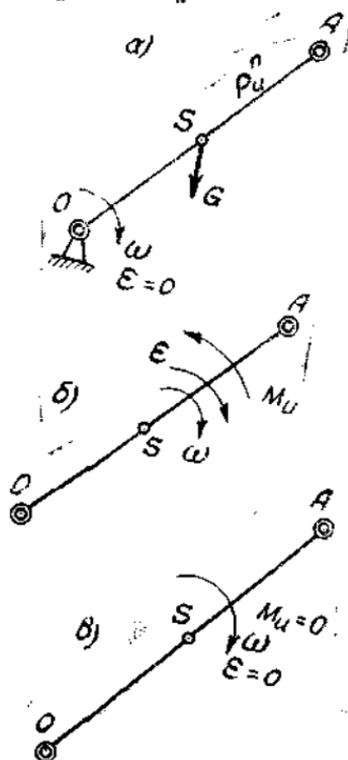
$$\bar{a}_s = \bar{a}_A = \bar{a}_{sA} \quad (9.29)$$

(9.29) тенгламанинг иккала томонини шатун массасига кўпайтирсак, қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$m_s \cdot \bar{a}_s = m_s \cdot \bar{a}_A + m_s \cdot \bar{a}_{sA}$$

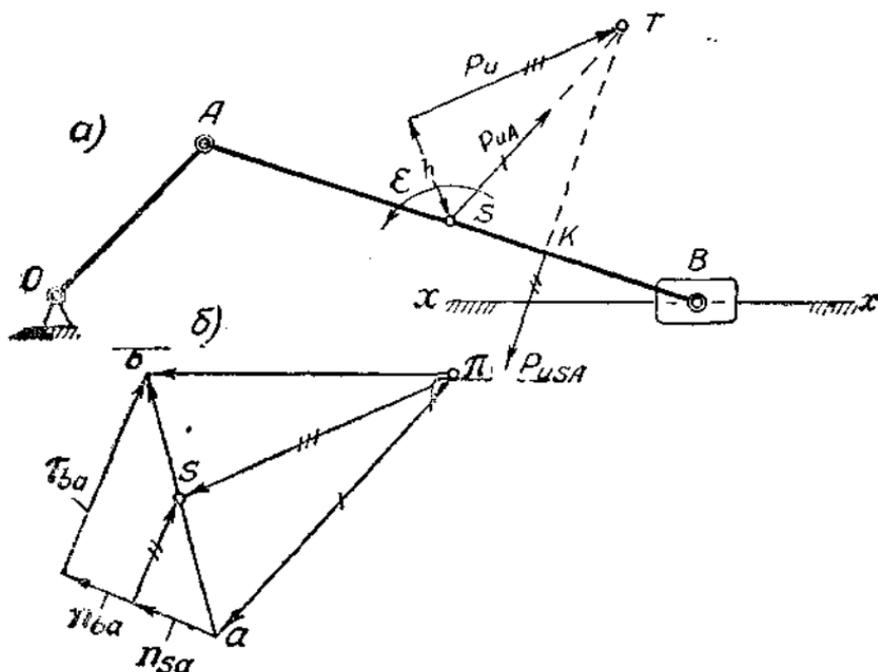
бу ерда, $\bar{P}_u^n = -m_s \bar{a}_s$ — шатуннинг тўла инерция кучи;

$\bar{P}_{uA}^t = -m_s \cdot \bar{a}_A$ — шатуннинг оғирлик марказига қўйилган массасининг \bar{a}_A тезланиш билан



2.9-шакл. Айланми ҳаракатдаги звенонинг уч вазияти.

қилган илгариланма ҳаракатидан ҳосил бўлган инерция кучи;
 $\bar{P}_{usA} = -m_s \bar{a}_{sA}$ — шатун массасининг A нуқта атрофида айланишидан ҳосил бўлган инерция кучи.



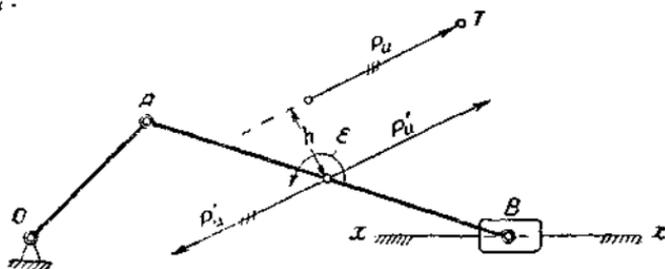
2.10-шакл: а — кривошип-шатунли механизм; б — тезланишлар плани.

P_{uA} вектори l_a векторига қарама-қарши ва параллел йўналган бўлиб, s нуқтадан ўтади. \bar{P}_{usA} эса \bar{v}_{sa} га параллел ва қарама-қарши йўналган. Унинг қўйилган нуқтаси, яъни зарб маркази (k) қуйидагича топилади:

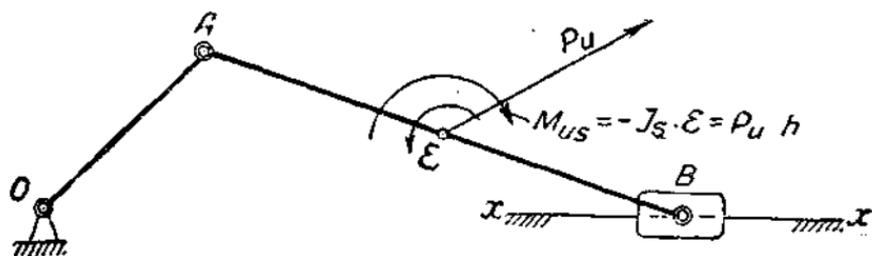
$$l_k = l_{Ak} = l_{As} + l_{sk} \\ l_k = l_{As} + \frac{I_s}{m_s \cdot l_{As}} \quad (9.30)$$

P_{uA} вектори P_{usA} вектори билан T нуқтада кесилди. Бу нуқта шатуннинг зарб марказидир; демак, шатуннинг тўла инерция кучи шу нуқтадан ўтиб, l_s тезланиш векторига параллел ва қарама-қарши йўналган (2.11-шакл, а).

2. Қўшимча моментлар усули. Шатун маркази (s) га 2.10-шакл, a даги P_a кучни келтирамиз. У ҳолда шатун марказига ($\overline{P}'_a, \overline{P}'_a$) ноль система кучи қўйилади (2.11-шакл). Агар T нуқтадаги P_a инерция кучини шатун маркази s га назарий механика қондасига бинсан келтирсак, s га қўйилган P' инерция кучи билан $M_{us} = -\varepsilon \cdot I_s$ momenti пайдо бўлади (2.12-шакл) $P'_a = P_a$.



2.11-шакл. Кривошип-шатунли механизм шатуннинг инерция кучини қўшимча момент усули билан топилш.



2.12-шакл. Кривошип-шатунли механизм шатунга инерция кучи ва инерция кучининг momenti қўйилган.

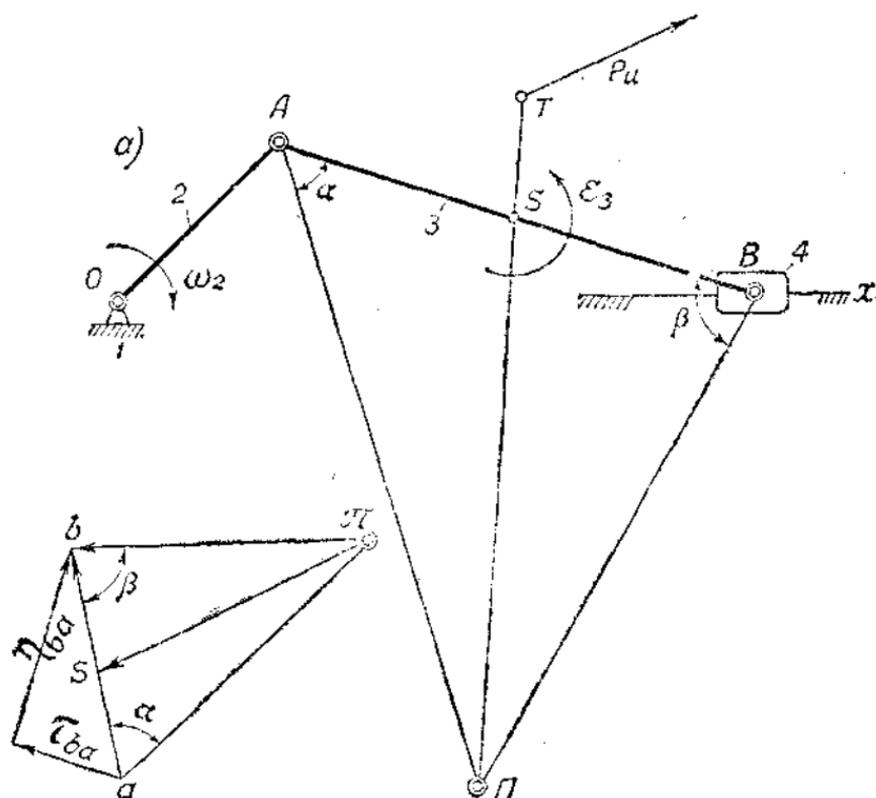
3. Оний тезланишлар марказидан фойдаланиш усули. 2.13-шаклдаги аксиал кривошип-шатунли механизм AB шатунининг инерция кучи топилсин. Механизм учун тезланишлар планини тузамиз (2.13-шакл, б). AB шатуннинг оний тезланишлар маркази (Π) ни тезланишлар планига ўхшатма қилиб толамиз:

$$\overline{\Pi T} = \frac{l}{m_s \cdot \overline{\Pi s}} = \frac{l_s + m_s (\overline{\Pi s})^2}{m_s \cdot \overline{\Pi s}} = \overline{\Pi s} + \frac{l_s}{m_s \cdot \overline{\Pi s}}$$

Шундай қилиб, $\overline{\Pi T}$ масофада P_a ни $\overline{\Pi s}$ га параллел ва қарама-қарши қилиб қўямиз. Агар механизм бирор K_M масштабда чизилган бўлса, юқоридаги формула қуйидагича ёзилади:

$$l_k = K_M (\overline{\Pi T}) = K_M \cdot \left(\overline{\Pi s} + \frac{l_s}{K_M \cdot m_s (\overline{\Pi s})} \right) \quad (9.31)$$

4. Алмашинувчи массалар усули. Механизмлар динамикасини ўрганишда, кўпинча, алмашинувчи массалар усули деб аталган усулдан фойдаланишга тўғри келади. Масалан, юқорида баён қилинган (2.12 ва 2.13-шакллар) кривошип-шатули



2.13-шакл: а—кривошип-шатули механизм; б—тезлашувлар плани. Шатунинг инерция кучини оний тезлашувлар марказидан фойдаланиб топиш.

механизм AB шатунининг массаси фақат s нуқтага эмас, балки иккита A ва B нуқталарга ўрнатилган массалардан иборат деб қараш мумкин. A ва B нуқталарга ўрнатилган массалар ихтиёрый массалар бўлмай, балки, маълум шарт асосида топилалди. Алмашинувчи массалар миқдорини топиш шартига қараб, уларни статик ва динамик алмашинувчи массалар деб қараш мумкин (2.14-шакл).

Статик алмашинувчи массаларни қуйидаги шартдан фойдаланиб топиш мумкин:

а) алмашинувчи массалар миқдорларининг йиғиндиси звено массасига тенг бўлиш шarti:

$$m_A + m_B = m_s \quad (9.32)$$

б) алмашинувчи массаларнинг звено марказидан ўтувчи ўққа нисбатан статик моментлари йиғиндиси нолга тенг бўлиш шarti:

$$\sum m_i a_i = m_A \cdot a + m_B \cdot b = 0$$

Юқоридagi тенгламалардан m_A ва m_B ни топамиз:

$$\left. \begin{aligned} m_A &= \frac{b}{a+b} \cdot m_s \\ m_B &= \frac{a}{a+b} \cdot m_s \end{aligned} \right\} \quad (9.33)$$

(9.33) тенгламалардаги m_A ва m_B массалар *статик алмашинувчи массалар* деб аталади (2.14-шакл).

Динамик алмашинувчи массалар эса қуйидаги уч шартдан фойдаланиб топилади:

а) барча алмашинувчи массаларнинг йиғиндиси звенонинг умумий массасига тенг бўлиш шarti;

б) барча алмашинувчи массаларнинг звено марказидан ўтувчи ўққа нисбатан олинган статик моментлари йиғиндисининг нолга тенг бўлиш шarti;

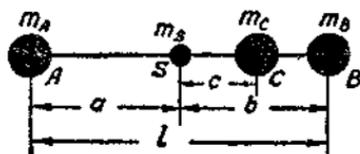
в) алмашинувчи массаларнинг звено марказидан ўтувчи ўққа нисбатан инерция моментларининг йиғиндиси шу звено массасининг марказидан ўтувчи ўққа нисбатан олинган инерция моментига тенг бўлиш шarti.

Агар 2.14-шаклда кўрсатилган звено массасини A , B , C нуқталарга ўриятилган алмашинувчи m_A , m_B ва m_C массалар билан динамик алмаштирамоқчи бўлсак, у ҳолда, юқорида айtilган уч шартнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} \sum m_i &= m_s \\ \sum m_i a_i &= 0 \\ \sum m_i a_i^2 &= I_s \end{aligned} \right\} \quad (9.34)$$

$$\left. \begin{aligned} m_A + m_B + m_C &= m_s \\ m_A \cdot a^2 + m_C \cdot c + m_B \cdot b &= 0 \\ m_A \cdot a^2 + m_C \cdot c^2 + m_B \cdot b^2 &= I_s \end{aligned} \right\} \quad (9.35)$$

(9.35) тенглама ечилса, m_A , m_B ва m_C алмашинувчи массалар топилади.



2.14-шакл. Статик (m_A , m_B) ва динамик (m_A , m_B , m_C) алмашинувчи массалар.

3-§. Кинематик занжирнинг статик аниқлик шартлари

Материаллар қаршилиги фанида статик аниқ балкалар тўғрисида маълумотлар берилган. Агар биз масаладаги ноаниқ (топилиши лозим бўлган) катталиклар сонига тенг тенглама туза олак, у ҳолда, масалани ҳал қилган бўламиз.

Машина ва механизмлар таркибидаги звеноларни кинематик бўлаб турувчи олий ва қуйи кинематик жуфтлар борлиги дарсликнинг кинематика бобида айтиб ўтилди. Бу параграфда механизмлар ҳаракати вақтида ана шу кинематик жуфтлардаги реакция кучларининг йўналиши ва улар қўйилган нуқталарнинг вазиятига қараб, механизмларнинг статик аниқ ёки статик аниқмаслиги билинади.

Агар механизм таркибидаги звенолар сони n та бўлса, шу n та звено учун $3n$ та мувозанат тенгламаси тузиш мумкин. Механизм таркибида фақат қуйи жуфтлар бўлса, ҳар қайси қуйи жуфтда иккита номаълум бўлади. Булардан бири қуйи кинематик жуфтдаги реакциянинг қиймати бўлса, иккинчиси шу реакция кучининг йўналишидир. Шундай қилиб, кинематик занжирдаги қуйи кинематик жуфтлар сони P_5 бўлса, номаълум катталиқ сони $2 \cdot P_5$ бўлади. Аниқланиши керак бўлган параметрлар сони мувозанат тенгламалари сонига тенг бўлган кинематик занжирлар *статик аниқ занжирлар* деб аталади. Юқорида баён этилганларнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$P_5 = \frac{3}{2} \cdot n \quad (9.36)$$

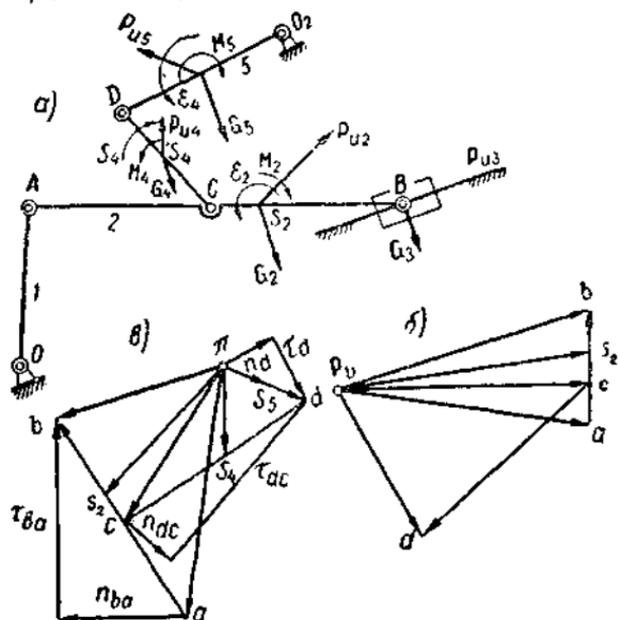
(9.36) тенгламадан маълум бўлишича, барча Ассур группаси статик аниқ занжирлар экан.

4-§. Механизм кинематик жуфтларидаги реакцияларни топиш

Механизм кинематик жуфтларидаги реакция кучларини топиш учун аввал механизмни Ассур группаларига бўламиз. Механизмлар кинематикаси ўрганилганда иш (текшириш) етакловчи звенодан бошланиб, энг охириги звенога келинган эди. Аммо статик ва кинематик текширишларда иш механизмга қўшилган энг охириги Ассур группаларидан бошланиб, энг охирида етакловчи звенонинг статикаси билан кинестатикаси ўрганилади.

47-масала. Масала равшан бўлиши учун 4.1-шакл, a да кўрсатилган механизмнинг шаклида кўрсатилган вазияти учун звеноларга таъсир этувчи кучларин ва уларнинг йўналишларини аниқлаб оламиз. Механизм K_M масъабда чизилган: I_{OA} , I_{AB} , I_{CD} ва I_{DO} эса маълум. O_1A кривошип φ_1 бурчак тезлиги билан айланади. Кривошипнинг оғирлиги эътиборга олинмайди, қолган звеноларнинг оғирликлари қуйидагича бўлади:

- G_2 — AB шатуннинг оғирлиги;
 S_2 — шатуннинг оғирлик маркази;
 G_3 — ползуннинг оғирлиги;
 G_5 — CD шатуннинг оғирлиги;
 S_4 — шатуннинг оғирлик маркази;
 G_5 — DO_2 коромислонинг оғирлиги;
 S_5 — коромислонинг оғирлик маркази;
 I_{S_2} — AB шатун массасининг S_2 нуқтадан ўтувчи ўққа нисбатан олинган инерция моменти;
 I_{S_4} — CD шатун массасининг S_4 нуқтадан ўтувчи ўққа нисбатан олинган инерция моменти;



4.1-шакл: а — механизм звеноларнинг инерция кучларини топиш; б — тезликлар плани; в — тезланишлар плани.

I_{S_5} — DO_2 коромисло массасининг S_5 нуқтадан ўтувчи ўққа нисбатан олинган инерция моменти.

Ечиш: авал механизмнинг шаклгаги вазияти учун K_0 масштабда тезликлар планини тузамиз (4.1-шакл, б), сўнгра K_a масштабда тезланишлар планини тузиб (4.1-шакл, в) қуйидагиларни топамиз:

$$a_{S_2} = K_a \cdot \overline{\pi s_2} \text{ [м сек}^{-2}\text{]} — AB шатун марказининг тўла тезланиши;$$

$$a_B = K_a \cdot \overline{\tau b} \text{ [м сек}^{-2}\text{]} — B ползунинг абсолют тезланиши;$$

$$e_2 = \frac{a_{BA}}{l_{BA}} = \frac{K_a \cdot \overline{\tau ba}}{l_{BA}} \text{ [сек}^{-2}\text{]} — AB шатуннинг бурчак тезланиши;$$

$$a_{S_4} = K_a \cdot \overline{\pi s_4} \text{ [м сек}^{-2}\text{]} — S_4 — нуқтанинг абсолют тезланиши;$$

$$e_4 = \frac{a_{DC}^c}{l_{DC}} = \frac{K_a \cdot \tau_{dc}}{l_{DC}} \text{ [сек}^{-2}\text{]}_1 - CD \text{ шатуннинг бурчак тезланиши;}$$

$$a_{S_5} = K_a \cdot \pi_{S_5} \text{ [м сек}^{-2}\text{]} - S_5 \text{ нуқтанинг абсолют тезланиши;}$$

$$e_5 = \frac{a_{DO_2}^c}{l_{DO_2}} = \frac{K_a \cdot \tau_{do_2}}{l_{DO_2}} \text{ [сек}^{-2}\text{]} - DO_2 \text{ коромислонинг бурчак тезланиши.}$$

Тегшли нуқталарнинг чизиқли тезланишлари билан тегшли звеноларнинг бурчак тезланишлари аниқланган, инерция кучлари билан инерция моментлари қуйидагича топилади:

$$\bar{P}_{u_1} = -\frac{G_2}{g} \cdot a_{S_1} \text{ [кг]} - AB \text{ шатуннинг инерция кучи;}$$

$$\bar{M}_2 = -e_2 \cdot I_{S_2} \text{ [кг м]} - AB \text{ шатун инерция кучининг momenti;}$$

$$\bar{P}_{u_2} = -\frac{G_3}{g} \cdot a_B \text{ [кг]} - B \text{ ползунинг инерция кучи;}$$

$$\bar{P}_{u_3} = -\frac{G_4}{g} \cdot a_{S_4} - CD \text{ шатуннинг инерция кучи;}$$

$$M_3 = e_4 \cdot I_{S_4} \text{ [кг м]} - CD \text{ шатун инерция кучининг momenti;}$$

$$\bar{P}_{u_5} = -\frac{G_6}{g} \cdot a_{S_5} \text{ [кг]} - DO_2 - \text{коромислонинг инерция кучи;}$$

$$M_5 = -e_5 \cdot I_{S_5} \text{ [кг м]} - DO_2 - \text{коромисло инерция кучининг momenti.}$$

Инерция кучларини тегшли чизиқли тезланишларга қарама-қарши ва параллел йўналтириб, звенолардаги тегшли нуқталага қўямиз; моментларини эса тегшли бурчак тезланишларига қарама-қарши йўналтирамыз. Кучлар ва моментлар қўйилган механизмнинг вазияти (4.1-шакл, а) да тасвирланган.

Ҳар қандай механизм икки йўл билан — статик ва кинестатик йўллар билан ҳисобланиши мумкин. Статик йўл билан ҳисоблашда фақат оғирлик кучи ва бошқа кучлар ҳисобга олинади. Кинестатик йўл билан ҳисоблашда эса шу кучларга инерция кучи ҳам қўшилади.

Статик йўл билан ҳисоблаш фақат секин айланувчи (ҳаракатланувчи) механизмлар учун татбиқ қилинса, кинестатик йўл билан тез ҳаракатланувчи механизмлар ҳисобланади.

Кинестатик йўл билан ҳисоблашда, асосан, Д'Аламбер принциpidан фойдаланилади. Бу принцип қуйидагича таърифланади: *звенога таъсир қилувчи барча кучларга инерция кучини қўшиб, системани шу оғда мувозанатда деб қараши мумкин. Бунинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:*

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i + \bar{P}_u = 0 \quad (9.37)$$

5-§. Ассур группаларининг кинестатик каси

5.1-шаклда 1 модификацияли Ассур группаси K_M масштабда чизилган. Унинг 2 ва 3 звеноларига G_2, P_2, M_2 ва G_3, P_3 ва M_3 кучлар билан моментлар таъсир этаётир. Шу куч ва моментлар

таъсирдан A , B ва C шарнирлардаги (кинематик жуфтлардаги) реакция кучлари топилсин.

1 звено ташлаб юборилган, унинг 2 звенога таъсирини P_{12} орқали, 4 звенонинг 3 звенога таъсирини эса P_{43} орқали ва 2 звенонинг 3 звенога таъсирини P_{23} орқали белгилаб оламиз.

Кинематик жуфт элементлари ва звеноларида мустақкамлик шarti мавжуд эканлигини эътиборга олиб ва Ньютоннинг таъсир акс таъсирга тенг деган қонунидан фойдаланиб, қуйидаги тенгликларни эслаб ўтиш фойдалидир:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{12} &= -\bar{P}_{21} \\ \bar{P}_{23} &= -\bar{P}_{32} \\ \bar{P}_{43} &= -\bar{P}_{34} \end{aligned} \quad (9.37)$$

Масалани ечиш учун академик Бруевич методидан фойдаланамиз, яъни P_{12} ва P_{43} реакция кучларини қуйидагича ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{12} &= \bar{P}_{12}^n + \bar{P}_{12}^t \\ \bar{P}_{43} &= \bar{P}_{43}^n + \bar{P}_{43}^t \end{aligned} \quad (9.38)$$

(9.38) тенгламалардаги \bar{P}_{12}^n — AB звено ўқи бўйлаб, \bar{P}_{12}^t эса шу ўққа тик; \bar{P}_{43}^n эса BC звено ўқи бўйлаб ва \bar{P}_{43}^t эса шу ўққа тик йўналган деб қараймиз.

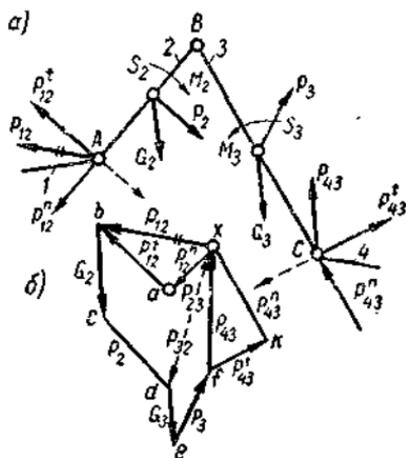
Группадаги 2 ва 3 звеноларни ўзларига таъсир этаётган кучлар ва моментлар таъсирида, ҳозирги онда, мувозанатда деб қараймиз. Группа таркибидаги ҳар бир звено ҳам мувозанатда бўлади.

2 звенога таъсир этаётган кучларнинг B шарнир марказига нисбатан олинган моментларининг йиғиндисини нолга тенглигидан фойдаланиб, \bar{P}_{12}^t ни тонамиз:

$$\sum \text{мом}_B(P_i) = 0.$$

Бундан

$$\begin{aligned} \bar{P}_{12}^t \cdot l_{AB} - M_B(G_2) - M_B(P_2) + M_2 &= 0 \\ \bar{P}_{12}^t &= \frac{M(G_2) + M(P_2) - M_2}{l_{AB}} \quad \kappa\Gamma \end{aligned} \quad (9.39)$$



5.1- шакл.

3 звенога таъсир этувчи кучларнинг B шарнир марказига нисбатан олинган моментлари йиғиндисининг нолга тенглигидан фойдаланиб, \bar{P}'_{43} ни топамиз:

$$\sum \text{мом}_B(P_i) = 0$$

3 звено учун

$$\begin{aligned} \bar{P}'_{43} \cdot l_{BC} + M_B(G_3) - M_B(P_3) - M_3 &= 0 \\ \bar{P}'_{43} &= \frac{M_B(P_3) + M_3 - M_B(G_3)}{l_{BC}} \end{aligned} \quad (9.40)$$

P'_{12} нинг қиймати мусбат, P'_{43} нинг қиймати манфий чиққан деб фараз этиб, йўналишларини шаклда кўрсатишгадек қилиб қўямиз.

2.3-группага таъсир этаётган кучларнинг мувозанат шартини ёзамиз:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P} = 0, \quad (9.41)$$

$$\bar{P}'_{12} + \bar{P}'_{12} + \bar{G}_2 + \bar{P}_2 + \bar{G}_3 + \bar{P}_3 + \bar{P}'_{43} + \bar{P}'_{43} = 0.$$

(9.41) даги \bar{P}'_{12} билан \bar{P}'_{43} ларнинг таъсир чизиқлари маълум. Шу вектор тенгликка $K_P \left[\frac{K_2}{M_4} \right]$ масштабида кучлар планини тузиб, шу кучлар планидан \bar{P}'_{12} ва \bar{P}'_{43} ларни қўйидагича топамиз:

$$P'_{12} = K_P \cdot (xa) \quad P'_{43} = K_P \cdot (xk)$$

P_{12} ва P_{43} — тўлиқ реакция кучлари эса кучлар планидан қўйидагича топилади:

$$P_{12} = K_P \cdot (xb)$$

$$P_{43} = K_P \cdot (xf)$$

2 звенонинг 3 звенога бўлган таъсир кучини, яъни P_{23} ни топиш учун қўйидаги вектор тенгламани тузамиз:

$$\bar{P}_{43} + \bar{G}_3 + \bar{P}_3 + \bar{P}_{23} = 0 \quad (9.42)$$

5.1-шакл, б дан P_{23} ни қўйидагича топамиз:

$$P_{23} = K_P \cdot (xd)$$

$P_{23} = -P_{32}$ — эканлиги кучлар планидан равшандир.

5.2-шакл, а да икки поводокли биринчи модификацияли Ас-сур группаси ва унга таъсир этувчи P_2 , P_3 кучлар билан M_2 ва

M_3 моментлар берилган. Ассур группаси K_M масштабда чизилган. 2—3 Ассур группасидаги A кинематик жуфтнинг 1 звенога тегишли элементи билан C кинематик жуфтнинг 4 звенога тегишли элементи ташлаб юборилган; 1 звенонинг 2 звенога таъсир кучини бирор P_{12} билан 4 звенонинг 3 звенога таъсир кучини P_{43} билан белгилаймиз. P_{12} ва P_{43} кучлар бизга номаълум. Иккала кучини звено ўқи бўйлаб йўналган нормал ва звено ўқига тик йўналган тангенциал кучларга фикран ажратамиз (бу метод академик Г. Г. Бруевич методи деб аталади). Айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned} \overline{P}_{12} &= \overline{P}_{12}^n + \overline{P}_{12}^t \\ \overline{P}_{43} &+ \overline{P}_{43}^n + \overline{P}_{43}^t \end{aligned} \quad (9.43)$$

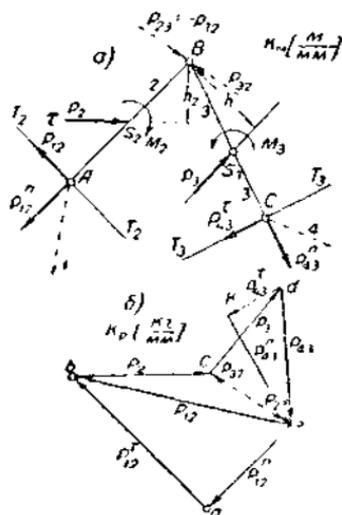
(9.43) формуладаги \overline{P}_{12}^n ва \overline{P}_{43}^n нормал ташкил этувчилар бўлиб, уларнинг қийматлари билан йўналишлари маълум эмас, аммо улар таъсир чизиқларининг звено ўқларига параллел эканлиги маълумдир. \overline{P}_{12}^t ва \overline{P}_{43}^t лар тангенциал ташкил этувчилар бўлиб, уларнинг ҳам катталиклари билан йўналишлари номаълум, лекин улар таъсир чизиқларининг звено ўқларига тик эканлиги маълум. Тангенциал кучларнинг йўналишини ўз ихтиёримиз билан танлаб оламиз. Танлаб олинган йўналишда тангенциал кучнинг B нуқтага нисбатан олинган моменти соат стрелкаси юрадиган томон айлантيرувчи момент бўлса, уни плюс деб, соат стрелкаси юрадиган томонга тескари айлантيرувчи момент бўлса, минус деб қабул қиламиз.

5.2-шакл, a даги \overline{P}_{12}^t ни T_2T_2 бўйлаб, \overline{P}_{43}^t ни эса T_3T_3 бўйлаб, плюс момент берувчи томонга йўналтирамиз. \overline{P}_{12}^n билан \overline{P}_{43}^n нинг йўналиши ҳали бизга маълум эмас.

A кинематик жуфтдаги реакция кучларини топиш учун 2 звенога таъсир этувчи кучларнинг B нуқтага нисбатан моментлари йиғиндисини нолга тенглигидан қуйидагича фойдаланамиз:

2 звено учун:

$$\sum_{i=1}^4 \text{момент}(P_i) = 0 \quad (9.44)$$



5.2-шакл: а — Ассур группаси; б — кучлар плани.

(9.44) тенгламани 2 звенога татбиқ этсак, қуйидаги келиб чиқад:

$$\sum_{i=1}^4 \text{мом}_B(P_i) = P_{12}^r \cdot l_{AB} - P_2 \cdot l_2 + M_2 = 0; \quad l_2 = K_M \cdot h_2$$

бундан:

$$P_{12}^r = \frac{P_2 \cdot l_2 - M_2}{l_{AB}} \quad (9.45)$$

бўлади.

P_{12}^r нинг B нуқтага нисбатан елкаси бўлмагани учун моменти ҳам полдир: $l_2 = k_M \cdot h_2$; $l_2 - P_2$ кучининг B га нисбатан натурал елкаси.

P_{12}^r нинг (9.45) формуладан топилган скаляр қиймати плюс бўлса, танлаб олинган йўналиш ўзича қолади, агар минус чиқса, йўналиш қарама-қарши томонга қўйилади. Шундай қилиб, P_{12}^r нинг скаляр ҳамда вектор қийматларини билиб олдик.

3 звенога таъсир этувчи кучлар моментларининг мувознат шартидан қуйидагини оламиз:

$$\sum_{i=1}^4 \text{мом}_B(P_i) = 0$$

3 звено учун

ёки

$$P_{43}^r \cdot l_{BC} - P_3 \cdot l_3 - M_3 = 0$$

$$P_{43}^r = \frac{M_3 + P_3 \cdot l_3}{l_{BC}} \quad (9.46)$$

бу ерда, $l_3 = K_M \cdot h_3$; $l_3 - P_3$ кучининг B га нисбатан елкаси P_{43}^r нинг скаляр қиймати плюс бўлганидан, йўналиши ҳам ўзича қолади. P_{43}^r нинг B га нисбатан елкаси бўлмагани учун унинг моменти полдир (5.2-шакл, а).

Реакция кучларининг нормал ташкил этувчиларини топиви учун 2—3 группага таъсир этувчи барча кучларнинг йиғиндиси полга тенглигидан фойдаланамиз:

$$\sum_{i=1}^6 P_i = \overset{?}{P}_{12}^r + \bar{P}_{12}^r + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \overset{?}{P}_{43}^r + \bar{P}_{43}^r \quad (9.47)$$

2—3 группа учун

(9.47) тенгламадаги икки номаълум — \bar{P}_{12}^r билан \bar{P}_{43}^r ни топиви учун $K_P \left[\frac{K_2}{M_M} \right]$ масштабда кучлар кўпбурчагини чизамиз (5.2-

шакл, б). Бунинг учун 2—3 группага таъсир этувчи кучларнинг K_p масштабдаги кесмаларини қуйидагича топамиз:

$$\overline{ab} = \frac{P_{12}^*}{K_p} [мм] — P_{12}^* кучни ифодаловчи кесма вектор;$$

$$\overline{bc} = \frac{P_2}{K_p} [мм] — P_2 кучни ифодаловчи кесма вектор;$$

$$cd = \frac{P_3}{K_p} [мм] — P_3 кучни ифодаловчи кесма вектор;$$

$$\overline{dk} = \frac{P_{43}^*}{K_p} [мм] — P_{43}^* кучни ифодаловчи кесма вектор.$$

Энди, кучларнинг 5.2-шакл, б да кўрсатилган планини чиқишга киришамиз. Бунинг учун ихтиёрини a нуқтани танлаб, шу нуқтадан \overline{P}_{12}^* кучни ифодаловчи \overline{ab} кесмани \overline{P}_{12}^* кучга параллел қилиб ўтказамиз, сўнгра \overline{ab} векторнинг учидан P_2 кучни ифодаловчи \overline{bc} кесмани P_2 кучга параллел қилиб, худди шу йўсинда \overline{cd} кесмани P_3 кучга ва \overline{dk} кесмани P_{43}^* кучга параллел қилиб ўтказамиз-да, $abcdk$ ни ҳосил қиламиз. (9.47) тенгламадаги \overline{P}_{12}^* билан \overline{P}_{43}^* ҳам вектор бўлиб, уларнинг таъсир чизиқлари маълум, холос. Мувозанат шартидан фойдаланиб, k нуқтадан \overline{BC} га, a нуқтадан эса \overline{AB} га параллел чизиқлар ўтказамиз-да, уларнинг кесишув нуқталарини e билан белгилаб, $abcdkea$ ёпиқ векторлар контурини ҳосил қиламиз. Шаклдан қуйидагиларни топамиз:

$$P_{12}^* = K_p \cdot \overline{ea} [кг] — йўналиши шакллагича;$$

$$P_{43}^* = K_p \cdot \overline{ke} [кг] — йўналиши шакллагича;$$

$$P_{12} = K_p \cdot \overline{eb} [кг] — 1 звенонинг 2 звенoga таъсир кучи;$$

$$P_{43} = K_p \cdot \overline{de} [кг] — 4 звенонинг 3 звенoga таъсир кучи.$$

2 ва 3 звеноларга таъсир этувчи M_2 ва M_3 моментлар жуфт кучларга эга бўлганлигидан, улар кучлар планидан ўрин олмайди.

Энди, 3 звенонинг 2 звенoga таъсир кучини (\overline{P}_{32} ни) қуйидаги мувозанат шартидан топамиз:

$$\overline{P}_{12} + \overline{P}_2 + \overline{P}_{32} = 0 \quad (9.48)$$

$ebce$ кучлар планидан P_{32} нинг скаляр қийматини топамиз:

$$P_{32} = K_p \cdot \overline{ce} [кг] \quad (9.49)$$

$$P_{12}^* = \frac{M_B(P_2) - M_2}{l_{AB}} \quad (9.50)$$

Тенгламадан олинган қийматни манфий десак, у ҳолда P_{12}^* ни 180° га буришга тўғри келади.

2—3- группа звеноларига таъсир этаётган кучлар мувозанатидан фойдаланиб қуйидаги вектор тенгламаларни тузамиз:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = 0$$

2—3 группа учун

$$\bar{P}'_{12} + \bar{P}^a_{12} + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \bar{P}_{43} = 0 \quad (9.51)$$

(9.51) тенгламага K_P масштабида кучлар плани тузиб шу пландан \bar{P}_{43} билан \bar{P}^a_{12} ни қуйидагича топамиз:

$$P_{43} = K_P \cdot (\bar{d}x)$$

$$P^a_{12} = K_P \cdot (\bar{x}a)$$

$\bar{P}_{12} = \bar{P}^a_{12} + \bar{P}'_{12}$ винг скаляр миқдори қуйидагича топилади:

$$P_{12} = K_P \cdot (\bar{x}b)$$

2 звенонинг 3 звенога таъсир кучини топиш учун қуйидаги вектор тенгламадан фойдаланамиз:

$$\bar{P}_{43} + \bar{P}_3 + \bar{P}_{23} = 0 \quad (9.52)$$

3 звенонинг 2 звенога таъсир кучи эса қуйидаги вектор тенгламадан фойдаланиб топилади:

$$\bar{P}_{12} + \bar{P}_2 + \bar{P}_{32} = 0 \quad (9.53)$$

$P_{23} = -P_{32}$ эканлигини 5.3- шакл, б дан кўриш қийин эмас:

$$P_{23} = K_P \cdot (\bar{x}c)$$

$$P_{32} = K_P \cdot (\bar{c}x)$$

3 звенога таъсир этувчи барча кучларнинг B га нисбатан олинган моментларининг мувозанат шартидан фойдаланиб, P_{43} кучининг қуйилган нуқтасини топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = 0,$$

3 звено учун

$$-M_3 - M_B(P_3) + P_{43} h P_{43} \cdot K_M = 0, \quad (9.54)$$

$$h P_{43} = \frac{M_3 + M_B(P_3)}{K_M \cdot P_{43}}$$

Шаклдан кўринишича P_{43} нинг қўйилиши xx — даги K нуқтада бўлмай, балки K' нуқтада эканлигини кўриш осондир, чунки P_{43} кучининг скаляр қиймати манфий бўлмай мусбатдир.

5.3-шакл, *a* да иккинчи модификацияли Ассур группаси тасвирланган. Ассур группасининг 2 звеносига P_2 куч ва M_2 момент таъсир этаётир. 3 звеносига эси P_3 куч билан M_3 момент қўйилган. 2 звено билан 3 звено, агар уларнинг ҳар иккаласига тенгшили $P_{23} = -P_{32}$ реакциялар қўйилса, у ҳолда уларни алоҳида-алоҳида мувозанатда деб қараш мумкин.

2 звенога таъсир этаётган кучларнинг B га нисбатан моментларининг мувозанат шартини қуйидагича ёзамиз ва ундан P_{12} ни топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = 0$$

2 звено учун

$$P'_{12} \cdot l_{AB} - M_B(P_2) + M_2 = 0 \quad (9.55)$$

5.4-шакл, *a* да икки повождоқли иккинчи модификацияли 2—3 Ассур группаси ва унга таъсир этувчи \bar{P}_2 , \bar{P}_4 кучлар билан M_2 момент берилган. A ва B кинематик жуфтлардаги реакциялар билан P_{43} реакция кучи топилиши керак.

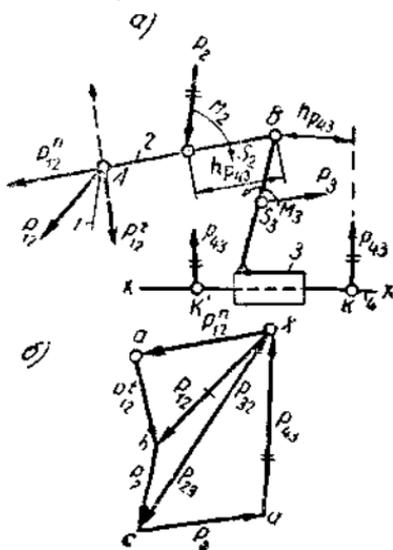
Кинематик жуфтдан \bar{P}_{12} реакцияни \bar{P}_{12}^n , \bar{P}_{12}^t тузувчиларга фикран ажратамиз-да, 2 звенога таъсир этувчи кучларнинг B нуқтага нисбатан моментлари йиғиндисининг нолга тенглигидан фойдаланиб, P_{12}^t ни қуйидагича топамиз:

2 звено учун

$$\sum_{i=1}^4 \text{мом}_B(P_i) = +P_{12}^t \cdot l_{AB} - P_2 \cdot l_2 + M_2 = 0$$

ёки

$$P_{12}^t = \frac{P_2 \cdot l_2 - M_2}{l_{AB}} \quad [\text{кг}] \quad (9.56)$$



5.3-шакл.

P'_{12} нинг қийматини манфий деб қараб, йўналишини ўзига тескари қолдирамыз. P'_{12} нинг қиймати мусбат чиққанда эди, йўналишини ўзгартриши лозим бўлмас эди.

Группага таъсир этувчи кучлар мувозанатидан фойдаланиб \overline{P}_{12} билан \overline{P}_{43} ни топамиз. Бунинг учун қуйидаги кучлар мувозанатини тузамиз:

$$\sum_{i=1}^5 P_i = \overline{P}'_{12} + \overline{P}'_{12} + \overline{P}_2 + \overline{P}_4 + \overline{P}_{43} = 0 \quad (9.57)$$

2—3 группа учун

Кучлар планини K_P масштабда тузамиз. Бунинг учун звеноларга таъсир этувчи кучларни масштабга бўлиб, тегишли кесма-векторларни қуйидагича топамиз:

$$\overline{ab} = \frac{P_4}{K_P} [\text{мм}] - P_4 \text{ кучининг масштаб ифодаси;}$$

$$\overline{bc} = \frac{P_2}{K_P} [\text{мм}] - P_2 \text{ кучининг масштаб ифодаси;}$$

$$\overline{cd} = \frac{P'_{12}}{K_P} [\text{мм}] - P'_{12} \text{ кучининг масштаб ифодаси.}$$

Кучлар планини тузамиз. Бунинг учун ихтиёрый a нуқтадан \overline{ab} ни P_4 га, b дан \overline{bc} ни P_2 га ва c дан \overline{cd} ни \overline{P}'_{12} га, d дан AB га, a дан эса NN' га параллел ўтказиб, уларнинг кесишув нуқтаси (e) ни топамиз. Шундай қилиб $abcdea$ ёпиқ контурдан иборат кучлар плани ҳосил қилинади (5.4-шакл, б).

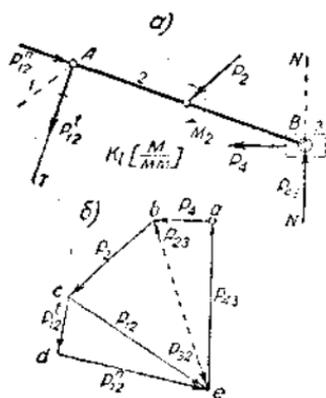
Кучлар таъсиридан группа шу онда мувозанатда бўлганидан, кучлар планидаги векторларнинг йўналиши ҳам бир-бирини қувиб юради. Кучлар планидан қуйидагиларни топамиз:

$P_{12} = K_P \cdot \overline{ce} [\text{кг}] - A$ даги реакция кучи;

$P_{13} = K_P \cdot \overline{ea} [\text{кг}] - xx$ йўналтирувчининг ползунга таъсири.

B нуқтадаги реакция кучлари ($\overline{P}_{23} = -\overline{P}_{32}$) ни топамиз. 3 звенонинг 2 звенога таъсири қуйидаги вектор тенгламадан топилади:

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



5.4-шакл: а — икки поводокли 2-гур группа; б — кучлар плани.

$b\bar{e}b$ кучлар плавидан P_{32} ни қуйидагича топамиз:

$$P_{32} = K_p \cdot \bar{e}b \text{ [кг]}$$

2 звенонинг 3 звенога таъсири қуйидаги вектор тенгламадан топилади:

$$\bar{P}_{43} + \bar{P}_4 + \bar{P}_{23}^? = 0$$

$c\bar{a}b\bar{e}$ кучлар плавидан P_{23} ни қуйидагича топамиз:

$$P_{23} = K_p \cdot \bar{b}\bar{e} \text{ [кг]}$$

$P_{32} = -P_{23}$ эканлиги, яъни таъсир акс таъсир вужудга келтириши 5.4-шакл, b дан бизга аёнدير.

5.5-шакл, a да 3—4 икки поводокли учинчи модификацияли Ассур группаси ва унга таъсир этувчи P , G_3 , G_4 , P_4 кучлар билан M_4 момент берилган. A ва O_2 кинематик жуфтларда шу кучлар ва момент таъсирдан ҳосил бўлган $P_{43} = -P_{34}$ реакция кучи топилсин.

Масала қуйидаги тарзда ечилади: P_{O_2} ни, яъни қўзғалмас 1 звенонинг 4 звенога таъсир кучини P_{14} билан белгилаб, уни икки тузувчига $-\bar{P}_{14}^r$ билан \bar{P}_{14}^i га ажратамиз.

P_{14}^r ни мусбат момент берувчи куч деб қабул қиламиз ва A га нисбатан 4 звенога таъсир этувчи кучлар момент арининг мувозанат шартини тузамиз (5.5-шакл, a):

$$\sum_{i=1}^7 \text{мом}_A(P_i) = P_{14}^r \cdot l_{O_2A} + G_3 \cdot l_{G_3} + P_4 \cdot l_{P_4} - P_C \cdot l_{PC} + M_4 = 0.$$

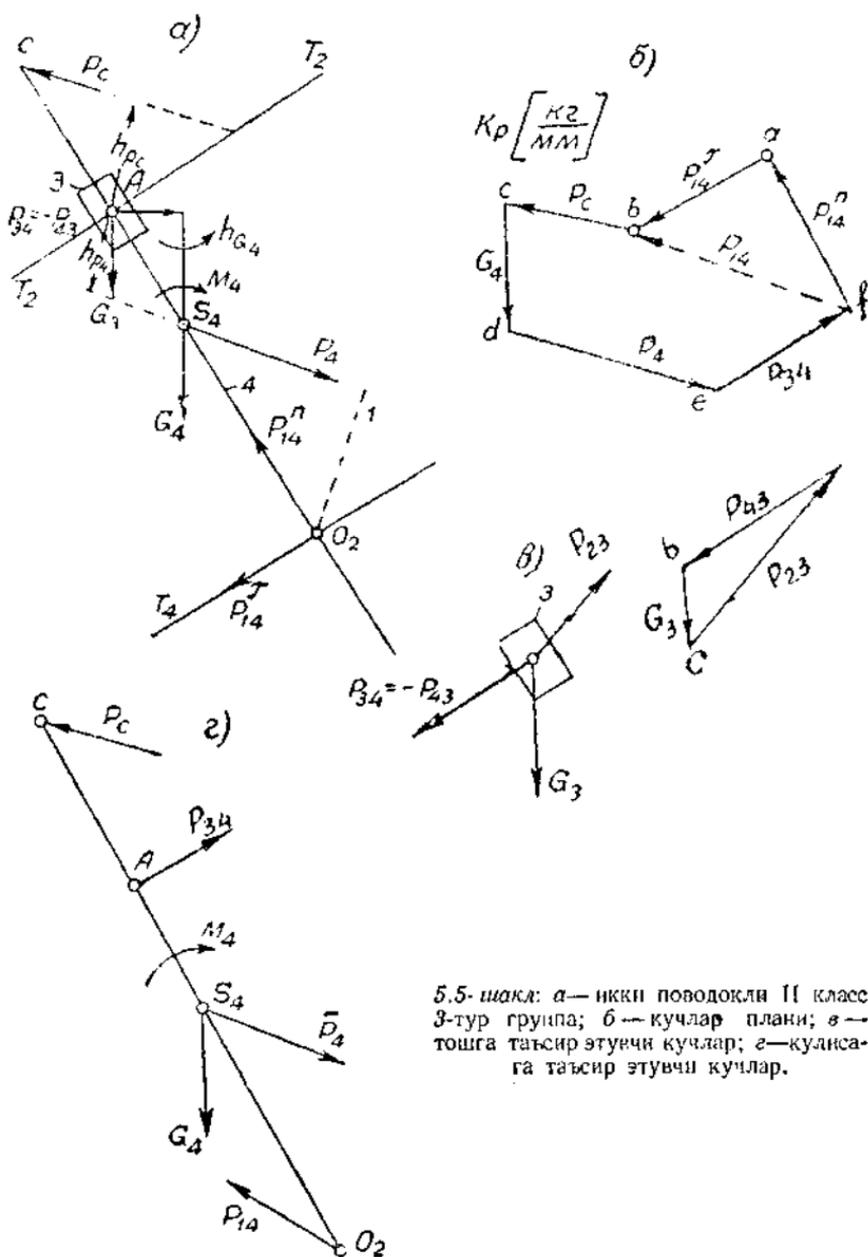
$$P_{14}^r = \frac{P_4 \cdot l_{G_4} + P_C \cdot l_C - G_4 \cdot l_{G_4} - M_4}{l_{O_2A}} \text{ [кг]} \quad (9.58)$$

P_{14}^r ни мусбат деб қараб, қабул қилинган йўналишини ўз ҳолида қолдирамиз.

4 звенога таъсир қилувчи кучларнинг мувозанат шартини тузамиз:

$$\sum_{i=1}^7 P_i = \bar{P}_{14}^r + \bar{P}_{14}^i + \bar{G}_4 + \bar{P}_4 + \bar{P}_{34}^? + \bar{P}_C = 0 \quad (9.59)$$

(9.58) вектор кучлар мувозанатига K_p масштабда кучлар плавини тузамиз ва \bar{P}_{14}^r билан \bar{P}_{34} реакцияларни топамиз (6.5-шакл, b). Бунинг учун ихтиёрий a нуқтадан тегишли вектор-кесмаларни, звенога таъсир этувчи кучларга параллел қилиб ўтказамиз-да,



5.5-шакл: а — икки поводокли II класс 3-тур группа; б — кучлар плани; в — тошга таъсир этувчи кучлар; г — кулсага таъсир этувчи кучлар.

$abcdfa$ ёпиқ контурни ҳосил қиламиз (5.5-шакл, б). Бундан қуйидагиларни топамиз:

$$P_{14} = K_p \cdot \overline{fb} \text{ [кг]} - 1 \text{ звенонинг } 4 \text{ звенога таъсир кучи;}$$

$$P_{34} = K_p \cdot \overline{ef} \text{ [кг]} - 3 \text{ звенонинг } 4 \text{ звенога таъсир кучи.}$$

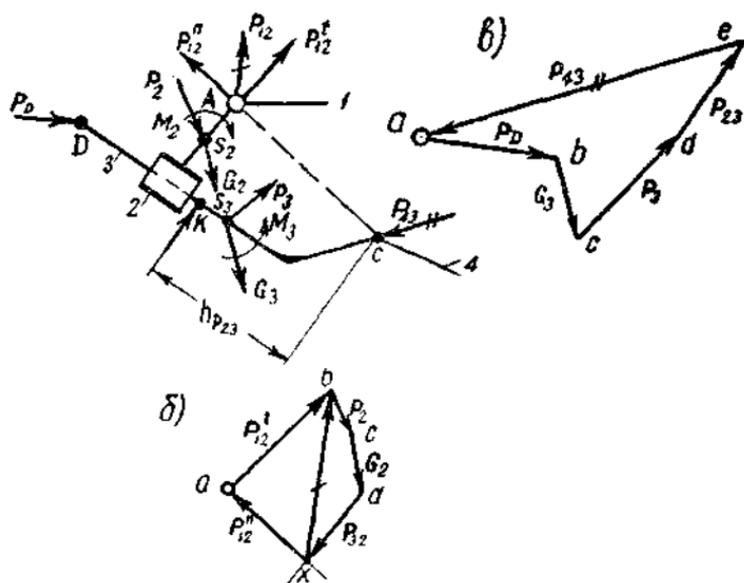
Тошнинг (3 звенонинг) мувозанат шартини текшираемиз (5.5-шакл, е):

$$\overline{P}_{43} + \overline{G}_3 + \overline{P}_{23} = 0 \quad (9.60)$$

$abca$ кучлар планидан $P_{23} = K_p \cdot ca \text{ [кг]}$. Кулисанинг (4 звенонинг) мувозанат шarti 5.5-шакл, г дағи кучлар таъсиридан бўлади:

$$\overline{P}_{14} + \overline{G}_4 + \overline{P}_4 + \overline{P}_C + \overline{P}_{24} = 0 \quad (9.61)$$

(9.61) вектор тенгламанинг ҳал этилиши кучлар планини қуриш билан бўлади. Буни ўқувчига ҳавола этамиз.



5.6-шакл.

5.6-шаклда 2 ва 3-звенолардан тузилган учинчи модификацияли Ассур группаси тасвир этилган. 2 звенога G_2 , P_2 кучлар ва M_2 момент, 3 звенога эса G_3 , P_3 ва P_D кучлар билан M_3 момент қўйилган. Шу кучлар ва моментлар таъсиридан группанинг кинематик жуфтларидаги реакциялар ва уларнинг йўналишлари ҳамда қўйилган нуқталари топилсин.

Масалани ҳал этиш учун ташлаб юборилган 1 звенонинг 2 звенюга таъсир кучини P_{12} деб, уни бир-бирига тик бўлган иккита кучга қуйидагича ажратамиз:

$$\bar{P}_{12} = \bar{P}_{12}^n + \bar{P}'_{12} \quad (A \text{ шарнирга қўйилган}).$$

A шарнир маркази билан C шарнир марказини бирлаштирамиз: P_{12}^n реакцияни AC чизиқ бўйлаб йўналтирамиз. P'_{12} ни эса AC га тик (ёки $P_{12}^n \perp P'_{12}$) қилиб оламиз.

2—3 группага таъсир этаётган кучларнинг C га нисбатан олинган моментларининг йиғиндиси нолга тенглигидан фойдаланиб, қуйидаги шартни ёзиш ва ундан P'_{12} ни топиш мумкин:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_C(P_i) = 0$$

2—3 группа учун

$$P'_{12} \cdot l_{AC} + M_C(P_3) - M_C(G_3) - M_3 + M_C(P_D) - M_C(P_2) - M_C(G_2) + M_2 = 0$$

$$P'_{12} = \frac{-M_C(P_3) + M_C(G_3) + M_3 - M_C(P_D) + M_C(P_2) + M_C(G_2) - M_2}{l_{AC}} \quad \kappa\Gamma (9.61')$$

Энди 2 звенюга таъсир этаётган кучлар йиғиндиси нолга тенглигидан фойдаланиб (ёки 2 звенонинг мувозанат шартидан фойдаланиб) қуйидаги вектор тенгламани тузамиз:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = 0$$

2 звеню учун

$$\bar{P}'_{12} + \bar{P}_{12}^n + \bar{G}_2 + \bar{P}_2 + \bar{P}_{32} = 0 \quad (9.62)$$

(9.62) вектор тенгламага $K_P \left[\frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}} \right]$ масштабида кучлар планини тузиб (5.6-шакл), шу пландан тегишли кучларни топамиз:

$$\bar{P}_{12}^n = K_P \cdot (\bar{x}a),$$

$$P_{12} = K_P \cdot (\bar{x}b),$$

$$P_{32} = K_P \cdot (\bar{x}d)$$

мувозанатида фойдаланамиз:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = 0$$

кучларини ҳисобга олмаганда). (9.67) тенгламадаги кучлардан K_P масштабида кучлар планини тузамиз ва шу пландаги \bar{P}_{23} ва \bar{P}_{43} ларни миқдор ва йўналишларини қуйидагича топамиз (5.7-шакл, б):

$$P_{23} = K_P \cdot (\bar{b}x) \quad P_{43} = K_P \cdot (\bar{x}a)$$

2 звенога таъсир этувчи кучларнинг A га нисбатан олинган моментларининг мувозанат шартидан фойдаланиб, P_{32} қўйилган нуқтани топамиз. Бунинг учун моментлар мувозанат шарти қуйидагича ёзилади:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_A(P_i) = 0$$

2 звено учун

$$P_{32} h_{P_{32}} \cdot K_M - M_A(P_2) + M_2 = 0,$$

$$h_{P_{32}} = \frac{M_A(P_2) - M_2}{K_M P_{32}} \quad (9.68)$$

P_{32} куч қўйилган нуқта XX устидаги K_2 нуқта эканлиги шаклдан кўриниб турибди.

2—3 группага таъсир этаётган куч моментларининг йиғиндиси ноль эканлигидан фойдаланиб, P_{43} кучининг қўйилган нуқтасини топиш мумкин. Бунинг учун 2—3 группага таъсир этаётган кучларнинг A га нисбатан моментларининг мувозанат шарти қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_A(P_i) = 0,$$

2—3 группа учун

$$P_{43} \cdot h_{P_{43}} \cdot K_M - M_A(P_2) + M_2 + P_{32} \cdot h_{P_{32}} \cdot K_M - P_{23} \cdot h_{23} \cdot K_M -$$

$$- M_A(P_3) - M_3 = 0$$

$$h_{P_{43}} = \frac{M_A(P_2) - M_2 + M_A(P_3) + M_3}{K_M P_{43}} \quad (9.69)$$

$h_{P_{43}}$ ни мусбат деб P_{43} кучининг қўйилган нуқтаси K_3 ни топамиз: 1 звенонинг 2 звенога таъсири қуйидаги вектор тенгламадан топилади:

$$\bar{P}_{12} + \bar{P}_2 + \bar{P}_{32} = \text{OC} \quad (9.70)$$

тенгламадаги кучларга $K_P \left[\frac{KF}{MM} \right]$ масштабида кучлар планини

тузиб (5.8-шакл, б), ундан \bar{P}_{12} нинг миқдори ва йўналишини топиш қийин эмас:

$$P_{12} = K_P(\bar{ca}).$$

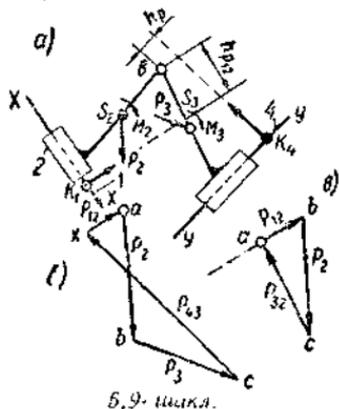
Энди бешинчи модификацияли Ассур группасининг кинестатикаси билан танишиб чиқамиз. Бу группадаги 2 звенога P_2 куч ва M_2 момент, 3 звенога эса P_3 куч ва M_3 момент қўйилган. Шу группанинг шаклда кўрсатилган ҳолати учун P_{12} , P_{23} , P_{32} ва P_{43} реакцияларнинг миқдори, йўналишлари ва қўйилган нуқталари топилисин.

Масалани ечишдан олдин $P_{12} = -P_{21}$, $P_{23} = -P_{32}$ ва $P_{43} = -P_{34}$ эканини эслаш фойдалидир. P_{12} кучнинг таъсир чизиғи XX га тик, P_{43} кучнинг таъсир чизиғи эса YY га тик чизиқ бўйлаб йўналганини ҳам эслаб ўтиш фойдали.

Масалани P_{12} ва P_{43} кучларни топишдан бошлаймиз. Бунинг учун 2—3 звеноларга таъсир этаётган кучлар мувозанатини қуйидагича ёзамиз:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 0, \quad \bar{P}_{12} + \bar{P}_2 + \bar{P}_{23} + \bar{P}_{32} + \bar{P}_3 + \bar{P}_{43} = 0 \quad (9.71)$$

K_P масштабида (9.71) тенгламадаги кучлардан кучлар планини тузамиз ва шу пландан P_{12} билан P_{43} ларнинг скаляр миқдори ва йўналишларини топамиз (5.9-шакл, б га қаралсин).



5.9-шакл.

$$P_{12} = K_P \cdot (x\bar{a}), \quad P_{43} = K_P \cdot (c\bar{x}).$$

2 звенога таъсир этувчи кучлар мувозанат тенгласига K_P масштабида кучлар планини тузамиз ва P_{32} ни топамиз. 2 звенонинг мувозанат шarti қуйидагича ёзилади (5.8-шакл, в):

$$\bar{P}_{12} + \bar{P}_2 + \bar{P}_{32} = 0 \quad (9.72)$$

5.9-шакл, в даги кучлар планидан \bar{P}_{32} нинг скаляр қиймати қуйидагича бўлади:

$$P_{32} = K_P \cdot (c\bar{a}).$$

В нуқтага нисбатан 2 звенога таъсир этаётган кучларнинг моментларини мувозанат шartидан P_{12} кучнинг қўйилган нуқтаси топилади. Мувозанат шarti қуйидагича бўлади:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = 0,$$

2 звено учун

$$P_{12} \cdot h_{P_{12}} \cdot K_M - M_B(P_2) + M_2 = 0$$

$$h_{P_{12}} = \frac{M_B(P) - M_2}{K_M P_{12}} \quad (9.73)$$

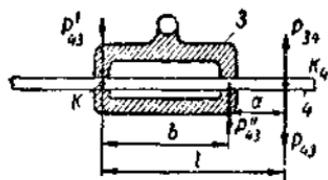
(9.73) дан топилган $h_{P_{12}}$ нинг қиймати манфий бўлсин, у ҳолда P_{12} нинг қўйилган нуқтаси K_1 бўлади (5. 8- шакл, а). 3 звенога таъсир этувчи кучларнинг B га nisbatan олинган моментларининг мувозанат шартини ёзамиз.

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = 0,$$

3 звено учун

$$P_{43} \cdot h_{P_{43}} \cdot K_M - M_B(P_3) + M_3 = 0,$$

$$h_{P_{43}} = \frac{M_B(P_3) - M_3}{K_M \cdot P_{43}} \quad (9.74)$$



5.10- шакл.

(9.74) дан топилган $h_{P_{43}}$ нинг миқдори манфий бўлсин, у ҳолда P_{43} нинг қўйилган нуқтаси B нинг чап томонида бўлмай, балки ўнг томонидаги K_4 нуқтада эканини шаклдан кўриш қийин эмас.

Юқорида баён қилинган биринчи модификацияли Ассур группасидан бошқа қолган барча тўрт хил модификацияли Ассур группаларида V класс айланма жуфтдан ташқари, V класс илгарилама жуфт мавжуд бўлиб, ундай жуфтлардаги реакция кучларини йўналиши ва қўйилган нуқталарини топиб чиққан эдик. Шундай қилиб биз илгарилама жуфт элементи ва уларнинг конструкцияларига қараб; жуфтдаги ҳақиқий реакцияларини топиш методларини қуйида баён этамиз: агар 3 звено тош (камень) бўлса, у ҳолда унинг K ва E нуқталарида P_{43} реакциядан P'_{43} ва P''_{43} реакция кучлари пайдо бўлади. Агар тошнинг узунлиги маълум бўлса ва P_{43} кучининг ҳам қўйилган нуқтаси аниқ бўлса, у ҳолда P'_{43} ва P''_{43} ларни қуйидагича топамиз (5.10-шакл):

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_K(P_i) = 0,$$

$P_{43}(a + b) + P'_{43}b = 0$, бундан P'_{43} ни топамиз:

$$P'_{43} = -\frac{(a + b) \cdot P_{43}}{b} \quad (9. 75)$$

P'_{43} ни топиш учун 4 звенодаги E нуқтага нисбатан кучлар моментини оламиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_E(P_i) = 0,$$

$-P'_{43} \cdot b + P_{43} \cdot a = 0$, бундан P'_{43} ни топамиз:

$$P'_{43} = \frac{a}{b} P_{43} \quad (9. 76)$$

Топилган P'_{43} ва P_{43} лар ҳақиқий реакция кучлари бўлиб, агар кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш коэффициентини f деб қарасак, у ҳолда жуфт элементлар орасидаги ишқаланиш кучи қуйидагича топилади:

$$F = f(P'_{43} + P_{43}) \quad (9. 77)$$

Агар 3 звенонинг 4 звенога нисбатан тезлигини v_{34} деб белгиласак, у ҳолда кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш қуввати қуйидагича топилади:

$$N = F \cdot v_{34} = f(P'_{43} + P_{43}) \cdot v_{34} \quad (9. 78)$$

бу от кучида қуйидагича бўлади:

$$N = \frac{f \cdot (P'_{43} + P_{43}) \cdot v_{34}}{75}, \quad (9. 79)$$

киловатт орқали ифодаласак, (28') қуйидагича ёзилади:

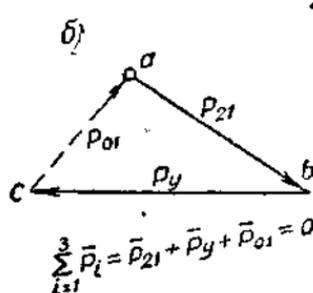
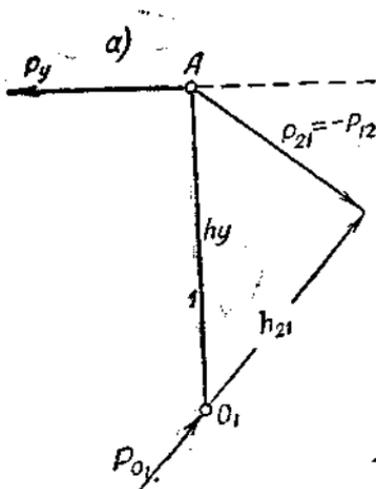
$$N = \frac{f \cdot (P_{43} + P'_{43}) \cdot v_{34}}{102}. \quad (9. 80)$$

6. §. Етакловчи звенонинг кинетостатикаси

6. 1-шакл, a да етакловчи звено (O_1A) ва унга таъсир қилувчи $\bar{P}_{12} = -P_{21}$ куч берилган. Етакловчи звенонинг кинетостатикасини ўрганишда, асосан, O_1 нуқтадаги реакция кучи билан мувозанатловчи кучини топиш талаб этилади. Одатда, мувозанатловчи кучнинг таъсир чизиғи берилган бўлади. 6.1-шакл, a да мувозанатловчи куч O_1A кривошипга тик бўлиб, A нуқтадан

Ўтади, дейлик. Мувозанатловчи кучни P_y билан белгилаб, уни қуйидаги моментлар мувозанатидан топамиз:

$$\sum \text{mom}_{O_1}(P_i) = 0; \quad P_y = P_{21} \frac{h_2}{h_y} \quad (9.81)$$



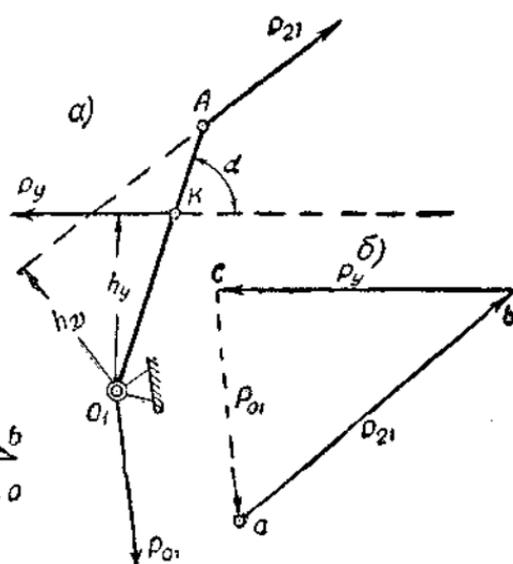
6.1-шакл: а — етакловчи звено;
б — кучлар плани.

1-звено учун

Мувозанатловчи кучнинг momenti ва қуввати қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$M_y = P_y \cdot l_{O_1 A}$$

$$N_y = M_y \omega = P_y v_A$$



6.2-шакл: а — етакловчи звено;
б — кучлар плани.

6. 2-шакл, а да етакловчи звено ва унга таъсир этувчи кучлар берилган, мувозанатловчи куч қўйилган нуқта k дир; мувозанатловчи кучнинг йўналиши кривошип ўқи билан α бурчак ҳосил қилиб ўтади. Бундай ҳол учун ҳам мувозанатловчи кун аввалгидай O_1 нуқтага нисбатан олинган моментлар мувозанатидан топилади:

$$\sum_{i=1}^2 \text{mom}_{O_1}(P_i) = 0 \quad P_y = P_{21} \frac{h_{21}}{h_y}$$

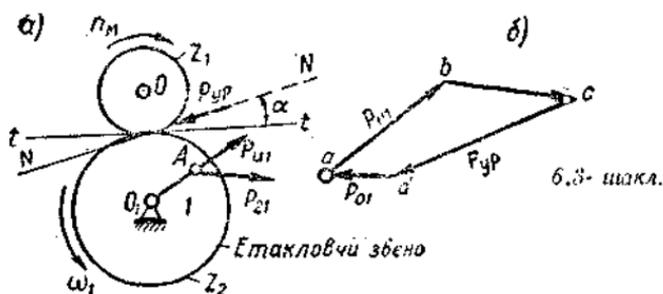
Энди, O_1 нуқтадаги P_{O_1} реакция кучини топиш керак. Бу куч фундаментни ҳисоблашда зарур бўлади. Бунинг учун кривошипнинг мувозанат шартини текшириб чиқамиз. 6. 1 ва 6. 2-шаклларда кривошипка учтадан P_y , P_{z_1} ва P_{O_1} (фундаментнинг 1-звенога таъсир кучи) кучлар таъсир қилади. Уларнинг таъсиридан кривошип мувозанатда бўлади:

$$\sum_{i=1}^3 \vec{P}_i = \vec{P}_y + \vec{P}_{z_1} + \vec{P}_{O_1} = 0 \quad (9.82)$$

(9.82) тенглама учун кучлар плани 6. 1-шакл, б ва 6. 2-шакл, б ларда кўрсатилган, пунктир вектор-кесмалар орқали P_{O_1} топишган:

$$P_{O_1} = K_p \cdot \bar{c}\bar{a}$$

6. 3-шакл, а да минутига n_M марта айланаётган электромоторга ўрнатилган z_1 тишли фидирак орқали z_2 тишли фидиракка



ҳаракат узатилади. z_2 тишли фидиракда A бармоқ бўлиб, у O_1A масофада Ассур группасининг 2 звеноси билан кинематик жуфт ташкил этади. Бу O_1A звено Ассур группасидан ташлаб юборилган 1 звено бўлиб, унинг 2 звенога таъсир кучи P_{12} эканлигини биз аниқлаган эдик. Эндиги масала Ньютоннинг таъсир акс таъсирга сабаб бўлади деган қонунига асосланиб $P_{12} = -P_{21}$ ни z_1 тишли фидиракнинг A нуқтасига келтириб қўйишдан ва шу куч билан фидирак инерция кучи P_{u_1} ни мувозанатлашдан иборат. 1 звенонинг инерция кучи қуйидагича топилади:

$$P_{u_1} = -\frac{G_A}{g} \cdot a_A^n$$

Мувозанатловчи кучнинг таъсир чизиги тишли фидираклар тиш профилларини контакт нуқтасидан ўтувчи нормал NN чизиқ бўйлаб йўналган деб ва ҳозирги онда z_2 фидиракка таъсир

этувчи кучларнинг O_1 нуқтага нисбатан олинган моментлари мувозанат шартини қуйидагича ёзамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом} O_1(P)_i = 0$$

ёки

$$P_{21} \cdot h_{p_{21}} + P_{\text{МУ}} \cdot h_{\text{МУ}} = 0,$$

бундан

$$P_{\text{МУ}} = \frac{h_{P_{21}} \cdot P_{21}}{h_{P_{\text{МУ}}}} \quad (\text{кГ}) \quad (9.83)$$

$P_{\text{МУ}}$ мувозанатловчи куч топилгач, O_1 шарнирдаги реакция кучини топамиз. Бунинг учун z_2 тишли гилдиракка таъсир этувчи кучлар мувозанатидан фойдаланамиз:

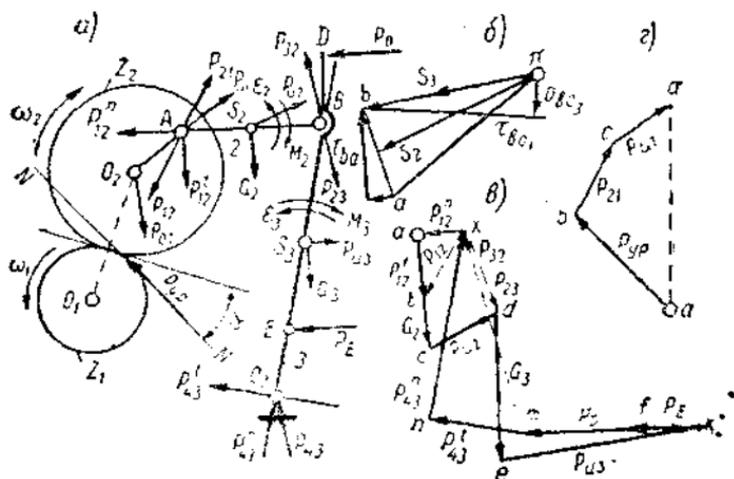
$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = 0,$$

$$\bar{P}_{u_1} + \bar{P}_{21} + \bar{P}_{\text{МУ}} + \bar{P}_{O_1} = 0, \quad (9.84)$$

9.84 га K_p масштабда кучлар планини тузиб шу пландан P_{O_1} ни қуйидагича топамиз (6.3-шакл, б):

$$P_{O_1} = K_p \cdot (\overline{d\bar{a}})$$

Мисол тариқасида 4 звеноли механизмни кўрайлик. 6.4-шакл, а да газлама тўқув автоматининг батан механизми тасвир этилган.



6.4-шакл.

Механизм ҳаракатни z_1, z_2 тишли ғилдирақлар воситасида айланувчи тирсақли вал O_2 дан олади. Тирсақли вал ўзини тирсақ O_2A даги A бўйни 2 шатун билан V класс айланма кинематик жуфт, шатуннинг B учи эса, O_2B батан (коромисло — шайн) билан ўзаро V класс айланма кинематик жуфт ташкил этади. Батан (3) эса ўз навбатида O_3 ўқи атрофида тебранма ҳаракат қилади.

Агар G_2 —шатун оғирлиги, G_1 —тирсақ (кривошип) оғирлиги ва G_3 —шайн (батан) оғирлиги бўлса, у ҳолда тезланишлар планидан фойдаланиб, звеноларнинг инерция кучлари ва инерция кучларининг моментларини топиш мумкин:

$$\begin{array}{ll}
 1) a_A^n = \omega_2^2 \cdot l_{O_1A} & 7) a_{BO_1}^n = \frac{v_B^2}{l_{BO_1}} \\
 2) K_a = \frac{a_A^n}{\pi_a} & 8) n_{BO_1} = \frac{a_{BO_1}^n}{K_a} \\
 3) \bar{a}_B = \bar{a}_A^n + a_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^t & 9) \frac{as_2}{ab} = \frac{AS_2}{AB}; \bar{a}_{S_2} = \bar{ab} \cdot \frac{AS_2}{AB} \\
 4) a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}} & 10) \frac{\pi S_3}{\pi b} = \frac{O_3S_3}{O_3B}; \bar{\pi}_{S_3} = \bar{\pi b} \cdot \frac{O_3S_3}{O_3B} \\
 5) n_{ba} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} & 11) \epsilon_2 = \frac{K_a \cdot \tau_{ba}}{l_{BA}} \\
 6) \bar{a}_B = \bar{a}_{O_2} + \bar{a}_{BO_2}^n + \bar{a}_{BO_2}^t & 12) \epsilon_3 = \frac{K_a \cdot \tau_{BO_3}}{l_{BO_3}}
 \end{array}$$

Юқоридаги формулалар ва ҳисобланган кесмалардан фойдаланиб, 6.4-шакл, б даги тезланишлар планини тузамиз. Тезланишлар планидан фойдаланиб, механизм звеноларининг инерция кучларини ва инерция кучларининг моментларини қуйидагича топамиз:

1) Шатуннинг инерция кучи:

$$P_{12} = -\frac{G_2}{g} \cdot (k_a \cdot \bar{\pi}_{S_2})$$

2) Шатун инерция кучининг momenti: $M_2 = -\epsilon_2 \cdot I_{S_2}$

3) Батаннинг инерция кучи: $P_{13} = -\frac{G_3}{g} \cdot (k_a \cdot \bar{\pi}_{S_3})$

4) Батан инерция кучининг momenti: $M_3 = -\epsilon_3 \cdot I_{S_3}$

P_{12}, P_{13}, M_2 ва M_3 ларни звеноларга ўрнатамиз. AB ва BO_3 звенолари биргаликда биринчи модификацияли Ассур группасини ташкил этади. Бу группанинг кинетостатикасини юқорида баён қилган эднк, 2 звено (AB) га G_2, P_2 берилган кучлар билан P_{12} реакция кучи ва M_2 момент таъсир этса, 3 звено (BO_3) га $G_3,$

P_{u_1} , P_E ва P_O кучлар ва P_{u_2} реакция кучи билан момент таъсир этади.

$$\bar{P}_{u_3} = \bar{P}_{43}^n + \bar{P}_{43}^t \quad \text{ва} \quad \bar{P}_{12} = \bar{P}_{12}^n + \bar{P}_{12}^t$$

эканини назарда тутиш фойдалидир.

2 звенога таъсир этувчи кучларнинг B га нисбатан олинган моментларининг мувозанат шартни қуйидагича бўлади:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = P_{12}^t \cdot l_{AB} - M_B(G_2) + M_B(P_{u_2}) + M_2 = 0,$$

$$P_{12}^t = \frac{M_B(G_2) - M_B(P_{u_2}) - M_2}{l_{AB}}$$

P_{12}^t ning қиймати манфий чиққан деб оламиз ва унинг йўналишини 180° ўзгартирамиз.

3 звенога таъсир этувчи кучларнинг B нуқтага нисбатан олинган моментларининг мувозанат шартидан фойдаланиб, $P_{u_1}^t$ ни топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = P_{43}^t \cdot l_{BO_3} - M_B(P_E) + M_B(G_3) - M_B(P_{u_1}) - M_B(P_D) + M_3 = 0,$$

$$P_{43}^t = \frac{+M_B(P_E) - M_B(G_3) + M_B(P_{u_1}) + M_B(P_D) - M_3}{l_{BO_3}} \text{ кг}$$

P_{43}^t ning қиймати мусбат деб оламиз ва йўналишини ўз ҳолича қолдираемиз.

2—3 группага таъсир этувчи кучлар мувозанатидан фойдаланиб, P_{42}^n ва P_{43}^n ларни топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = \bar{P}_{12}^n + \bar{P}_{12}^t + \bar{G}_2 + \bar{P}_{u_2} + \bar{G}_3 + \bar{P}_{u_1} + \bar{P}_D + \bar{P}_E + \bar{P}_{43}^n + \bar{P}_{43}^t = 0$$

Бу кучларга K_P масштабда кучлар планини тузамиз ва шу пландан \bar{P}_{12}^n , \bar{P}_{43}^n , \bar{P}_{12} ва \bar{P}_{43} ларни қуйидагича топамиз (б. 4-шакл, в):

$$P_{12}^n = K_P \cdot (\bar{x}\bar{a}),$$

$$P_{12} = K_P \cdot (\bar{x}\bar{b}),$$

$$P_{43}^n = K_P \cdot (\bar{n}\bar{x}),$$

$$P_{43} = K_P \cdot (\bar{m}\bar{x})$$

2 звенонинг 3 звенога таъсирини топиш учун қуйидаги вектор тенгламани тузамиз:

$$\bar{P}_{u_3} + \bar{P}_E + \bar{G}_3 + \bar{P}_{43} + \bar{P}_D + \bar{P}_{23} = 0$$

Кучлар планидан $P_{23} = K_p \cdot (\bar{x}\bar{d})$ эканлигини ҳисоблаш қийин эмас.

3 звенони 2 звенога таъсирини топиш учун қуйидаги вектор тенгламани тузамиз:

$$\bar{P}_{12} + \bar{G}_{12} + \bar{P}_{u_2} + \bar{P}_{32} = 0$$

Кучлар планидан $P_{32} = K_p(\bar{d}\bar{x})$ эканлигини топамиз. Кучлар планида $\bar{P}_{32} = -\bar{P}_{23}$ экани кўриниб турипти.

Кривошипнинг кинетостатикасини кўриб чиқамиз. z_1 филдирак соат стрелкасига тескари айланиб z_2 га ўз таъсирини MN нормал чизиқ бўйлаб кўрсатади. Мана шу таъсир кучини P_{yp} деб атаймиз. I звенога (кривошипга) таъсир этувчи кучлар моментларининг мувозанат шартидан P_{yp} ни топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{mom}_{O_2}(P_i) = -P_{21} \cdot h_{P_{21}} + P_{yp} \cdot h_{P_{yp}} = 0, \quad P_{yp} = \frac{h_{P_{21}}}{R_{P_{yp}}} \cdot P_{12}$$

I звенога таъсир этувчи кучлар мувозанатидан фойдаланиб, O_2 шарнирдаги реакция кучини топамиз (б. 4-шакл, з):

$$\sum_{i=1}^0 \bar{P}_i = \bar{P}_{21} + \bar{P}_{u_1} + \bar{P}_{yp} + \bar{P}_{O_2} = 0$$

P_{O_2} реакция қўзғалмас звенонинг (подшипникнинг) қўзғалувчи звенога (шипга) кўрсатган реакция кучи бўлиб, уни б. 4-шакл, з дан топамиз:

$$P_{O_2} = K_p \cdot (\bar{d}\bar{a}).$$

Мувозанатловчи кучнинг қуввати қуйидагича топилади:

$$N_{yp} = \frac{P_{yp} \cdot v_2 \cdot \cos(P_{yp} \cdot v_2)}{102} \text{ квт}$$

Мувозанатловчи кучнинг қуввати механизмнинг 12—24 ҳолатлари учун топилиб, шулар ичидан ўртача қувват қуйидагича топилади:

$$N_{yp} = \frac{\sum_{i=1}^{12} N_i}{12} \text{ квт}$$

б. 5-шакл, а да кўрсатилган рандалаш станогини кулисали механизмининг кинетостатикаси билан умумий ҳолда танишиб чиқамиз

ва тезланишлар планидан фойдаланиб қўйидагиларни топамиз (6. 5-шакл, б):

1. 2 тошнинг нисбий тезланишидан ҳосил бўлган инерция кучи қўйидагича топилади:

$$P_{u_2} = -\frac{G_2}{g} \cdot (K_a \cdot \bar{a}_2 a_3)$$

2. 2 звенонинг нормал тезланишидан ҳосил бўлган инерция кучи қўйидагича топилади:

$$P_{u_2} = -\frac{G_2}{g} \cdot (K_a \cdot \pi \bar{a}_2)$$

3. 3 кулисанинг инерция кучи қўйидагича топилади:

$$P_{u_3} = -\frac{G_3}{g} \cdot (K_a \cdot \pi \bar{s}_2)$$

4. 4 звенонинг инерция кучи қўйидагича топилади:

$$P_{u_4} = -\frac{G_4}{g} \cdot (K_a \cdot b_4 \bar{b}_3)$$

5. 5 звенонинг инерция кучи қўйидагича топилади:

$$P_{u_5} = -\frac{G_5}{g} \cdot (K_a \cdot \pi \bar{b}_3)$$

6. 3 звенонинг инерция кучининг моменти қўйидагича топилади:

$$M_3 = -\epsilon_3 \cdot I_{S_3}$$

Юқорида топилган момент ва инерция кучларини механизмнинг тегишли звеноларига қўйиб чиқамиз, сўнгра қўйидаги тартибда гуруплар кинетостатикасини текширамиз:

1. 4—5 гурупа,

2. 2—3 гурупа,

3. 6—1 бошланғич механизм.

5 гурупа кинетостатикаси.

1) 4—5 гурупага таъсир этувчи барча кучларнинг мувозанат шартидан P_{45} ва P_{65} реакция кучларини топамиз:

$$\bar{P}_{45} + \bar{G}_5 + \bar{P}_K + \bar{P}_{65} + \bar{P}_{u_5} + \bar{G}_4 = 0$$

Бу йиғиндига K_p масштабида кучлар планини тузиб (6. 5-шакл, г), сўнгра қўйидаги кучлар топилади:

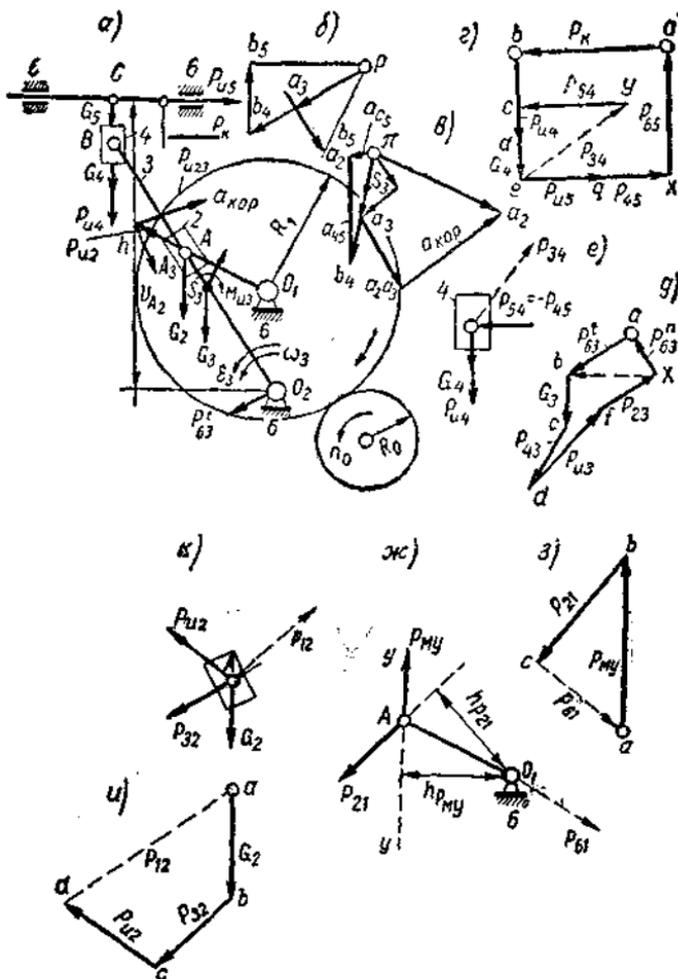
$$P_{45} = K_p(g\bar{x}); \quad P_{65} = K_p(\bar{x}\alpha)$$

2) 4—5 га таъсир қилувчи кучларнинг B га нисбатан олигган моментларининг мувозанат шартидан P_{65} нинг қўйилган нуқтасини топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_B(P_i) = 0.$$

4—5 группа учун

$$-P_K \cdot h_{PK} + P_{u5} \cdot h_{P_{u5}} + P_{65} \cdot h_{P_{65}} = 0, \quad h_{P_{65}} = \frac{P_K \cdot h_{PK} - P_{u5} \cdot h_{P_{u5}}}{P_{65}}$$



6.5-шакл.

$h_{P_{36}}$ елка мусбат чиқса, у ҳолда унинг қўйилган нуқтаси B звенодаги C нуқтадан чап томонга $h_{P_{65}}$ масофада қўйилган бўлади, агар $h_{P_{65}}$ манфий чиқса, у ҳолда P_{65} кучнинг қўйилган нуқтаси B звенодаги C нуқтанинг ўнг томонидаги $h_{P_{66}}$ масофага қўйилган бўлади.

3) 3 звенонинг 4 звенога кўрсатган таъсир кучини топиш учун 4 звенога таъсир этаётган кучлар мувозанатини текшираемиз (6. 5-шакл, g).

$$\sum \bar{P}_i = \bar{G}_4 + \bar{P}_{54} + \bar{P}_{34} + \bar{P}_{u_4} = 0$$

Кучлар планидан номаълум реакцияни топамиз (6. 5-шакл, e). P_{34} реакция кучининг скаляр қийматини қуйидагича топамиз:

$$P_{34} = K_p \cdot (\bar{e}y) \quad P_{43} = K_p \cdot (y\bar{e})$$

3—4-группанинг кинетостатикаси.

3 звено (кулиса) га 4 звено томочидан B шарнир орқали $\bar{P}_{43} = -\bar{P}_{34}$ реакция кучи таъсир қилади. 3 звенонинг 2 звенога таъсирини P_{32} , унинг аксини P_{23} десак, уларнинг таъсир чизиғи O_2B га тик йўналишни бизга аён, P_{63} эса бизга номаълумдир; уни иккига ажратамиз: $\bar{P}_{63} = \bar{P}_{63}^n + \bar{P}_{63}^t$.

Булардан \bar{P}_{63}^n нинг таъсир чизиғи O_2B бўйлаб олинади, иккинчисиники (\bar{P}_{63}^t) эса O_2B га тик қилиб олинган бизга маълум.

3 звенога таъсир этувчи кучларнинг A га nisbatan олинган моментларнинг мувозанат шартидан фойдаланиб, P_{63}^t ни топамиз:

$$\sum_{i=1}^n \text{мом}_A(P_i) = P_{63}^t \cdot l_{O_2A} + M_{u_3} + M(G_3) - M(P_{u_3}) - M(P_{43}) = 0,$$

3 звено учун

$$P_{63}^t = \frac{-M_{u_3} - M_A(G_3) + M_A(P_{u_3}) + M_A(P_{43})}{l_{O_2A}}$$

P_{63}^t ни мусбат деб олиб, унинг йўналишини 6. 5-шакл, a дагича қилиб қўямиз.

2—3-группага таъсир этувчи кучларнинг мувозанат шarti қуйидагича ёзилади:

$$\sum_{i=1}^n \bar{P}_i = \bar{P}_{63}^t + \bar{P}_{63}^n + \bar{G}_3 + \bar{P}_{u_3} + \bar{P}_{43} + \bar{P}_{23} = 0$$

3 звено учун

Бу мувозанат шартига K_P масштабида кучлар планини тузиб, шу кучлар планидан фойдаланиб, \bar{P}_{63}^n ҳамда \bar{P}_{23} ни топамиз. Уларнинг скаляр қийматлари қуйидагича бўлади (6. 5-шакл, д):

$$P_{63}^n = K_P \cdot (\bar{x}a) \quad P_{23} = K_P \cdot (\bar{f}x) \quad P_{63} = K_P \cdot (\bar{x}b)$$

2 звенога (каменга) таъсир этувчи кучларнинг мувозанат шартидан фойдаланиб ва кучлар планини тузиб, \bar{P}_{12} ни топамиз (6. 5-шакл, к).

2 звено учун

$$\bar{G}_2 + \bar{P}_{u_2} + \bar{P}_{32} + \bar{P}_{12} = 0$$

P_{12} ни 6. 5-шакл, и да кўрсатилган кучлар планидан топамиз:

$$P_{12} = K_P \cdot (d\bar{a})$$

6—1 бошланғич механизм (етакловчи звено—1) нинг кинестатикасини ўрганамиз:

6. 5-шакл, ж да 6—1 бошланғич механизм ва унга таъсир этувчи $P_{12} = -P_{21}$ реакция кучи тасвир этилган.

1. Етакловчи звенонинг кинестатикасида унинг қандайдир нуқтасидан ўтувчи мувозанатловчи куч билан ($P_{му}$) фундаментнинг (6) 1-звенога кўрсатган реакция кучи топилади. $P_{му}$ ни топиш учун 1-га таъсир этувчи кучларнинг O_1 га нисбатан моментлари мувозанатини ёзамиз:

1 звено учун

$$P_{му} \cdot h_{P_{му}} - P_{21} \cdot h_{P_{21}} = 0$$

Бунда $P_{му}$ нинг таъсир чизиги деб YY ни қабул қилдик.

$$P_{му} = \frac{h_{P_{21}}}{h_{P_{му}}} \cdot P_{21}$$

Кучларнинг мувозанат шартидан, кучларнинг планини тузиб \bar{P}_{61} ни топамиз:

$$\bar{P}_{1у} + \bar{P}_{21} + \bar{P}_{61} = 0$$

6. 5-шакл, д даги кучлар планидан P_{61} ни топамиз:

$$P_{61} = K_P \cdot (c\bar{a})$$

Механизмлар кинетостатикасининг асосий мақсадларидан бири кинематик жуфтлардаги реакция кучларини топишдан ташқари, етакловчи ёки бошқа бирор звенога қўйилган мувозанатловчи куч, мувозанатловчи момент ёки мувозанатловчи кучнинг қувватини топишдан иборатдир.

7-§. Проф. Н. Е. Жуковскийнинг қаттиқ ричаг тўғрисидаги теоремаси

Н. Е. Жуковский ҳар қандай механизмнинг мувозанати ҳақидаги масалани қандайдир ричагнинг мувозанати ҳақидаги масалага келтириб ўрганишни тавсия этди. Бу ричаг оддий ричаг бўлмай, унинг заминида қуйидаги мулоҳазалар ётади.

7. 1-шакл, а да қандайдир механизмнинг бирор звеноси тасвир этилган. Шу звено A нуқтасининг тезлиги v_A бўлиб, унинг йўналиши бизга маълум бўлсин. Звенонинг v_A тезликнинг йўналиши билан қандайдир α бурчак ташкил этувчи ва шу A нуқтага таъсир этувчи P куч ҳам берилган бўлсин. У ҳолда A нуқтанинг элементар (мумкин бўлган) кўчишидаги P кучининг бажарган иши қуйидагича бўлади:

$$dA = P \cdot dS_A \cdot \cos \alpha \quad (9. 85)$$

Кучнинг қуввати эса (9. 85) тенгликни dt элементар вақтга бўлиш билан топилади:

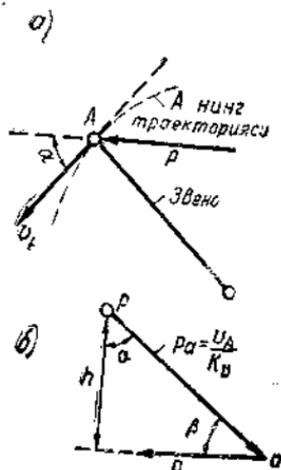
$$N = \frac{dA}{dt} = P \frac{dS_A}{dt} = P \cdot v_A \cdot \cos \alpha \quad (9. 86)$$

Агар биз v_A тезликни 7. 1-шакл, б да кўрсатилгандай қандайдир қутбдан (P дан) $\bar{P}a \perp v_A$ қилиб қўямиз ва $\bar{P}a$ кесмани учи a дан \bar{P} кучини ўзига параллел қилиб қўйсак, у ҳолда \bar{P} кучининг қутбга nisbatan momenti қуйидагича бўлади:

$$M_P = P \cdot h \quad (9. 87)$$

$v_A = K_v \cdot \bar{P}a$ эканини эътиборга олганда (9. 87) тенгликни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M_P = P \cdot \frac{v_A}{K_v} \cdot \cos \alpha \quad (9. 88)$$



7.1-шакл.

(9. 87), (8. 88) тенгликлардан маълум бўлишича, улар ҳам тезликнинг қандайдир K_v масштабида \bar{P} кучнинг қувватини ифода этар экан.

Агар қандайдир механизмнинг звеноларига P_1, P_2, P_R кучлар таъсир этиб, шу кучлар таъсирида у мувозанатда бўлса, у ҳолда куч қўйилган нуқталарнинг кучлар таъсиридан мумкин бўлган (виртуал) кўчишлардаги кучларнинг бажарган элементар ишларининг йиғиндиси ёки қувватларининг йиғиндиси ноль бўлар эди, яъни:

$$\sum_{i=1}^k P_i \cdot ds_i \cdot \cos(P_i, ds_i) = 0,$$

ёки

$$\sum_{i=1}^k P_i \cdot \frac{ds_i}{dt} \cdot \cos(P_i, \frac{ds_i}{dt}) = \sum_{i=1}^k P_i \cdot v_i \cdot \cos(P_i, v_i) = 0$$

(9. 87), (8. 88) тенгликларга амал қилиб, агар P_1, P_2, \dots, P_k кучлар қўйилган нуқталарнинг 90° га бурилган тезликлари планини тузсак ва шу тезликлари планидаги нуқталарга тегишли кучларни ўз ҳолича келтириб қўйсак, у ҳолда шу кучлар тезликлар планининг қутби P га нисбатан моментларининг йиғиндиси ҳам ноль бўлиши керак, яъни:

$$\sum_{i=1}^k P_i \cdot \frac{v_i}{K_v} \cdot \cos(P_i, v_i) = \sum_{i=1}^k P_i \cdot h_i = 0 \quad (9. 89)$$

Шундай қилиб, 90° га бурилган тезликлар плани ўз қутби P га нисбатан айланувчи қаттиқ рычаг деб аталади; шу тезликлар планини Жуковский рычаги деб ҳам атайдилар.

Юқорида баён этилган масала фақат қўзғалувчанлик даражаси ($W = 1$) бўлган ҳар қандай механизмга тааллуқлидир.

Н. Е. Жуковский теоремаси:

Агар қўзғалувчанлик даражаси 1 бўлган ҳар қандай механизм звеноларининг B, C, D, \dots нуқталарига қўйилган P_B, P_C, P_D, \dots кучлар таъсиридан мувозанатда бўлса, у ҳолда шу механизмни 90° буриб тузилган ихтиёрий масштабдаги тезликлар плани ҳам ўзининг b, c, d, \dots нуқталарига келтирилган P_B, P_C, P_D, \dots кучлар таъсиридан мувозанатда бўлади. Тезликлар плани рычаг бўлиб, унинг айланиш нуқтаси тезликлар планининг қутбидир.

Н. Е. Жуковский теоремасидан фойдаланиб, механизмнинг ихтиёрий звеносига қўйилган мувозанатловчи кучни топиш мумкин. Одатда, механизмнинг етакловчи звеносига мувозанатловчи куч қўйилади, чунки ҳар қандай қувват етакловчи звено орқали

узатилади. Шу юқорида айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\sum_{i=1}^k P_i \cdot h_i + P_{\text{му}} \cdot h_{P_{\text{му}}} = 0, \quad (9.90)$$

бундан

$$P_{\text{му}} = - \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot h_i}{h_{P_{\text{му}}}} \quad (9.91)$$

Қўпинча етакловчи звенога қўйилган мувозанатловчи кучнинг таъсир чизиги берилган бўлади. Агар (9.91) тенгликдаги $P_{\text{му}}$ нинг қиймати мусбат чиқса, у ҳолда қабул қилинган йўналиш ўз ҳолича қолади; манфий чиқса, $P_{\text{му}}$ нинг йўналиши 180° га буриб қўйилади.

Мувозанатловчи кучнинг momenti қуйидагича топилади:

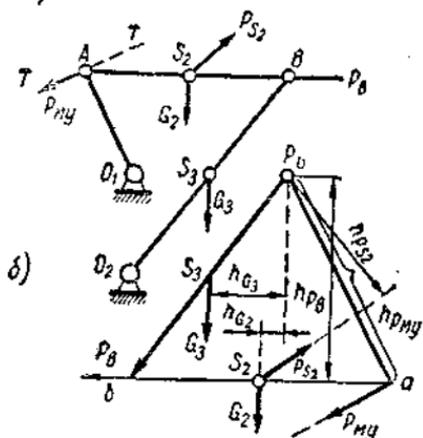
$$M_{\text{му}} = P_{\text{му}} \cdot l_{O_1 A} \quad (9.92) \quad a)$$

Масала тушунарли бўлиши учун бир мисол келтирамиз: 7.2-шакл, а да 4 звеноли механизм тасвир этилган. Механизмнинг S_2 , B ва S_3 нукталарига тегишлича G_2 , P_{S_2} , P_B ва G_3 кучлар қўйилган. Шу кучлар таъсиридаги механизмнинг етакловчи ($O_1 A$) звеносининг A нуктасидан ўтиб, TT таъсир чизигида ётувчи мувозанатловчи куч ва унинг йўналиши топилсин, $TT \perp O_1 A$ экани эътиборга олинсин.

Ечиш: масalani ихтиёрий масштабдаги тезликлар планини тузишдан бошлаймиз (7.2-шакл, б). Сўнгра тезликлар планидаги b_1 , S_2 , S_3 ва a нуктага тегишли кучларни ўз йўналишида келтирамиз; a га эса TT таъсир чизигига параллел чизиқ ўтказамиз. P_{ab} тезликлар планини P нукта (қутб) атрофида айланувчи қаттиқ ричаг деб қараб, унга таъсир этаётган кучларни P га нисбатан моментларини оламиз ва унга мувозанатловчи куч моментини қўшиб, нолга тенглаймиз:

$$+ P_B \cdot h_{PB} - P_{S_2} \cdot h_{PS_2} - G_3 \cdot h_{G_3} - G_2 \cdot h_{G_2} + P_{\text{му}} \cdot h_{P_{\text{му}}} = 0,$$

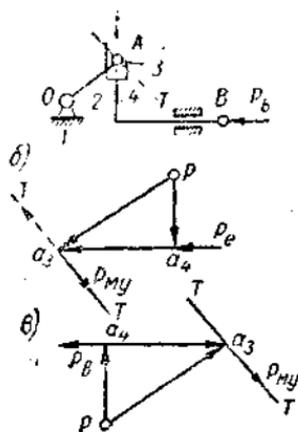
$$P_{\text{му}} = \frac{-P_B \cdot h_{PB} + P_{S_2} \cdot h_{PS_2} + G_3 \cdot h_{G_3} + G_2 \cdot h_{G_2}}{h_{P_{\text{му}}}} \quad (9.93)$$



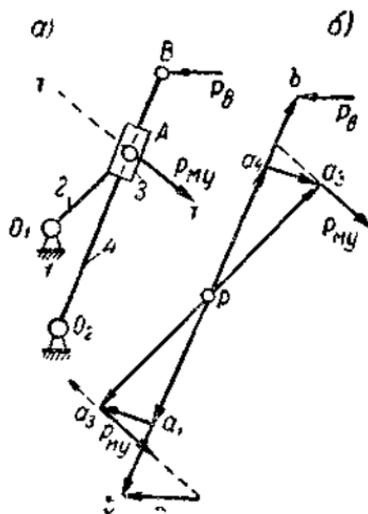
7.2-шакл.

$P_{\text{му}}$ нинг қиймати мусбат бўлса, у ҳолда $P_{\text{му}}$ нинг йўналиши тўғри танланган бўлади.

7. 3-шакл, а да кулисалли механизм ва унга қўйилган куч берилган. Шу кучни мувозанатловчи кучи топилсин. Мувозанатловчи кучнинг таъсир чизиғи OA га тик йўналган.



7.3-шакл.



7.4-шакл.

Е ч и ш: 7. 3-шакл, б да тезликлар плани тасвир этилган. Шу планга P_B кучини ўз йўналишида; TT таъсир чизиғига параллел қилиб, $P_{\text{му}}$ кучини a_3 нуқтадан ўтказамиз ва мувозанат шартини ёзамиз:

$$-P_B \cdot h_{PB} + P_{\text{му}} \cdot h_{P_{\text{му}}} = 0,$$

$$P_{\text{му}} = \frac{h_{PB}}{h_{P_{\text{му}}}} \cdot P_B = \frac{\bar{p}_{a_3}}{p_{a_3}} \cdot P_B \quad (9.94)$$

7. 4-шаклда яна бир кулисалли механизм тасвир этилган. Кулисанинг B нуқтасига қўйилган P_B кучни мувозанатловчи $P_{\text{му}}$ куч топилсин. $P_{\text{му}}$ нинг таъсир чизиғи A нуқтадан OA га тик йўналган.

Е ч и ш: 7. 4-шакл, б да 90° га бурилган ихтиёрли масштабдаги тезликлар плани тасвир этилган. P га нисбатан кучлар моментининг йиғиндисини ёзамиз:

$$P_{\text{му}} \cdot h_{P_{\text{му}}} - P_B \cdot h_{PB} = 0,$$

ёки

$$-\bar{P}_{\text{му}} \cdot Pa_3 + \bar{P}_B \cdot Pb;$$

$$P_{\text{му}} = P_B \cdot \frac{\bar{P}b}{\bar{P}a_3}$$

$$P_{\text{му}} = \frac{h_{PB}}{h_{P_{\text{му}}}} \cdot P_B \quad (9.95)$$

7. 5-шакл, а да кулиса механизмнинг кинематик схемаси тасвир этилган. 3—тош оғирлиги $G_3 = 4 \text{ кг}$, 4—кулисанинг оғирлиги $G_4 = 10 \text{ кг}$, кулисанинг B нуқтасига $P_B = 100 \text{ кг}$ қаршилик кучи қўйилган. Агар 2 етакловчи звено ҳар минутага 360 марта айланса ва $l_{O_1A} = 30 \text{ см}$ бўлса, Н. Е. Жуковский методи билан мувозанатловчи куч ($P_{\text{му}}$), шу кучнинг моменти ($M_{\text{му}}$) ва қуввати топилсин.

Е чи ш: 7. 5-шакл, б да механизмнинг ҳолати кўрсатилгани учун ихтиёрний масштабда 90° га бурилган тезликлар плани тузилган. Тезликлар планининг тегишли нуқталарига G_3 , G_4 ва P_B кучлар ўрнатилган. Мувозанатловчи кучнинг TT таъсир чизиғи O_1A кривошипнинг A нуқтасидан O_1A га тик ўтган чизиқдир.

Тезликлар планининг қутбга нисбатан барча кучлар моментларининг йиғиндиси қуйидагича бўлади (мувозанат шарти):

$$\sum_{i=1}^4 \text{мом}_P(P_i) = -G_3 \cdot h_{G_3} + P_B \cdot h_{PB} + G_4 \cdot h_{G_4} + M_{\text{му}} = 0,$$

$$M_{\text{му}} = 4 \cdot 17 - 100 \cdot 25 - 10 \cdot 25 = -2682 \text{ кгсм.}$$

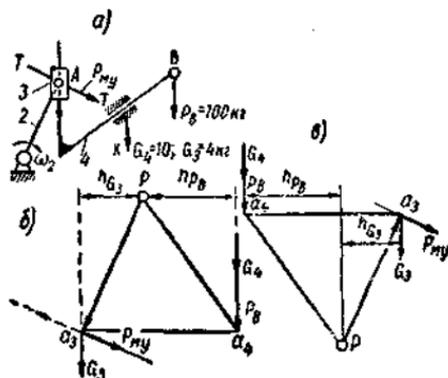
$$P_{\text{му}} = \frac{M_{\text{му}}}{h_{P_{\text{му}}}} = -\frac{2682}{38} = -70,2 \text{ кг}$$

$P_{\text{му}} = -70,2 \text{ кг}$ кучини механизмдаги A нуқтага кўчирамиз. Бу кучнинг моменти қуйидагича бўлади:

$$M_{\text{му}} = P_{\text{му}} \cdot l_{O_1A} = -70,2 \cdot 30 = -2109 \text{ кгсм} = -21,06 \text{ кгм.}$$

Қувват эса:

$$N_{\text{му}} = M_{\text{му}} \cdot \omega_2 = 21,06 \cdot \frac{\pi \cdot 360}{30} = 793,53 \text{ кгм сек}^{-1}.$$



7.5-шакл.

Тезликлар планини 7.5- шаклдагидек қилиб тузилса ҳам натижа бир хил бўлади.

Н. Е. Жуковский теоремасидан фойдаланиб, 7. 6-шакл, а да кўрсатилган кулиса механизми учун таъсир чизиғи O_1A га тик ва A нуқтадан ўтувчи чизикда ўтувчи мувозанатлайдиган куч топилсин.

Ечиш: 7. 6-шакл, б да 90° га бурилган тезликлар плани тузилган ва тегишли кучлар ўрнатилган. Тезликлар планидаги барча кучларнинг қутбига нисбатан олинган моментларининг мувозанат шартини ёзамиз:

$$\sum_{i=1}^4 \text{мом}_{P_i}(P_i) = -G_3 \cdot h_{G_3} - P_B \cdot h_{PB} - G_4 \cdot h_{G_4} + P_C \cdot h_{PC} + P_{\text{му}} \cdot h_{\text{му}} = 0.$$

$$P_{\text{му}} = \frac{G_3 \cdot h_{G_3} + P_B \cdot h_{PB} + G_4 \cdot h_{G_4} - P_C \cdot h_{PC}}{h_{P_{\text{му}}}} = 26,875 \text{ кг}$$

7.6- шакл.

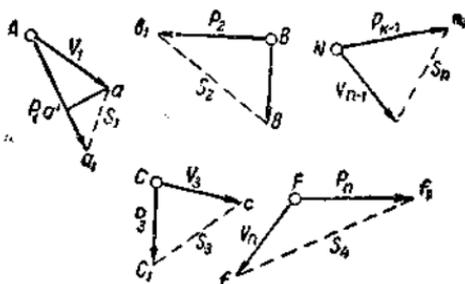
8- §. Берилган кучлар таъсиридаги механизмнинг мувозанат шартларидан бири

Бундай масала билан профессор В. Т. Костицин шуғулланган эди. Масалани ҳал этиш учун механизмнинг A, B, C, \dots, N, F нуқталарига $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ кучлар таъсир этиб, шу кучлар таъсирида у мувозанатда бўлсин, деб фараз этайлик (8. 1-шакл). Агар кучлар таъсир этирилган нуқта тезликлари $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ деб фараз қилинса, у ҳолда кучлар масштабини K_P ва тезликлар масштабини K_v орқали белгилаб, қуйдагиларни ҳосил қилиш мумкин:

$$P_i = \bar{A}a \cdot K_P = P_i \cdot K_P \quad (9. 93)$$

$$v_i = \bar{A}a \cdot K_v = v_i \cdot K_v \quad (9. 94)$$

$P_n (n = 1, 2, 3, \dots), v_n (n = 1, 2, 3, \dots)$ — куч ва тезлик векторларининг учларини бирлаш-



8.1- шакл.

(9. 97) тенглами (9. 96) билан таққослаб, қуйидагини ёзиш мумкин:

$$2\bar{A}a_1 \cdot \bar{A}a' = \sum_{i=2}^n P_i^2 + \sum_{i=2}^n v_i^2 - \sum_{i=2}^n S_i^2$$

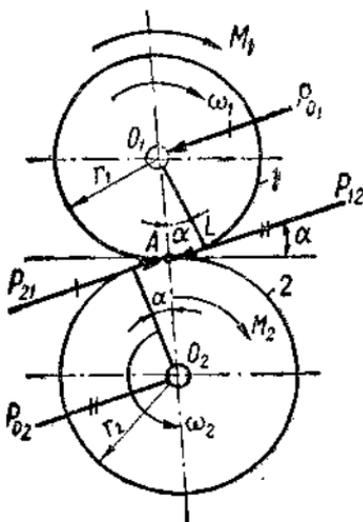
$P_1 = K_p \cdot \bar{A}a_1$ ни эътиборга олиб ва уни мувозанатловчи куч деб фараз қилиб, қуйидагини оламиз:

$$P_1 = P_{\text{му}} = \frac{\sum_{i=2}^n P_i^2 + \sum_{i=2}^n v_i^2 - \sum_{i=2}^n S_i^2}{\bar{A}a'} \cdot K_p \quad (9. 98)$$

Агар механизм кинетостатикасини ўрганиш лозим бўлса, у ҳолда берилган ташқи кучлар қаторига инерция кучларини қўйиш лозим бўлади.

9-§. Қаторли тишли узатмаларни кучга ҳисоблаш

9. 1-шаклда эвольвента профилли тишли икки филдираклардан иборат узатма кўрсатилган. 1 филдиракка M_1 момент қўйилган бўлиб, у соат стрелкаси айланган томонга айланади. Бу M_1 момент берилган; M_2 моментнинг миқдори ва йўналиши топилсин.



9.1-шакл.

P_{12} ва P_{21} реакциялар нормал чизиқ бўйлаб йўналган.

1 филдиракнинг мувозанат шартини қуйидагича ёзамиз:

$$\bar{P}_{O_1} + \bar{P}_{21} = 0,$$

бундан:

$$\bar{P}_{O_1} = -\bar{P}_{21}$$

$M_1 = -P_{21} \cdot O_1L = -P_{21} \cdot r_1 \cos \alpha$
 P_{21} нинг абсолют миқдорини топамиз:

$$P_{21} = \frac{M_1}{r_1 \cdot \cos \alpha}$$

2 филдиракка таъсир этувчи кучлар мувозанати қуйидагича бўлади:

$$\bar{P}_{12} + \bar{P}_{O_2} = 0$$

$$M_2 = -P_{12} \cdot O_2K = -P_{12} \cdot r_2 \cos \alpha = \frac{M_1}{r_1 \cdot \cos \alpha} \cdot r_2 \cdot \cos \alpha = M_1 \cdot i_{12}$$

M_2 момент қаршилик momenti бўлиб, у ω_2 бурчак тезлигига тескари йўналган. Шундай қилиб, қуйидаги хулосани оламиз:

$$i_{12} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{M_2}{M_1} \quad (9.99)$$

10-§. Кулачокли механизмлардаги босим бурчаги ҳақида тушунча

10. 1-шаклдаги кулачокли механизмга қуйидаги кучлар таъсир этмоқда:

Q — толкателга унинг ўқи бўйлаб қўйилган кучлар йиғиндиси;

P — кулак профилнинг толкателга кўрсатган босими.

β — босим бурчаги;

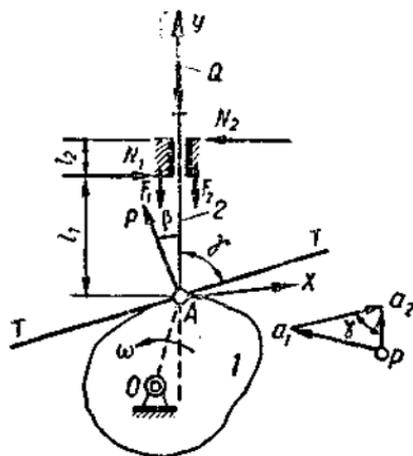
γ — узатиш бурчаги;

$$\alpha + \gamma = 90^\circ; \quad \frac{l_1}{l_2} = \lambda$$

N_1, N_2 — толкателга йўналтирувчиларнинг кўрсатган реакциялари;

F_1, F_2 — толкател билан йўналтирувчи орасидаги ишқаланиш кучлари;

F_{12} — толкател ва кулачок элементлари орасидаги ишқаланиш кучи, у нисбий тезлик $v_{A_2A_1}$ нинг йўналишига тескари таъсир йўналган.



10.1-шакл.

Таъсир этувчи кучлар таъсирида толкателнинг мувозанат шартини ёзамиз:

$$\begin{aligned} \sum x &= N_1 - N_2 - P \cdot \sin \beta - F_{21} \cdot \cos \beta = 0 \\ \sum y &= -Q + P \cdot \cos \beta - F_1 - F_2 = 0 \\ \sum \text{mom}(P) &= P \cdot \sin \beta \cdot l_1 - N_2 \cdot l_2 = 0 \end{aligned} \quad (9.100)$$

N_2 ни топиб, сўнг N_1 ни топамиз ва уларни ўрнига қўйиб, Q билан P орасидаги қуйидаги боғланишни ҳосил қиламиз:

$$N_2 = P \cdot \frac{l_1}{l_2} \sin \beta = \lambda \cdot P \cdot \sin \beta, \quad N_1 = P(\lambda \cdot \sin \beta + \sin \beta + f \cos \beta)$$

$$F_1 = f \cdot N_1, \quad F_2 = f \cdot N_2, \quad F_{21} = f_K \cdot P$$

$$P = \frac{Q}{(1-f) \cos \beta - f(2\lambda + 1) \cdot \sin \beta} \quad (9. 101)$$

Хусусий ҳоллар:

1) $\beta = 0$ бўлса, у ҳолда N_1, N_2, F_1 ва F_2 лар минимал қий-
матга эга бўлади ва: $P_{\min} = \frac{Q}{1-f}$.

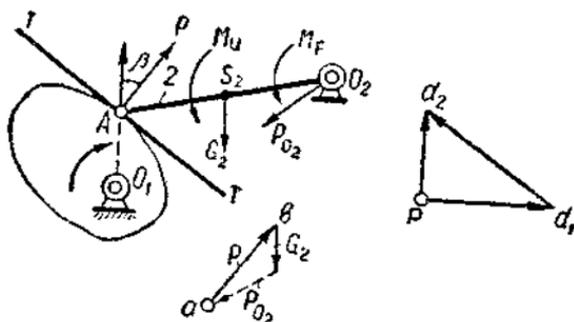
2) $P = \infty$ бўлиши учун (9. 101) нинг махражи nolга тенг
бўлиши керак.

$$(1-f) \cdot \cos \beta_{\text{кр}} = f(2\lambda + 1) \cdot \sin \beta_{\text{кр}}$$

$$\text{tg } \beta_{\text{кр}} = \frac{1-f}{(2\lambda + 1)f}; \quad \beta_{\text{кр}} = \text{arc tg} \left[\frac{1-f}{(2\lambda + 1)f} \right].$$

Шундай қилиб, $\beta_{\text{кр}}$ босим бурчагида P куч қанчалик катта бўлса
ҳам, у ташқи кучларни енга олмайди, чунки толкатель йўналти-
рувчи орасида тиқилиб қолади.

10.2- шакл.



Мисол: $f = 0,1$; $\lambda = 2$ бўлса $\beta_{\text{кр}} = 61^\circ$.

Агар $\beta_{\min} \leq \beta_{\text{кр}}$ бўлса, кулачокли механизмнинг нормал ҳара-
кати учун қулай шароит туғилади. Агар ишқаланиш кучи ҳисобга
олинмаса ($f = 0$ бўлса), у ҳолда: $P = \frac{Q}{\cos \beta}$.

Энди толкатели маълум ўқ атрофида айланма (тебрайма) ҳа-
ракатланувчи кулачокли механизм кинетостатикаси билан танишиб
чиқамиз (10. 2-шакл). Аввало 2 звенога таъсир этувчи кучлар
мувозанатини тузамиз:

$$\sum \bar{P}_i = \bar{P} + \bar{G}_2 + \bar{P}_{O_2} + \bar{P}_u = 0$$

K_p масштабда бу тенгламага кучлар планини қуриб, ундан
 P_{O_2} ни топамиз.

2 звенога таъсир этувчи кучлар мувозанат шарти:

$$\sum \text{мом}_{O_2}(P_i) = P \cdot l \cdot \cos \beta - G_2 l_2 \cos \psi - I_2 \varepsilon_2 - M_F = 0$$

$$M_F = f \cdot P \cdot \sin \beta r_{O_2} + f P_{O_2} \cdot \frac{d}{2}; \quad d = 2r_{O_2}$$

ε_2 — 2 звенонинг бурчак тезланиши.

I_2 — 2 звено массасининг инерция моменти.

Буларни мувозанат шартига қўйиб, P ни топамиз:

$$P = \frac{G_2 l_2 \cos \psi + I_2 \varepsilon_2 + f P_{O_2} r_{O_2}}{r_{O_2} \cdot \cos \beta - f r_{O_2} \cdot \sin \beta} \quad (9. 102)$$

Кулачокка толкателнинг тиралиб қолиш шarti ($P = \infty$) куйидаги тенгликдан топилади:

$$r_0 \cos \beta - r_{O_2} \cdot f \cdot \sin \beta = 0$$

$$\text{tg } \beta_{\text{кр}} = \frac{1}{f}; \quad \beta_{\text{кр}} = \text{arc tg } (f - 1)$$

Агар $f = 0,1$ бўлса $\beta_{\text{кр}} = 84^\circ$.

Тажрибада $\beta \leq \beta_{\text{кр}}$ олинади, яъни $\beta = 60^\circ - 70^\circ$ атрофида қабул қилинади.

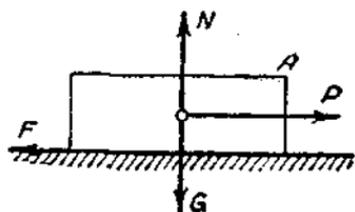
Х 6 0 6

КИНЕМАТИК ЖУФТ ЭЛЕМЕНЛАРИДАГИ ИШҚАЛАНИШ КУЧЛАРИ

1-§. Нисбий ҳаракатга кўрсатиладиган қаршиликлар

Кинематик жуфт элементининг нисбий ҳаракатига кўрсатиладиган қаршилик кучи *ишқаланиш кучи* деб аталади. Агар стол устида гишт турган бўлса, гиштни стол юзасида силжитиш учун бирор куч талаб этилади. Гишт билан стол илгарилама кинематик жуфт ташкил қилади. Уларнинг элементлари текислик бўлиб, гиштга стол юзаси шу гишт оғирлигига тенг реакция кучи билан таъсир этади (1. 1-шакл).

Гиштининг оғирлигини G билан, стол юзасининг гиштга кўрсатадиган таъсир кучини N билан белгилаймиз. N кучи кинематик жуфт элементларига тик йўналган (1. 1-шакл). Агар стол элементи (юзаси)



1.1-шакл. Сирғаниб илгарилама ҳаракат қилувчи звенога таъсир этадиган кучлар ($\sigma = 0$).

ғишт оғирлигига бардош бера олмаса, у ҳолда, жуфтлик бузилади. $G = N$ бўлганда кинематик жуфтлик мавжуд бўлади. Агар ғишт бирор P куч таъсирида қўзғалмаса, унинг ҳаракатига F_1 ишқаланиш кучи қаршилик кўрсатган бўлади. Ғиштга бирор P_0 куч қўйилганда, ғишт қўзғалиш чегарасига келса, яъни бир текис ҳаракат қилса (ёки тўхтаб турса), у ҳолда, ғиштниң ҳаракатига F_0 куч қаршилик қилган бўлади. Агар жисмга $P > P_0$ куч билан таъсир этилса, у ҳолда, ғишт бирор $x = a$ тезланиш билан ҳаракат қила бошлайди. Ҳаракатга кўрсатиладиган қаршилик эса F бўлади. Ньютон қонунига кўра ғиштниң ҳаракат тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$P - F = \frac{G}{g} \ddot{x} \quad (10. 1)$$

бу ерда, G — ғиштниң оғирлиги;

g — ерниң тортиш кучи тезланиши ($g = 9,81 \text{ м сек}^{-2}$);

$a = \ddot{x}$ — ғиштниң чизикли тезланиши.

(10. 1) формулани қуйидагича ёзамиз:

$$F = P - \frac{G}{g} \ddot{x} < F_0 \quad (10. 2)$$

Ўтказилган кўпгина тажрибалар (10.2) тенгламадаги F_0 куч қанчалик катта бўлмасин, қаршилик кучи ўзгармай қолишини кўрсатади. F_0 куч ғиштниң (жисмниң) *тинч ҳолатидаги ишқаланиш кучи* деб, F эса жисмниң *сирғанишидаги ишқаланиш кучи* деб аталади.

Кинематик жуфт элементларни характерловчи миқдор ишқаланиш коэффициентини дейилади; бу коэффициент қаршилик кучиниң нормал реакцияга бўлинганига тенгдир. Айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича ёзилади:

$$f = \frac{F}{N} \quad (10. 3)$$

бу ерда, f — сирғаниб ишқаланиш коэффициентини;

F — қаршилик кучи;

N — нормал реакция (бу реакция ҳамма вақт илгариланма кинематик жуфт элементларига тик йўналган бўлади).

Машиналарнинг кинематик жуфти элементлари орасидаги ишқаланишни енгиш учун кетган энергияни ҳозирги замон автомат тўқув станоклари мисолида кўриш мумкин, бу ерда электр двигателиниң қуввати процент ҳисобида берилади:

1) тўқув автоматин юритмасиниң тишли узатмаларидаги ишқаланишни (зарарли қаршиликни) енгиш учун станокни ҳаракатга келтирувчи энергиянинг 4 проценти сарф бўлади;

2) тирсакли валнинг подшипникларидаги ишқаланишни енгиш учун 4 процент энергия сарфланади;

3) проступ валининг (ўрта валнинг) тишли гилдиракларида 3 процент энергия исроф бўлади;

4) проступ вали подшипникларида 3,5 процент энергия исроф бўлади;

5) тирсакли вал бўйинларида 4 процент энергия исроф бўлади;

6) батан остидаги вал подшипникларида 1 процент энергия исроф бўлади;

7) зарб механизмидаги кинематик жуфтларда 2 процент энергия исроф бўлади;

8) жағ ҳосил қилиш механизмида 0,5 процент энергия исроф бўлади;

9) моки ҳайдашда 8 процент энергия исроф бўлади;

10) бошқа нобудгарчилик 1—3 процентни ташкил қилади.

Тўқув машинасидаги ишқаланиш кучини енгиш учун энергиянинг ҳаммаси бўлиб, 31—33 проценти сарфланади.

Бундан энергия сарф қилишда ишқаланиш кучи нақадар зарар эканлигини кўриш қийин эмас.

Кинематик жуфт элементларининг ҳолатига қараб, ишқаланиш куйидагиларга бўлинади:

а) *қуруқ ишқаланиш* — бунда кинематик жуфт элементларида мой ёки бошқа суюқлик бўлмайди;

б) *чегарали ишқаланиш* — бунда кинематик жуфт элементлари жуда оз мойланган бўлади; жуфт элементлардаги мой қаллиғлиги 0,1 микрон ва ундан ҳам кам бўлади;

в) *суюқ ишқаланиш* — бундай ишқаланишда кинематик жуфт элементлари мой пардалари билан қопланган бўлиб, жуфт элементлари бир-биридан ана шу мой қавати билан ажралган бўлади. Ишқаланиш фақат мой қаватлари орасида боради;

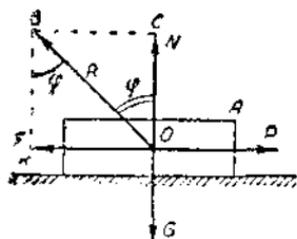
г) *ярим қуруқ ишқаланиш* — бунда айни бир вақтда қуруқ ва чегарали ишқаланиш бўлади;

е) *ярим суюқ ишқаланиш* — бунда айни бир вақтда суюқ ишқаланиш билан чегарали ишқаланиш ёки суюқ ва қуруқ ишқаланиш бўлади.

Ишқаланиш ҳодисаси фанда ҳали чуқур ўрганилган эмас. Ишқаланиш тўғрисида бир неча гипотеза бор, булар ичида суюқ ишқаланиш фанда алоҳида ўрин тутди ва у гидродинамика қонунлари асосида ўрганилади. Ишқаланиш жуда ажойиб физик ҳодисадир. У жуда мураккаб бўлиб, кўп факторларга боғлиқдир. Математика тили билан айтганда, ишқаланиш бир қанча аргументларга боғлиқ бўлган мураккаб функциядир.

2-§. Илгариланма ҳаракат қилувчи кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш

Илгариланма ҳаракатланувчи кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш кучини топишга киришамиз. Бундай жуфтлар ҳозирги замон машина ва механизмларида жуда кўп учрайди. Биз бундан буён фақат қуруқ ишқаланиш билан танишамиз.



2.1-шакл. R — тўла реакция;
 φ — ишқаланиш бурчаги.

Оғирликдаги A жисм (звено) текислик устида турибди (2. 1-шакл). Жисм оғирлигига тенг N реакция борлиги шаклдан маълум. Агар жисм P куч билан ўнг томонга сирғантирилса, унинг ҳаракатига тескари йўналган F қаршилик, яъни ишқаланиш кучи вужудга келади. F билан N кучларни геометрик қўшиб қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{F} \quad (10. 4)$$

бу ерда, \vec{R} тўла реакция, $\triangle OBK$ дан қўйидаги тенгламани чиқарамиз:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{OK}{KB} = \frac{F}{N} \quad (10. 5)$$

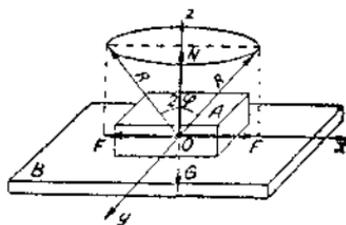
(10. 5) формуладаги $\frac{F}{N} = f$ — ишқаланиш коэффициентини;

(10. 3) формулага биноан қўйидагини ёзамиз:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= f \\ \varphi &= \operatorname{arc} \operatorname{tg} f \end{aligned} \quad (10. 6)$$

(10. 6) формуладаги φ бурчак ишқаланиш бурчаги деб аталади.

2. 2-шаклда A звено B текислик устида турибди. Текислик устидаги звенонинг оғирлиги G , реакция кучи эса N дир. Агар биз жисмни xx ўқи бўйлаб ўнг томонга сирғантирсак, ишқаланиш кучи чап томонга йўналган бўлади. Агар A звенони шу xx ўқи бўйлаб чап томонга сирғантирсак, у ҳолда, ишқаланиш кучи ўнг томонга йўналади. Иккала ҳолда ҳам тўла реакция R бўлади. Мулоҳазамизни давом эттирамиз. Агар A звенони y ўқи бўйлаб ўзимиз томон ҳаракатлантурсак, ишқаланиш кучи ҳаракат томонга тескари йўналлади. Агар звенони яна y ўқи бўйлаб ўзимиздан узоқлан-



2.2-шакл. Ишқаланиш конуси.

тирсак, ишқаланиш кучи Y ўқи бўйлаб бизга томон йўналади. Бу сафар ҳам тўла реакция R бўлади. Мулоҳазани шу йўсинда давом эттириб, A звенони 360° бўйлаб сирғантирсак, тўла реакция (R) фазода Z ўқи атрофида айланиб, ясовчиси R бўлган конус чизади (2. 2-шакл). Бу конус *ишқаланиш конуси* деб аталади.

Ишқаланиш кучининг зарарли ва фойдали томонларини кўрсатувчи баъзи маълумотларни эслатиб ўтиш ўқувчига фойдали эканлигини эътиборга олиб, қуйидаги маълумотларни китобга кiritиш маъқул топилди.

Бутун дунёда ҳар йили бир миллиард 500 миллион тонна тошкўмир ёқилади. Бу ёқилғининг қарийб 3 проценти ишқаланиш кучини енгил учун сарфланади.¹

Айрим саноат тармоқлари ишқаланиш кучини камайтириш йўлларини топиш соҳасида ишламоқда. Нефть ишлаб чиқарувчи заводлар ишқаланиш кучини камайтириш учун 1000 тонналаб ҳар хил мой ишлаб чиқаради. Бу мойлар машина ва механизмлардаги подшипниклар, ползунлар ва бир-бирига тегиб ҳаракатланувчи кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш кучларини камайтириш учун ишлатилади. Агар кинематик жуфт элементлари яхши мойланса, ишқаланиш 8—10 марта камаяди. Бу эса бизни қаноатлантирмайди. Бундан ташқари, мамлакатимизда шарикли подшипниклар ишлаб чиқарувчи бир неча завод бор. Думалаб ишқаланишда ишқаланиш тахминан 50 марта камаяди. Ишқаланиш камайган сари машина ва механизмларнинг ишлаш мuddати узаяди (улар узоққа чидайдиган бўлади). Иккинчи томондан, ишқаланиш бўлмаса, кишилар, автомобиллар ва бошқалар юра олмас, машиналарни тўхтатиб бўлмас, хоналардаги асбоблар ўз жойида тура олмас эди. Шунинг учун ҳозирги замон фани ишқаланишни камайтириш йўлларини ҳам, ишқаланишни кўпайтириш йўлларини ҳам ўрганиб боради.

Хўш, ишқаланишнинг ўзи нима? У қандай содир бўлади? Агар биз энг яхши силлиқланган юзаларни катталаштирувчи асбоб орқали қарасак, унинг юзасида ғадир-будурлик борлигини кўрамиз. Токарлик ва рандалаш станокларида ишланган юзадаги ғадир-будурликлар баландлиги 100 микронга (1 микрон миллиметрнинг мингдан бири), тоза ишланган юзалардаги ғадир-будурлик баландлиги 25 микронга, силлиқланган юзалардаги ғадир-будурлик баландлиги 4—5 микронга, жуда яхши ялтиратилганда, 2 микронга ва махсус ишланган юзалардаги ғадир-будурлик баландлиги эса 0,5 микронга етади.

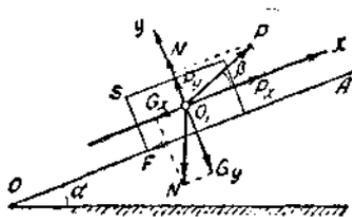
Шундай қилиб, ишқаланиш кучи, яъни ҳаракатга кўрсатилган қаршилик ана шу ғадир-будурликлардан келиб чиқар экан. Кинне.

¹ «Техника молодёжи» журнали, № 9, 1955 й.

матик жуфт звенонинг нисбий ҳаракати вақтида элементлардаги гадир-будурликлар орасидаги реакция кучлари иккига: нормал кучлар билан тангенциал кучларга ажратилади. Булардан нормал ташкил этувчилар йиғиндиси звено оғирлигига тенг реакция кучи бўлиб, тангенциаллар ташкил этувчиларнинг йиғиндиси эса ҳаракатга (силжишга) кўрсатилган қаршилик — ишқаланиш кучидир.

Ҳозирги замон фанида ишқаланишнинг молекуляр-механик назарияси бор. Бу назарияга кўра, жуда яхши ишланган юзалар орасида ишқаланиш кўп бўлади, чунки кинематик жуфт элементларидаги молекулалар бир-бирига қанчалик яқин бўлса, улар Ньютоннинг тортилиш қонунига биноан бир-бири билан шунчалик катта куч билан тортишади. Шундай қилиб, текис элементлардаги ишқаланиш кучи гадир-будур юзалар ҳисобига бўлса, жуда яхши ишланган юзаларда (элементларда) молекулаларнинг бир-бири билан тортилиш ҳисобига бўлар экан.

Ишқаланувчи jismlar нима учун қизиб кетади, деган савол туғилади. Кинематик жуфт элементлари бир-бирига нисбатан ҳаракатда бўлганда улардаги молекулар бир-бирига катта куч билан таъсир қилади. Бунинг оқибатида жуфт элементлардаги молекулар тебранма ҳаракат қилади, бу тебранма ҳаракат звено ичидаги молекуларни ҳам ҳаракатга келтиради. Звено ичкарасидаги молекуларнинг ҳаракати натижасида звенолар қизий бошлайди. Демак, ишқаланиш кучини енгич учун кет-



2.3-шакл. Қия текисликда юқорига томон сирғанаётган звено.

ган иш иссиқликка айланиб, кинематик жуфт элементларининг қизиб кетишига сабаб бўлади. Шунинг учун машиналарни ҳаракатга келтирувчи энергиянинг сарфланиши жиҳатидан ишқаланиш зарарли бўлиб, бошқа кўпгина ишларни бажаришда ишқаланишнинг аҳамияти гоаят каттадир.

Илгариланма ҳаракатда бўлган кинематик жуфтдаги ишқаланишнинг умумий ҳолини текшириб кўрамиз (2. 3-шакл).

Горизонтал OB текисликка α бурчак ҳосил қилган қия OA текисликда оғирлиги G бўлган S звено турибди. OA текисликка β бурчак остида звенони ҳаракатлантирувчи P куч қўйилган. S звено элементи билан OA текислик орасидаги ишқаланиш коэффициентини (f) берилган; звенони ўзгармас тезлик билан юқорига сирғантирувчи P кучнинг миқдори топилсин.

F — ишқаланиш кучи.

O_1 нуқтани XOY Декарт системасининг координаталар боши деб қабул қиламиз. Сўнгра P , G кучларини x ва y ўқларига проекциялаб, қуйидаги мувозанат шартларини ёзамиз:

$$\begin{aligned}\sum X &= P \cdot \cos \beta - G \cdot \sin \alpha - F = 0 \\ \sum Y &= P \cdot \sin \beta - G \cdot \cos \alpha + N = 0\end{aligned}\quad (10. 7)$$

(10. 7) тенгламалардан:

$$\begin{aligned}F &= P \cdot \cos \beta - G \cdot \sin \alpha \\ N &= G \cdot \cos \alpha - P \cdot \sin \beta\end{aligned}\quad (10. 8)$$

келиб чиқади.

Кулон — Амонтон қонунига кўра, $F = f \cdot N$ эканлигини эътиборга олиб, қуйидаги тенгламани ёзамиз:

$$P \cdot \cos \beta - G \sin \alpha = f(G \cdot \cos \alpha - P \sin \beta) \quad (10. 9)$$

$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$ эканлигини эътиборга олиб, (10.9) тенгламани P га нисбатан ечиб, қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$P^* = G \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi - \beta)} [\kappa z] \quad (10.10)$$

(10. 10) формула қия текисликдаги S звенони ўзгармас тезлик билан юқорига сирғантириб чиқарувчи (ҳаракатлантирувчи) кучни топиш формуласидир. Бу формуладаги G кетида турган тригонометрик кўпайтма $f_k = \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi - \beta)}$ қия текисликнинг умумий вазияти учун келтирилган ишқаланиш коэффициенти деб аталади.

(10. 10) формулани бир неча вазият учун қуйидагича анализ қиламиз:

1. Ҳаракатлантирувчи P куч OA қия текисликка параллел бўлсин, у ҳолда, $\beta = 0$ бўлади. Бундай вазият учун (10. 10) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$P = G \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} [\kappa z] \quad (10. 11)$$

2. $\alpha = 0$, $\beta \neq 0$. Бундай вазият учун (10. 10) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$P = G \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} [\kappa z] \quad (10. 12)$$

3. $\alpha \neq 0$, $\beta = -\beta$. Бундай вазият винт билан гайка ҳаракатига ўхшайди:

$$P^{**} = G \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi + \beta)} > P^* \quad (10. 13)$$

4. $\alpha = 0$, $\beta = 0$. Бундай вазият учун (10. 10) формула қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$P = G \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = f \cdot G \quad (10. 14)$$

5. Агар звено юқорига эмас, аксинча, пастга томон ҳаракатланса, бундай вазият учун f ва φ олдидаги белги ҳам манфий бўлади ва (10. 10) формула қуйидагича ёзилади:

$$P = G \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varphi + \beta)} \quad [\text{кг}] \quad (10. 15)$$

6. $\beta = 0$ бўлса, (10. 15) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$P = G \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \quad [\text{кг}] \quad (10. 16)$$

Агар $\alpha > \varphi$ бўлса, P куч тормозловчи куч ролни ўйнайди, яъни звено пастга ўз-ўзидан сирганиб кетмаслиги учун уни тўхтатиб туради.

Агар $\alpha = \varphi$ бўлса, $P = 0$ бўлади. Бундай вазиятда звенони ушлаб туриш ва тормозлаш учун P кучнинг ҳожати қолмайди.

Агар $\alpha < \varphi$ бўлса, P куч манфий бўлади, яъни бундай вазиятда ўз-ўзидан тормозланиш ҳодисаси юз беради.

Ўз-ўзидан тормозланиш вазиятида звенонинг қия текисликда пастга қараб силжиши учун унга пастга қаратилган куч керак бўлади. Агар қўшимча куч бўлмаса, звено тўхтаб тураверади.

7. Агар $P \cdot \sin \beta = G \cos \alpha$ бўлса, $N = 0$ бўлади, яъни звено OA қия текисликка ҳеч қандай босим кўрсатмайди; босим бўлмагач реакция ҳам бўлмайди. Бу вазият кинематик жуфт мавжудлигининг чегара вазиятидир. Агар $P \cdot \sin \beta > G \cos \alpha$ бўлса, звено билан қия текислик орасида боғланиш бўлмайди, бинобарин, кинематик жуфтлик йўқолади.

3-§. Сирганиш подшипникларидаги ишқаланиш

Сирганиш подшипникларидаги ишқаланиш билан танишиб ўта-миз. Ҳар қандай машина ёки механизмда *цапфа* ва *подшипник* бўлади. Подшипникда айланувчи валнинг бир қисми *цапфа* деб аталади. Агар цапфа валнинг охирида бўлса, бундай цапфа *шип* деб, валнинг ўрталарида бўлса, *бўйин* деб аталади. Цапфанинг подшипникдаги ишқаланиш кучини ёки ишқаланиш кучининг ишини топиш учун икки хил гипотеза бор. Бу гипотезаларнинг иккаласи билан танишиб чиқамиз.

Биринчи гипотеза. Бу гипотезада цапфа билан подшипник кинематик айланма жуфт деб қаралади ва цапфанинг подшипникка босими кинематик жуфтнинг элементларига баробар тушади, яъни солиштирма босим ўзгармас катталиқ деб қабул қилинади.

AB —кинематик жуфт элементлари бўлсин (3. 1-шакл). Цапфа билан подшипник элементларидан элементар юза (ds) ажратамиз:

$$ds = l \cdot r \cdot d\alpha$$

бунда, l — цапфанинг узунлиги.

Цапфанинг элементар юзасига тўғри келадиган реакцияни қўйи-дагича топамиз:

$$dN = qds = q \cdot r \cdot l \cdot d\alpha$$

Цапфанинг мувозанат шартидан қўйидагини оламиз:

$$\sum Y = -Q + \int_{-\alpha_0}^{+\alpha_0} q \cdot r \cdot l \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = 0$$

Буни интегралласак, қўйидаги келиб чиқади:

$$Q = 2q \cdot r \cdot l \cdot \sin \alpha_0,$$

бундан:

$$q = \frac{Q}{2 \cdot r \cdot l \cdot \sin \alpha_0} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right] \quad (10. 17)$$

Цапфа подшипникда соат стрелкаси юрадиган томонга тескари айланмоқда; элементар ишқаланиш кучи (dF) ни қўйидагича топамиз:

$$dF = f \cdot dN = f q \cdot r \cdot l d\alpha.$$

Элементар ишқаланиш кучининг моменти қўйидагича бўлади:

$$dM_F = r dF = f q \cdot r^2 l d\alpha$$

(q) нинг (10. 17) тенгламадаги қийматини қўйсак, қўйидаги келиб чиқади:

$$dM_F = f \cdot \frac{Q \cdot r}{2 \cdot \sin \alpha_0} \cdot d\alpha$$

буни интегралласак, M_F нинг қийматини топамиз:

$$M_F = f \cdot Q \cdot r \cdot \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} \quad [\text{кг м}] \quad (10. 18)$$

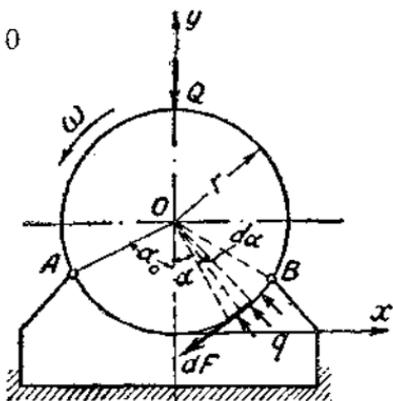
Ишқаланиш кучини (ёки моментини) енгил учун кетган секундлик ишни топамиз:

$$N_F = M_F \cdot \omega = f \cdot Q \cdot v \cdot \frac{\alpha_0}{\sin \alpha_0} \quad [\text{кг м сек}^{-1}] \quad (10. 19)$$

Қўпчилик цапфа ва подшипниклар учун $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}$; $\sin \alpha_0 = 1$ бўлади, шу сабабли:

$$N_F = \frac{\pi}{2} \cdot f \cdot Q \cdot v \quad [\text{кг м сек}^{-1}] \quad (10. 20)$$

$f_k = \frac{\pi}{2} f$ — цапфа учун келтирилган ишқаланиш коэффициенти.

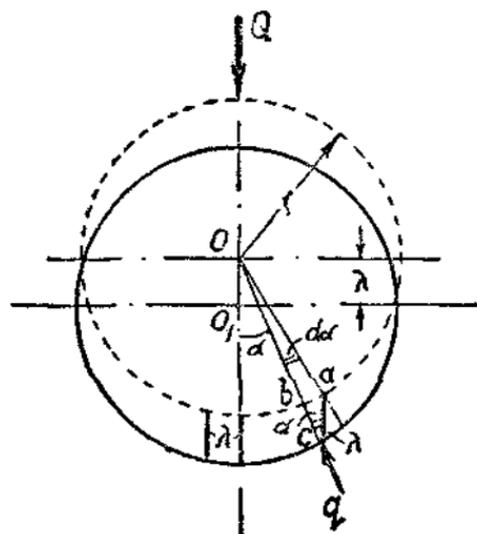


3.1- шакл. Подшипник ва цапфа.

(10. 20) формулани валнинг айланишлар сони орқали от кучи ҳисобида ифодалаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$N_F = f_k \cdot \frac{Q_0}{75} \cong f_k \cdot \frac{Q \cdot r \cdot n}{716,8} \quad (\text{от кучи}) \quad (10. 21)$$

Иккинчи гипотеза. Бу гипотезага кўра цапфа абсолют бикр деб қаралади ва подшипник Q куч таъсир чизиғининг йўналиши томон қўйилади. Подшипникнинг вертикал бўйлаб ейилиши ўзгармас катталиқ ($\lambda = ac = \text{const}$) деб қаралади (3. 2-шакл).



3.2- шакл. Цапфа ва подшипник.

bc —подшипник радиал йўналишида ейилади, бу ейилиш цапфа ўзгармас чизиқли тезлик билан айлانганда фақат солиштирма босимгагина пропорционал деб қаралади:

$$\bar{bc} = q \cdot k$$

бу ерда, k — пропорционаллик коэффициентини.

Шаклдан қуйидагини оламиз:

$$\bar{bc} = \bar{ac} \cdot \cos \alpha$$

$$q = \frac{bc}{k} = \frac{ac \cdot \cos \alpha}{k} = \frac{\lambda \cdot \cos \alpha}{k}$$

шунинг учун $\frac{\lambda}{k} = \text{const}$ бўлади; уни ψ орқали белгилаймиз:

$$q = \psi \cdot \cos \alpha$$

ψ ни топамиз. Бунинг учун барча кучларни вертикал ўққа проекциялаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$Q = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} q \cdot r \cdot l \cos \alpha \cdot d\alpha$$

$q = \psi \cdot \cos \alpha$ эканлигини эътиборга олиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$Q = 2\psi \cdot r \cdot l \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \alpha \cdot d\alpha = 2\psi \cdot r \cdot l \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} \cdot d\alpha = 2\psi \cdot r \cdot l \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$\psi = \frac{2Q}{\pi r l}$$

Солиштирма босим бундай бўлади:

$$q = \Psi \cos \alpha = \frac{2Q}{\pi r l} \cdot \cos \alpha \quad (10. 22)$$

Элементар юзага тушадиган босимни топамиз:

$$dN = q \cdot r \cdot l \cdot d\alpha$$

Элементар ишқаланиш кучи:

$$dF = f \cdot dN$$

бўлади.

Бир секундда бажарилган элементар иш қуйидагича топилади:

$$dN_F = dM_F \cdot \omega = dF \cdot r \cdot \omega = f \cdot q \cdot l \cdot r^2 \cdot \omega \cdot d\alpha = f \cdot v \cdot q \cdot r l \cdot d\alpha$$

Буни интеграллаб, жуфт элементга тўғри келган ишқаланиш кучининг бир секундда бажарган ишини топамиз:

$$N_F = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} f \cdot v \cdot q \cdot r \cdot l \cdot d\alpha = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} f \cdot v \cdot \frac{2Q}{\pi r l} \cdot r l \cdot \cos \alpha \, d\alpha = \left(\frac{4}{\pi} f\right) Q \cdot v$$

ёки

$$N_F = f_k \cdot v \cdot Q \quad [\text{кг м} \cdot \text{сек}^{-1}] \quad (10. 23)$$

бу ердаги $f_k = \frac{4}{\pi} f$ — цапфанинг келтирилган ишқаланиш коэф-
фициенти.

От кучи ҳисобида ифодаланадиган қувват қуйидагича бўлади:

$$N_F = f_k \cdot \frac{Q \cdot v}{75} = f_k \cdot \frac{Q \cdot r \cdot n}{716,8} \quad [\text{от кучи}] \quad (10. 24)$$

Шундай қилиб, биринчи ва иккинчи гипотеза билан топилган қувват формулалари бар хил бўлиб, улар орасидаги фарқ келтирилган ишқаланиш коэффициентидидагина экан:

$$f_k = \frac{\pi}{2} f = 1,57f \quad \text{— биринчи гипотезага кўра;}$$

$$f_k = \frac{4}{\pi} f = 1,27f \quad \text{— иккинчи гипотезага кўра.}$$

Булардан биринчиси янги цапфалар учун, иккинчиси эса эскирган—ишлатилган цапфалар учун қабул қилинган. Бу ерда f — текис кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш коэф-
фициенти, бу коэффициент тажриба йўли билан топилади ва турли материаллар учун турлича бўлади. Ҳар хил материаллар учун ишқаланиш коэффициенти махсус справочникларда берилган бўлади.

4-§. Ишқаланиш доираси

Цапфа жуда катта бурчак тезлиги билан айланган вақтда, ўзининг устиворлик ҳолатида айланиш томонга қараб бир оз юқори кўтарилади ва кинематик жуфт элементлари s нуқтада боғланади (4. 1-шакл).

Бундай вазият учун тўла реакция қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\bar{R} = \bar{F} + \bar{N}$$

унинг скаляр қиймати эса:

$$R = \sqrt{F^2 + N^2} = N \sqrt{1 + f^2} = \frac{N}{\cos \varphi}$$

бўлади; бу ерда $f = \operatorname{tg} \varphi$; N — нормал реакция; бу реакция контакт нуқтасининг эгрилик радиуси бўйлаб йўналган бўлади, шунинг учун y цапфанинг марказидан ўтиши керак. 4. 1-шаклдан қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$S = r \cdot \sin \varphi \quad (10. 25)$$

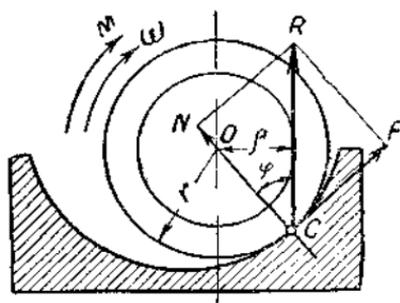
Ишқаланиш кучининг моменти қуйидагича топилади:

$$M_F = F \cdot r = R \cdot \rho \quad (\text{кг м}) \quad (10. 26)$$

Цапфага қўйилган M момент ишқаланиш кучининг моменти билан мувозанатлашуви керак. Ана шу вазиятдагина тўла реакция ρ радиуси билан ўтказилган айланага уринма бўлади. Агар валга қўйилган кучларнинг тенг таъсир этувчиси ρ радиусли айлана ташқарисидан ўтса, y ҳолда, вал тезланиш билан айланган бўлади. Агар валга таъсир қилувчи кучларнинг тенг таъсир этувчиси ρ радиусли айланага уринма бўлиб ўтса, y ҳолда, вал тезланишсиз бир текис айланган ёки тинч турган бўлади. Агар валга таъсир қилувчи кучларнинг тенг таъсир этувчиси ρ радиусли айлана ичкарисидан ўтса, вал секинлашаётган ёки ўз жойида тинч турган бўлади. Бундай хоссали доира *ишқаланиш доираси* деб аталади.

Одатда, цапфалардаги ишқаланиш бурчаги жуда кичик бўлади. Кичик бурчаклар учун $\sin \varphi$ ни $\operatorname{tg} \varphi$ билан алмаштириш мумкин. Бундай ҳолда ишқаланиш доирасининг радиуси тахминан $\rho \approx fr$ бўлади.

Машина ва механизм звеноларининг эскириши (ейилиши) ишқаланишгагина эмас, ҳали бизга маълум бўлмаган бошқа факторларга ҳам боғлиқдир. Машина деталларининг ейилиши—улар ўл-



4.1-шакл. Ишқаланиш доираси ва унинг радиуси (ρ).

чамларининг иш жараёнида секин-аста ўзгариб боришидан иборатдир. Бу ўзгариш ишқаланиш юзаларига (элементларига) кучнинг таъсиридан келиб чиқади. Ейилишнинг механик, физик, химиявий-физик назариялари бор. Бу назарияларга кўра, ейилиш ҳодисасини бир неча сирфга бўлиш мумкин. Улардан энг муҳимлари қуйидагилардир:

- 1) механик ейилиш;
- 2) физик-механик ейилиш;
- 3) химиявий-механик ейилиш;
- 4) комплекс ейилиш—бунда температура, коррозия ва бошқа

факторлар бўлади.

Ҳар бир ейилишнинг ўзига хос қуйидаги белгилари бўлади:

1) ишқаланишнинг хилига (сирғаниб ишқаланиш ёки думалаб ишқаланишга) қараб ейилиш;

2) ишқаланишнинг турига (қуруқ, ярим қуруқ, суюқ ва ярим суюқ ишқаланишга) қараб ейилиш;

3) кинематик жуфт элементлари нисбий ҳаракатининг характерига (бир текис ёки тезланиш билан бўлган ҳаракатга) қараб ейилиш;

4) ҳаракатнинг турига (айланма, илгариланма ёки илгариланма-қайтар бўлишига) қараб ейилиш;

5) ейилишнинг характерига (ячки ёки сиртқи эканлигига) қараб ейилиш;

6) муҳитга (ҳаво, сув, олов ва ҳоказога) қараб ейилиш;

7) ишқаланувчи элементларнинг шаклига (цилиндрик, текис ва бошқа шаклига) қараб ейилиш;

8) таъсир этувчи кучнинг характерига (бир текисда таъсир этувчи, даврий равишда ўзгарувчи эканлигига) қараб ейилиш;

9) деформациянинг характерига (сиқилиш, қаватланиш, бурилиш ва бошқаларга) қараб ейилиш.

Шундай қилиб, машина ва механизм деталларининг ейилиши ҳақидаги масала мураккаб техник масала бўлиб, бу соҳа билан машинашунослик фанининг айрим тармоғи шуғулланади.

5-§. Товон ва товоидаги кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш

Вертикал ўрнатилган валларнинг тагидаги юза (элемент) кинематик жуфтнинг иккинчи элементи билан сирғаниб ёки юмаланиб ишқаланиш ҳолатида бўлади. Бундай ҳолларда вертикал валнинг элементи *товои*, иккинчи элемент эса *товоидаги* деб аталади. Биз қуйида товои ва товоидаги кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш масалалари билан танишиб чиқамиз.

5.1-шаклда товои ва товоидаги вертикал ва горизонтал проекцияларда схематик равишда тасвир этилган. Шаклда элемент —

товон ҳалқа шаклида олинган. Биз бу ерда валга таъсир эттирилган Q куч таъсирида кинематик жуфт элементларига баробар ўзгармас босим таъсир қилади деган фараз билан масалани ечишга киришамиз; у ҳолда бирлик юзага тўғри келган босимни q десак, унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$q = \frac{Q}{\pi(R^2 - r^2)} = \text{const}, \quad (10. 27)$$

бу ерда q — бирлик юзага тўғри келган босим, $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$;

R — товонтагининг катта радиуси;

r — товонтагининг кичик радиуси.

$R - r$ оралиқда бирор $d\rho$ радиал оралиқни оламиз ва бу кичик (элементар) ҳалқадан ds юзани ажратиб оламиз, у ҳолда юзага таъсир этувчи нормал босим қуйидагича топилади:

$$dN = q \cdot ds \quad (10. 28)$$

Ишқаланиш кучи эса:

$$dF = f \cdot dN = f \cdot q \cdot ds, \quad (10.29)$$

бу ерда, f — ишқаланиш коэффициентини.

Ишқаланиш назариясидан бизга маълумки, ишқаланиш кучи (dF) валнинг бурчак тезлигига тескари, радиус ρ га тик йўналган бўлади.

Шунд й қилиб, dF кучи элементар dM_F момент ҳосил қилади:

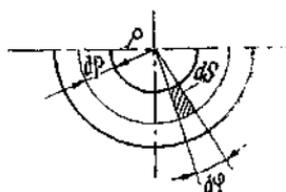
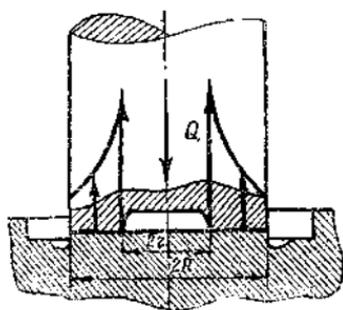
$$dM_F = dF \cdot \rho = f \cdot q \cdot ds \cdot \rho \quad (10. 30)$$

ds юзачани топамиз:

$$ds = \rho \cdot d\varphi \cdot d\rho$$

q ва ds нинг қийматларини (10. 30) га қўямиз ва уни интеграллаб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} M_F &= \int dM_F = \int f \cdot q \cdot ds \cdot \rho = \int_{\rho=r}^{\rho=R} \int_{\varphi=0}^{2\pi} f \frac{Q}{\pi(R^2 - r^2)} \cdot \rho^2 d\rho \cdot d\varphi = \\ &= \frac{fQ}{\pi(R^2 - r^2)} \cdot \frac{1}{3} \rho^3 \Big|_r^R \cdot \varphi \Big|_0^{2\pi} = \frac{2}{3} f \cdot Q \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \\ M_F &= \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} f \cdot Q \quad (10. 31) \end{aligned}$$



5.1- шакл.

Агар товон юзаси ҳалқасимон бўлмай, яхлит бўлса, у ҳолда $r=0$ бўлади. Бундай ҳолат учун (10. 31) формуланинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$M_F = \frac{2}{3} R \cdot f \cdot Q \quad (10. 32)$$

$\frac{2}{3} R$ бутун товон учун ишқаланиш кучининг елкаси деб аталади.

$$\frac{R^2 - r^2}{R^2 - r^2} = \frac{R^2 + R \cdot r + r^2}{R + r} = \frac{R(R + r) + r^2}{R + r} = R + \frac{r^2}{(R + r)} > R$$

Ишқаланишни йўқотиш учун кетган қувват қуйидагича топилади:

$$N_F = \omega \cdot M_F = \frac{\pi n}{30} \cdot M_F$$

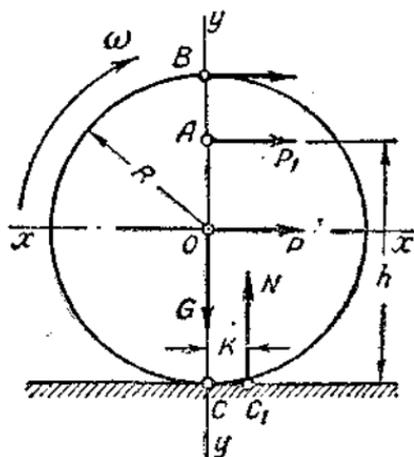
ёки

$$N_F = \frac{M_F \cdot \omega}{75} = \frac{M_F \cdot n}{716} \quad (10. 33)$$

6-§. Олий кинематик жуфтлардаги ишқаланиш

Ҳозирги замон машина ва механизмларидаги кинематик жуфтларнинг турига қараб, ишқаланиш икки хил бўлади. Булардан бири биз юқорида кўриб ўтган қуйи кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланишдир. Бундай ишқаланиш *биринчи турдаги ишқаланиш* деб, бундаги ишқаланиш коэффициентини эса *биринчи турдаги ишқаланиш коэффициентини* деб аталади. Биз бу параграфда олий жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш билан танишиб ўтамиз. Олий жуфт элементларидаги ишқаланиш *иккинчи турдаги ишқаланиш* деб, бундаги ишқаланиш коэффициентини эса *иккинчи турдаги ишқаланиш коэффициентини* деб аталади.

Бирор шарни бир текислик устида думалатгш учун, уни бирор куч билан итариш керак бўлади (6.1-шакл). Масалани равшанроқ тушунтириш учун қуйидагича мулоҳаза юритамиз. Умуман, табиатда абсолют қаттиқ жисм бўлмагани учун шар билан текисликни қуйидагича талқин қилиш мумкин:



6.1- шакл. текислик устидаги шар.

1. Текислик устида турган шар абсолют қаттиқ, текислик эса бўшроқ, деб фараз қилайлик. Бундай ҳолда шар текисликка ботади, яъни текислик бир оз эзилади — олий жуфт қўйи жуфтга айланади.

2. Текислик устида турган шар бир оз юмшоқроқ (коптонки эсланг), текислик эса абсолют қаттиқ, деб фараз қилайлик. Бундай ҳолда шар бир оз эзилиб, шар билан текислик орасида олий жуфт ўрнига қўйи жуфт ҳосил бўлади.

3. Агар шар ҳам, текислик ҳам абсолют қаттиқ бўлса, шар билан текислик орасида олий жуфтлик мавжуд бўлади (идеал ҳол).

6. 1-шаклда тасвирланган шарнинг оғирлиги G , радиуси эса R дир. Шу шарни шаклда кўрсатилгандек думалатиш учун унга бирор P, P_1 ёки P_2 куч қўйиш керак.

Шар тинч турганда шар билан текислик элементлари C нуқтада боғланади ва шарнинг оғирлиги YU вертикал ўқ устида бўлади. Шарни соат стрелкаси юрадиган томон думалатиш учун унга таъсир этувчи куч элементлар боғланишини C дан C_1 га кўчиради. C_1 нуқтада шарнинг оғирлигига тенг N реакция кучи YU вертикал ўқдан бирор k масофада туради, шар эса (G, N) жуфтнинг momenti таъсирида ўзининг бошланғич вазиятини сақлашга ҳаракат қилади ва ҳаракатлантирувчи моментга қаршилиқ кўрсатади. Шарнинг мувозанат шarti (ёки унинг бир текисда ўзгармас бурчак тезлиги билан думаланиш шarti) қўйидагича бўлади:

$$M = M_G$$

бу ерда, $M = P \cdot R$ — ҳаракатлантирувчи кучнинг momenti;

$$M_G = k \cdot G — \text{қаршилиқ кучининг momenti } (N - G).$$

M ўрнига PR ни, M_G ўрнига эса $K \cdot G$ ни олампиз. Унда:

$$PR = k \cdot G$$

$$P = \frac{k}{R} \cdot G \quad (k \leq 1) \quad (10. 34)$$

келиб чиқади, бу ерда, $P — O$ нуқтага қўйилган қаршилиқ енгувчи куч (ҳаракатлантирувчи куч);

$G = N$ — нормал босим;

k — пропорционаллик коэффициентини ёки иккинчи турдаги ишқаланиш коэффициентини, мм ҳисобида.

(10. 34) формуладан қўйидаги хулосага келиш мумкин:

1. Иккинчи турдаги ишқаланиш кучи F нормал босим (N) га тўғри, думаланувчи жисм радиусига эса тескари пропорционал дир.

2. Ишқаланиш кучи думаланувчи жисмнинг материалга ва унинг физик хоссасига боғлиқдир.

6. I-шаклдаги ҳаракатлантирувчи кучнинг C нуқтага нисбатан елкасини ўзгартириб, (10. 34) формулани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

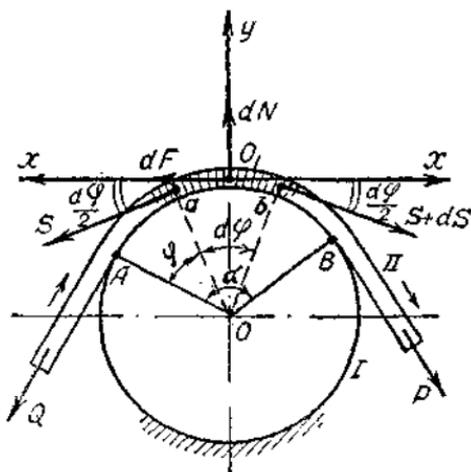
$$P_1 = \frac{k}{h} G \text{ [кг]} \quad (10. 35)$$

$$P_2 = \frac{k}{2R} G \cdot \text{[кг]} \quad (10. 36)$$

(10. 34), (10. 35), (10. 36) формулалардан $P > P_1 > P_2$ эканлигини кўриш қийин эмас. Шундай қилиб, шарга қўйилган ҳаракатлантирувчи кучнинг елкаси қанча катта бўлса, шарнинг думалаши шунча осон бўлар экан.

7-§. Эгилувчи звенолардаги ишқаланиш

Эгилувчи звенолардаги ишқаланиш ва ҳаракатни текшираемиз (7. 1-шакл). Шаклда I цилиндр қўзғалмас бўлиб, унга II тасма ярим ўралган. Тасманинг чап учида қаршиллик кучи бор, шу Q кучни тасманинг ўнг учидаги P куч воситасида ўзгармас тезлик билан тортиш керак. Масалани ечиш учун тасмадан ab элементар кесма ажратиб оламиз. Бу элементар кесманинг чап томонидан S куч тортиб турса, ўнг томонидан $(S + ds)$ куч билан тортиш керак, чунки тасма билан цилиндр кинематик жуфт ташкил этганлигидан, уларнинг элементларни орасида ишқаланиш кучи ҳосил бўлади. Координаталар системасининг бошини O , нуқтада қилиб оламиз. Элементар тасмага таъсир этувчи кучларни x ва y ўқларига проекциялаб, қуйидаги мувозанат тенгламаларини ҳосил қилаемиз:



7.1-шакл. Қўзғалмас цилиндр ва эгилувчан тасма.

$$\sum X = -dF - s \cdot \cos \frac{d\varphi}{2} + (s + ds) \cos \frac{d\varphi}{2} = 0$$

$$\sum Y = dN - s \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} - (s + ds) \sin \frac{d\varphi}{2} = 0$$

Биринчи тенгламадан $dF = ds \cdot \cos \frac{d\varphi}{2} \approx ds$ ни, иккинчи тенгламадан эса $dN = 2 \cdot s \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} + ds \cdot \sin \frac{d\varphi}{2}$ ни оламиз.

$d\varphi$ бурчак жуда ҳам кичик бўлганлигидан, уни $\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$ билан алмаштириш мумкин. Икки сон кўпайтмаси $\left(ds \cdot \frac{d\varphi}{2}\right)$ ни ташлаб юборсак, қуйидаги тенглама чиқади:

$$dN = s \cdot d\varphi$$

Кулон—Амонтон қонунига биноан, қуйидаги тенгламани ёзамиз:

$$dF = f \cdot dN = fs \cdot d\varphi$$

$dF = ds$ эканлигини эътиборга олсак, қуйидаги биринчи тартибли дифференциал тенглама чиқади:

$$ds = f \cdot s \cdot d\varphi$$

ёки

$$\frac{ds}{s} = f d\varphi$$

бу тенгламани интеграллаймиз:

$$\int_{s=Q}^{s=P} \frac{ds}{s} = \int_{\varphi=0}^{\varphi=\alpha} f d\varphi$$

бу аниқ интеграллардан қуйидагини чиқарамиз:

$$\ln s \Big|_Q^P = f\alpha = \ln e^{f\alpha}$$

бундан:

$$P = Qe^{f\alpha} \quad (10. 37)$$

келиб чиқади, бу тенгламадаги f —тасма билан цилиндр элементлари орасидаги ишқаланиш коэффициенти; $\alpha = \angle ACB$ — ўралиш бурчаги, у радиан ҳисобида ифодаланади; $e = 2,718$ — натурал логарифмнинг асоси.

(10. 37) формула Л. Эйлер формуласи деб аталади. $e^{f\alpha}$ катталик α бурчакнинг ошуви билан тез ошиб боради. Бунинг натижасида Q камайиб боради. Бу катталики турли α бурчаклар ва ишқаланиш коэффициентлари учун махсус жадваллардан топиш мумкин. Л. Эйлер формуласидан α , f ларнинг ортиши билан тортувчи (P) кучнинг тез ортиб боришини кўриш қийин эмас. Умуман, $P - Q = F$ ишқаланиш кучидир.

Турли α ва f лар учун $e^{f\alpha}$ нинг қийматлари

Радиан	α°	Ишқаланиш коэффициенти f				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
		$e^{f\alpha}$ нинг қийматлари				
0,556л	100°	1,19	1,42	1,69	2,01	2,39
0,666л	120°	1,23	1,52	1,87	2,31	2,85
0,776л	140°	1,28	1,63	2,08	2,66	3,39
1,05л	200°	1,42	2,01	2,85	4,04	5,73
1,33л	240°	1,52	2,31	3,51	5,54	8,12
1,4л	252°	—	2,4	—	5,81	9,0
1,6л	288°	—	2,73	—	7,47	12,3
1,8л	325°	—	3,10	—	9,60	16,9
4,0л	720°	—	12,0	—	152	535
6,0л	1080°	—	43,0	—	1881	12392

Эйлер формуласидан фойдаланиб, темир йўл юзида турган катта составни бир киши маълум оралиққа тортиб келтира олади. Бу формулага асосланиб, денгиз портидаги айланувчи вертикал цилиндр темир йўлдаги составларни жуда осонлик билан қирғоққа келтиради. Цилиндр тепасида турувчи ишчи вагонга уланган тросни цилиндрга 3—4 марта ўрайди, яъни α бурчакни оширади. Бошқача қилиб айтганда, тортувчи P куч ортади ёки цилиндр билан трос орасидаги ишқаланиш кучи сунъий равишда оширилади. Буни қуйидаги формуладан кўриш мумкин:

$$F = P - Q = Q(e^{f\alpha} - 1)$$

Масалан, $f = 0,4$ бўлганда, тросни цилиндрга 2 марта ўраб, 1 кг ($P = 1$) куч билан 152 кг ($Q = 152$ кг) юкни ушлаб туриш мумкин.

XI боб.**БЕРИЛГАН КУЧЛАР ТАЪСИРИДАГИ МЕХАНИЗМНИНГ ҲАҚИҚИЙ ҲАРАКАТИ****1-§. Механизм ва машина назариясидаги динамик ҳисоблаш, уларнинг методлари ва кучлар тўғрисида қисқача тушунча**

Механизм динамикасининг асосий масаласи — унинг мувозанат ҳолатида қўзғалгандаги ҳаракати характерининг қандай бўлишини аниқлашдан иборатдир. Бу ҳаракат характерига механизм таркибидаги айрим звено массалари, инерция моментлари, механизмдаги қаршиликлар характеристикаси ва двигателнинг механик характеристикалари қандай таъсир қилишини конкрет ҳоллар учун аниқлаш механизмлар динамикасининг реал масаласидир.

Динамик система. Бу — звено ёки бир неча звеноларнинг маълум алоқалар воситасида боғланган қўшилмасидир. Масалан, автомобиль, тўқув станогини ўз таркибларидаги барча звенолар, уларнинг массалари ва алоқалари билан механик система учун мисол бўла олади.

Динамик звено. Баъзи ҳолларда динамик системанинг бирон компонентини ўрганишга тўғри келади. Масалан, тўқув станогидagi тирсакли вал ёки батаннинг ҳаракатлари айрим динамика — звенонинг ўзгинасидир ёки тола ажратиш машинасининг аррالي вали ва шу кабилар.

Математик модель. Динамик система ҳаракатини (ҳолатини) билишнинг асосий калити унинг ҳаракатини чизиқли математик тенглама билан ифода қилишдан иборат. Чизиқсиз тенглама жуда мураккаб бўлиб, унинг баъзи бир қисмларини ташлаб ишланса қўп хатоликларга йўл қўйилмаган бўлади. Мана шундай математик ифода — динамик системанинг математик модели деб аталади.

Динамик система умумий характеристикасининг физик маъноси — унинг ҳаракатининг устиворлиги ва бошқара олишлик мумкинлигидан иборат. Системанинг устиворлиги унинг бошланғич мувозанатининг турли ҳолатига қараб текширилиши мумкин.

Динамик системанинг статик ёки динамик мувозанат ҳолатидан қўзғатиш унга мувозанатлашмаган куч ёки момент қўйиш билан бўлади. Қўп ҳолларда математик анализни соддалаштириш учун қўзғатувчи куч ёки моментни синусоидал қонун билан ўзгарди деб қабул этилади.

Бошқариш. Бошқаришнинг энг содда усули статик ёки динамик мувозанатдаги механик системани (машинани) олдиндан мўлжалланган мақсад йўлига буришдир. Бу иш бошқариш меха-

низми орқали, унга куч ёки момент таъсир эттириш йўли билан олиб борилади. Куч ёки моментнинг ўзгариши бошқариш программаси асосида, автоматик ишлайдиган сервомеханизм ёки улар комбинацияси орқали олиб борилади. Ҳар қандай системани бошқариш турли белгиларга асосан олиб борилиши мумкин.

Статик устиворлик — системанинг барқарор ҳаракат режими вақтидаги устиворлик. Устиворлик тушунчаси мураккаб тушунча бўлиб, у ҳатто эркинлик даражаси битта бўлган система учун ҳам мураккабдир. Статик устиворлик масаласи системанинг маълум эластик кучлар воситасида ўзининг мувозанатига қайтиш тушунчасига ўхшаб кетади. Бу масала системада «эластиклик» ёки «қаттиқлик» аломатлари бор деган тахминларни англатади.

Динамик устиворлик — ҳаракатнинг ҳақиқий устиворлиги. Бундай системанинг ўткинчи ҳаракат давридаги устиворлиги ўрганилади.

Агар система статик устивор бўлмаса, ундай ҳолда система тебранишсиз ўз ҳолатидан оға бошлайди. Динамик устиворлик тушунчасида эса оғиш амплитудасининг ўсиш тезлиги ҳам ҳисобга олиниб қаралади.

Демпфрлаш (сўндириш). Демпферлаш динамик устиворлик масаласи билан боғланган. Ҳаракати сўнувчан системаларда, одатда, чизиқли ёки бурчак тезликка пропорционал кучлар бўлади. Бундай кучлар, кўпинча, ҳаракатга тескари йўналган бўлганлигидан улар «демпферловчи» (сўндирувчи) кучлар деб аталади. Таркибида шундай кучлар бўлган механизмлар эса «демпферловчи механизмлар» деб аталади. Масалан, гидравлик амортизаторларда гидравлик кучлар тезликка пропорционал ўзгаради.

Системанинг кўрсатилган таъсирга реакцияси. Реакция ва системанинг ўз ҳолатидан таъсир остида чиқиши, бу системанинг таъсирдан кейинги ҳаракат ҳолатини ифодаловчи вақтинчалик функциядир.

Қайтма алоқа. Қандайдир таъсир натижасида системанинг, масалан, машинанинг издан чиққанини кўрган шофёр уни тезда изга туширишга, яъни тўғри йўлга солишга киришади. Бундай ҳолларда система (машина) умумий қайтма алоқага эга бўлади ёки система ёпиқ контурли бўлади. Бунда қайтма алоқа ролин шофёр бажаради.

Ҳаракат тенгламаси. Система ҳаракатининг тенгламасини тузишда махсус математик аппаратдан фойдаланилади. Бундан асосий мақсад текширилувчи объектнинг математик моделини тузишдир. Бундай математик модель системанинг кинематик ва динамик параметрлари билан двигателнинг механик характеристикасини ўз ичига олган дифференциал тенгламадан иборат.

Дифференциал тенгламаларнинг сони системанинг эркинлик даражасига боғлиқ; дифференциал тенгламалар сони системанинг эркинлик даражасига тенг бўлади. Ҳозирги замон электрон ҳисоблаш машиналари бир неча тур чизиксиз тенгламаларни еча олади, ammo масалани тўғридан-тўғри аналитик текшириш учун тенгламани чизикли ҳолга келтириш лозим. Олинган тенгламалар айни вақтда классик ёки оператор методлари ёрдамида ечилиши мумкин (Лаплас ўзгартиргичлари ёрдами билан).

Ҳаракат тенгламасининг ечилиши. Характеристик тенглама илдизлари системадаги таъсир олингач, система қандай турдаги ҳаракат қилишини билдиради. Масалан, система таъсирдан қутулгач тебранма ҳаракатда бўладими ёки яқинлашувчи (ёки узоқлашувчи) аperiодик ҳаракат қиладими? Буларни билиш масала моҳиятини аниқлашга имкон беради. Ҳаракат турига қараб тебранма ҳаракатнинг такрорий ва демпферлаш коэффициентини аниқлаш лозим.

Динамик система устиворлигининг асосий белгилари. Характеристик тенгламанинг илдизлари бу масалага тўла жавоб бериш имконини беради. Агар илдизларни топишда хатога йўл қўйилса, унда устиворликни аниқлаш қийинлашган бўлади.

Метод ҳақида икки оғиз сўз.

Динамик системаларни ўрганиш асосан қуйидаги классик схема асосида олиб борилади:

1) Системага таъсир этувчи ташқи ва инерция кучлари билан моментларни тенглаштириш йўли билан тенглама ечилади.

2) Ҳаракат тенгламаларига асосланиб системанинг параметрлари ҳисобланади.

3) Кейин, махсус моделда синов ишлари ўтказилади ва олинган натижалар олинган параметрлар билан таққосланади.

4) Агар тенглама билан моделдаги натижаларнинг фарқи бўлса, хато қаерда эканлиги аниқланади. Бунда ёки тенглама барча параметрларни ҳисобга олмай тузилган бўлади, ёхуд ҳаракат параметрлари нотўғри ёзиб олинган бўлади, яъни эксперимент нотўғри қўйилган бўлади.

5) Назарий ва эксперимент натижалари тўғри чиқмагунча хато қаерда эканлиги қидирилади. Хулосалар тўғри чиққач, тадқиқотчи система ҳаракати тўғрисида тўлиқ маълумотга эга бўлади.

Агар икки жисмдан бири ўз ҳаракати билан иккинчисига таъсир кўрсатса, у ҳолда, таъсир кўрсатувчи жисм (звено) актив бўлади. Агар иккала звено ҳаракат билан бир-бирларига таъсир кўрсатса, у ҳолда, уларнинг ҳар иккаласи ҳам актив бўлади. Шу активликнинг миқдорий ўлчови механик энергиянинг ўзгинасидир. Бундай ҳолда, звено маълум механик энергия запасига эга ёки шундай энергияни ўзида олиб юради деб айтиш мумкин.

Бир звенонинг иккинчисига механик таъсири натижасида ундаги механик энергия тўлиқ ёки қисман иккинчи звенога ўтиши мумкин, қолган қисми эса ташқи муҳитга тарқалади; кўпинча у иссиқлик кўринишида ташқи муҳитга ўтади.

Звенода механик энергиянинг тўпланиши қуйидаги уч ҳолда бўлиши мумкин:

1) Звенонинг ер марказига нисбатан узоқлашуви натижасида тўпланган энергия, бундай ҳолатдаги энергия *потенциал энергия* деб аталади.

2) Звенонинг қўзғалмас ҳолатидан тезлигининг ортиши ёки бир тезликдан яна тезлигининг ошishi натижасида тўпланган энергия — *кинетик энергия ёки ҳаракатдаги энергия* деб аталади.

3) Звенонинг эластик деформацияланиши, яъни чўзилиши, сиқилиши ёки буралиши натижасида тўпланган энергия — *эластик деформация энергияси ёки эластик энергия* деб аталади.

Бу уч хил кўринишдаги энергияларнинг биридан иккинчисига ўтиши энергиянинг сақланиш қонуни асосида бўлади, яъни энергия йўқолмайди ва янгидан пайдо ҳам бўлмайди, фиқат бир жисмдан иккинчисига, бир кўринишдан иккинчи кўринишга ўтиб туради.

Мавжуд механизм ва машиналарни кинематик жиҳатдан анализ қилиш уларнинг кучларга ва динамик ҳисоблаш ишига кириш қисмидан иборатдир. Механизмларни кучларга ҳисоблашдан асосий мақсад, унинг таркибига кирувчи звеноларга таъсир этувчи кучлар, кинематик жуфт элементларига таъсир этувчи реакция кучлари, етакловчи звенолардаги мувозанатловчи кучлар (ёки моментлар) билан бир қаторда қўзғалмас звенолардаги ва фундаментлардаги зўриқишларни (кучларни) топишдан иборат. Механизмдаги бу кучлар етакловчи звенонинг бир қанча ҳолатлари учун топилади ва улар машина звеноларининг пишиқлигини, бикрлигини, ейилишга бардош беришлилигини ва вибрацияга (тебранишга) бардош беришга ҳисоблаш ишларида, шунингдек, двигателни айлантирувчи моментни топиш учун ишлатилади.

Шундай қилиб, ҳар қандай машина ёки механизмларни кучларга ҳисоблаш йўли билан уларнинг турли тезликда ишлаган ҳоллари учун мустаҳкамликнинг эҳтиётлик коэффициентни қай ҳолда бўлиши таққослаб кўрилади.

Механизмларни кучга ҳисоблаш асосан кинетостатик йўл билан олиб борилади. Бунда кинематик жуфтлар идеаллаштирилади. Жуфт реакциялар ҳаракатлантирувчи ва фойдали қаршилик кучларини ҳисобга олиб топилади ва кинематик жуфтлардаги максимал реакция аниқланади.

Машиналарни динамик ҳисоблашдан асосий мақсад машина звеноларига қўйилган кучлар таъсирида уларнинг ҳақиқий ҳаракат қонуналарини топишдан иборат.

Механизм звеноларига қандай кучлар таъсир этишини кўриб чиқамиз. Механизм звеноларига асосан қуйидаги икки группа кучлар таъсир этади:

1. Берилган кучлар.
2. Боғланишлардаги реакция кучлари.

Берилган кучлар группасига қуйидагилар киради:

- а) ҳаракатлантирувчи кучлар,
- б) фойдали қаршилик кучлари,
- в) зарарли қаршилик кучлари.

Фойдали қаршилик кучлари қуйидаги қонуниятлар остида берилган бўлиши мумкин:

1) Ўзгармас қонуният, $P_{\phi. \kappa} = \text{const}$. Бундай қаршиликни юк кўтарувчи машиналар, токарлик станоклари, прокат станлари, рандалаш станоклари ва қоғоз ишлов машиналари мисолида кўриш мумкин;

2) Тезликка боғлиқ қонуният, яъни $P_{\phi. \kappa} = P_{\phi. \kappa} (v)$. Бундай қаршиликни вентиляторлар, марказдан қочувчи кучга асосланган насослар, теплоход винтлари ва тутун насослари мисолида кўриш мумкин;

3) Йўлга (оралиққа) боғлиқ қонуният, яъни $P_{\phi. \kappa} = P_{\phi. \kappa} (s)$. Бундай қаршиликни поршенли компрессорлар, насослар, кривошип пресслар ва чайқалиб ҳаракатланувчи конвейерлар мисолида кўриш мумкин;

4) Тезлик ва йўл (оралиқ) га боғлиқ қонуният, $P_{\phi. \kappa} = P_{\phi. \kappa} (v, s)$. Бундай қаршиликни тез юрар транспорт машиналар мисолида кўриш мумкин;

5) Вақтга боғлиқ қонуният, яъни $P_{\phi. \kappa} = P_{\phi. \kappa} (t)$. Бунга мисол қилиб зарарли қаршилик кучларини ва кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш кучларини олиш мумкин.

Зарарли қаршилик кучларига ишқаланиш кучлари, оғирлик кучлари, инерция (динамик) кучлари киради.

Кинематик жуфт элементларига қўйилган боғланиш реакция кучлари иккисга бўлинади. Булардан бири ишқаланиш кучи ва нормал кучлар бўлиб, ишқаланиш кучлари эса ўз навбатида берилган кучлар группасига киради. Бундай кучлар нормал реакция кучларига пропорционалдирлар. Нормал реакция кучларини топиш эса механизмларни кучга ҳисоблашнинг асосий масала ларидан бирини ташкил этади.

Қаршиликнинг табиатига қараб кучларнинг ҳам номлари турличадир: звенонинг оғирлик кучини енгизиш унинг потенциал энергия запасини оширади; звенонинг эластик кучини енгизиш билан биз унинг запас эластик энергиясини оширган бўламиз; звено массасининг инерция кучини енгизиш билан унинг кинетик энергия запасини оширган бўламиз.

Материалнинг (жисмининг) деформацияси ва бузилиши унинг энергия запасининг ўзгармаган ҳолатида ҳам бўлиши мумкин, масалан, қаттиқ материалларни босим билан ишлаш (пресслаш) ва кесиш ҳолларида энергия шу материал заррачаларининг ўртасидаги ички қовушоқлик кучларини енгил учун сарфланиб, бу кучлар иши иссиқликка айланади ва ташқи муҳитга тарқалиб кетади.

Звено ҳаракатида унинг энергия запаси ўзгармаслиги мумкин бўлган ҳоллар жуда кўп, масалан, энергияни бир органдан иккинчисига узатиш звеноларининг ҳаракати шунга мисол бўла олади. Бунда энергиянинг бир қисми ишқаланишни енгил учун сарфланади, холос.

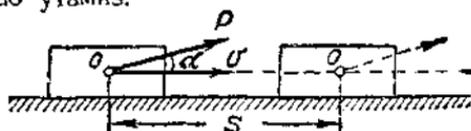
Машинага таъсир этувчи кучларнинг қандай кучлардан иборат эканлигини билмай туриб, машина ҳаракатининг ҳақиқий ҳолатини билиш қийин. Машинага таъсир этувчи барча кучларни, асосан, иккига — бериладиган кучларга ва реакция кучларига (боғланишлар реакциясига) бўлиши мумкин. Биз дарсликнинг кинетостатика қисмида боғланишлар реакциясини, яъни кинематик жуфтлардаги реакция кучларини топиш билан шуғулланган эдик.

Бериладиган кучлар, асосан, қуйидагилардан иборат бўлади:

- 1) ҳаракатлантирувчи кучлар;
- 2) фойдали қаршилик кучлари;
- 3) зарарли қаршилик кучлари;
- 4) оғирлик кучлари;
- 5) инерция кучлари.

Бу кучлар билан дарсликнинг 43-параграфидида қисқача танишиб ўтган эдик, ammo ҳозир юқорида баён этилган кучларнинг ҳар бирини қисқача таърифлаб ўтамиз.

Ҳаракатлантирувчи кучлар. Машинанинг қабул қилиш органига таъсир этиб, уни ҳаракатга келтирувчи куч *ҳаракатлантирувчи куч* деб аталади. Ҳаракатлантирувчи кучнинг бажарган иши ҳамма вақт мусбат бўлади, чунки бу кучнинг йўналиши ҳаракат йўналиши томонига бўлади ёки у билан ўткир бурчак ҳосил қилади. Ҳаракатлантирувчи кучнинг йўналиши ҳаракат йўналишига тўғри келса (яъни улар орасидаги бурчак $\alpha = 0$ бўлса), у ҳолда, кучнинг бажарган иши максимал қийматга эга бўлади (1.1-шакл). Буларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:



1.1-шакл. Илгариланма кинематик жуфт.

$$A_g = P \cdot S \cdot \cos(\widehat{P, S}) \text{ кг м} \quad (11.1)$$

Бир секундда бажарилган иш бундай бўлади:

$$N_g = P \cdot V \cdot \cos(\widehat{P, V}) \text{ кѐмсек}^{-1}, \quad (11.2)$$

бу ерда, P — ҳаракатлантирувчи куч;

S — ўтилган йўл;

V — ҳаракат тезлиги.

$\alpha = (\widehat{P, S}) = (\widehat{P, v})$ — куч билан ҳаракат орасидаги бурчак.

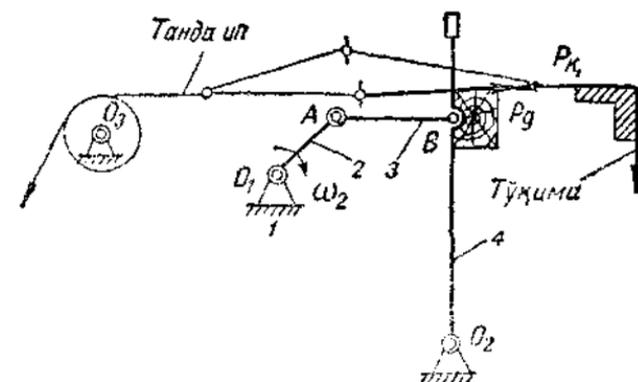
Фойдали қаршилик кучлари. Ҳар қандай машина фойдали қаршилик кучини енгиш учун қурилади. Фойдали қаршилик кучининг иши ҳамма вақт манфий (минус) бўлади, чунки бу куч ҳамма вақт ҳаракатга қарама-қарши йўналади ёки ҳаракат йўналиши билан ўтмас бурчак ҳосил қилади. Масалани ойдинлаштириш учун рандалаш станогидagi кескич ҳаракатига металлнинг кўрсатадиган қаршилигини (1.2-шакл), тўқув станогидa тўқима бағрининг бердога кўрсатадиган қаршилигини (1.3-шакл) ва бошқаларни мисол қилиб келтириш мумкин. Қаршилик кучи бажарган ишнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$A_{ф.к.} = P_k \cdot S \cdot \cos(\widehat{P_k, S}), \quad (11.3)$$

бу ерда, $A_{ф.к.}$ — фойдали қаршилик кучининг иши;

S — ўтилган йўл;

$\alpha = (\widehat{P_k, S}) = 180^\circ$ (1.2-шаклдаги мисол учун).



1.3-шакл. Тўқув автомати механизми кинематик схемасининг умумий кўриниши.

Зарарли қаршилиқ кучлари. Бу кучлар жумласига кинематик жуфтлардаги ишқаланиш кучлари, ҳаракатга муҳитнинг кўрсатадиган қаршилиғи ва бошқалар кирази. Зарарли қаршилиқ кучи бажарган иш ҳам манфий бўлади, чунки бу кучлар ҳамма вақт ҳаракатга қаршилиқ кўрсатиб, унга тескари йўналади ёки ҳаракат йўналиши билан ўтмас бурчак ҳосил қилади (ишқаланиш кучини эсланг); бу кучнинг ишини $A_{з.қ.}$ билан белгилаймиз.

Оғирлик кучлари. Машина қисмлари маълум оғирликка эга бўлади. Бу оғирликлар бажарган ишлар мусбат ва манфий бўлиши мумкин. Агар звено юқорига кўтарилса, унинг оғирлик кучи қаршилиқ кучи родини ўйнайди, агар звено ўз ҳаракатида пастга тушса, унинг оғирлиги ҳаракатлантирувчи куч родини ўйнайди. Юқорида айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$A_G = \pm G \cdot h \text{ [кг м]} \quad (11.4)$$

Инерция кучлари. Биз инерция кучлари билан дарсликнинг кинестатика қисмида яхши танишиб ўтган эдик. Инерция кучи тезланишга боғлиқдир. Агар машина бир текис ҳаракат қилса, унинг звеноларида инерция кучи бўлмайди. Ҳозирги замон техникасида мумкин қадар инерция кучига қарши чоралар кўриш билан бирга, ундан мақсадг мувофиқ фойдаланиш йўллари ҳам ўрганилади.

Ишнинг қуйидаги турлари бўлишини эслатиб ўтиш фойдалидир:

1. *Иш* деб куч қўйилган нуқта траекторияси бўйлаб чизикли интеграл билан ифодаланувчи миқдорга айтилади:

$$A = \int_{x_1}^{x_2} \bar{p} dx$$

$p \cdot dx$ — p кучининг элементар иши.

2. *Элементар иш* — кучнинг шу куч таъсир эттирилган нуқта элементар кўчишига скаляр кўпайтмаси:

$$dA = \bar{p} ds$$

3. *Фойдали иш* — фойдали қаршилиқни енглиш учун сарфланган кучнинг иши.

2-§. Машина агрегатининг ҳаракат тенгламаси. Машинанинг тартибли ва тартибсиз ҳаракати

Машинанинг ҳаракат тенгламасини жонли кучлар орқали ифодалаш мумкин. Кинетик энергиянинг (жонли кучнинг) ўзгариш қонуни бизга назарий механикадан маълум, у қуйидагича таърифланади:

Бирор вақт ичида моддий нуқта кинетик энергиясининг ўзгариши шу нуқтага қўйилган кучларнинг бажарган ишлари йиғиндисига тенг. Бунинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\frac{m_i v_i^2}{2} - \frac{m_i v_0^2}{2} = \sum_{i=1}^k A_i \quad (11.5)$$

бу ерда, m_i — моддий нуқтанинг массаси;
 v_0 — моддий нуқтанинг бошланғич тезлиги;
 v_i — моддий нуқтанинг охириги тезлиги.

$\sum_{i=1}^k A_i$ — моддий нуқтага қўйилган кучлар ишининг йиғиндисиди.

Агар моддий нуқтадан моддий нуқталар системасига кўчилса, у ҳолда, системага қўйилган кучлар ишларининг йиғиндиси олинади. Система учун кинетик энергиянинг ўзгариш қонуни қуйидагича бўлади:

$$\sum \frac{m_i v_i^2}{2} - \sum \frac{m_i v_0^2}{2} = \sum \int p \cdot ds \cdot \cos(p, \hat{ds}) \quad (11.6)$$

(11.6) тенгламанинг ўнг томонига тегишли кучлар бажарган ишларни қўйиб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\sum \frac{m_i v_1^2}{2} - \sum \frac{m_i v_0^2}{2} = A_g - A_{\phi, \kappa} - A_{\varepsilon, \kappa} \pm A_G \quad (11.7)$$

(11.7) тенглама *машинанинг иш ҳолатидаги ҳаракат тенгламаси* деб аталади.

Агар машина қисмларининг ҳаракати даврий бўлиб, уларнинг оғирлиги ҳам даврий бўлса, у ҳолда A_G ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки звено тушаётганда иш мусбат бўлиб, юқорига кўтарилишда манфий бўлади. Бундай ҳол учун (11.7) тенгламанинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\sum \frac{m_i v_1^2}{2} - \sum \frac{m_i v_0^2}{2} = A_g - A_{\phi, \kappa} - A_{\varepsilon, \kappa} \quad (11.8)$$

Ҳар қандай машина ҳаракатида уч асосий давр бўлади (2.1-шакл):

- 1) машинанинг юргизилиш даври — t_1 ;
- 2) машинанинг барқарор юриш даври — t_2 ;
- 3) машинанинг тўхташ даври — t_3 .

Биз машина ҳаракатининг учала даври билан танишиб чиқамиз.

1. Машинанинг юргизилиш даврида унинг бошланғич тезлиги ноль бўлади ($v = 0$); кинетик энергияси ҳам ноль бўлади:

$$\sum \frac{m_i v_0^2}{2} = 0$$

(11.8) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\sum \frac{m_i v_1^2}{2} = A_g - A_{\phi.к.} - A_{з.к.} \quad (11.9)$$

$$A_g = A_{\phi.к.} + A_{з.к.} + \sum \frac{m_i v_1^2}{2}$$

Хулоса. Машинани юргизиш даврида ҳаракатлантирувчи кучларнинг иши фойдали ва зарарли қаршиликлар ишидан камта бўлиши шарт, чунки шининг маълум қисми машинанинг ҳаракатланувчи қисмлари нормал тезликка эришувини таъминловчи тезлашиш бериш учун сарфланади. Буни 2.1-шаклдаги Оа графидан кўриш мумкин.

2. Машинанинг барқарор юриш даври. Машинада илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи звенолар бўлмай, фақат ротацион (айланма) ҳаракатланувчи қисмлар бўлса, у ҳолда, тезлик ўзгармас, яъни $v_1 = v_0 = v$ бўлади, демак, кинетик энергиянинг орттирмаси ҳам ноль бўлади:

$$\sum \frac{m_i v_1^2}{2} - \sum \frac{m_i v_0^2}{2} = 0$$

(11.8) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$A_g - A_{\phi.к.} - A_{з.к.} = 0 \quad (11.10)$$

бундан:

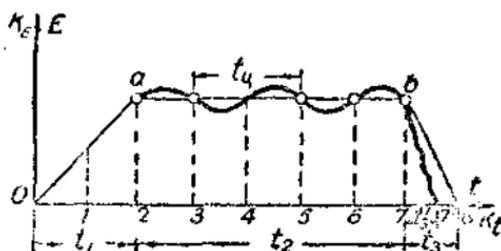
$$A_g = A_{\phi.к.} + A_{з.к.}$$

келиб чиқади.

Хулоса. Машинанинг барқарор ҳаракати даврида ҳамма вақт ҳаракатлантирувчи кучларнинг иши фойдали ва зарарли қаршилик кучлари ишларининг йиғиндисига тенг бўлади. Буни

2.1-шаклдаги графикнинг ab горизонтал тўғри чизиғидан кўриш мумкин.

Машина ҳаракатининг барқарор даврида кинетик энергия ортирмаси исталган вақт ичида нолга тенг бўлмай, балки маълум



2.1-шакл. Машина ҳаракатининг давр графиги.

бир давр ичида ноль бўлиши мумкин. Бундай ҳол учун кинетик энергия ортирмаси қуйидагича ёзилади:

$$\left(\sum \frac{m_i v_1^2}{2} \right)_{\text{давр}} - \left(\sum \frac{m_i v_0^2}{2} \right)_{\text{давр}} = 0$$

(11.8) тенгламанинг кўриниши эса қуйидагича бўлади:

$$(A_g)_{\text{давр}} = (A_{\phi, \kappa})_{\text{давр}} + (A_{s, \kappa})_{\text{давр}} \quad (11.11)$$

Буни 2.1-шаклдаги кинетик энергиянинг ab синусоида графигидан кўриш мумкин.

3. Машинанинг тўхташ даврида охириги тезлик ноль бўлади ($v_1 = 0$), бунда (11.8) тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$A_g - A_{\phi, \kappa} - A_{s, \kappa} = - \sum \frac{m_i v_0^2}{2}, \quad (11.12)$$

бундан:

$$A_g > A_{\phi, \kappa} + A_{s, \kappa}$$

эканялигини билиш қийин эмас. Машинанинг тўхташи учун $A_g = 0$ ва $A_{\phi, \kappa} = 0$ бўлиши керак, яъни:

$$A_{s, \kappa} = \sum \frac{m_i v_0^2}{2} \quad (11.13)$$

Хулоса. Машинани тўхтатишда ҳаракат вақтида тўпланган кинетик энергия зарарли қаршиликлар ишини енгиш учун сарфланади ($A_{s, \kappa}$). Бундан, сунъий равишда зарарли қаршиликни кўпайтириб, машинани тўхтатиш мумкин, деган натижа чиқади. Бу масала машинанинг бош валларига махсус тормозлар

ўрнатиш йўли билан ҳал қилинади: масалан, тез юриб келаётган автомобилни тўхтатиш учун, аввал, двигателъ фрикционини бўшашиб, сўнг тормозлаш керак. Қўпинча, машиналарда ҳаракатлантирувчи қувват манбаи ўчирилгач, тормоз механизми автоматик равишда ишга тушиб, машинани тезда тўхтатиб қўяди (2.1-шаклдаги диаграмманинг 7б7' қисмига қаралсин, сунъий тормозлаш йўли билан тўхташ вақти t_2 дан t_3 гача қисқаради).

3-§. Келтирилган куч ва момент ҳақида тушунча

Келтирилган кучлар ва моментлар тўғрисида баъзи тушунчалар бериб ўтамиз. Динамиканинг масалаларини ҳал қилишда, кўпинча, келтирилган куч ва моментлар назариясидан фойдаланишга тўғри келади. Барча ташқи кучлар ва моментлар механизмининг бирор звеносига келтирилади. Кучлар ва моментлар келтирилган нуқта ва звено келтириш нуқтаси ва звеноси деб аталади. Келтирилган кучларни топиш учун келтирилувчи кучлар бажарган иш билан келтирилган куч бажарган ишнинг тенглигидан фойдаланилади. Ана шу шарт билан топилган куч *келтирилган куч* деб аталади ва P_k билан белгиланади. Келтирилган куч вақтнинг ўтиши билан ўзгарувчан функция бўлиши мумкин. Шунинг учун келтирилган кучни топишнинг умумий қоидаси қуйидагича таърифланади.

Механизмнинг бирор звеносига келтирилган кучнинг элементар иши келтирилувчи кучларнинг элементар ишлари йиғиндисига тенг бўлган куч *келтирилган куч* деб аталади.

Умумий ҳолда келтирилган кучнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$P_k \cdot dS_k \cos(\widehat{P_k, dS_k}) = \sum_{i=1}^n [P_i \cdot dS_i \cdot \cos(\widehat{P_i, dS_i}) + M_i d\varphi_i],$$

бундан:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^n \{P_i dS_i \cdot \cos(\widehat{P_i, dS_i}) + M_i \cdot d\varphi_i\}}{dS_k \cdot \cos(\widehat{P_k, dS_k})} \quad [\text{кг}] \quad (11.14)$$

Агар касрнинг сурат ва махражини dt вақтга бўлсак, қувватлар тенглигидан, келтирилган куч топилган бўлади:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^n [P_i \cdot v_i \cos(\widehat{P_i, v_i}) + M_i \cdot \omega_i]}{v_k \cdot \cos(\widehat{P_k, v_k})} \quad \text{кг} \quad (11.15)$$

Масалалар ечишда, кўпинча, келтирилган куч ўрнига келтирилган моментни топиш қўлай бўлади, бундай ҳолда (11.14) ва (11.15) тенгламалар қўйидаги кўринишда ёзилади:

$$M_k = \frac{\sum_{i=1}^n [P_i \cdot dS_i \cdot \cos(\widehat{P_i, dS_i}) + M_i \cdot d\varphi_i]}{d\varphi_k} \quad (11.16)$$

ёки қувват кўринишида қўйидагича бўлади:

$$M_k = \frac{\sum_{i=1}^n [P_i \cdot v_i \cos(\widehat{P_i, v_i}) + M_i \omega_i]}{\omega_k}, \quad (11.17)$$

бу ерда, M_k — келтирилган момент;

ω_k — келтириш зеносининг бурчак тезлиги;

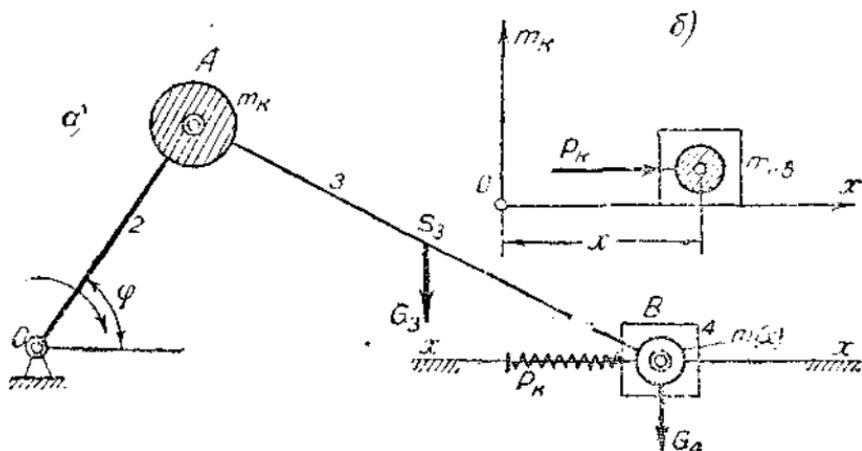
M_i — келтирилувчи i звенодаги момент;

ω_i — келтирилувчи звенонинг бурчак тезлиги;

v_i — келтирилувчи i звено оғирлик марказининг қизиқли тезлиги;

P_i — келтирилувчи i звенога қўйилган куч.

$(\widehat{P_i, v_i})$ — P_i куч билан v_i тезлик орасидаги бурчак.



3.1-шакл.

а — кривошип-шатунли механизм.

б — келтирилган куч P_K ва келтирилган масса (m_K).

Келтирилган куч ёки масса методидан фойдаланилганда механизм ҳаракатининг ўрнига шу келтириш звеносининг ҳаракатини ўрганиш мумкин. 3.1-шакл, *a* даги кривошип-шатунли механизм звеноларининг массаси, *B* ползунга келтирилган, леб фараз қилайлик. Ундаги келтирилган масса ўзгарувчан бўлиб, унинг ўзгариши ползун йўлига боғлиқдир. Агар масса графигини *x* га қараб тузган бўлсак, *у* ҳолда, масса функция бўлиб, *x* аргументдир; унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади (3.1-шакл, б):

$$M_{KB} = m(x)$$

Бу ерда $m(x)$ — келтирилган массанинг P_k куч таъсирида ўзгариши; бу ўзгариш *x* координата, *v* тезлик ва *t* вақтга боғлиқдир. $m(x)$ ни аналитик ва график кўринишда тузиш мумкин. Худди шундай келтирилган P_k кучни ҳам аналитик ва график шаклда берса бўлади, яъни:

$$P_k = P(x, v, t)$$

Келтириш звеноси кинетик энергиясининг ортирмаси бажарилган ишга тенглигидан фойдаланиб, қуйидаги математик ифодани ёзамиз¹.

$$d \left[\frac{m(x) \cdot v^2}{2} \right] = P(x, v, t) \cdot dx$$

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{m(x) \cdot v^2}{2} \right] = P(x, v, t)$$

Тенгламани дифференциаллаб, $v = \frac{dx}{dt}$ эканлигини эътиборга олсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$m(x) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{d[m(x)]}{dx} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = P(x, v, t) \quad (11.18)$$

Бу тенглама *x* га нисбатан ўзгарувчан массали жисмнинг ҳаракат тенгламаси, яъни массаси даврий ўзгарадиган звено учун Ньютоннинг иккинчи қонунидир. Агар $m(x) = \text{const}$ бўлса, бу формула Ньютоннинг бизга маълум бўлган иккинчи қонунини беради.

Агар келтириш звеноси ползун бўлмай, \overline{OA} кривошип бўлса, *у* ҳолда, келтирилган масса ўрнига келтирилган инерция моменти ва *x* аргумент ўрнига кривошипнинг ϕ айланиш бурчаги қўйиладн, холос. Бундай ҳол учун тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

¹ Г. Г. Баранов. «Курс теорин механизмов и машин».

$$I(\varphi) \cdot \frac{a^2 \varphi}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{d[I(\varphi)]}{d\varphi} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = M(\varphi, \omega, t), \quad (11.19)$$

бу ерда, $I(\varphi)$ — келтириш звеносига келтирилган инерция моменти; бу ўзгарувчан катталиқдир;

φ — кривошипнинг (келтириш звеносининг) қиялик бурчаги;

$M(\varphi, \omega, t)$ — келтириш звеносига келтирилган момент.

4-§. Энергия ва иш тўғрисида тўхумча

Энергия билан ишнинг ўлчов бирликлари бир хил бўлса ҳам, аммо уларнинг бир-биридан фарқи бор. Ҳар қандай ишни бажаришда энергия сарфланади. Агар энергия бўлмаса иш бажарилмас эди. Жисмнинг иш бажариш қобилияти *энергия* деб аталади.

Энергия жисмнинг турғун хоссаси эмас. Жисм энергияни ўзидан йўқотиши ва уни қайта ҳосил қилиши мумкин. Иш бажарувчи энергиянинг бошланғичи биринчидан ёқилги бўлиб, электр оқими эса иккиламчи ҳисобланади, чунки электр оқимини ҳосил қилиш учун маълум тадбирларни кўриш лозим. Энергиянинг йўқолиши билан унинг пайдо бўлиши маълум шароитларда юз беради. Масалан, энергия иш бажаришда сарф бўлади. Звено энергияга эга бўлиши учун маълум иш сарфланиши лозим бўлади. Масалан, тинч ётган жисмни маълум баландликка кўтариш учун маълум бир иш бажаришга тўғри келади ва бунинг натижасида шу жисмда потенциал энергия (Gh) пайдо бўлади, ёки маълум иш сарфлаб жисмни ҳаракатлантирсак ва у илгариланма ҳаракат қилса, ундаги кинетик энергия (жонли куч) $\frac{mv^2}{2}$ орқали ифодаланади. Агар шу жисм маълум ўқ атрофида ω бурчак тезлиги билан айланса, у ҳолда унинг кинетик энергияси $\frac{1}{2} I\omega^2$ га тенг бўлади. Физика ва техника фанлари энергиянинг сақланиш қонунига, яъни энергия бордан йўқ бўлмайди, йўқдан бор бўлмайди, балки бир турдан иккинчи турга айланиб туради, деган қонунга асосланади. Масалан, электр моторидан машинанинг иш органи ҳаракат олади, бу ҳолда электр энергияси механик энергияга айланади, бунда у маълум иш бажаради. Электр энергиясининг ўзгариши натижасида ҳаракатланувчи звенода кинетик энергия пайдо бўлади. Энди шу кинетик энергия тўқув станогида арқоқ ипни тўқима бағрига уриб, иш бажаради.

Механика табиий фан тармоқларидан бўлиб, у асосан воқелик кўринишларидан бир турини текширади ва шу воқеликни инсон учун хизмат эттириш устида иш олиб боради. Бу воқелик — материянинг механик ҳаракатидир.

Механиканинг асосий қонуллари механика тўғрисидаги тушунчаларнинг узоқ йиллар давомида тажрибалар асосида такомилланиши натижасида вужудга келган. Бу қонуллар асосан XVII асрда Галилео Галилей ва Исаак Ньютон асарларида ҳозирги замон кўринишини олди. Шу қонуллар асосида тузилган механика *классик механика* деб аталади.

5- §. Механизмнинг кинетик энергияси

Механизмнинг кинетик энергияси шу механизм таркибидаги звенолар кинетик энергияларининг йиғиндисидан иборатдир. Умуман олганда, текисликда ҳаракатланувчи механизмлар таркибидаги звенолар, асосан, уч хил ҳаракатда бўлиши мумкин. Масалан, кривошип-шатунли механизмни олайлик. Бу механизмдаги кривошип фақат айланма ҳаракат, ползун илгариланма-қайтар ҳаракат, шатун эса ҳам айланма, ҳам илгариланма ҳаракат қилади.

Учала ҳаракатда бўлган звеноларнинг кинетик энергиялари билан танишиб ўтамиз. Энергия жисмнинг иш бажариш қобилияти бўлганлигидан биз ўрганаётган энергия (ҳаракатдаги жисм энергияси), умуман, жисмларнинг ҳаракатидаги энергияси бўлиб, тезлик квадратига пропорционалдир. Кўпинча, кинетик энергия жонли куч деб ҳам аталади.

1. Қўзғалмас ўқ атрофида айланувчи звенонинг кинетик энергияси қуйидаги формуладан топилади:

$$E_a = \frac{1}{2} I_0 \cdot \omega^2, \quad (11.20)$$

бу ерда, E_a — айланма ҳаракатдаги звенонинг кинетик энергияси;
 I_0 — шу звено массасининг айланиш ўқиға нисбатан инерция моменти (бу момент тажриба йўли билан топилади);

ω — айланувчи звенонинг бурчак тезлиги.

2. Илгариланма ҳаракатда бўлган звено кинетик энергиясининг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$E_a = \frac{1}{2} m_a \cdot v_a^2, \quad (11.21)$$

бу ерда, E_a — илгариланма ҳаракатдаги звенонинг кинетик энергияси;

m_a — звенонинг массаси;

v_a — звено оғирлик марказининг чизиқли тезлиги.

3. Мураккаб ҳаракатда бўлган звенонинг кинетик энергияси қуйидагича топилади:

$$E_M = \frac{1}{2} m_s \cdot v_s^2 + \frac{1}{2} I_s \cdot \omega_s^2, \quad (11.22)$$

бу ерда, E_M — мураккаб ҳаракатдаги звенонинг кинетик энергияси;

m_s — звенонинг массаси;

v_s — звено оғирлик марказининг чизикли тезлиги;

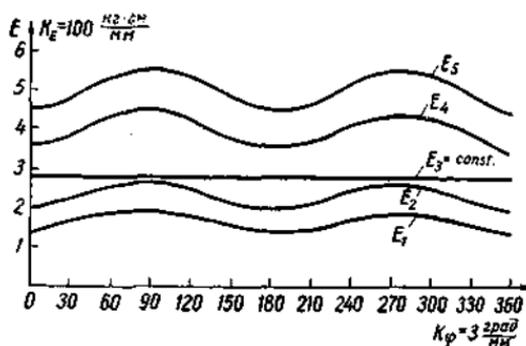
I_s — звено массасининг ўз оғирлик маркази (S) дан ўтувчи ўққа нисбатан инерция моменти;

ω_s — звенонинг бурчак тезлиги.

Кривошип-шатунли механизм учун кинетик энергиянинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$E_{\text{мех}} = \sum_{i=1}^3 E_i = \frac{1}{2} I \omega_1^2 + \frac{1}{2} (m_s \cdot v_s^2 + I_s \cdot \omega_s^2) + \frac{m_{II} v_{II}^2}{2} \quad (11.23)$$

(11.23) тенгликдаги аргументлар (v_s , ω_s , v_{II}) ўзгарувчан катталиклар бўлгани учун механизмнинг кинетик энергияси ҳам ўзга-



5.1-шакл. Механизм кинетик энергиясининг графиги.

рувчан функциядир. Бу функция даврий функция бўлиб, механизм кривошипининг вазиятига боғлиқдир; кривошилнинг ҳар айланиши (2π) дан сўнг ўзининг бошланғич вазиятига қайтиб боради шунинг учун қуйидагини ёза оламиз:

$$E_{\text{мех}} = E_{\text{мех}}(\varphi + 2\pi) \quad (11.24)$$

(11.23) тенгламадан келиб чиқадиган кинетик энергиянинг графиги 5.1-шаклда тасвир этилган. Шаклдан график даврий эканлигини кўриш қийин эмас.

6-§. Келтирилган масса ва инерция моменти ҳақида тушунча

Машина ва механизмлар динамикасини ўрганишда келтирилган масса ёки келтирилган инерция моменти тушунчасидан фойдаланишга тўғри келади. Кўпинча, масса етакловчи звенонинг бирор нуқтасига, инерция моменти эса етакловчи звенога келтирилади. Масса келтирилган нуқта *келтириши нуқтаси* деб, инерция моменти келтирилган звено эса *келтириши звеноси* деб аталади. Келтирилган масса (m_k) билан келтирилган инерция моменти (I_k) ўзгарувчан фиктив катталиклар бўлиб, улар келтириш массасининг кинетик энергияси билан келтирилувчи массалар кинетик энергияларининг тенглик шартидан топилади. Кривошип-шатунли механизм звеноларининг массаларини кривошипдаги A нуқтага келтиришда қуйидаги тенгликдан фойдаланамиз (6.1-шакл):

$$\frac{m_k v_A^2}{2} = \frac{1}{2} I_0 \cdot \omega_1^2 + \frac{1}{2} (m_s \cdot v_s^2 + I_s \cdot \omega_s^2) + \frac{1}{2} m_u v_u^2$$

Бундан $v_A = \omega_1 \cdot l_{OA}$; $v_s = K_v \cdot \overline{ps}$; $v_u = K_v \cdot \overline{pb}$ эканлигини эътиборга олиб, келтирилган масса (m_k) ни топамиз:

$$m_k = \frac{I_0}{l_{OA}^2} + m_s \left(\frac{ps}{pa} \right)^2 + \frac{I_s}{l_{AB}^2} \left(\frac{ab}{pa} \right)^2 + m_u \left(\frac{pb}{pa} \right)^2 \quad (11.25)$$

Келтирилган инерция моменти қуйидагича топилади:

$$\frac{I_k \cdot \omega_1^2}{2} = \frac{1}{2} I_0 \omega_1^2 + \frac{1}{2} (m_s \cdot v_s^2 + I_s \cdot \omega_s^2) + \frac{1}{2} m_u v_u^2$$

ёки

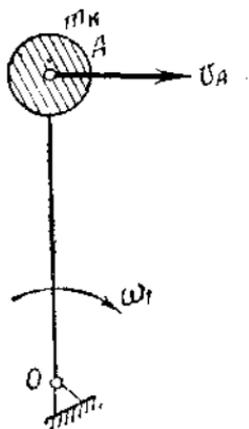
$$I_k = I_0 + m_s l_{OA}^2 \left(\frac{ps}{pa} \right)^2 + I_s \cdot \left(\frac{\omega_s}{\omega_1} \right)^2 + m_u \cdot l_{OA}^2 \left(\frac{pb}{pa} \right)^2 \quad (11.26)$$

(11.25) ва (11.26) тенгламалардан маълум бўлишича, тегишли тезликлар даврий ўзгарувчан бўлганликларидан, келтирилган масса (m_k) билан келтирилган инерция моменти (I_k) ҳам даврий ўзгарувчан катталиклардир. Уларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

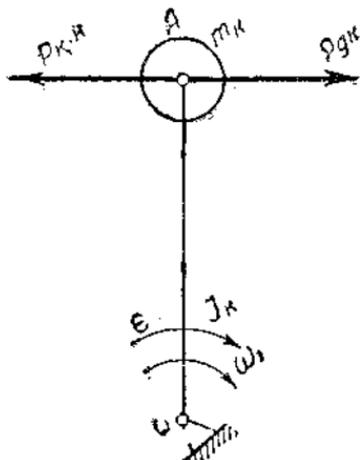
$$\begin{aligned} m_k &= m_k(\varphi + 2\pi) \\ I_k &= I_k(\varphi + 2\pi) \end{aligned} \quad (11.27)$$

6.1- ва 6.2-шаклларда келтириш нуқтасидаги масса билан инерция моментларининг келтириш звеноси кўрсатилган. 6.3-шаклда эса келтирилган масса билан келтирилган инерция моментининг кривошип 360° га айланганда ўзгариш графиги тасвирланган. Бу графикда ординаталар ўқига $K_m \left[\frac{\text{кг сек}^{-2}}{\text{м} \cdot \text{мм}} \right]$ масштабда кел-

тирилган масса, $K_i \left[\frac{\text{кг м сек}^2}{\text{мм}} \right]$ масштабда эса келтирилган инерция моменти ва абсциссалар ўқига $K_\varphi \left[\frac{\text{рад}}{\text{MN}} \right]$ масштабда кривошипнинг айланиш бурчаги қўйилган.



6.1-шакл. Кривошипнинг A нуқта-
тасига келтирилган масса.



6.2-шакл. Кривошипнинг A нуқта-
сига келтирилган масса (m_k); келтирилган
қаршилк кучи ($P_{k\epsilon}$); келтирилган ҳа-
ракатланувчи куч (P_{dk}); массаинг OA
звенога келтирилган инерция
моменти (I_k).

Берилган куч моменти таъсирида келтирилган инерция мо-
ментли звенонинг ҳаракатини ўрганиш учун унга, Даламбер прин-
ципига асосан, инерция кучининг моментини қўйиш лозим бўлади:

$$M_u = - M$$

Шундай қилиб, механизмнинг келтирилган массаси инерция
кучининг моменти қуйидагича ёзилади:

$$M_u = - \left(I_k \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dl_k}{d\varphi} \right) \quad (11.28)$$

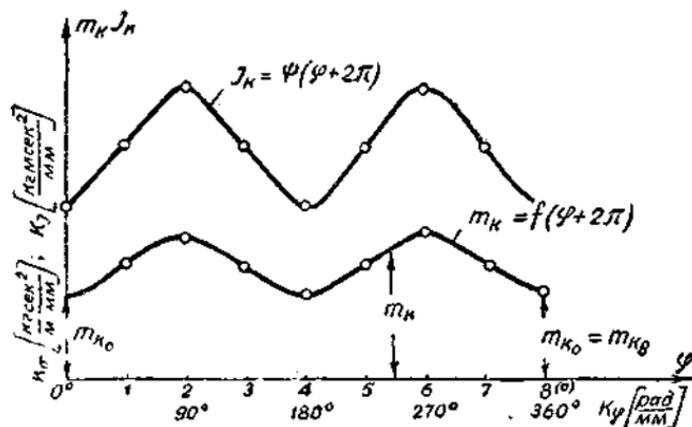
Бу моментларни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$M_{ua} = - \frac{\omega^2}{2} \frac{dl_k}{d\varphi} \quad (11.29)$$

$$M_{uk} = - I_k \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (11.30)$$

Шундай қилиб, механизм ҳаракатида иккита инерция кучининг
моменти борлиги кўриб ўтилди. Булардан биринчиси механизмнинг

ўзгармас бурчак тезлиги билан айланишидаги ҳосил бўлган инерция моменти бўлиб, механизмнинг *асосий* ёки *перманент* ҳаракати деб аталади. Иккинчиси эса келтириш звеноси бурчак тезлигининг ўзгаришидан ҳосил бўлган инерция моменти бўлиб, механизмнинг *қўшимча* ёки *бошланғич* ҳаракати деб аталади.



6.3-шакл.

Агар механизм ҳаракатида келтирилган инерция моментининг максимал ва минимал қийматлари орасидаги фарқ кичик бўлса, у ҳолда $\frac{dJ_k}{d\psi}$ ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Келтирилган инерция моменти ҳамма вақт мусбат сон бўлади. Механизм звеноларидаги нуқта тезликларининг нисбати фақат механизм ҳолатига (ψ) боғлиқ бўлгани учун, келтирилган инерция моменти ҳам механизм тезлигига боғлиқ бўлмай, балки фақат унинг ҳолатига боғлиқдир.

7-§. Механизмнинг ҳақиқий тезлиги ва тезланишини топиш

Механизмларнинг ҳақиқий ҳаракатини топишга киришамиз. Биз механизмлар кинематикасини ўрганишда етакловчи звенонинг айланиш сони ўзгармас деб қараган эдик. Масалан, кривошип A нуқтасининг тезлиги $v_A = \omega \cdot l_{OA} = \text{const}$ деб қаралган эди. Бундай ҳолда A нуқтанинг фақат нормал тезланишигина қолдирилиб, тангенциал (уринма) тезланиши ноль деб қабул қилинган эди, чунки:

$$a^t = \frac{dv_A}{dt} = 0$$

эди. Ҳақиқатда эса механизмнинг етакловчи звеноси бир текис ҳаракат қилмайди. У бир айланишнинг ўзидаёқ ўзгарувчандир, чунки механизм ҳаракати вақтида унинг звеноларидаги инерция

кучлари кривошипнинг ва бошқа звеноларнинг нотекис ҳаракатланишига олиб келади. Агар биз етакловчи звенонинг исталган вазиятдаги ҳақиқий бурчак тезлиги ва бурчак тезланиши ёки чизикли тезлиги ва тангенциал тезланишини билганимизда эди, механизм исталган нуқтасининг ҳақиқий тезлик ва тезланишларини билган бўлар эдик, чунки етакловчи звенонинг тезлиги бошқа нуқталар тезлигига таъсир қилади.

Масаланинг ечимини келтирилган куч ёки моментлардан топамиз. Кривошипнинг A нуқтасига ҳаракатлантирувчи кучни, сўнгра қаршилик кучини келтираемиз. Шундай қилиб, A нуқтада (6.2-шакл) келтирилган ҳаракатлантирувчи куч ($P_{g,k}$) ни ва келтирилган қаршилик кучи ($P_{\kappa,k}$) ни қўямиз. OA кривошипнинг ҳақиқий ҳаракатини топа олсак, масала ҳал қилинган бўлади.

Бунда уч ҳолат бўлиши мумкин:

- 1) $P_{g,\kappa} > P_{\kappa,k}$ — OA звено тезланиш ҳолатида бўлади;
- 2) $P_{g,\kappa} = P_{\kappa,k}$ — OA звено бир текисда айланади (идеал ҳолат);
- 3) $P_{g,\kappa} < P_{\kappa,k}$ — OA звено секинланиш ҳолатида бўлади.

Машиналарда $P_{g,\kappa} = P_{g,\kappa}(S)$; $P_{\kappa,k} = P_{\kappa,k}(S)$ лар график усулда берилган бўлади.

Бу графикларни интеграллаб, келтирилган ҳаракатлантирувчи ва қаршилик кучларини кривошипнинг бир айланишда бажарилган иш графигини ҳосил қиламиз. Иккала ишнинг айирмаси қуйидагича бўлади:

$$A = \int_{s_0}^s (P_{g,k} - P_{\kappa,k}) ds = \int_{s_0}^s P \cdot ds = \frac{m_k \cdot v^2}{2} - \frac{m_{k_0} \cdot v_0^2}{2}, \quad (11.31)$$

бу ерда, m_{k_0} — кривошипнинг бошланғич вазиятидаги келтирилган масса;

v_0 — келтирилган нуқтанинг бошланғич вазиятидаги тезлиги.

(11.31) тенгламадаги тезлик қуйидагича топилади:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m_k} \left[\int_{s_0}^s P ds + \frac{m_{k_0} \cdot v_0^2}{2} \right]} \quad (11.32)$$

Бошланғич тезлик $v_0 = 0$ бўлса:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m_k} \int_{s_0}^s P ds} \quad (11.33)$$

бўлади.

(11.32) ва (11.33) тенгламалардан фойдаланиб $v = v(S)$ графигини тузамиз.

Энди, кривошипнинг ҳақиқий айланиш бақтини топамиз:

$$v = \frac{ds}{dt}; \quad dt = \frac{ds}{v} \quad (11. 34)$$

ёки

$$t - t_0 = \int_{s_0}^s \frac{ds}{\sqrt{\frac{2}{m_k} \left[Pds + \frac{m_k v_0^2}{2} \right]}}$$

(11. 34) тенгламадан $t = t(s)$ графигини тузамиз. $v = v(s)$ графиги билан $t = t(s)$ графигидан умумий параметр S ни чиқариб, $v = v(t)$ графигини ҳосил қиламиз ва уни дифференциаллаб, A нуқтанинг тангенциал тезланишини топамиз:

$$a_A^t = \frac{dv}{dt} \quad (11. 35)$$

Шундай қилиб, кривошипнинг исталган вазияти учун, A нуқтасининг ҳақиқий тезлиги ва ҳақиқий тезланиши (a_A^n , a_A^t) маълум бўлади. Қолган нуқталарнинг тезлик ва тезланиши одатдаги усул билан тузилаверади.

8- §. Ҳаракат тенгламаларини интеграллаш

Машина агрегатининг момент кўринишидаги дифференциал тенгласида M_g ва M_c кўринишидаги келтирилган моментлар бор бўлиб, буларнинг қандай параметрларга боғлиқлиги эътиборни ўзига тортади. Бу моментлар технологик процесснинг моҳиятига қараб умумлашган координатага (φ), унинг тезлигига ($\dot{\varphi} = \omega$) ёки вақтга (t) боғлиқ бўлиши мумкин. Ҳаракат дифференциал тенгласининг мумкин бўлган вариантлари қуйидагича бўлиши мумкин:

1) Ҳар иккала момент ҳам фақат умумлашган координатага боғлиқ бўлган ҳол. Бунда ҳаракат тенгласи қуйидагича кўринишни олади:

$$M_g(\varphi) - M_c(\varphi) = I_k \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11. 36)$$

2) Моментлар фақат агрегатнинг умумлашган координата тезлигига боғлиқ бўлиши мумкин, яъни:

$$M_g(\omega) - M_c(\omega) = I_k \cdot \frac{d^3\varphi}{dt^3} + \frac{\omega^3}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11. 37)$$

3) Келтирилган моментлар фақат вақтга боғлиқ бўлган ҳол, яъни:

$$M_g(t) - M_c(t) = I_k \cdot \frac{d^3\varphi}{dt^3} + \frac{\omega^3}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11. 38)$$

$$4) \quad M_g(\varphi) - M_c(t) = I_k \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11.39)$$

$$5) \quad M_g(\omega) - M_c(\varphi) = I_k \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11.40)$$

$$6) \quad M_g(t) - M_c(\omega) = I_k \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11.41)$$

$$7) \quad M_g(\varphi, \dot{\varphi}, t) - M_c(\varphi, \dot{\varphi}, t) = I_k \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11.42)$$

Юқоридagi тенгламаларнинг ҳаммаси умуман чиқиқсиз бўлиб, уларнинг ечилиши тақрибий бўлиши мумкин.

Ҳаракат тенгламаси фақат умумлашган координатага боғлиқ бўлган ҳол:

$$[M_g(\varphi) - M_c(\varphi)] d\varphi = d\left(\frac{I_k \cdot \omega^2}{2}\right)$$

Буни интеграллаймиз:

$$\int_{\varphi_n}^{\varphi_l} [M_g(\varphi) - M_c(\varphi)] \cdot d\varphi = \frac{I_{k_l} \omega_l^2}{2} - \frac{I_{k_n} \omega_n^2}{2}, \quad (11.43)$$

бу ерда, I_{k_l} — келтириш звеносининг l ҳолатидаги келтирилган инерция моменти;

ω_l — келтириш звеносининг шу ҳолатидаги бурчак тезлиги;

I_{k_n} — келтириш звеносининг бошланғич ҳолатидаги келтирилган инерция моменти;

ω_0 — бошланғич ҳолатдаги бурчак тезлиги.

Шундай қилиб, келтирилган моментлар умумлашган координатга боғлиқ бўлса, у ҳолда дифференциал тенглама квадратура йўли билан ечилиши мумкин экан.

Агар келтирилган инерция моменти ўзгармас бўлса, у ҳолда $I_{k_l} = I_{k_0} = I_k$ бўлади ва (11.43) тенгламанинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi_l} [M_g(\varphi) - M_c(\varphi)] d\varphi = \frac{I_k}{2} (\omega_l^2 - \omega_0^2) \quad (11.44)$$

Шундай қилиб, (11.43), (11.44) тенгламалардан фойдаланиб ω нинг қатор ҳолатларини топиш мумкин; яъни $\omega = \omega_l(\varphi)$

$$\varepsilon_l = \frac{d\omega}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = \omega \cdot \frac{d\omega}{d\varphi},$$

шундан хулоса: $\omega = \omega(t)$ ёки $\omega = \omega(\varphi)$ ни дифференциаллаб, келтириш звеносининг бурчак тезлишини топиш мумкин экан.

Ҳаракат тенгламаси фақат умумлашган координата тезлигига боғлиқ бўлган ҳол; $I_k = \text{const}$ бўлган ҳолатни текширамиз:

$$[M_g(\omega) - M_c(\omega)] = I_k \frac{d\omega}{dt}$$

Бундай ҳол ҳам квадратура (ажратиш) йўли билан ечилади:

$$\int_{t_0}^{t_1} dt = I_k \int_{\omega}^{\omega_1} \frac{d\omega}{M_g(\omega) - M_c(\omega)} \quad (11.45)$$

ёки

$$t_1 = t_0 + I_k \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{d\omega}{M_g(\omega) - M_c(\omega)} \quad (11.46)$$

Агар келтирилган моментлар фақат вақтга боғлиқ бўлиб, $I_k = \text{const}$ бўлса, у ҳолда ҳам тенгламани квадратурага ажратиш мумкин, яъни:

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{1}{I_k} [M_g(t) - M_c(t)] dt = \int_{\omega_0}^{t_1} d\omega$$

$$\omega_1(t) = \omega_0 + \frac{1}{I_k} \int_{t_0}^{t_1} [M_g(t) - M_c(t)] dt \quad (11.47)$$

Шундай қилиб, тенгламанинг чиқиқсиз ҳади $\left[\frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \right]$ нога тенг бўлган ҳоллар учун (яъни келтирилган инерция momenti ўзгармас миқдор бўлган ҳол), ҳаракат дифференциал тенгламасини квадратура йўли билан ечиш мумкинлиги билан танишиб чиқдик.

Қолган ҳоллар учун M_g ва M_c лар жуда содда бўлсагина тенгламани ечиш мумкин, аке ҳолда бундай тенгл маларни ечиш мумкин бўлмай, уларни тақрибий ечиш йўлидан фойдаланилади. Фақат шу моментлар умумлашган координатага боғлиқ бўлган ҳол квадратура йўли билан умумий ҳолатда ечилади, холос.

9-§. Ҳаракат дифференциал тенгламасини тақрибий интеграллаш

Умуман олганда, ҳаракат дифференциал тенгламаларининг келтирилган моментлари умумлашган координатага боғлиқ бўлган ҳолдан бошқаларини аниқ ечиб бўлмайди. Уларни тақрибанигина ечиш мумкин. Биз шундай ечишнинг Г. Г. Баранов томонидан ишлаб чиқилган методи билан танишиб чиқамиз.

Методнинг баёни. Етакчи звенонинг айланиш бурчагини тенг кичик бўлақларга бўлиб, уни $\Delta\varphi$ орқали белгилаб оламиз. Бу интервал интеграллаш қадами деб аталади. Шу интерваллар орасида M_g ва M_c ларнинг ўзгармас ва келтирилган инерция моменти (I_k) эса чизиқли ўзгарувчан деб қабул этилади.

Умумий ҳолда $M(\varphi, \dot{\varphi}, t) = M_g(\varphi, \dot{\varphi}, t) - M_c(\varphi, \dot{\varphi}, t)$ эканлигини ва $\frac{d\omega}{dt} = \omega \frac{d\omega}{d\varphi}$ ни назарда тутиб, ҳаракат дифференциал тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$M(\varphi, \dot{\varphi}, t) = I_k \cdot \omega \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi} \quad (11. 48)$$

ёки

$$\frac{2M(\varphi, \dot{\varphi}, t)}{\omega} d\varphi = 2I_k d\omega + \omega dI_k \quad (11. 49)$$

Бу тенгламадаги $d\varphi$ ни интеграллаш қадами билан алмаштирамиз ($d\varphi = \Delta\varphi$), у ҳолда $\omega_{i+1} - \omega_i = d\omega$; $I_{k(i+1)} - I_{ki} = dI_k$ бўлади. $d\varphi \approx \Delta\varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ ни эътиборга олиб, тенгламани қуйидагича кўринишга келтирамиз:

$$\frac{2M(\varphi_i, \dot{\varphi}_i, t_i)}{\omega_i} \Delta\varphi = 2I_{ki}(\omega_{i+1} - \omega_i) + \omega_i(I_{k(i+1)} - I_{ki}) \quad (11. 50)$$

ёки

$$\omega_{i+1} = \frac{M(\varphi_i, \dot{\varphi}_i, t_i) \Delta\varphi}{I_{ki} \cdot \omega_i} + \frac{3I_{ki} - I_{k(i+1)}}{2I_{ki}} \quad (11. 51)$$

$M(\varphi_i, \dot{\varphi}_i, t_i)$, I_{ki} , $I_{k(i+1)}$ ва ω_i ларни билганимиз ҳолда танлаб олинган интеграллаш қадами ($\Delta\varphi$) орқали ω_{i+1} ни $\omega = \omega(\varphi)$ кўринишда топамиз. Вақтни қуйидагича топамиз:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega(\varphi), \quad dt = \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)} \quad dt = t_{i+1} - t_i; \quad d\varphi \approx \Delta\varphi,$$

$$\omega(\varphi) = \frac{\omega_i + \omega_{i+1}}{2}$$

ларни ўрнига қўйсак:

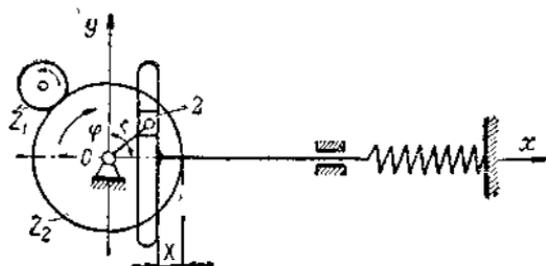
$$t_{i+1} = t_i + \frac{2 \cdot \Delta\varphi}{\omega_i + \omega_{i+1}} \quad (11. 52)$$

ни топамиз.

Бу тақрибий метод тенгламадаги барча функцияларнинг аналитик ва график кўринишлари учун ҳам тааллуқлидир.

10-§. Ўзгармас электр оқимли мотор билан ҳаракатланувчи машина агрегатининг дифференциал тенгламаси

10. 1-шаклдаги синус механизмининг кулисадаги $P_c = P_c(x)$ қонуни билан ўзгарувчи фойдали қаршиликни ўзгармас оқимли электр мотори билан енгиб, машина агрегати ҳосил қилдик. Масалан, шундан фойдаланиб қаршиликнинг турли қонуниятлари учун машина агрегатининг етакчи валини кривошип деб ва, ик-



10.1-шакл.

кинчи ҳолда, шу валини келтириш вали деб ҳисоблаб, унинг дифференциал тенгламаси тузилсин. Бунинг қуйидаги ҳолларини текшириб чиқамиз:

1. Кулисага $P_c(x) = C \cdot x$ қонуни билан ўзгарувчи фойдали қаршилик таъсир этаётир. Шу қаршилик параллел уланган ўзгармас электр оқими билан ҳаракатланади.

Кулисанинг ҳаракат қонунини топамиз:

$$x = r(1 - \cos \varphi) \quad (11. 53)$$

$\varphi = 0$, $x = 0$, $\varphi = \pi$ бўлганда $x = 2r$ бўлади.

Кулисанинг тезлигини топамиз:

$$v_s = \frac{dx}{dt} = r \cdot \dot{\varphi} \sin \varphi \quad (11. 54)$$

Электр моторининг моментини кривошип валига келтираемиз:

$$M_\partial \cdot \dot{\varphi} = M_{\text{мот}} \cdot \dot{\varphi}_p; \quad M_\partial = M_{\text{мот}} \cdot \frac{\dot{\varphi}_p}{\dot{\varphi}} = M_{\text{мот}} \cdot i = ai - bi^2 \cdot \dot{\varphi}$$

Механизм кинематик жуфтларидаги ишқаланишни ҳисобга олмаган ҳолда фойдали қаршилик кучининг моментини ҳам кривошип валига келтираемиз:

$$M_{\text{ос}} \cdot \dot{\varphi} = P_c(x) \cdot \dot{x} = c \cdot r(1 - \cos \varphi) \cdot r \dot{\varphi} \sin \varphi$$

ёки

$$M_{oc} = c \cdot r^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) \quad (11. 55)$$

Машина агрегатининг кинетик энергиясини топамиз:

$$\begin{aligned} E_{м.а} &= E_{мех} + E_{мот} = \frac{1}{2} I_0 \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot r^2 \cdot \dot{\varphi}^2 + \\ &+ \frac{1}{2} m_3 r^2 \dot{\varphi}^2 \cdot \sin^2 \varphi + \frac{1}{2} I_{рот} \cdot \dot{\varphi}^2 \\ I_k &= I_0 + I_{рот} \cdot i^2 + m_2 r^2 + m_3 r^2 \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= I + I_3 \cdot \sin^2 \varphi; \frac{dI_3}{d\varphi} = I_3 \cdot \sin 2\varphi \end{aligned}$$

Бу топилганлардан фойдаланиб, машина агрегатининг дифференциал тенгламасини тузамиз:

$$I_k \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} I_3 \sin 2\varphi = M_d - M_{oc}$$

 M_d , M_{oc} ларнинг қийматларини ўрнига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$a \cdot i - b \cdot i^2 \dot{\varphi} - c \cdot r^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) = I_k \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} I_3 \cdot \sin 2\varphi$$

Иккала томонини I_k га бўлиб, қуйидагиларни оламиз:

$$\ddot{\varphi} + \frac{I_3}{2I_k} \cdot \sin 2\varphi \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{b \cdot i^2}{I_k} \dot{\varphi} + \left[\frac{c \cdot r^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)}{I_k} - \frac{a \cdot i}{I_k} \right] = 0$$

ёки

$$\ddot{\varphi} + f_1(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 + f_2(\varphi) \cdot \dot{\varphi} + f_3(\varphi) = 0 \quad (11. 56)$$

Шундай қилиб, ҳосил қилинган тенглама ўзгарувчан коэффициентли ва ўзгарувчан озод ҳадли 2- тартибли дифференциал тенглама бўлиб, уни қуйидаги ҳоллар учун текшириб чиқамиз:

1) Машина агрегатининг етакчи звеноси (келтириш звеноси) даврий ҳаракат қилади ва унинг даври $\varphi = 2\pi$ дан сўнг яна такрорланаверади. Шунда фойдали қаршилик $\varphi = 0$ дан бошланиб 2π гача давом этади. У ҳолда тенгламанинг озод ҳади қуйидагича бўлади:

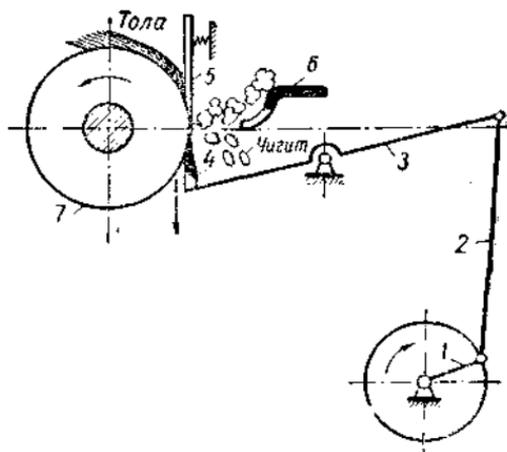
$$f_3(\varphi) = \frac{c \cdot r^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) - a \cdot i}{I_k} \quad (11. 57)$$

2) Фойдали қаршилик фақат $\varphi = 0 - \pi$ ярим айланишда бўлиб боради, у ҳолда ҳам тенгламада аввалгидай ўзгариш бўлмай-

ди, аммо $\varphi = \pi - 2\pi$ оралиқда фойдали қаршилиқ кучи ҳаракатлантирувчи куч бўлиб қолади, у ҳолда тенгламанинг озод ҳади-гина ўзгаради, яъни:

$$f_3(\varphi) = - \left[\frac{c \cdot r^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) + a \cdot i}{I_k} \right] \quad (11. 58)$$

Яна бир мисолни кўриб чиқамиз. Пахта толасини чигитдан ажратишда икки хил машинадан фойдаланилади. Қисқа толали пахта (масалан, 108 Ф навли пахта) толаси аррали тола ажратувчи машинада ажратилиб, узун толали пахта толаси валикли тола ажратув (жин) машинаси ёрдамида олинади.



10.2- шакл.

пичоқ (3) толадан ажратиб юборади ва ўз толасидан ажралган чигитлар (4) колосниклар (6) орасидан тушиб кетади. Чармли вал махсус электр мотори орқали ҳаракатга келтирилади. Эндиги масала шу валнинг дифференциал тенгламасини тузишдан иборат. Бунинг учун қуйидаги мулоҳаза асосида иш юртамиз: электр мотори билан чармли вал орасидаги узатиш сонини i билан белгилаймиз $i = \frac{n_m}{n_b} = \frac{\omega_m}{\omega_b} = \frac{\varphi_m}{\varphi_b}$. Чармли валга келтирилган инерция моменти қуйидагича бўлади:

$$\frac{1}{2} I_k \omega_b^2 = \frac{1}{2} I_a \omega_a^2 + \frac{1}{2} I_m \omega_m^2 \quad (11. 59)$$

$$I_k = I_a + I_p \cdot i^2$$

Ишқаланиш кучларини ҳисобга олмай, валга келтирилган моментни топамиз:

$$M_a \cdot \omega_a = M_m \cdot \omega_m; \quad M_a(\omega) = M_m(\omega) i$$

Қўзғалмас пичоқ валга қандайдир N нормал босим билан тиралгандир. Вал элементи билан пичоқ элементи орасидаги ишқаланиш коэффициентини (f) ни ҳисобга олиб пичоқнинг қаршилик моментини толамиз:

$$M'_п = fN \cdot r \quad (11. 60)$$

Толани чигитдан узишдаги фойдали қаршилик моментини ҳам толамиз:

$$M'_\phi = F \cdot r \quad (11. 61)$$

Шундай қилиб, вал айланишига кўрсатилган умумий қаршилик куйидагича топилади:

$$M'_к = M'_п + M'_\phi = (f \cdot N + F) \cdot r \quad (11. 62)$$

Валнинг дифференциал тенгласини тузамиз:

$$M_s(\omega) - M'_к = I_к \cdot \ddot{\varphi}_s = I_к \frac{d\omega_s}{dt} = (I_s + I_p i^2) \frac{d\omega_b}{dt} \quad (11. 63)$$

Агар вал ўзгармас оқимли электр мотори билан ҳаракатлантирилса, у ҳолда валга келтирилган ҳаракатлантирувчи куч momenti қуйидагича олинади:

$$M_b(\omega) = i(M_0 - b \cdot \omega_b) = i \cdot (M_0 - b \cdot i \cdot \omega_b) \quad (11. 64)$$

Буларни валнинг дифференциал тенгласига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$i(M_0 - bi\omega_b) - (fN + F)r = I_к \cdot \frac{d\omega_b}{dt},$$

бундан:

$$\frac{d\omega_b}{dt} = \frac{i \cdot M_0}{I_к} - \frac{(fN + F)r}{I_к} - \frac{b \cdot i^2}{I_к} \cdot \omega_b$$

ёки

$$\frac{d\omega_b}{A - B\omega_b} = dt,$$

бунда

$$A = \frac{iM_0 - (fN + F)r}{I_к}; \quad B = \frac{b \cdot i^2}{I_к}$$

Охири олинган дифференциал тенгламани интеграллаймиз:

$$\int_0^{\omega} \frac{d\omega_b}{A - B\omega_b} = t, \quad \frac{1}{B} \ln(A - B\omega_b) \Big|_0^{\omega} = -t$$

$$\ln \frac{A - B\omega}{A} = -B \cdot t; \quad \left(1 - \frac{B}{A} \omega\right) = e^{-Bt}$$

бундан:

$$\omega = \frac{A}{B} (1 - e^{-Bt}) \quad (11. 66)$$

Агар интеграл чегараси ω_0 дан ω гача бўлса:

$$\omega = \frac{A}{B} \left[1 - \frac{B}{A} (1 - \omega_0) e^{-Bt} \right] \quad (11. 67)$$

Бурчак тезлиги билан вақт орасидаги боғланиш тенгламаларидан t чексиз бўлганда e^{-Bt} нинг нолга айланишини кўриш қийин эмас.

Агар валга асинхрон двигателидан ҳаракат берилиб, иш процесси двигатель характеристикасининг устивор соҳасида давом этса, у ҳолда, шу қисмнинг аналитик тенгламасини машина агрегатининг ҳаракат тенгламасига қўйиш лозим бўлади.

Энди келтирилган кучлар тезлик ва вақтга боғлиқ бўлган ҳолларни текшириб чиқамиз. Келтирилган инерция моменти ўзгармас бўлган механик моделга двигатель қўйилган бўлсин. Двигатель моменти $M_g = M_g(\omega)$ қонуни билан ўзгарсин деб фараз этайлик. Келтирилган қаршилик кучларининг моменти ҳам $M_c = M_c(t)$ қонуни билан ўзгарсин. Келтирилган звенода $\frac{df}{d\varphi} = 0$ бўлгани учун қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$M_g(\omega) - M_c(t) = I \cdot \ddot{\varphi} = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (11. 68)$$

Бу тенглама умуман биринчи тартибли чизиксиз дифференциал тенглама бўлиб, у квадратуралар йўли билан очилмайди. Двигатель моментини қуйидаги қонун билан ўзгаради деб оламиз:

$$M_g(\omega) = M_0 - b \cdot \omega \quad (11. 69)$$

(11. 68) тенгламага (11. 69) ни қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{b}{I} \omega = \frac{M_0 - M_c(t)}{I},$$

$$\frac{b}{I} = \mu; \quad \frac{M_0 - M_c(t)}{I} = \psi(t)$$

деб белгилаб, қуйидагини оламиз:

$$\frac{d\omega}{dt} + \mu \cdot \omega = \psi(t) \quad (11. 70)$$

(11. 70) нинг иккала томонини $e^{\mu t}$ га кўпайтириб, сўнг ечамиз:

$$e^{\mu t} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \mu \omega e^{\mu t} = e^{\mu t} \cdot \psi(t)$$

ёки

$$\int_{t_i}^{t_k} d(e^{\mu t} \cdot \omega) = \int_{t_i}^{t_k} e^{\mu t} \cdot \psi(t) dt$$

$$e^{\mu t_k} \omega_k - e^{\mu t_i} \cdot \omega_i = \int_{t_i}^{t_k} e^{\mu t} \cdot \psi(t) dt \quad (11.71)$$

Агар ω_i маълум бўлса t_k вақтдаги ω_k ни топиш мумкин.

$\psi(t) = 10 - 2 \cdot t$ қонуни билан $t_i = 0$; $t_k = t$; $\omega_i = 0$, $\omega_k = \omega(t)$.
 $M_g(\omega) = 12 - 3\omega$; $I = 2$. Келтириш звеноси бурчак тезлигининг ўзгариш қонуни аниқлансин:

$$\mu = \frac{b}{I} = \frac{3}{2} = 1,5 \frac{1}{\text{сек}}; \quad \psi(t) = \frac{12 - 10 + 2t}{2} = 1 + t$$

Г. Б. Двайтнинг интеграллар жадвалига асосан:

$$e^{1,5t} \cdot \omega = \int_0^t e^{1,5t} \cdot (1 + t) dt = \int_0^t e^{1,5t} dt + \int_0^t e^{1,5t} \cdot t dt =$$

$$= \frac{1}{1,5} e^{1,5t} + e^{1,5t} \left[\frac{t}{1,5} - \frac{1}{1,5^2} \right] \Big|_0^t$$

$$e^{1,5t} \omega = \frac{1}{1,5} e^{1,5t} - \frac{1}{1,5} + \frac{e^{1,5t} \cdot t}{1,5} - \frac{e^{1,5t}}{1,5^2} + \frac{1}{1,5^2}$$

$$\omega = \omega(t) = (0,222 + 0,666t) - 0,222 \cdot e^{-1,5t}, \quad (11.72)$$

бурчак тезлиги эса қуйидагича топилди:

$$\varepsilon(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} = 0,666 + 0,333e^{-1,5t} \quad (11.73)$$

$\omega(t)$ ва $\varepsilon(t)$ ларнинг графиклари 10. 3-шаклда кўрсатилган.

Энди $M_g(\omega)$ ва $M_c(\omega)$ бўлган ҳолларни кўриб чиқамиз.
 $M_g(\omega) = M_0 - b \cdot \omega$, $M_c(\omega) = c \cdot \omega^2$ бўлсин. У ҳолда $I = \text{const}$ деб олсак,

$$M_g(\omega) - M_c(\omega) = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (11.74)$$

ёки

$$M_0 - b\omega - c\omega^2 = I \cdot \frac{d\omega}{dt};$$

$$\frac{d\omega}{dt} = - \left(\frac{c}{I} \omega^2 + \frac{b}{I} \omega - \frac{M_0}{I} \right) = - (a\omega^2 + q\omega - c)$$

$$\int_0^{\omega} \frac{d\omega}{a\omega^2 + q\omega - c} = \int_0^t -dt, \text{ Д. Г. Двайтнинг 36- бетига асосан:}$$

$$\frac{1}{a(\lambda_1 - \lambda_2)} \ln \left(\frac{\omega - \lambda_1}{\omega - \lambda_2} \right) = -t$$

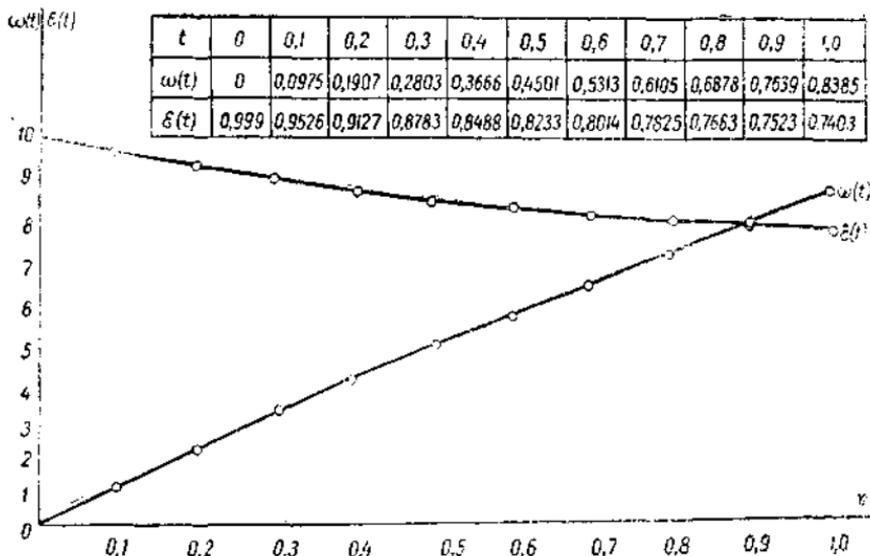
$(\lambda_1, \lambda_2, a\omega^2 + q\omega - c = 0$ нинг илдизлари) бундан

$$\frac{\omega - \lambda_1}{\omega - \lambda_2} = e^{-a(\lambda_1 - \lambda_2)t}$$

ёки

$$\omega = \omega(t) = \frac{\lambda_1 - \lambda_2 e^{a(\lambda_2 - \lambda_1)t}}{1 - e^{a(\lambda_2 - \lambda_1)t}} \quad (11.75)$$

Келтирилган масса ва кучларнинг етакчи звено ҳолатига боғлиқ бўлган машина агрегат келтириш звеносининг динамикаси



билан танишиб чىқамиз. Бундай ҳол квадратураларга келтирувчи ҳол деб аталади. Бундай ҳол учун келтириш звеносининг дифференциал тенгламаси кинетик энергия кўринишида қуйидагича бўлади:

$$\int_{x=0}^x P_g(x) dx - \int_{x=0}^x P_c(x) dx = \frac{m(x)v^2}{2} - \frac{m(x_0)v_0^2}{2} \quad (11.76)$$

$$v(x) = \frac{dx}{dt}; \quad \int_{t=0}^t dt = \int_{x=0}^x \frac{dx}{v(x)}; \quad t = \int_0^x \frac{dx}{v(x)}$$

Текисликда ползун ҳаракатланаётир деб фараз қилайлик. Ползун тортиб турилди, қўйиб юборилади. Пружина таъсирида унинг ўз ҳолига қайтиш вақти топилади. Ҳаракатлантирувчи кучнинг ўзгариш қонуни:

$$P(x) = P_0 - c \cdot x$$

Ползун v тезлик билан чиқиб, кейин тўхтайдди. Шунинг учун:

$$\frac{mv^2}{2} = \int_0^x (P_0 - c \cdot x) dx - \int_0^x fG dx = P_0 x - \frac{cx^2}{2} - fGx \Big|_0^x$$

$$\frac{mv^2}{2} = P_0 x - fGx - \frac{cx^2}{2} = (P_0 - fG)x - \frac{c}{2} x^2$$

$$\frac{dx}{dt} = v = \sqrt{\frac{2(P_0 - fG)}{m} x - \frac{c}{m} x^2} = \sqrt{\frac{2}{m} \left[(P_0 - fG)x - \frac{c}{2} x^2 \right]}$$

$$t = \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{\frac{2}{m} \left[(P_0 - fG)x - \frac{c}{2} x^2 \right]}} = \sqrt{\frac{m}{2}} \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{-\frac{c}{2} x^2 + (P_0 - fG)x}}$$

Г. Б. Двайтнинг интеграллар жадвалидан:

$$t = -\sqrt{\frac{m}{c}} \left\{ \arcsin \left[\frac{-cx + (P_0 - fG)}{P - fG} - \frac{\pi}{2} \right] \right.$$

$$\left. \begin{aligned} & \left[-\frac{c}{2} < 0; \quad P_0 - fG \geq 0; \right. \\ & \left. \left| -cx + P_0 - fG \right| < (P_0 - fG) \right] \end{aligned} \quad (11. 78)$$

Бу тенглама бошланғич шартни қаноатлантиради:

$$t = 0; \quad x = 0$$

Худди шу тенгламани Ньютон қонунига асосан ҳаракат дифференциал тенгласини тузиш йўли билан ҳал этиш мумкин. Ҳаракатлантирувчи куч йўлининг ўтиши билан тўғри чизиқ қонунига асосан камайиб боради ва у маълум вақтда ишқаланиш кучи билан мувозанатланади. Шундай ҳаракатнинг дифференциал тенгласи қуйидагича ёзилади:

$$m\ddot{x} = C(x_0 - x) - fgm \quad (11. 79)$$

ёки

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} x - \frac{c}{m} x_0 + fg = 0$$

$\frac{c}{m} = \omega^2$; $fg - \omega^2 x_0 = k^2$ деб белгилаб, ҳаракат тенгласини қуйидагича ёзамиз:

$$\ddot{x} + \omega^2 x + k^2 = 0 \quad (11. 80)$$

$\omega^2 x + k^2 = z$; $\ddot{x} = \frac{\ddot{z}}{\omega^2}$ ни ўрнига қўйиб, қуйидаги кўринишни оламыз:

$$\ddot{z} + \omega^2 z = 0$$

Бу гармоник ҳаракат тенгламасининг қуйидаги кўринишдаги ечимини олиш мумкин:

$$Z = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

Z ўрнига қийматини қўйсак:

$$\omega^2 x + k^2 = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

$$x = \frac{A}{\omega^2} \cos \omega t + \frac{B}{\omega^2} \sin \omega t - \frac{k^2}{\omega^2} \quad (11. 81)$$

Бошланғич шартдан фойдаланиб, A ва B ларни топамиз:

$$t = 0 \text{ бўлганда } x = 0, \quad \dot{x} = v_0$$

$$0 = \frac{A}{\omega^2} - \frac{k^2}{\omega^2}; \quad A = k^2 = fg - \omega^2 x_0 \quad v_0 = \frac{B}{\omega}; \quad B = v_0 \omega$$

Шундай қилиб, A ва B ларнинг қийматини ўрнига қўйиб, тенглама ечимини қуйидаги кўринишда оламыз:

$$x(t) = \frac{fg - \omega^2 x_0}{\omega^2} \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t - \frac{k^2}{\omega^2}$$

Тенгламадан вақтга нисбатан ҳосила олиб, тезликни топамиз:

$$v(t) = \dot{x}(t) = V_0 \cdot \cos \omega t + \frac{x_0 \omega^3 - fg}{\omega} \sin \omega t \quad (11. 82)$$

Тезликнинг нолга айланиш, яъни куч таъсиридаги звенонинг тўхташ вақти:

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \arctg \left(\frac{v_0 \omega}{\omega^2 x_0 - fg} \right)$$

t_2 вақт ўтганда звено тўхтаб, унинг босган йўли қуйидагича бўлади:

$$x(t_2) = \left(\frac{fg - \omega^2 x_0}{\omega^2} \cos \omega t_2 + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t_2 - \frac{k^2}{\omega^2} \right)$$

ω ни тўғри танлаш билан $t = t(x)$ ни f нинг турли қийматлари учун топиш мумкин.

XII б о б

МАШИНА ВА МЕХАНИЗМЛАРНИНГ МЕХАНИК
ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ1. §. Машинанинг механик фойдали иш коэффициентини
топиш

Машинанинг механик фойдали иш коэффициенти машина ишининг бир меъёردа ишлашидаги эффектини характерловчи фактордир, у машинанинг ҳаракатлантирувчи кучининг қанчаси фойдали қаршилиқни енгиш учун кетганлигини англатади: кўп бўлса машинада зарарли қаршилиқ кам эканлигини, машина тежам билан ишлашини билдиради.

Машинанинг фойдали иш коэффициенти ҳамма вақт бирдан кичик бўлади, чунки ҳаракатлантирувчи кучнинг иши (A_g), машинадаги фойдали қаршилиқ кучининг иши ($A_{ф.к}$) билан зарарли қаршилиқ кучининг иши ($A_{з.к}$) ни енгиш учун сарфланади.

Машинанинг барқарор ҳаракати даврида унинг ҳаракати қуйидаги тенглама билан аниқланар эди:

$$A_g = A_{ф.к} + A_{з.к}$$

ёки

$$A_{ф.к} = A_g - A_{з.к}$$

Бундан кўришишча, исталган машина учун ҳамма вақт қуйидаги тенгсизлик келиб чиқади:

$$A_{ф.к} < A_g \quad (12. 1)$$

Ҳар қандай машинада ҳам зарарли қаршилиқ кучи бўлади. Шунинг учун «абадий двигателъ» (perpetuum mobile) қуриш мумкин эмас, чунки ҳар қандай машинада зарарли қаршилиқни йўқотиб бўлмайди.

Машинадаги фойдали қаршилиқ кучлари ишининг ҳаракатлантирувчи кучлар ишига нисбати шу машинанинг фойдали иш коэффициенти деб аталади ва η билан белгиланади. Унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\eta = \frac{A_{ф.к}}{A_g} < 1 \quad (12. 2)$$

Машинанинг механик фойдали иш коэффициенти машинанинг қанчалик яхши ишлаганлигини билдиради. Фойдали иш коэффициентини қувват орқали ифодаласа ҳам бўлади:

$$\eta = \frac{N_{ф.к}}{N_g} \quad (12. 3)$$

Фойдали иш коэффициентини идеал машиналар учун бирга тенг бўлиб, ҳеч қандай фойдали иш бажармайдиган машиналар учун нолга тенгдир.

Зарарли қаршиликлар ишининг ҳаракатлантирувчи кучлар ишига нисбати *йўқотилиш коэффициенти* деб аталади.

Йўқотилиш коэффициентини ψ билан белгилаб, унинг учун қуйидаги математик ифодани ёзамиз:

$$\psi = \frac{A_{s.k.}}{A_g} = \frac{N_{s.k.}}{N_g} \quad (12.4)$$

η билан ψ орасидаги боғланишни қуйидагича топамиз:

$$\eta = \frac{A_{f.k.}}{A_g} = \frac{A_k - A_{s.k.}}{A_g} = 1 - \psi \quad (12.5)$$

Машинада бир неча кинематик жупт бўлса, у ҳолда, ҳар бир кинематик жуптда йўқотилган зарарли иш ёки қувват топилиб, улар бир-бирига қўшилади. Бундай ҳол учун йўқотилиш коэффициенти қуйидагича бўлади:

$$\psi' = \frac{\sum_{i=1}^n A_{s.k_i}}{A_g} \quad (12.6)$$

Машинанинг фойдали иш коэффициенти эса қуйидагича бўлади:

$$\eta' = \frac{A_g - \sum_{i=1}^n A_{s.k_i}}{A_g} = 1 - \psi' \quad (12.7)$$

(12.4) формуладаги ψ (12.6) формуладан топилганига қараганда (бир хил шароитда ишлайдиган машина учун) кичик, яъни $\psi' > \psi$ бўлади.

Қўпинча, машиналар иш органларининг тўла ҳаракатидан қанчаси фойдали ҳаракат ва қанчаси фойдасиз ҳаракат эканлигини аниқлаш жуда катта аҳамиятга эга бўлади. Агар машина иш органининг тўла циклдаги ҳаракатига кетган вақтни T деб олсак ва бевосита иш операциясини бажариш учун кетган вақт t бўлса, у ҳолда, машинанинг унумлилик коэффициенти қуйидагича бўлади:

$$Y = \frac{t}{T} \quad (12.8)$$

Г. А. Шаумян металл кесиш станоклари учун тўла фойдали иш коэффициентини топишнинг қуйидаги усулини тавсия этди (Г. А. Шаумян, Автоматы, Машгиз, 1952):

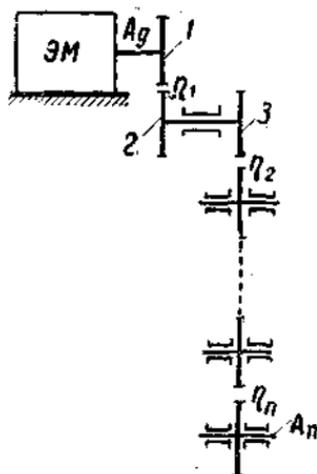
$$\eta_i = \eta \cdot Y \quad (12.9)$$

2- §. Кетма-кет, параллел улашдаги механик фойдали иш коэффициентлари

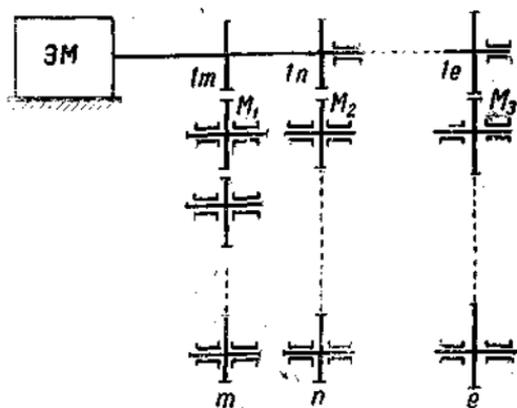
Агар машина n механизмдан таркиб топган, механизмлар эса кетма-кет уланган бўлса, бундай машинанинг фойдали иш коэффициентлари шу машина таркибига кирувчи барча механизмлар фойдали иш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг бўлади. Агар машина таркибдаги механизмларнинг фойдали иш коэффициентларини $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$ десак, машинанинг умумий фойдали иш коэффициентлари (η_0) нинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\eta_0 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n = \frac{A_n}{A_g} \quad (12.10)$$

бу ерда, A_n — n - механизмнинг фойдали иши (2.1-шакл).



2.1-шакл.



2.2-шакл.

Шундай қилиб, кетма-кет улашдаги умумий фойдали иш коэффициентлари кетма-кет уланган алоҳида-алоҳида механизмларнинг фойдали иш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг экан.

Параллел улаш икки хил бўлиши мумкин: бир қувват манбадан бир неча механизмларга қувват узатиш ва бир неча қувват манбадан параллел узатиш воситасида биргина механизм ҳаракатга келтирилиши мумкин. Биз қуйида битта қувват манбадан n та механизмга қувват узатишдаги фойдали иш коэффициентини топиш билан танишиб чиқамиз (2.2-шакл). Етакловчи звенодаги ишни A_1 деб олиб, уни A_{1m}, A_{1n} ва A_{1e} ишлардан иборат

деб қараймиз. Бу ишлар M_1, M_2, M_3 механизмлар орқали етакланувчи m, n ва e звеноларга узатилади. 2. 2-шаклга назар ташлаб, ҳар бир механизмнинг кетма-кет уланганлигини кўриш мумкин. Кетма-кет уланган механизмлар учун механик фойдали иш коэффициентлари қуйидагича топилади:

$$\eta_{1m} = \frac{A_m}{A_{1m}}; \quad \eta_{1n} = \frac{A_n}{A_{1n}}, \dots, \quad \eta_{1e} = \frac{A_e}{A_{1e}}$$

Шундай қилиб, қуйидагини олиш мумкин:

$$A_1 = A_{1m} + A_{1n} + \dots + A_{1e} = \frac{A_m}{\eta_{1m}} + \frac{A_n}{\eta_{1n}} + \dots + \frac{A_e}{\eta_{1e}} \quad (12.11)$$

Фойдали иш коэффициентни топишнинг умумий қондасига асосан, умумий механик фойдали иш коэффициентни қуйидагича топилади:

$$\eta = \frac{\sum_{i=m}^e A_e}{A_1} = \frac{A_m + A_n + \dots + A_e}{\frac{A_m}{\eta_{1m}} + \frac{A_n}{\eta_{1n}} + \dots + \frac{A_e}{\eta_{1e}}} \quad (12.12)$$

Агар бир қанча m, n, \dots, e қувват манбаларидан биргина механизмга ҳаракат узатилса, у ҳолда фойдаланилган $A_{1m}, A_{1n}, \dots, A_{1e}$ ишларни тегишли фойдали иш коэффициентларига бўлиб, қуйидаги тенгликларни ёзса бўлади:

$$A_m = \frac{A_{1m}}{\eta_{m1}}; \quad A_n = \frac{A_{1n}}{\eta_{n1}}, \dots, \quad A_e = \frac{A_{1e}}{\eta_{e1}}$$

Тўла фойдали иш коэффициентни қуйидагича топилади:

$$\eta = \frac{A_m \cdot \eta_{m1} + A_n \cdot \eta_{n1} + \dots + A_e \cdot \eta_{e1}}{\sum_{i=m}^e A_i} \quad (12.13)$$

Шундай қилиб, қуйидаги хулосага келамиз:

Фойдали иш коэффициентни қанча камайса, абсолют йўқотилиш шунча ортади. Абсолют йўқотилишнинг ортиши эса сарфланаётган энергиянинг бекорга кетаётганлигидан дарак беради.

3-§. Тишли гилдиракли механизмнинг фойдали иш коэффициентни

3. 1-шаклда бир жуфт тиш профилларининг илашиши тасвирланган. O_1O_2 — марказлараро масофа, NN — нормаль, ω_1, ω_2 — тегишлича иккала гилдиракнинг айланиш бурчак тезликлари. M_1 ва M_2 — ҳаракатлантирувчи ва қаршилик кучларнинг моменти, P — илашиш кутби. $P_{12} = -P_{21}$ — бир тишнинг иккинчисига таъсири.

$P_{12} = -P_{21}$ эканлигини эътиборга олсак,

$$M_1 = -M_2 \frac{r_1 \cos \alpha - \mu (r_1 \sin \alpha - x)}{r_2 \cos \alpha - \mu (r_2 \sin \alpha + x)} = M_1(x)$$

бўлади. Шундай қилиб, M_1 — x ҳолатга боғлиқ функция экан. v_{21} нисбий тезлик қутбдан ўтишда ўз йўналишини ўзгартиради, шунда ишқаланиш кучлари (F_{12} , F_{21}) ҳам ўз йўналишларини ўзгартиради. Мана шу куч ва тезлик йўналишларининг ўзгариб туриши валнинг вибрацияланишига сабаб бўлади.

Қувватлар тенглигидан фойдаланиб, қуйидагини топамиз:

$$M_1 = -M_2 \cdot i_{21}$$

Ишқаланишдаги элементар иш қуйидагича топилади:

$$dA_F = \mu \cdot p_{12} \cdot v_{21} \cdot dt$$

$$\frac{dx}{dt} = v_{21} \cos \alpha; \quad dt = \frac{dx}{v \cdot \cos \alpha}$$

Булардан

$$dA_F = \mu \cdot \frac{M_2}{r_2 \cos \alpha - \mu (r_2 \sin \alpha + x)} \cdot x \cdot v_{21} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{dx}{v_{21} \cdot \cos \alpha}$$

ёки

$$dA_F = \mu \cdot \frac{M_2}{r_2 \cdot \cos \alpha - \mu (\sin \alpha + x)} \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right) \frac{x dx}{\cos \alpha}$$

$\mu (\sin \alpha + x)$ ни ҳисобга олмасак, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$dA_F = \mu \cdot \frac{M}{r_2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \cdot x dx$$

Бу тенгламани интеграллаб, бир жуфт тишнинг тўла илашишидаги ишқаланишнинг ишини топамиз.

$$A_F = \mu \cdot \frac{M_2}{r_2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right) \cdot \int_{-l_1}^{+l_2} x dx = \mu \cdot \frac{M_2}{r_2 \cdot \cos^2 \alpha} \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right) \frac{l_2^2 + l_1^2}{2}$$

Бир жуфт тишнинг тўла илашишидаги вақтни қуйидагича топамиз:

$$t = \frac{l_1 + l_2}{v \cdot \cos \alpha} = \frac{l_1 + l_2}{r_2 \omega_2 \cos \alpha}$$

Қувватни қуйидагича топамиз:

$$N_2 = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{75};$$

$r_1 = \frac{m \cdot z_1}{2}$, $r_2 = \frac{m \cdot z_2}{2}$ эканлиги эътиборга олинса, ўртача

қувват

$$N_F = \frac{A_F}{t} = \frac{75 \cdot \mu \cdot N_2}{m \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \cdot \frac{l_1^2 + l_2^2}{l_1 + l_2},$$

фойдали механик коэффициент эса

$$\eta = \frac{N_2}{N_2 + N_F} = \frac{1}{1 + k};$$

$$k = \frac{N_F}{N_2} = \frac{75 \cdot \mu}{m \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \cdot \frac{l_1^2 + l_2^2}{l_1 + l_2}$$

бўлади.

Баъзи тишли илашмалар учун η нинг қиймати қуйидагичадир:

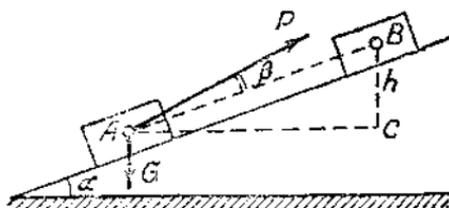
$\eta = 0,99$ — силлиқланган тишлар учун;

$\eta = 0,985 \div 0,98$ — юқори аниқлик билан ишланган тишлар учун.

МАСАЛАЛАР

71-масала. 2, 3-шаклда қия текисликдаги звено ҳаракатининг умумий кўриниши тасвирланган. Қия текислиكنинг механик фойдали иш коэффициентини топиш.

Е ч н ш: Шаклдан кўринишича, P куч ҳаракатлантурувчи куч бўлиб, қия текисликда звенони A дан B га келтиради, бунда звено C вази-ятдан (горизонтал вази-ят) B га кўтарилди. Шундай қилиб, ҳаракатлантурувчи кучнинг иши билан фойдали қаршилиқ ишини топиш:



$$A_g = P \cdot AC = G \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi - \beta)} \cdot AC$$

$$A_{\varphi, h} = G \cdot h$$

2.3-шакл. Қия текисликда звенонинг юқори томон ҳаракати.

Фойдали иш коэффициентини қуйидагича бўлади:

$$\eta = \frac{A_{\varphi, h}}{A_g} = \frac{G \cdot h}{G \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi - \beta)} \cdot AC} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha + \varphi)}$$

72-масала. Қия текисликдаги звено ҳаракатининг хусусий ҳоллари кўриб чиқилсин.

Е ч н ш:

1. $\beta = 0$, яъни P куч қия текисликка параллел бўлса:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}$$

бўлади.

2. $\alpha = 0$ бўлса, $\eta = 0$ бўлади. Аммо $\alpha = 0$ билан $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi$ оралиқда фойдали иш коэффициентини мусбат бўлади.

Агар $\alpha > \frac{\pi}{2}$ — φ бўлса, фойдали иш коэффициенти манфий бўлади. Бу ҳол учун ползунни ҳаракатга келтиришга P кучнинг қуввати етмайди.

3. Агар $\beta = -\beta = -\alpha$ бўлса (винг ҳаракати), ҳаракатлантирувчи куч қуйидагича бўлади:

$$P = G \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$$

фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}$$

бўлади.

Агар ползун G куч таъсирида пастга тушаётган бўлса, η қуйидагича бўлади:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \varphi)}{\operatorname{tg} \alpha}$$

73- масала. 2. 4- шаклда цилиндр устидан ўтказилган арқон билан P куч Q юкни юқорига тортиб кўтармоқда. Бундаги фойдали қаршилик Q бўлиб, ҳаракатлантирувчи куч P дир. Механик фойдали иш коэффициентини топиш.

Ечиш: Агар I ва II арқонлар параллел бўлса, Q юк маълум баландликка кўтарилганда арқоннинг ҳаракатлантирувчи куч қўйилган томони шунча пастга тушади. Бундай ҳол учун фойдали қаршилик кучининг иши билан ҳаракатлантирувчи кучнинг иши қуйидагича бўлади:

$$A_g = P \cdot S_I \quad A_{ф.к} = Q \cdot S_{II}$$

$S_I = -S_{II}$ эканлигини эътиборга олиб, фойдали иш коэффициентини топиш:

$$\eta = \frac{A_{ф.к}}{A_g} = \frac{Q}{P} = \frac{Q}{Q \cdot e^f \alpha} = e^{-f\alpha}$$

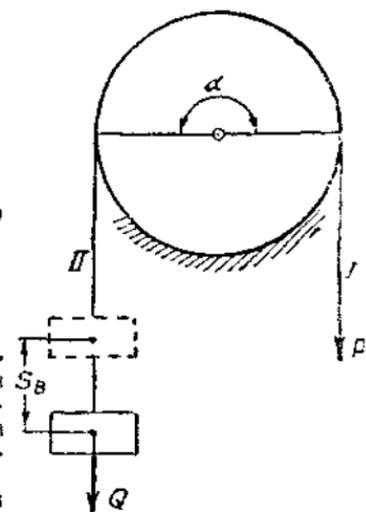
бу ерда, f — арқон билан цилиндр оралигидаги ишқаланниш коэффициентини;
 α — қамров бурчаги;
 $e = 2,718$.

XIII б о б

МАШИНА ҲАРАКАТИНИ БИР МЕЪЕРДА САҚЛАШ НАЗАРИЯСИГА ОИД АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

1-§. Машинанинг даврий ва давриймас ҳаракати

Ҳар қандай машина бирор энергия манбаидан ҳаракат олади. Энергия манбаи жуда кўп: электр энергияси, иссиқлик энергияси, шамол энергияси, сув энергияси ва бошқалар. Машинага берил-



2.4- шакл.

ган ҳар қандай энергия шу машинанинг фойдали ва зарарли қаршиликларини енгил учун сарф бўлиши айтиб ўтилган эди. Машина ҳаракатининг бир текисда бўлиши ҳозирги замон техникасида фоят катта аҳамиятга эга. Машинанинг ўзгармас тезлик билан (бир текис) ҳаракат қилиши учун машина ҳаракати даврида қуйидаги шарт сақланиши керак:

$$A_g = A_{ф.к} + A_{с.к} \quad (13. 1)$$

Баъзи машиналарда, масалан, насос ва компрессорларда тезлик ўзгартирилиб, бу машиналарнинг иш унуми оширилади. Айни замонда шу машиналарга бериладиган ҳаво ёки суюқликнинг босими ўзгармай туриши учун ҳам машина тезлигини ўзгартириб туришга тўғри келади.

Машина ҳаракати тезлигининг ўзгариб туриш сабаблари турлича бўлганлигидан, улар ҳаракатини ростлаш (бир меъёрга келтириш) усуллари ҳам турлича бўлади.

Тезлик икки хил ўзгаради; булардан бири даврий ўзгариш, иккинчиси эса давриймас ўзгаришдир. Машинанинг барқарор ҳаракати вақтида шу механизм етакловчи звеноси тезлигининг маълум технологик цикл ичидаги ўзгаришини бир меъёрга келтириш машинанинг даврий ҳаракатини бир меъёрга келтириши деб аталади.

Машина ҳаракатининг тезлиги фойдали ёки зарарли қаршиликнинг тўсатдан ўзгариши ёки машинага бирор масса қўйилмиши сабабли ўзгариб қолиши мумкин.

Машина ҳаракати тезлигининг бундай тасодифан ўзгариши давриймас ўзгариш деб аталади.

Машинадаги тезликнинг даврий ёки давриймас ўзгариб туриши, асосан, ундаги бош вал (етақловчи звено) тезлигининг ўзгариши билан боғлиқдир.

Машина ҳаракатининг барқарорлашган давридаги тезлигини бир меъёрд сақлаш учун, шу машина таркибига қўшимча масса киритиш, яъни машина таркибидаги звено массаларини мақсадга мувофиқ жойлаштириш керак бўлади. Қиритилган қўшимча масса машина ҳаракати тезлашганда ортиқча кинетик энергияни қабул қилиб, секинлашганда ортиқча кинетик энергияни чиқариб турувчи аккумулятор вазифасини ўташи керак. Машинанинг асосий валига (етақловчи звеносига) ўрнатиладиган маховик ана шундаги масса дур.

Давриймас тезликнинг ўзгариб туришини бир меъёрга келтириш масаласи машинага махсус қўшимча механизм — регулятор ўрнатиш йўли билан ҳал қилинади. Бу регуляторнинг вазифаси ҳаракатлантирувчи кучнинг ёки қаршилик кучларининг ўзгариш қонунларини текислаб туришдан иборат. Масалан, буғ машинасидаги регулятор буғ кучини бир хил сақлаб туради. Қаршиликни

бир меъёрда сақлаб турувчи регулятор *модератор* деб аталади. Машиналарда ишлатиладиган тормоз тезлик модераторидир.

Ҳар қандай нотекис ҳаракат ўзгарувчан тезликдан, яъни тезланишдан келиб чиқади. Валга ўрнатилган маховикнинг гироскопик моментни қуйидаги формуладан аниқланади:

$$M_u = -\varepsilon \cdot I_0, \quad (13. 2)$$

бу ерда, I_0 — маховикнинг инерция momenti,

ε — маховикнинг бурчак тезланиши,

M_u — бурчак тезланишига тескари йўналган гироскопик momenti,

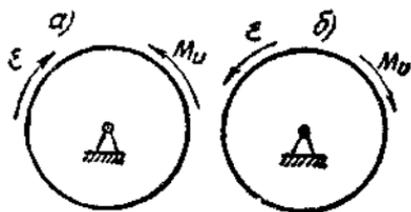
(13. 2) формулани қуйидагича ёзамиз:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{M_u}{I_0} \quad (13. 3)$$

Бундан, бурчак тезланиши бўлмаслиги учун $I_0 = \infty$ бўлиши керак, деган хулоса чиқади. Бу идеал ҳол бўлганлигидан, уни бажариш қийин. Аммо машина ҳаракат тезлигини маълум даражада бир текис қилиш мумкин.

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon; \quad d\omega = -\frac{M_u \cdot dt}{I_0} \quad (13. 4)$$

Бундан маълум бўлишича, асосий вал бурчак тезлигининг ўзгариши гироскопик момент таъсир этадиган вақтга пропорционалдир. Гироскопик момент (M_u) бурчак тезланишига тескари йўналган бўлиб, соат стрелкаси юрадиган томонга асосий вал бурчак тезланиши билан айланса, гироскопик момент вални секинлаштиришга ҳаракат қилади, вал секинлашаётган ($-\varepsilon$) бўлса, гироскопик момент валнинг бурчак тезлигини оширишга ҳаракат қилади. Бинобарин, гироскопик момент энергияни қабул қилиб ва энергия чиқариб, валнинг бир текис айланишини таъминлайди (1. 1-шакл, а, б).



1.1-шакл а, б—бурчак тезланишининг (ε) ва гироскопик моментнинг йўналиши.

Ҳозирги замон тўқув автоматларида, тикув машиналарида, автомобильда, умуман, кўлчанлик машиналарда асосий вал тезлиги маълум чегарада маховик ёрдами билан сақлаб турилади.

Машиналарнинг тури	δ
Ўзгарувчан ток динамомашиналари	1:200—1:300
Ўзгармас ток динамомашиналари	1:100—1:200
Ички ёнув двигателлари, компрессорлар	1:80—1:150
Қишлоқ хўжалиги машиналари	1:10—1:50
Металл қирқиш станоклари	1:20—1:50
Кема двигателлари	1:20—1:100
Тўқув станоклари	1:3—1:10

3-§. Маховик инерция моментини топиш формуласининг исботи

Машина ҳаракати вақтидаги ортиқча ёки етишмайдиган ишни A_0 билан белгиласак, энергиянинг ўзгарини қонунига кўра, қуйидаги тенгликни ёза оламиз:

$$A_0 = \frac{1}{2} I_0 (\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2) \quad (13. 9)$$

Қавслар ичидагини қуйидагича ўзгартирамиз:

$$\frac{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2}{2} = \frac{(\omega_{\max} + \omega_{\min}) \cdot (\omega_{\max} - \omega_{\min})}{2} = \omega^2 \cdot \delta \quad (13. 10)$$

Агар келтириш звеносининг инерция momenti ўзгарувчан бўлса, у ҳолда (13. 9) тенгликни қуйидагича ёзамиз:

$$A_0 = E_{i+1} - E_i = \frac{I_{(i+1)k}(\varphi) \cdot \omega_{\max}^2}{2} - \frac{I_{ik}(\varphi) \omega_{\min}^2}{2}$$

$$I_{(i+1)k}(\varphi) = I_{\mu} + \Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi); \quad I_{ik}(\varphi) = I_{\mu} + \Delta I_{ik_3}(\varphi);$$

$$\omega_{\max} = \omega_{\text{ер}} \left(1 + \frac{\delta}{2}\right); \quad \omega_{\min} = \omega_{\text{ер}} \left(1 - \frac{\delta}{2}\right)$$

Буларни (13. 9) тенгламага қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{2} \left\{ \left[I_{\mu} + \Delta I_{(i+1)k}(\varphi) \right] \omega^2 \left(1 + \frac{\delta}{2}\right)^2 - \left[I_{\mu} + \Delta I_{ik_3}(\varphi) \right] \omega^2 \left(1 - \frac{\delta}{2}\right)^2 \right\} = \\ &= \frac{1}{2} \left\{ I_{\mu} \cdot \omega^2 + I_{\mu} \cdot \omega^2 \delta + I_{\mu} \omega^2 \cdot \frac{\delta^2}{4} + \Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) \omega^2 + \Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) \omega^2 \cdot \delta + \right. \\ &\quad \left. + \Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) \omega^2 \cdot \frac{\delta^2}{4} - I_{\mu} \cdot \omega^2 + I_{\mu} \omega^2 \cdot \delta - I_{\mu} \omega^2 \frac{\delta^2}{4} - \right. \\ &\quad \left. - \Delta I_{ik_3}(\varphi) \omega^2 + \Delta I_{ik_3}(\varphi) \cdot \omega^2 \delta - \Delta I_{ik_3}(\varphi) \omega^2 \cdot \frac{\delta^2}{4} \right\} = \\ &= \frac{1}{2} \left\{ 2I_{\mu} \cdot \omega^2 \delta + [\Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) - \Delta I_{ik_3}(\varphi)] \omega^2 + [\Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) + \right. \\ &\quad \left. + \Delta I_{ik_3}(\varphi)] \omega^2 \delta + [\Delta I_{(i+1)k_3}(\varphi) - \Delta I_{ik_3}(\varphi)] \omega^2 \frac{\delta^2}{4} \right\} \end{aligned}$$

Бундан I_M ни топамиз:

$$I_M = \frac{A_0 - \frac{\omega^2}{2} \{ [\Delta I_{(l+1)}(\varphi) - \Delta I_{(kz)}(\varphi)] \cdot \left[1 + \frac{\delta^2}{4} \right] + [\Delta I_{(l+1)k_1}(\varphi) + \Delta I_{(kz)}(\varphi)] \delta}{\omega^2 \cdot \delta} \quad (13. 11)$$

Суратдаги ҳадлар ичида катта қавс ичидагилар баъзи ҳоллар учун маховикнинг инерция моменти I_M га қараганда кичик сон бўлганлигидан ташлаб юборсак бўлади, у ҳолда тенглик тақрибан қуйидаги кўринишни олади:

$$I_M = \frac{A_0}{\omega^2 \delta} \quad (13. 12)$$

$\omega = \frac{\pi n}{30}$ эканлигини эътиборга олиб, (13. 12) тенгликни қуйидагича ёзамиз:

$$I_M = \frac{90 \cdot A_0}{n^2 \cdot \delta} \quad (13. 13)$$

Юқоридаги $I(\varphi)$ — машина звеноларидан асосий валга (етақловчи звенога) келтирилган инерция моменти, у асосан, қуйидагилардан иборат:

1. I_3 — машина ёки механизм звеноларидан келтирилган инерция моменти.
2. I_1 — келтириш звеносининг (асосий валнинг) инерция моменти.
3. I_M — асосий валга ўрнатиладиган маховикнинг инерция моменти.

$$I(\varphi) = I_3 + I_1 + I_M = \Delta I + I_M \quad (13. 14)$$

Масала машинанинг бир давр ичидаги ортиқча ишни (A_0) ни топишдан иборат. Агар A_0 топилса, берилган n ва δ орқата машинанинг δ чегарасини таъминловчи маховикнинг инерция моменти топган бўламиз.

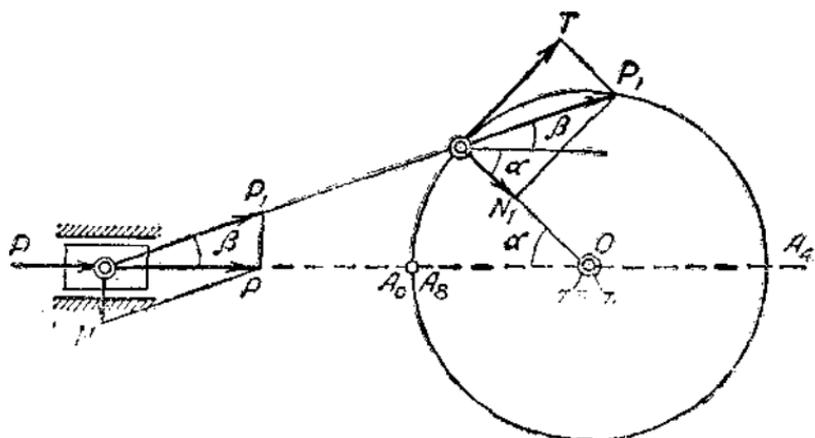
Ортиқча ишни топишнинг икки хил усули билан таъминиб ўтамиз. Булардан бири уринма кучлар усули бўлиб, иккинчиси энергомасса усулидир. Биз аввал уринма кучлар усули билан таъминиб чиқамиз.

4-§. Уринма кучлар усули билан ортиқча ишни топиш

4. 1-шаклда аксунал (марказий) кривошип-шатунли механизмнинг B нуқтасига қўйилган P куч берилган. Бу куч ҳаракатлантирувчи куч (агар ички ёнув двигатели бўлса) ёки қаршилик кучи бўлиши мумкин. Қаршилик кучи бўлса ҳам, ҳаракатлантирувчи

куч бўлса ҳам баён қилинаётган усул ўз кучида қолади. 4. 1-шаклдан T кучни топамиз:

$$P_1 = \frac{P}{\cos \beta}; \quad T = P_1 \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (13.15)$$

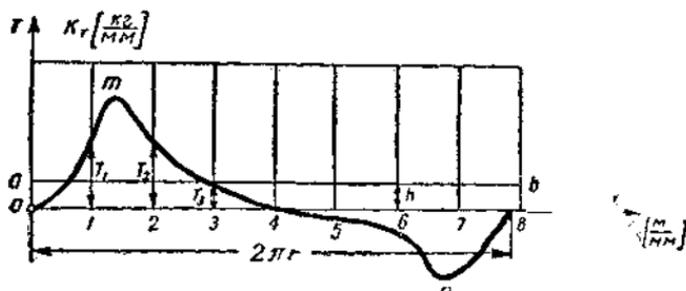


4.1-шакл. Кривошип-шатунли механизм ва узи ҳаракатлантирувчи куч (P).

Булардан T ни топамиз:

$$T = P \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad (13.16)$$

Икки тактли двигателнинг индикатор диаграммасидан фойдаланиб, поршенга (B нуқтага) таъсир этувчи ҳаракатлантирувчи кучни (P ш) механизмнинг δ вазияти учун топамиз, уни (13.16) формулага қўйиб, кривошипнинг A нуқтасига қўйилган тангенциал кучларни кривошипнинг δ вазияти учун топамиз-да, $K_T \left[\frac{\text{кг}}{\text{мм}} \right]$ масштабда 4. 2-шаклдаги диаграмmani тузамиз. 4. 2-шаклдаги график тангенциал кучлар графиги деб аталади. Бу графикнинг



4.2-шакл. Тангенциал куч (T) нинг ўзгариш қонуни.

юзни поршеннинг икки тактида тангенциал кучнинг бажарган иш-на беради. Иккала юзни ҳисоблаб чиқамиз ва уни шу юзга тенг ва асоси $2\pi r$ бўлган юза билан алмаштирамиз:

$$h \cdot 2\pi \cdot r = (F_1 + F_2)$$

бундан:

$$h = \frac{F_1 + F_2}{2\pi \cdot r} \text{ [мм]}$$

Бу h баландлик K_T масштабга кўпайтирилса, қаршилик кучи чиқади. ab горизонтал чиқиқдан юқориги юз ортиқча иш бўлса, пастки юз етишмаган ишга тенгдир.

Машинанинг барқарор ҳаракати учун ортиқча юзлар йиғиндиси етишмаган юзлар йиғиндисига ёки ортиқча ишлар йиғиндиси етишмаган ишлар йиғиндисига тенг бўлиши керак, айтилганларнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$\sum_{i=1}^n F_{i0} = \sum_{i=1}^n F_{ie}; \quad \text{ёки} \quad \sum_{i=1}^n A_{i0} = \sum_{i=1}^n A_{ie}$$

Максимал ортиқча иш берувчи юзни танлаб, кривошипнинг бир айланишида бажариладиган ортиқча ишни қуйидагича топамиз:

$$A_0 = K_T \cdot K_s \cdot F_{\max}$$

(13. 13) тенгламага A_0 ни қўйиб, маховикнинг инерция моментини топамиз. Маховикнинг бутун оғирлиги унинг гардишидадир:

$$I_M = m \cdot R^2 = \frac{GD^2}{4g}$$

$$GD^2 = 4I_M \cdot g = \frac{360 \cdot A_0 \cdot g}{n^2 \delta}$$

GD^2 маховикнинг momenti деб аталади ва, асосан, маховикни характерлайди.

Чўяндан қилинган маховикларнинг мустаҳкам ишлашини таъминлаш шarti $v \leq 30$ м/сек дир; шунга биноан:

$$v = \frac{\pi n}{30} \cdot R \leq 30 \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}} \right]$$

бўлади. Маховикнинг диаметри бундай топилади:

$$D = \frac{1800}{\pi \cdot n} \text{ [м]}$$

Маховик гардишининг оғирлиги (G_2) маховик оғирлигининг тахминан 0,9 ҳиссасига тенг ($G_2 = 0,9G_u$) деб олиш мумкин. Маховик гардишининг кўндаланг кесимини топамиз:

$$S = \frac{G_2}{2\pi R \gamma} \text{ [м}^2\text{]},$$

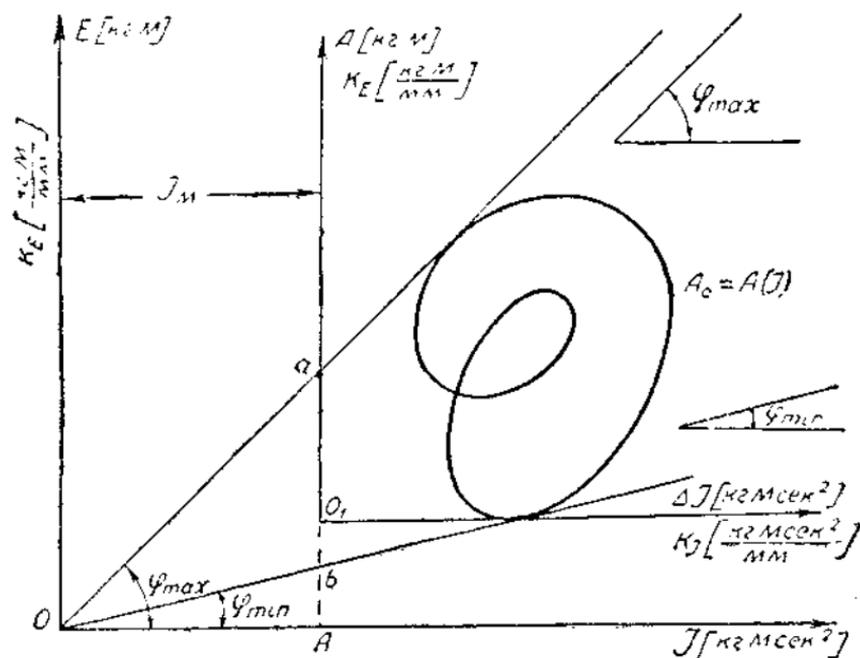
бу ерда γ — маховик материалнинг солиштирма оғирлиги.

5-§. Маховик инерция моментини энергомасса методи билан топиш

Маховик массасининг инерция моментини энергомасса усули деб аталувчи усул билан топишга киришамиз. Бу усул билан топишда, асосан, $E - I_k$ диаграммаси ёки $E - m_k$ диаграммасидан фойдаланилади.

Аввало, ҳаракатлантирувчи кучнинг келтирилган momenti келтириш звеносининг айланишига боғлиқ бўлган диаграммаси ($M_{\text{вк}} - \varphi$) ни тузамиз.

Сўнгра $M_{\text{вк}} - \varphi$ графиги билан механизмнинг (маховиксиз) келтирилган инерция momenti графиги ($\Delta I - \varphi$) ни тузамиз. $M - \varphi$



5.1-шахл. Энергия — келтирилган инерция momenti ($E - I_k$) графиги.

графикини интеграллаб, A_0 — φ графикини ҳосил қиламиз, чунки:

$$A_0 = \int_0^{\varphi} M_{gk} \cdot d\varphi - \int_0^{\varphi} M_{\phi, \kappa} \cdot d\varphi = \int M d\varphi \quad (13. 17)$$

бўлади. A_0 — φ ва ΔI — φ графикларидаги умумий параметр (φ) ни график усулда чиқариб, A_0 — ΔI графикини оламиз (5. 1-шакл). Агар механизмнинг келтирилган инерция моментига маховикнинг инерция моментини қўшсак ($I_{\kappa} = \text{const}$), янги координаталар боши O_1 нуқтадан бирор O нуқтага қўчади. Механизмнинг маховик қўшилгандан сўнгги кинетик энергияси қуйидагича бўлади:

$$E = A_0 + A'$$

Механизмнинг маховик қўшилгандан кейинги келтирилган тўла инерция momenti қуйидагича бўлади:

$$I_{\kappa} = \Delta I + I_{\kappa}$$

Бу ерда I_{κ} —маховикнинг топилиши лозим бўлган инерция momenti. Бизга қуйидагилар (13. 5), (13. 6), (13. 7), (13. 8) маълум:

$$\omega_{\max} + \omega_{\min} = 2 \cdot \omega$$

$$\omega_{\max} - \omega_{\min} = \omega \cdot \delta$$

$$\omega_{\max} = \omega \left(1 + \frac{\delta}{2} \right)$$

$$\omega_{\min} = \omega \left(1 - \frac{\delta}{2} \right)$$

Кинетик энергиядан:

$$\omega^2 = \frac{2E}{I}$$

$$\omega^2 = \frac{2K_E}{K_I} \cdot \frac{Y_F}{X_I} = \frac{2K_E}{K_I} \operatorname{tg} \varphi \quad (13. 18)$$

Агар бурчакнинг экстремал қийматларини топмоқчи бўлсак, (13. 18) тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{\max} &= \frac{K_I}{2K_E} \omega_{\max}^2 \\ \operatorname{tg} \varphi_{\min} &= \frac{K_I}{2K_E} \omega_{\min}^2 \end{aligned} \right\} \quad (13. 19)$$

ω_{\max} , ω_{\min} қийматларини (13. 19) тенгламага қўйиб, тегишли φ_{\max} ва φ_{\min} бурчакларни толамиз. (A_0 — ΔI) графикига бу бурчаклар остида уринма ўтказиб, уларнинг кесилуви нуқтаси O ни толамиз (5. 1-шакл). Бу шаклдаги ab кесма K_E масштабда ортиқча A_0 ишни

билдиради, шунни исбот қиламиз. 5. 1-шаклдан қуйидагиларни топамиз:

$$\overline{ab} = \overline{Aa} - \overline{Ab}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{\max} = \frac{\overline{Aa}}{\overline{OA}}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{\min} = \frac{\overline{Ab}}{\overline{OA}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\max} - \operatorname{tg} \varphi_{\min} = \frac{\overline{ab}}{\overline{OA}}$$

(13.19) тенгламадаги $\operatorname{tg} \varphi_{\max}$ ва $\operatorname{tg} \varphi_{\min}$ қийматларини ўрнига қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\frac{K_I}{2K_E} (\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2) = \frac{\overline{ab}}{\overline{OA}}$$

ёки

$$\frac{K_I}{2K_E} 2\omega^2 \delta = \frac{\overline{ab}}{\overline{OA}}$$

$$K_I \cdot \overline{OA} = \frac{K_E \cdot \overline{ab}}{\omega^2 \cdot \delta} \quad (13.20)$$

(13.13) тенглама билан (13.20) тенгламани бир-бирига таққослаб қарасак, $I_n = K_I \cdot \overline{OA}$, $A_0 = K_E \cdot \overline{ab}$ эканлигини кўрамиз.

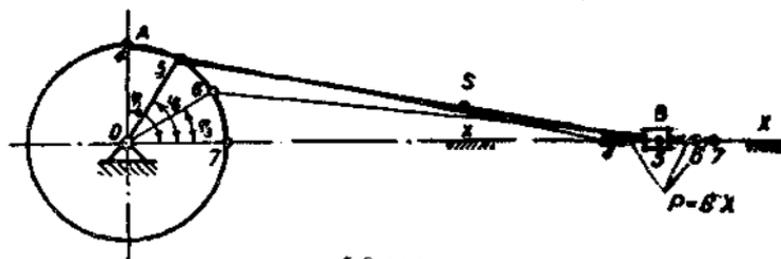
Шундай қилиб, энергомасса усулида ортиқча ишни (A_0) график тарзда топса яхши бўлар экан. 5. 1-шаклдаги OA кесма K_I масштабда маховикнинг инерция моментини берар экан. Маховикнинг инерция momenti топилгач, унинг оғирлиги билан ўлчамларини топиш қийин бўлмайди.

Биз юқорида маълум геометрик ва динамик ўлчовларга эга бўлган кривошип-шатунли механизм учун ҳаракатлантирувчи кучи ўзгармас, аммо фойдали қаршилиқ кучи кривошипнинг маълум ҳолатидан сўнг қандайдир чизиқли $p = p(x)$ қонуни билан ўзгарадиган етакловчи звеносининг беш хил айланиш сони учун кинетик энергия орқали келтирилган массанинг ўзгаришини топиб, энергия—масса графигининг ўзгаришини аниқладик.

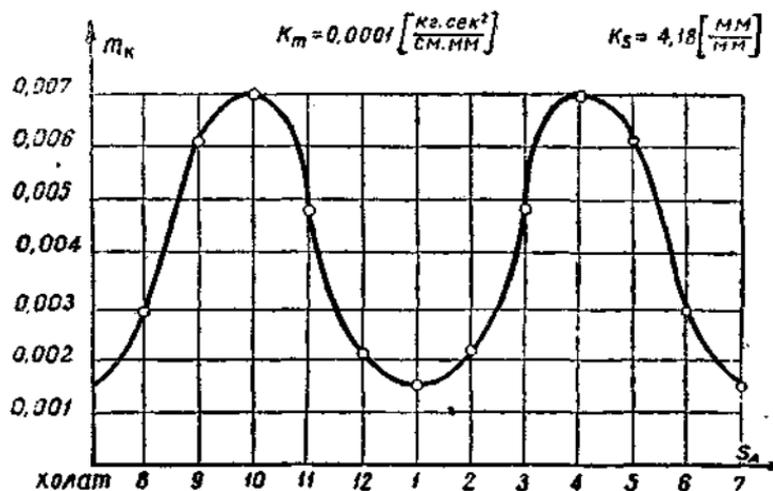
Бунда кривошипнинг узунлиги $R = 80$ мм, шатуннинг узунлиги $l = 400$ мм, ползун ва шатуннинг оғирлиги тегишлича $G_n = 3$ кг, $G_s = 2,2$ кг, инерция momenti $I_s = 0,6212$ кг см сек². Шатуннинг оғирлик маркази унинг ўртасида. Кривошипнинг айланиш сонлари: $n_k = 100; 200; 500; 700; 1000$ айл/мин қабул қилинган. Кривошипнинг чап чекка ҳолати I дан бошланади, ўнг чекка ҳолати 7 , чунки кривошипнинг 12 ҳолати учун ҳисоб ишлари олиб борилди. Фойдали қаршилиқ кучи уч вариант учун қуйидагича қабул этилди (5. 2-шакл).

I. Қаршилиқ кучи $P_4 = 0$ дан бошланиб, $P_7 = 150$ кг га етади ($\varphi = 90^\circ$).

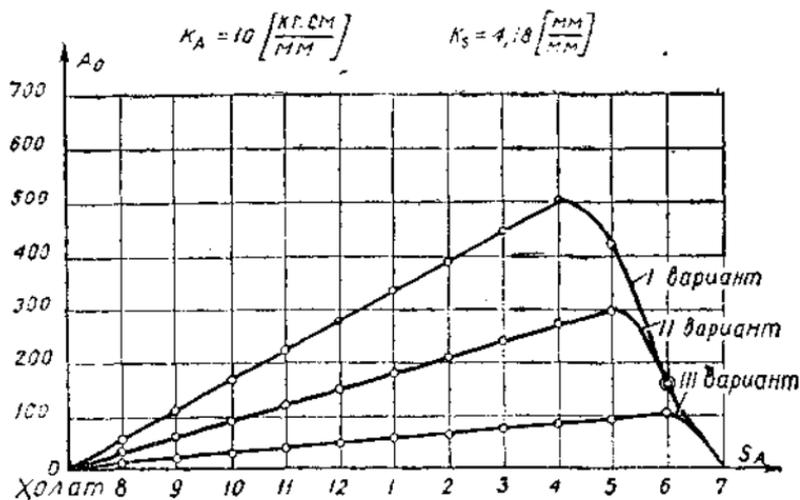
II. Қаршилиқ кучи $P_5 = 0$ дан бошланиб, $P_7 = 150$ кг га етади ($\varphi = 60^\circ$).



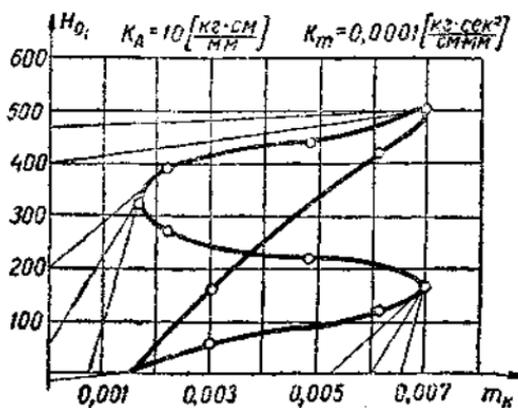
5.2- шакл.



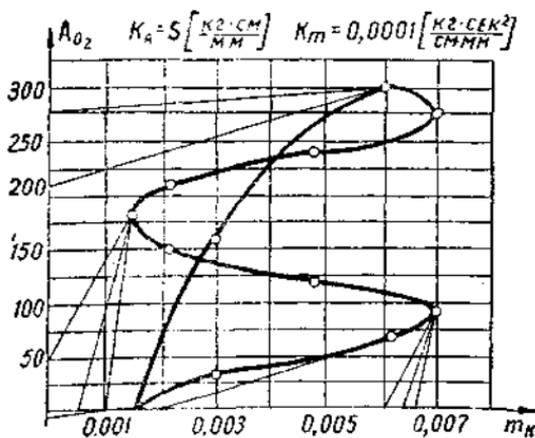
5.3- шакл.



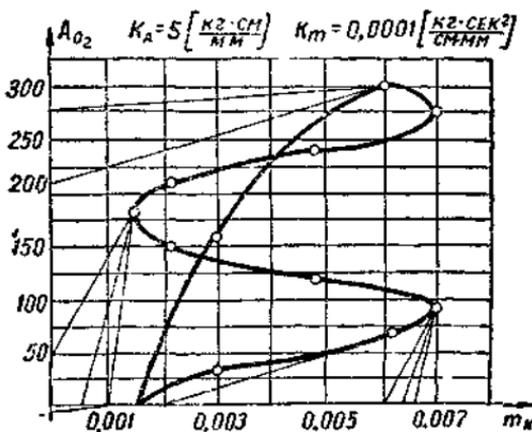
5.4. - шакл.



5.5- шкал.

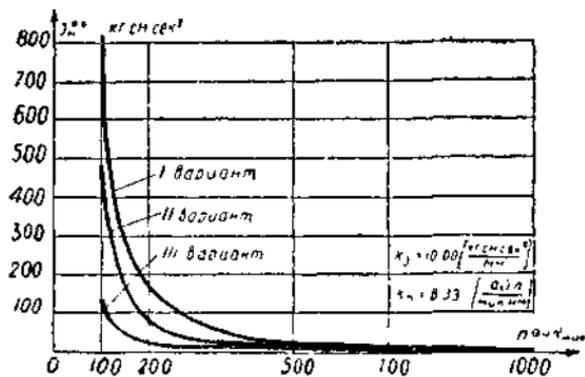


5.6- шкал.

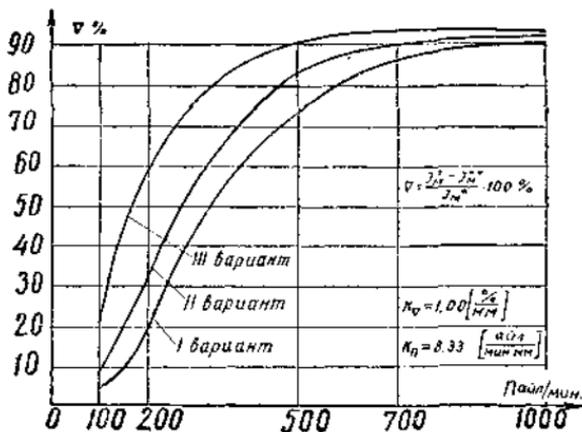


5.7- шкал.

5.8-шакл.



5.9-шакл.



III. Қаршилик кучи $P_6 = 0$ дан, бошланғиб, $P_7 = 150$ кг га етади ($\varphi = 30^\circ$).

Келтирилган массанинг ўзгариш қонуни 5. 3-шаклда ва ортиқча илш графиги 5. 4-шаклда уч вариант учун кўрсатилган. Учта вариант учун энергия—масса графиги 5. 5, 5. 6 ва 5. 7-шаклларда тасвир этилган. 5 та вариант айланиш сонлари ва 3 вариант қаршиликлар учун $\text{tg } \varphi_{\text{max}}$, $\text{tg } \varphi_{\text{min}}$ ва φ_{max} , φ_{min} лар (13.19) формулалар орқали ва маховикнинг инерция моменти (13.12) формула орқали топилади.

Маховикнинг инерция моментининг (13. 11) ва (13. 12) формулалар орқали топилган қийматларининг етакчи звено айланиш сонига боғлиқлик графиги 3 та вариант учун 5. 8-шаклда тасвир этилган.

Келтирилган графикдан етакчи звенонинг турли айланиш сонлари учун бир хил нотекис айланишни таъминлайдиган маховикнинг инерция моменти кубик гиперболола қонуни билан ўзгарши кўриниб турибди.

Текширишлар шуни кўрсатадики, агар механизм етакчи звеносининг айланиш сони кичик бўлса, маховик инерция моментлари орасидаги тақрибий ва аниқ формулалар билан топилган фарқ ҳам кам бўлар экан, агар айланиш сони катталашса, улар орасидаги фарқ ҳам катталашиб, маховик инерция моментига нисбатан механизм звеноларининг келтирилган инерция моментини ташлаб юбориш билан катта хатога йўл қўйган бўламиз. Бу айтилганларни, яъни (13. 11) ва (13. 12) формулалар орасидаги нисбий фарқ (Δ) нинг айланиш сонига боғлиқ бўлган графиги 5. 9-шаклда тасвир этилган.

6-§. Академик И. И. Артоболевский методи

Академик И. И. Артоболевский машина агрегати ҳаракат тенгламасининг момент кўринишидаги $\frac{d(\Delta I_k)}{d\varphi}$ ҳаддини топишнинг янги усулини таклиф этади. Умуман олганда маховик моментини топишнинг мавжуд методларини асосан икки гурпуага бўлиш мумкин. Булардан бири ҳисоблашнинг аниқ методи бўлиб, бунга профессор Виттенбауэр методи киради. Биз бу метод билан танишиб ўтган эдик, у асосан энергия — масса графигини қуришга асосланган эди. Аммо бу метод ҳам хатолардан ҳоли эмас, чунки етакловчи звенонинг максимал ва минимал бурчак тезликларига мос келадиган энергия — масса графигидаги нуқталарга аниқ уринмалар ўтказиш жуда қийин. Бу ҳолатни Н. Е. Жуковский ҳам ўзининг 1933 йилда чиққан машина ҳаракатини меъёрлаш тўғрисидаги асарида кўрсатиб ўтган эди.

Профессор Н. И. Мерцалов томонидан таклиф этилган ва проф. Е. М. Гутьяр томонидан ривожлантирилган методда $\Delta E = f(\Delta m_k)$ графигини қуриш шарт эмас, аммо бу метод ҳам катта хатолар беради.

Аммо, кўпинча, маховикнинг моментини топишда Радингер томонидан таклиф қилинган тангенциал кучлар диаграммасидан фойдаланилади. Бу метод ҳам тақрибийдир, чунки автор машинанинг етакловчи звеноси айна бир вақтда берилган нотекис айланиш коэффициентини δ ва ўзгармас бурчак тезлиги билан айланади, деб тахмин қилади ва шу тахмин асосида масалани ҳал этади.

Аммо машина ҳаракати момент кўринишида қуйидагича берилишини биз юқорида айтиб ўтган эдик:

$$M_g - M_k = \frac{d}{d\varphi} \left(I_k \frac{\omega^2}{2} \right) = I_k \cdot \varepsilon + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_k}{d\varphi}, \quad (13. 21)$$

бу ердаги I_K ни асосан қўйидагича кўрсатиш мумкин:

$$I_K = I_M + \Delta I \quad (13. 22)$$

Буни ўрнига қўйиб қўйидагини оламиз:

$$M_g - M_K = (I_M + \Delta I)\varepsilon + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{d(\Delta I)}{d\varphi} \quad (13. 23)$$

И. И. Артоболовский $\varepsilon = 0$ бўлган механизм ҳолатини текширади. Бундаги ҳолатлар ω_{\max} ёки ω_{\min} га тўғри келишини билиш қийин эмас:

$$M'_g - M'_K = \Delta M' = \frac{\omega_{\max}^2}{2} \cdot \frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} \quad (13. 24)$$

$$M''_g - M''_K = \Delta M'' = \frac{\omega_{\min}^2}{2} \cdot \frac{d(I_n)}{d\varphi} \quad (13. 25)$$

Умуман олганда, механизмнинг маховиксиз келтирилган инерция моменти қўйидагича бўлади:

$$\Delta I_K = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{v_{si}}{\omega} \right)^2 + I_i \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right)^2 \right], \quad (13. 26)$$

бунда v_{si} — механизм i -звеноси оғирлик марказининг илгариланма ҳаракат тезлиги;

ω_i — шу звенонинг бурчак тезлиги;

I_i — шу звенонинг оғирлик марказидан ўтувчи ўққа нисбатан инерция моменти;

m_i — шу звенонинг массаси.

$$\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} = \frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{\omega} \frac{d(\Delta I_K)}{dt} \quad (13. 27)$$

(13. 26) дан вақтга нисбатан ҳосила олиб, қўйидаги кўринишни оламиз:

$$\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} = \frac{2}{\omega} \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{v_{si}}{\omega} \right)^3 \cdot \left(\frac{a_{si}^v}{v_{si}} \right) + I_i \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_i}{\omega_i} \right) \right], \quad (13. 28)$$

бунда

$$m_i \left(\frac{v_{si}}{\omega} \right)^3 = m_{Ki} \cdot l_{OA}^2, \quad I_i \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right)^2 = I_{Ki}$$

Буларни ўрнига қўйиб қўйидагини оламиз:

$$\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} = \frac{2}{\omega} \sum_{i=1}^n \left[m_{Ki} l_{OA}^2 \left(\frac{a_{si}^v}{v_{si}} \right) + I_{Ki} \left(\frac{\varepsilon_i}{\omega_i} \right) \right] \quad (13. 29)$$

И. И. Артоболовскийнинг бошланғич фаразига биноан

$$\omega = \omega = \text{const}; \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 0;$$

$$\frac{d(\Delta I_B)}{d\varphi} = \frac{2}{\omega^2} \sum_{i=1}^n \left[m_{K_i} I_{OA}^2 \left(\frac{a_{si}^*}{v_{si}} \right) + I_{K_i} \left(\frac{e_i}{\omega_i} \right) \right] \quad (13. 30)$$

Тезлик ва тезланишлар планларидаги тезлик ва тезланишлар кесмаларидан фойдаланиб, (13. 30) ни қуйидаги аналоглар орқали ёзамиз:

$$\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} = 2 \sum_{i=1}^n \left[m_{K_i} I_{OA}^2 \left(\frac{a}{b} \right) + I_{K_i} \left(\frac{c}{d} \right) \right], \quad (13. 31)$$

бунда

$$a_{si}^* = a \cdot \omega^2, \quad v_{si} = b\omega, \quad e_i = c \cdot \omega^2, \quad \omega_i = d \cdot \omega$$

(агар $K_i = 1$ бўлса), (13. 30) ни (13. 24) ва (13. 25) ларга қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$\Delta M' = \omega_{\max} \sum_{i=1}^n \left[m_{K_i} I_{OA}^2 \left(\frac{a_{si}^*}{v_{si}} \right) + I_{K_i} \left(\frac{e_i}{\omega_i} \right) \right] \quad (13. 32)$$

$$\Delta M'' = \omega_{\min} \sum_{i=1}^n \left[m_{K_i} I_{OA}^2 \left(\frac{a_{si}^*}{v_{si}} \right) + I_{K_i} \left(\frac{e_i}{\omega_i} \right) \right] \quad (13. 33)$$

(13. 32) ва (13. 33) лардаги сумма остидаги қийматлар бир-бирига тенг бўлганлигидан $\Delta M' = f(\varphi)$ ва $\Delta M'' = \psi(\varphi)$ лар фақат ўзгармас ω_{\max} ва ω_{\min} коэффициентлари билан бир-бирдан фарқ қилади. Фақат ҳар икки график бир-бирдан $K\omega = \frac{\omega_{\min}}{\omega_{\max}}$ масштабга фарқ қилади, холос.

Шундай қилиб, механизм меъёрли ҳаракатининг бир даври учун бир неча тезлик ва тезланишлар планларини тузиб, асосан $\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi}$ нинг тегишли қийматлари топилади ва унга асосан $\frac{d(\Delta I_K)}{d\varphi} - \varphi$ графиги тузилади.

7-§. $I_K(\varphi)$ ва $\frac{dI_K(\varphi)}{d\varphi}$ ларни аналитик усулда топши

А. Дезаксиали кривошип айланиш ўқидан юқорида бўлган ҳолат (7. 1-шакл).

7. 1-шаклда дезаксиал кривошип-шатунли механизм берилган. Механизмдаги r —кривошипнинг узунлиги, l —шатуннинг узунлиги, e — дезаксиал, $a = AC$, $b = BC$, $\frac{r}{l} = \lambda$, $\frac{a}{l} = \beta$, $\frac{b}{l} = \gamma$, $\frac{e}{l} = \mu$. Бурчақлар шаклда кўрсатилгандай қабул этилади. I_0 —кривошип массасининг инерция моменти, G_2 — шатуннинг оғир-

v_{cx} , v_{cy} компонентларнинг квадратларини қўшиб, квадрат илдиз остидан чиқарсак, шатундаги бирор C нуқтанинг абсолют тезлигини топамиз:

$$v_c = r \cdot \dot{\varphi} \sqrt{\gamma^2 \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{2\beta \cdot \cos \varphi (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2} \quad (13. 38)$$

Шаклдаги тезликлар планига синуслар теоремасини қўллаб қуйидагини оламиз:

$$\frac{v_{BA}}{\sin(90 - \varphi)} = \frac{v_A}{\sin(90 - \varphi)}; \quad v_{BA} = v_A \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}}$$

v_{BA} ни шатуннинг узунлигига бўлиб, шатуннинг A нуқта атрофида айланишидан ҳосил бўлган бурчак тезлигини топамиз:

$$\dot{\varphi}_c = \frac{v_{BA}}{l} = \lambda \cdot \dot{\varphi} \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \quad (13. 39)$$

Агар (13. 38) тенгламадаги $\gamma = 0$ ва $\beta = 1$ бўлса, у ҳолда ползун маркази (B) нинг тезлигини топамиз:

$$|v_c|_{\substack{\gamma=0 \\ \beta=1}} = v_B = r \cdot \dot{\varphi} \left[\sin \varphi + \frac{2 \cdot \cos \varphi (\lambda \sin \varphi - \mu)}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right] \quad (13. 40)$$

Аксиал кривошип-шатунли механизмлар учун $\mu = 0$ бўлади, у ҳолда (13. 38), (13. 39) ва (13. 40) тенгламаларнинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$v_c = r \cdot \dot{\varphi} \sqrt{\gamma^2 \cdot \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{\beta \cdot \lambda \cdot \sin 2\varphi}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi)^2}} \right]^2} \quad (13. 41)$$

$$\dot{\varphi}_c = \lambda \cdot \dot{\varphi} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi)^2}} \quad (13. 42)$$

$$v_B = r \cdot \dot{\varphi} \left[\sin \varphi + \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi)^2}} \right] \quad (13. 43)$$

Механизмнинг кинетик энергияси қуйидагича топилиши бизга маълум:

$$E = \frac{1}{2} I_0 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} (I_c \cdot \dot{\varphi}_c^2 + m_c v_c^2) + \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 \quad (13. 44)$$

(13. 44) тенгламадаги $\dot{\varphi}_c$, v_c , v_B ларнинг ўрнига уларнинг қийматларини (13. 38), (13. 39) ва (13. 40) лардан олиб қўйиб,

дезаксиал кривошип-шатунли механизм учун кинетик энергиянинг қуйидаги аналитик ифодасини оламиз:

$$E = \frac{1}{2} I_0 \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} I_c \left[\lambda \cdot \dot{\varphi} \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2 + \\ + \frac{1}{2} m_c \left\{ r \cdot \dot{\varphi} \sqrt{\gamma^2 \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{2\beta \cos (\lambda \sin \varphi - \mu)}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2} \right\}^2 + \\ + \frac{1}{2} m_3 \left\{ r \dot{\varphi} \left[\sin \varphi + \frac{2 \cos \varphi (\lambda \sin \varphi - \mu)}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right] \right\}^2 \quad (13. 45)$$

ёки

$$E = \left\{ \frac{1}{2} I_0 + \frac{1}{2} I_c \cdot \lambda^2 \frac{\cos^2 \varphi}{[1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2]} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} m_c \cdot r^2 \left[\gamma^2 \cdot \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{2\beta \cdot \cos \varphi (\lambda \sin \varphi - \mu)}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2 \right] \right\} \dot{\varphi}^2 + \\ + \frac{1}{2} m_3 r^2 \left\{ \sin \varphi + \frac{2 \cos (\lambda \sin \varphi - \mu)}{2\sqrt{1 - (\lambda \sin \varphi - \mu)^2}} \right\}^2 \cdot \dot{\varphi}^2$$

ёхуд

$$E = [A_0 + A_1(\varphi) + A_2(\varphi) + A_3(\varphi)] \cdot \dot{\varphi}^2 = [A(I_0) + A_1(I_c \lambda, \mu, \varphi) + \\ + A_2(m_c, r^2, \gamma, \beta, \lambda, \mu, \varphi) + A_3(m_3, r^2, \lambda, \mu, \varphi)] \cdot \dot{\varphi}^2. \quad (13. 46)$$

Аксиал кривошип-шатунли механизми учун кинетик энергиянинг аналитик ифодаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$E = [A_0 + A_1(I_c, \lambda, \varphi) + A_2(m_c, r^2, \gamma, \beta, \lambda, \varphi) + \\ + A_3(m_3, r^2, \lambda, \varphi)] \cdot \dot{\varphi}^2 \quad (13. 47)$$

Галдаги вазифа кинетик энергия ифодасидаги A_0, A_1, A_2, A_3 коэффициентларни топишдан иборат. Масалан: $A_1 = A_1(\varphi)$ графини I_c ва λ ларнинг турли қийматлари учун, $A_2 = A_2(\varphi)$ графини $m_c, r, \gamma, \beta, \lambda$ ларнинг турли қийматлари учун $A_3 = A_3(\varphi)$ ни эса m_3, r, λ ларнинг турли қийматлари учун қуриш ва бу коэффициентлардан энг аҳамиятлиси қайси бири эканлигини билиш лозим.

Агар дезаксиал кривошип-шатунли механизмнинг дезаксиали кривошипнинг айланиш марказидан пастда бўлса, бундай ҳолат учун юқоридаги формулалар (тенгламалар) даги $-\mu$ ни $+\mu$ қилиб олиш керак бўлади.

(1) тенгламанинг кўрinishи қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= r \cdot \cos \varphi + a \cdot \cos \psi \\ y_c &= b \cdot \sin \psi - e \end{aligned} \right\} \quad (13. 48)$$

Шаклдан:

$$\begin{aligned} l \cdot \sin \psi &= r \cdot \sin \varphi + e \\ \sin \psi &= \lambda \cdot \sin \varphi + \mu \\ \cos \psi &= \sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi + \mu)^2} \end{aligned}$$

$\sin \psi$ ва $\cos \psi$ ларнинг қийматини (13. 48) га қўйиб, қуйидагиларни оламиз:

$$\begin{aligned} x_c &= r \cdot \cos \varphi + a \sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi + \mu)^2} \\ y_c &= b \cdot (\lambda \cdot \sin \varphi + \mu) - e \end{aligned} \quad (13. 49)$$

Энди келтирилган инерция моментининг аналитик ифодасини топамиз:

$$\begin{aligned} I_K &= \frac{2E}{\varphi^2} = A_0 + A_1(I_c, \lambda^2, \varphi + \\ &+ A_2(m_c, r^2, \gamma, \beta, \lambda, \varphi) + A_3(m_3, r^2, \lambda, \varphi) \end{aligned} \quad (13. 50)$$

Бу ерда

$$A_0 = I_0, A_1(\varphi) = A_1(I_c, \lambda^2, \varphi, \mu) = \lambda^2 I_c \frac{\cos^2 \varphi}{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi - \mu)^2} \quad (13. 51)$$

$$\begin{aligned} A_2(\varphi) &= A_2(m_c, r^2, \gamma^2, \beta, \lambda, \varphi, \mu) = \\ &= m_c \cdot r^2 \left\{ \gamma^2 \cdot \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{\beta \cdot \cos \varphi (\lambda \cdot \sin \varphi - \mu)}{\sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2 \right\} \end{aligned} \quad (13. 52)$$

$$\begin{aligned} A_3(\varphi) &= A_3(m_3, r^2, \lambda, \varphi, \mu) = \\ &= m_3 r^2 \left[\sin \varphi + \frac{\cos \varphi (\lambda \cdot \sin \varphi - \mu)}{\sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi - \mu)^2}} \right]^2 \end{aligned} \quad (13. 53)$$

Энди механизмнинг дифференциал тенгламасини тузишдан олдин аксиал кривошип-шатунли механизм учун A_1, A_2, A_3 ларнинг қийматларини топамиз ($\mu=0$):

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \lambda^2 \cdot I_c \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2}; \\ A_2 &= m_c \cdot r^2 \left\{ \gamma^2 \cdot \cos^2 \varphi + \left[\sin \varphi + \frac{\beta \cdot \lambda \cdot \sin 2\varphi}{2 \sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2}} \right]^2 \right\} \\ A_3 &= m_3 r^2 \left[\sin \varphi + \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2 \sqrt{1 - (\lambda \cdot \sin \varphi)^2}} \right]^2 \end{aligned} \right\} \quad (13. 54)$$

Агар $\lambda^2 \sin^2 \varphi$ кўпайтманинг 1 га нисбатан кичиклигини эътиборга олиб ташлаб юборсак, у ҳолда A_1, A_2, A_3 ларнинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} A_1(\varphi) &\cong \lambda^2 \cdot I_c \cdot \cos^2 \varphi \\ A_2(\varphi) &= m_c \cdot r^2 \left\{ \gamma^2 \cdot \cos^2 \varphi + \left(\sin \varphi + \beta \frac{\lambda \cdot \sin 2\varphi}{2} \right)^2 \right\} \\ A_3(\varphi) &= m_3 \cdot r^2 (\sin \varphi + \lambda \cdot \sin 2\varphi)^2 \end{aligned} \quad (13. 55)$$

Энди механизм ҳаракат дифференциал тенгламаси момент кўринишининг аналитик ифодасини келтириб чиқарамиз. Бунинг учун машина агрегати тенгламасининг момент кўринишини қуйидагича ёзамиз:

$$\frac{d}{d\varphi} \left(\frac{I_K \cdot \dot{\varphi}^2}{2} \right) = M_g - M_K$$

ёки

$$\frac{\dot{\varphi}^2}{2} \cdot \frac{dI_K}{d\varphi} + I_K \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M_g - M_K \quad (13. 56)$$

Бундаги келтирилган инерция моментларидан φ бўйича олинган ҳосила қуйидагича бўлади:

$$\frac{dI_K}{d\varphi} = \frac{dA_1}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{dA_2}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{dA_3}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad (13. 57)$$

Буни (13. 56) тенгламага қўйсак, механизм дифференциал тенгламаси қуйидаги момент кўринишини олади:

$$(A_0 + A_1 + A_2 + A_3) \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} \cdot \frac{dA_1}{d\varphi} + \frac{dA_2}{d\varphi} + \frac{dA_3}{d\varphi} = M_g - M_K \quad (13. 58)$$

Бу ерда механизмнинг келтирилган моментини қуйидагича қаралсин:

$$I_K = I_{K0} + \Delta I_K \quad (13. 59)$$

Агар механизм составида маховик бўлмаса, у ҳолда

$$I_K = \Delta I_K \quad (13. 60)$$

деб қабул қилинади.

Шундай қилиб, тасвир этилган аналитик методдан фойдаланиб $\frac{dI_K}{d\varphi}$ ни ёки $\frac{d(\Delta I)}{d\varphi}$ ни жуда ҳам аниқ ва осонлик билан топса бўлар экан. Бу қийматларни (13. 24) ва (13. 25) кўринишларга қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$\Delta M' = \frac{\omega_{\max}^2}{2} \left[\frac{dA_1(\varphi)}{d\varphi} + \frac{dA_2(\varphi)}{d\varphi} + \frac{dA_3(\varphi)}{d\varphi} \right] \quad (13. 61)$$

$$\Delta M''_K = \frac{\omega_{\min}^2}{2} \left[\frac{dA_1(\varphi)}{d\varphi} + \frac{dA_2(\varphi)}{d\varphi} + \frac{dA_3(\varphi)}{d\varphi} \right] \quad (13. 62)$$

ёки

$$\Delta M' = \frac{\omega_{\max}}{2} \left[\frac{dA_1(\varphi)}{dt} + \frac{dA_2(\varphi)}{dt} + \frac{dA_3(\varphi)}{dt} \right] \quad (13. 63)$$

$$\Delta M'' = \frac{\omega_{\min}}{2} \left[\frac{dA_1(\varphi)}{dt} + \frac{dA_2(\varphi)}{dt} + \frac{dA_3(\varphi)}{dt} \right] \quad (13. 64)$$

8. §. Н. И. Мерцалов методи

Машинанинг кинетик энергиясини қуйидаги кўринишда бериш ҳам мумкин:

$$E(\varphi) = E_M + E_3(\varphi), \quad (13. 65)$$

бунда: E_M — маховикнинг кинетик энергияси;

$E_3(\varphi)$ — қолган механизм звенолари кинетик энергияларининг йиғиндис.

Кинетик энергиянинг φ_0 ва φ интервалдаги орттирмаси қуйидагича топилади:

$$E(\varphi) - E(\varphi_0) = \Delta E(\varphi) \quad (13. 66)$$

(13. 66) ни (13. 65) га қўйиб қуйидагини оламиз:

$$E_M = \frac{1}{2} I_M \cdot \omega^2 = E(\varphi_0) + \Delta E(\varphi) - E_3(\varphi) \quad (13. 67)$$

Бундаги $E_3(\varphi)$ ни келтирилган инерция моменти ва ўртача бурчак тезлиги орқали ифодалаб топиш мумкин:

$$E_3(\varphi) = \frac{1}{2} I_K \omega_{\text{yB}}^2 \quad (13. 68)$$

ΔE ни эса келтириш звеносига келтирилган ҳаракатлантирувчи ва қаршилик кучлари моментларининг графигини интеграллаб топса бўлади:

$$\Delta E(\varphi) = \int_0^{2\pi} (M_g - M_k) d\varphi = \int_0^{2\pi} [M_g(\varphi) - M_k(\varphi)] d\varphi \quad (13. 69)$$

$E_3(\varphi)$ — φ ; $\Delta E(\varphi)$ — φ ларга кўра бир хил масштабда графиклар қуриб оламиз. Агар E_0 ни ҳам топиб, шу масштабда графика қўйсак, у ҳолда (13. 67) га биноан маховикнинг кинетик энергиясини топиш мумкин бўлади. Шу графикдан маховик энергияларининг максимум ва минимум ҳолатларини билдирувчи келтириш звеносининг φ_1 ва φ_2 ҳолатларини топиб оламиз:

$$E_{M(\max)} - E_{M(\min)} = I_M \frac{\omega_{\max}^2}{2} - I_M \frac{\omega_{\min}^2}{2} \quad (13. 70)$$

(13. 70) ни графикдаги кесма—ордината орқали белгилаб, қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$K_E(y_{E\max} - y_{E\min}) = \frac{I_M}{2} (\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2) = I_M \cdot \omega_{\text{yB}}^2 \cdot \delta$$

бундан

$$I_M = \frac{K_E(y_{E_{\max}} - y_{E_{\min}})}{\omega_{\text{ур}}^2 \cdot \delta} \quad (13. 71)$$

Мерцалов методи билан I_M ни топишда E_0 ординатасининг аҳамияти йўқ. Бунда фақат $\Delta E(\varphi) - \varphi$ ва $E_{\text{с}}(\varphi) - \varphi$ графикларининг айирмаларидан тузилган графикдаги максимал ва минимал ординаталар айирмаси $(y_{E_{\max}} - y_{E_{\min}})$ бўлса бас.

Бу метод бошқа методларга нисбатан осон кўринса ҳам, аммо ноаниқлиги жиҳатидан фарқланади, чунки $\omega = \omega_{\text{ур}}$ деб олиш методнинг тақрибий эканлигини билдиради.

Е. М. Гутьяр методи. Бу методда Н. И. Мерцалов методи ривожлантирилиб, унга бир оз аниқлик киритилган. Гутьяр методининг баёни қуйидагича олиб борилади:

$$E' = E_0 + \Delta E - \frac{1}{2} I_K \cdot \omega_{\max}^2 \quad (13. 72)$$

$$E'' = E_0 + \Delta E - \frac{1}{2} I_K \omega_{\min}^2 \quad (13. 73)$$

Буларни (13. 67) билан таққослаб $\omega = \omega_{\max}$ бўлганда $E_M = E'$ бўлишини кўриш қийин эмас, аммо бошқа ҳолатларда $E' < E$ бўлади, чунки $\omega < \omega_{\max}$. Худди шунга ўхшаш $\omega_{\min} = \omega$ бўлганда $E_M = E''$ бўлади, аммо қолган барча ҳолатларда $E'' > E$ тенгсизлик мавжуд бўлади, чунки шу ҳолатларда $\omega_{\min} < \omega$. Худди илгаригидай ω_{\max} ва ω_{\min} ҳолатларда E_M ҳам максимум ва минимум қийматларга эга бўлади. Максимум ва минимум қийматлардаги маховик кинетик энергияси билан E' ва E'' лар айти бир вақтда тенглашади. E_0 ни ихтиёрый қийматга эга деб олиб, (13. 72) ва (13. 73) ларнинг графикларини қуриб, қуйидаги тенгликларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} E'_{\max} &= K_E \cdot y_{E_{\max}} = E_{\max} = I_M \cdot \frac{\omega_{\max}^2}{2} \\ E''_{\min} &= K_E \cdot y_{E_{\min}} = E_{\min} = I_M \cdot \frac{\omega_{\min}^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

ёки буларнинг биридан иккинчисини айириб, қуйидагини олиш мумкин:

$$K_E(y_{E_{\max}} - y_{E_{\min}}) = I_M \left(\frac{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2}{2} \right) = I_M \cdot \omega_{\text{ур}}^2 \cdot \delta,$$

бундан:

$$I_M = \frac{K_E(y_{E_{\max}} - y_{E_{\min}})}{\omega_{\text{ур}}^2 \cdot \delta} = \frac{K_E \cdot \overline{ab}}{\omega_{\text{ур}}^2 \cdot \delta} \quad (13. 74)$$

$y_{E_{\max}} - y_{E_{\min}} = \bar{ab}$ — машинанинг меъёрли ҳаракати давридаги кинетик энергия ординаталарининг ўзгаришидир. Бу миқдор кинетик энергиянинг бошланғич қийматига боғлиқ эмас.

Мерцалов ва Гутьяр методларидаги E_3 ни II класс 2-модификацияли механизмлар учун аналитик усул билан топиш мумкин. Бундай ҳолда $y_{E_3}(\varphi) - \varphi$ графигини қурмай, балки аналитик ҳисоблаш орқали топилади ва $E_0(\varphi) - \varphi$ билан $\Delta E(\varphi) - \varphi$ графигини ординаталаридан турли ҳолатлар учун айрилади, холос.

9-§. Механизм етакловчи звеносининг ўртача бурчак тезлигини кинетик энергия орқали тақрибий топиш

Ҳар қандай машина асосий валининг ўртача айланиш тезлигини аниқлаш мумкин. Ўртача айланиш тезлигини аниқлашдан асосий мақсад, технологик процесснинг тўғри ёки нотўғри бораётганлигига баҳо беришдир, чунки бу тезлик орқали бурчак тезлигининг максимал ва минимал қийматларини топиш мумкин. Тўқув автомат станогининг ўртача айланиш тезлигини ўрганишда асосан қуйидагилардан фойдаланамиз:

1. Механизм кинетик энергиясининг ўзгариш қонуни.

Бу қонун қуйидаги тенгламадан топилади:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \frac{1}{2} I_{KB} \cdot \omega_1^2 + \frac{1}{2} (m_s v_s^2 + I_s \omega_s^2) + \frac{1}{2} I_c \cdot \omega_c^2 + \frac{1}{2} I_{KB} \cdot \omega_2^2 \quad (13.75)$$

2. Тирсакли валга келтирилган инерция моментининг ўзгариш қонуни. Бу момент кинетик энергиядан валининг айланиш бурчагига нисбатан олинган ҳосила орқали топилади:

$$M_{II} = \frac{dE}{d\varphi} = I_K \cdot \varepsilon + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_K}{d\varphi} \quad (13.76)$$

Бу ердаги $I_K \cdot \varepsilon$ динамик момент бўлиб, у фақат механизм тезлигини ошириш учун кетади, $\frac{\omega^2 dI_K}{2d\varphi}$ ҳам динамик момент бўлиб, у маълум интервалда келтирилган инерция моментининг ўзгариши натижасида ҳосил бўлади.

Механизмдаги даврий нотекис айланишнинг асосий сабаби тирсакли валга таъсир этувчи инерция кучларининг ўзгаришидир. Бу инерция кучи механизмнинг айланиш даври ичида ҳам миқдор, ҳам йўналиш жиҳатидан ўзгариб туради. Масалани фақат (13.76) тенгламанинг биринчи ҳадини ҳисобга олган ҳолда ҳал этамиз.

Шу инерция кучининг келтирилган моменти бизга валининг нотекис айланишини аниқлашга имкон беради.

Нотекис айланиш нотекис айланиш коэффициенти деб аталувчи миқдор билан характерланади. Бу миқдор шартли миқдор бўлиб,

у тирсакли вал (ёки ҳар қандай вал) бурчак тезлигининг унинг ўртача миқдорига nisbatan oғишини билдиради.

Ўртача бурчак тезлигини, асосан, икки хил: экспериментал ва графоаналитик методлар билан топиш мумкин.

1. Экспериментал метод. Бу методда маълум асбоб орқали машина тирсакли валининг оний бурчак тезлиги ўлчаб олинади ва шу бурчак тезлигининг маълум давр ичида ўзгариш диаграммаси тузилади (осциллограф ёки тахометр билан). Ана шу диаграмма юзини топиб, сўнгра уни вақтга бўлсак, ўртача бурчак тезлигини топамиз.

2. Графоаналитик метод. Бу метод билан топилган ўртача бурчак тезлиги тақрибий бўлади, аммо бу методни кўпчилик механизмларни лойиҳалаш учун татбиқ қилиш мумкин.

Машина ҳаракатининг ўртача айланиш тезлигини топиш учун инерция кучининг momenti билан бурчак тезлиги орттирмасининг қуйидаги боғланишидан фойдаланамиз:

$$M_u = I_{K_0} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (13. 77)$$

бунда I_{K_0} — механизм звено массаларининг тирсакли валга келтирилган ўртача инерция momenti;

бундан:

$$d\omega = \frac{M_u}{I_{K_0}} \cdot dt \quad (13. 78)$$

(13. 76) тенгламадаги M_u ning қийматини (13. 78) га қўйиб ва интеграллаб қуйидаги тенгликни оламиз:

$$\omega = \int \frac{M_u}{I_{K_0}} dt = \frac{1}{I_{K_0}} \int \frac{dE}{d\varphi} \cdot dt \quad (13. 79)$$

$E = K_E Y_E$; $\varphi = K_\varphi \cdot x$; $t = K_t \cdot x$ ларни (13. 79) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\omega = \frac{K_t \cdot K_E}{I_{K_0} \cdot K_\varphi} Y_E = C \cdot Y_E, \quad (13. 80)$$

бунда: K_t — диаграммадаги вақт масштаби;

K_E — диаграммадаги кинетик энергия масштаби;

Y_E — кинетик энергия диаграммасидаги ордината;

K_φ — диаграммадаги бурчак масштаби.

Келтирилган инерция momentининг ўртача миқдори қуйидагича топилади:

$$I_{K_0} = \frac{\int I_K \cdot d\varphi}{\varphi} = \frac{K_{I1} \cdot K_\varphi F_I}{\varphi} \quad [\text{кг} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}^2] \quad (13. 81)$$

Шундай қилиб, (13. 80) тенгликдан кўринишича, кинетик энергиянинг ординатаси бирор C масштабида шу ҳолатдаги тирсакли валнинг оний бурчак тезлигини ифодалар экан. Агар кинетик энергия ординатаси катта бўлса, механизм келтириш звеносининг бурчак тезлиги ҳам катта, агар кичик бўлса, бурчак тезлиги ҳам кичик бўлади.

ω — φ диаграммасини планиметрлаб, унинг ўртача қийматини оламиз. Бунинг учун қуйидаги тенгликни ёзамиз:

$$\omega_{\text{ур}} = \frac{K\omega \cdot K_{\varphi} \int Y_m \cdot dx_{\varphi}}{\varphi} \quad (13. 82)$$

Энди Y_E нинг ўзгаришига қараб, ω_{max} ва ω_{min} ларни топиш ва ω_{max} , ω_{min} ва $\omega_{\text{ур}}$ лар орқали валнинг нотекис айланиш коэффициентини аниқлаш мумкин.

XIV б о б

МАССАЛАРНИ МУВОЗАНАТЛАШ

1-§. Айланувчи массаларни мувозанатлаш

Машина ва механизмлар динамикасининг энг асосий масалаларидан бири машина ва механизмлардаги айланма ва илгариланма ҳаракат қилувчи звенолар массаларини мувозанатлашдан иборатдир. Ҳозирги замон машина ва механизмларида тезлик ва тезланиш аниққса катта бўлганлигидан, улар таркибидаги звенолар массаларининг кинетик энергияси ва инерция кучи ҳам катта бўлади. Бундай инерция кучлари *динамик кучлар* деб аталади, бу кучлар механизм ёки машинанинг бир текисдаги ҳаракатини бузади. Катта тезлик ва тезланиш билан айланувчи массалар валга механизмнинг барча қоидаларига биноан ўрнатилган бўлса ҳам, уларда нотекис айланиш ҳодисаси рўй беради. Нима учун шундай бўлади, деган савол туғилади. Бунинг сабаблари қуйидагилардир:

1) машина ва механизм таркибидаги звеноларнинг аниқ ўлчамли қилиб тайёрланмаганлиги;

2) звено массаси зичлигининг шу звено ҳажмига бир текис тарқалмаганлиги;

3) айланувчи звеноларнинг валга нотўғри ўрнатилиши;

4) кинематик жуфт элементлари оралигининг кичик бўлса ҳам мавжудлиги;

5) машина қисмларидаги аниқ ҳисобга олиб бўлмайдиган деформацияларнинг звено ҳаракати вақтида пайдо бўлиши.

Ҳозирги техниканинг актуал проблемаларидан бири машинанинг айланувчи қисмларини мувозанатлашдан иборат. Инерция кучи таъсирининг характерига ва шу кучларни мувозанатлаш усулларига қараб, мувозанатлашни қуйидаги икки группага бўлиш мумкин:

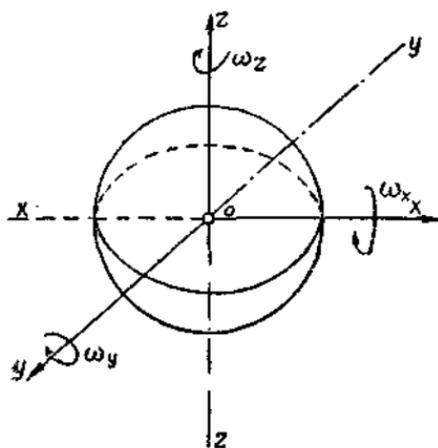
1. Айланувчи массаларни мувозанатлаш.

2. Илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи звено массаларини мувозанатлаш.

Ҳар қандай механизм ва машина асосан график, графоаналитик ва соф аналитик усуллар билан мувозанатланиши мумкин. Биринчи ва иккинчи усулдан тажрибада кўпроқ фойдаланилади.

Мувозанатлашнинг асосий масаласи айланувчи звеноларнинг подшипникларидаги (кинематик жуфтлардаги) қўшимча инерция кучларини йўқотишдан иборатдир.

Айланма ҳаракатда бўлган шарни олиб кўрайлик (1. 1-шакл). Шарнинг O марказидан ўтказилган x , y ва z ўқлар эркин ўқлар бўлади. Агар ҳар қандай звено ўзининг эркин ўқи атрофида айланса, айланиш валининг подшипникларида ҳеч қандай қўшимча куч бўлмайди. Шунинг учун 1. 1-шаклдаги шар марказидан ўтувчи учала ўқ (x , y , z ўқлар) эркин бўлганлигидан, шу ўқлар атрофида шар исталган бурчак тезлиги (ω_x , ω_y , ω_z) билан айланмасин, бари бир, ўқ таянчларида ҳеч қандай реакция кучи бўлмайди.



1.1-шакл. Эркин ўқли шар.

1. 2-шаклдаги цилиндрни олайлик; цилиндрнинг оғирлик маркази S бўлиб, айланиш ўқи O нуқтадан ўтади. $OS = \rho$ бўлсин. Агар цилиндрнинг оғирлиги G бўлса, цилиндр ω бурчак тезлиги билан айланганда қуйидаги марказдан қочирма куч вужудга келади:

$$P_n = \frac{G}{g} \omega^2 \cdot \rho = \frac{G \cdot \rho \cdot n^2}{900} [\text{кг}] \quad (14.1)$$

(14.1) тенгламадан маълум бўлишича, айланма ҳаракатдаги цилиндрнинг инерция кучи айланиш сонининг квадратага пропорционалдор. Инерция кучи билан айланиш сони орасидаги боғланиш параболлик функцияга ўхшайди.

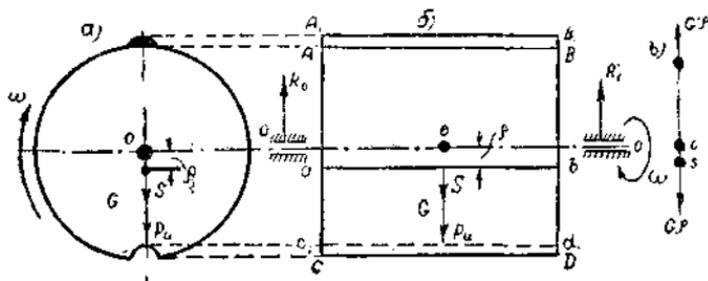
Айланиш ўқи S нуқтадан ўтса, $\rho = 0$, $P_n = 0$ бўлади. Агар

$$\rho = 1 \text{ м}; \quad G = 900 \text{ кг}; \quad n = 10000 \left[\frac{\text{о} \cdot \text{л}}{\text{мин}} \right]$$

бўлса:

$$P_u = \frac{900 \cdot 0,001(1000)^2}{900} = 10^5 \text{ кг} = 100 \text{ т}$$

бўлади. Бу мисолдан кўринишича, $\frac{P_u}{G} = 111$, яъни инерция кучи звено оғирлигидан 111 марта ортқдир. Бурчак тезлиги ўзгармас



1.2-шакл. Статик мувозанатда бўлмаган цилиндр.

($\omega = \text{const}$) бўлганда P_u куч ўзгармас катталиқдир, ammo ўз йўналишини 1 минутда 10000 марта, яъни секундига 167 марта ўзгартиради. Бунинг натижасида подшипникларда $R_0 = R_1 = 5000 \text{ кг}$ дан қўшимча реакциялар пайдо бўлади (звено оғирлиги 450 кг ҳам қўшилади). Бу реакцияларнинг йўналиши 1 секундда 167 марта ўзгариб, кинематик жуфт элементларида катта ишқаланиш ҳосил қилади, бунинг оқибатида подшипниклар тезда ишдан чиқади. Иккинчи томондан, $P'_u = P_u \pm G$ куч таъсирида цилиндрнинг айланиш ўқи эгилади, ногўғри ҳаракат пайдо бўлади. Цилиндрдаги P_u кучни мувозанатлаш учун цилиндрнинг пастки томондаги Cc_1Dd_1 қисмини олиб ташлаш керак ёки юқориги томонга AA_1B_1B қисм қўшиш керак. Олинган ёки қўшилган бу қисмнинг оғирлиги қуйидаги тенгликдан топилади:

$$\frac{G'}{g} \cdot \omega^2 \rho' = \frac{G}{g} \omega^2 \cdot \rho, \quad (14. 2)$$

буздан:

$$G' = \frac{G \cdot \rho}{\rho'} [\text{кг}]$$

(14. 2) тенгликнинг чап томонидаги G' билан ρ' ни ихтиёрый равишда танлаб оламиз. Агар $\rho' = 90 \text{ мм}$ деб қабул қилинса, $G' = 10 \text{ кг}$ бўлади. Шундай қилиб, айланиш ўқидан (OO дан) $\rho' = 90 \text{ мм}$ юқорига 10 кг оғирликдаги металл қавати (AA_1B_1B) қўшилади ёки OO ўқининг пастки қисмидан 10 кг оғирликдаги металл қавати (Cc_1d_1D) олинад. Шундай қилганда, цилиндр тўла мувозанатлашган бўлади. Юқорида айтилганларнинг схематик

ифодаси 1. 2-шакл, в да кўрсатилган. $G'\rho'$ кўпайтма дисбаланс деб аталади.

Дисбаланс айланувчи звенонинг мувозанатлашмаган қолдиқ қисми бўлиб, статик момент орқали ўлчанади. 1. 2-шакл, а даги дисбаланс $G'\rho = 90$ кг/см дир.

2-§. Массаларни статик ва динамик мувозанатлаш ҳақида тушунича

Массаларни статик ва динамик мувозанатлаш усуллари билан танишиб ўтамиз. Айланувчи звено ўз оғирлик марказидан ўтмай-диган ўққа нисбатан айланса ва унинг тинч тургандаги исталган ҳолати учун мувозанат мавжуд бўлмаса, бундай звено статик мувозанатда бўлмайди (2. 1-шакл, а, б). Агар цилиндрни устивор вазиятидан (оғирлик маркази S нинг энг пастки вазиятидан) маълум бурчакка буриб, яна қўйиб юборсак, цилиндр яна ўз устиворлигини сақлашга интилади ва шу вазиятга қайтади.

Статик мувозанатда бўлмаган звено айланган вақтда кўтариб ташлаш ҳодисалари юз беради. Агар $G \leq P_u$ бўлса, цилиндр ҳар айланишида юқорига қараб кўтарилади ва подшипникларда «тепиш» ҳодисаси рўй беради. Агар $G > P_u$ бўлса, цилиндрнинг ҳар айланишида «тепиш» ҳодисаси пастга томон бўлади. Шундай қилиб, цилиндр (ротор) айланганда тақиллаган товуш чиқа бошлайди.

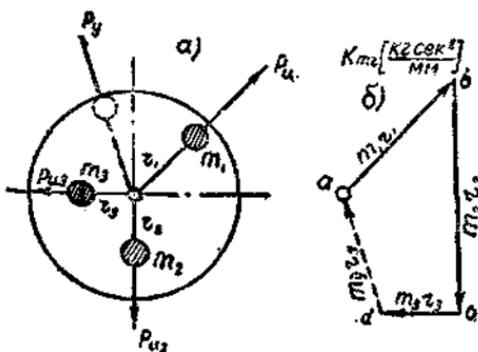
2. 1-шаклдаги мисолда цилиндр 1 секундда 167 марта тақиллайди.

2. 1-шакл, а да текис диск O ўқи атрофида айланмоқда. O ўқи текисликка тик жойлашган. Дискда r_1, r_2, r_3 радиусли масофаларда m_1, m_2, m_3 массалар жойлашган. Шу массаларни мувозанатлаш керак. Диск ω бурчак тезлиги билан айланмоқда. Массаларнинг инерция кучларини қуйидагича топамиз:

$P_{u1} = \frac{G_1}{g} \omega^2 \cdot r_1 - m_1$ массанинг инерция кучи;

$$P_{u2} = \frac{G_2}{g} \omega^2 \cdot r_2 - m_2 \text{ массанинг инерция кучи;}$$

$$P_{u3} = \frac{G_3}{g} \omega^2 \cdot r_3 - m_3 \text{ массанинг инерция кучи.}$$



2.1-шакл. а — бир текисликда ётувчи массалар; б — масса статик моментларининг плани.

Учала кучни $K_{Gr} \left(\frac{\text{кгсм}}{\text{мм}} \right)$ масштабда қўямиз; агар мувозанатлиш лозим бўлса, P_y қўшилиб, йиғинди нолга тенглаштирилади:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{u_1} + \bar{P}_{u_2} + \bar{P}_{u_3} + \bar{P}_{u_4} &= 0 \\ \frac{G_1}{g} \omega^2 \bar{r}_1 + \frac{G_2}{g} \omega^2 \bar{r}_2 + \frac{G_3}{g} \omega^2 \bar{r}_3 + \frac{G_y}{g} \omega^2 \bar{r}_y &= 0 \end{aligned}$$

буни $\frac{\omega^2}{g}$ га қисқартириб:

$$\sum_{i=1}^4 G_i \bar{r}_i = G_1 \bar{r}_1 + G_2 \bar{r}_2 + G_3 \bar{r}_3 + G_y \bar{r}_y = 0 \quad (14. 3)$$

ҳосил қилинади.

Бу ерда $G_i r_i$ — оғирликнинг статик momenti бўлиб, скаляр қийматга ва маълум йўналишга эга вектор.

Геометрик тенгламаларни (вектор тенгламаларни) ечишда, асосан, битта тенгламадан икки номаълум топилади—булардан бири номаълум векторнинг узунлиги бўлиб, иккинчиси векторнинг йўналишидир.

Алгебраик тенгламанинг биттасидан фақат битта номаълумни топиш мумкин.

(14. 3) тенглама айланувчи мувозанатда бўлиши учун, улар оғирликлари статик моментларининг йиғиндиси нолга тенг бўлиши кераклигини кўрсатади; агар $G_i = g \cdot m_i$ эканлигини эътиборга олсак, мувозанат шартни қуйидагича ёзилади:

$$\sum_{i=1}^3 m_i \bar{r}_i = m_1 \cdot \bar{r}_1 + m_2 \cdot \bar{r}_2 + m_3 \cdot \bar{r}_3 + m_y \cdot \bar{r}_y = 0 \quad (14. 4)$$

(14. 4) тенгламадаги айланувчи массаларнинг мувозанатда бўлиши учун улар массаси статик моментларининг йиғиндиси нолга тенг бўлса ҳам мумкин экан.

Массанинг статик momenti марказдан қочувчи инерция кучини характерловчи фактордир.

2. 1-шакл, а даги массаларни мувозанатлашга киришамиз. Мувозанатловчи массани график усулда топамиз. Бунинг учун массаларнинг статик моментларини ихтиёрий $K_{mr} \left(\frac{\text{кгсек}^2}{\text{мм}} \right)$ масштабда геометрик қўшамиз:

$$K_{mr} = \frac{m_1 r_1}{ab} \left[\frac{\text{кгсек}^2}{\text{мм}} \right]$$

$\bar{bc} = \frac{m_2 \cdot r_2}{K_{mr}} \cdot [\text{мм}] = m_2 \cdot r_2$ статик моментнинг K_{mr} масштабдаги ифодаси;

$\bar{c}\bar{d} = \frac{m_3 \cdot r_3}{K_{mr}} [мм] - m_3 \cdot r_3$ статик моментнинг K_{mr} масштабдаги ифодаси.

Статик моментлар кўпбурчагини кўриб чиқамиз. Бунинг учун ихтиёрий a нуқтадан $ab \parallel \bar{m}_1 r_1$ қилиб ўтказамиз ва унинг b учидан $bc \parallel \bar{m}_2 r_2 (P_{u_2})$ қилиб, c учидан эса $cd \parallel \bar{m}_3 r_3 (P_{u_3})$ қилиб қўйиб чиқамиз ва $abcd$ очиқ кўпбурчакни ҳосил қиламиз. Массалар мувозанатда бўлиши учун d билан \bar{a} ни туташтириб (2. 1-шакл, б даги пунктир чизик), $abcd$ ёпиқ кўпбурчакни ҳосил қиламиз. Шу кўпбурчак массалар статик моментларининг мувозанат кўпбурчагидир. У массалар статик моментларининг плани деб ҳам аталади. Мувозанатловчи массанинг статик momenti қуйидагича тошилади (2. 1-шакл, а):

$$m_y \cdot r_y = K_{mr} \cdot \bar{d}\bar{a} \quad [кг \cdot сек^2] \quad (14. 5)$$

(14. 5) тенгламанинг sanoqsiz ечими бор, r_y ни (мувозанатловчи массанинг ўрнатилиш радиусини) ўзимиз танлаб, сўнгра m_y ни топамиз (аксинча бўлиши ҳам мумкин):

$$m_y = \frac{K_{mr} \cdot \bar{d}\bar{a}}{r_y} \left[\frac{кг \cdot сек^2}{м} \right] \quad r_y = \frac{K_{mr} \cdot \bar{d}\bar{a}}{m_y} [см]$$

2. 2-шаклда динамик мувозанатда бўлмаган система кўрсатилган. Асоси доира бўлган диск α_x бурчак остида вертикал zz ўққа ўрнатишган. Дискнинг оғирлик маркази s нуқтада, ярим дискларнинг оғирлик марказлари эса s' ва s'' нуқталарда бўлади. Диск (звено) zz ўқи билан бирга, ω_2 бурчак тезлиги билан айланмоқда. ω_2 бурчак тезлиги билан айланаётган ярим дискларда қуйидаги инерция кучлари ҳосил бўлади:

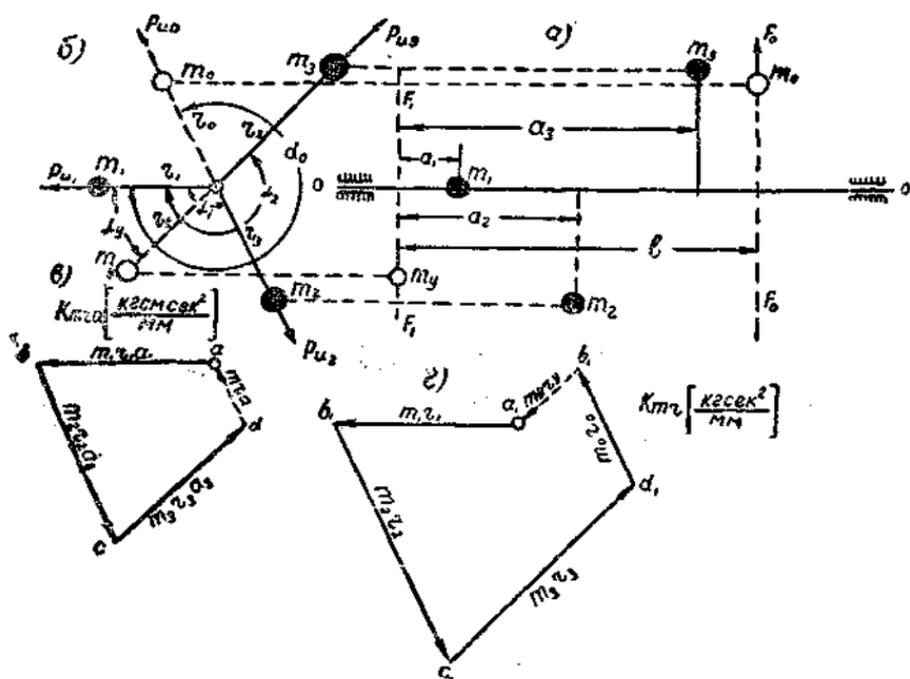
$$P_u^I = P_u^{II} = P_u = \frac{G}{2g} \omega_2^2 \cdot \rho \quad (14. 6)$$

Бу кучлар жуфт куч бўлиб, улар момент ҳосил қиладн, бу момент дискни соат стрелкаси юрадиган томон айлантиришга интилиб, ўқнинг A ва B таянчларида қўшимча реакция кучлари ҳосил қилади.

$M_u = P_u \cdot h = \frac{G}{2g} \cdot \omega_2^2 \cdot \rho h$ — инерция кучларининг momenti;

$M_{\kappa, \rho} = N_A \cdot \overline{AB}$ — реакция кучларининг momenti.

Бу ерда $N_A = N_B$ қўзғалмас звенонинг (таянчнинг) ўққа кўрсатган реакциялари.



2.3-шакл. Бир-бирига параллел текисликда ётувчи массаларни мувозанатлаш: а — системанинг вертикал текисликка проекцияси; б — системанинг профил текисликка проекцияси; в — массалар марказдан қочувчи инерция моментларининг плани; г — массалар статик моментларининг плани.

2.3-шакл, а ва б да бир-бирига параллел текисликларда m_1, m_2, m_3 массаларнинг ётиши кўрсатилган; массалар айланиш ўқидан (OO дан) r_1, r_2, r_3 масофаларда бир-бирига nisbatan α_1 ва α_2 бурчак остида жойлашган. Бу массаларни иккита масса билан мувозанатлаймиз. Масалани ечишдан аввал, мувозанатловчи массаларнинг бир-биридан l масофада бўлган иккита (F_1F_1 ва F_0F_0) текисликка жойлаштирилишини эслатиб ўтамиз.

Массалар инерция кучлари моментларининг мувозанат шартини тузамиз. Бунинг учун барча инерция кучларининг моментини $F_1 - F_1$ текисликка nisbatan оламиз:

$$\sum \text{мом}_{F-F}(P_{u_i}) = P_{u_1} \cdot a_1 + P_{u_2} \cdot a_2 + P_{u_3} \cdot a_3 + P_{u_0} \cdot l = 0 \quad (14.6)$$

ёки:

$$P_{u_1}, P_{u_2}, P_{u_3} \text{ ва } P_{u_0}$$

Инерция кучларининг қийматларини қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\overline{m_1 r_1 a_1} + \overline{m_2 r_2 a_2} + \overline{m_3 r_3 a_3} + \overline{m_0 r_0 \cdot l} = 0$$

$K_{mra} = \frac{m_1 r_1 a_1}{ab} \left[\frac{\text{кг м сек}^2}{\text{мм}} \right]$ масштабда инерция моментлари кўпбурчагини тузамиз.

$$\overline{bc} = \frac{m_2 \cdot r_2 \cdot a_2}{K_{mra}} [\text{мм}] - M_{u_2} \text{ моментнинг масштаб ифодаси};$$

$$\overline{ca} = \frac{m_3 r_3 a_3}{K_{mra}} [\text{мм}] - M_{u_3} \text{ моментнинг масштаб ифодаси.}$$

Моментлар ҳам вектордир, аммо улар инерция кучлари билан a_1, a_2, a_3 ва l масофага қурилган юзаларга тик йўналган бўлади, демак, момент векторлари тегишли инерция кучлари билан 90° бурчак ҳосил қилади. Моментлар плани тузилганда (2. 3-шакл, в) момент векторларини 90° буриб, уларни кучлар йўналиши билан мослаштирамиз. Шундай қилиб, ихтиёрий a нуқтадан моментлар планини туза бошлаймиз: $\overline{ab} \parallel P_{u_1}, \overline{bc} \parallel P_{u_2}, \overline{cd} \parallel P_{u_3}$ ларни кетма-кет ўтказиб, $abcd$ очиқ кўпбурчакни ҳосил қиламиз. d ни a билан туташтирсак, мувозанат шarti бажарилади (2. 3-шакл, в даги пунктир чизиқ). 2. 3-шакл, в дан:

$$m_0 r_0 l_0 = K_{mra} \cdot \overline{da} [\text{кг м сек}^2]$$

келиб чиқади. l_0 ни ўрнига қўйсақ:

$$m_0 \cdot r_0 = \frac{K_{mra} \cdot \overline{da}}{l_0} [\text{кг сек}^2]$$

бўлади. r_0 ни ўзимиз таълаб, m_0 ни топамиз:

$$m_0 = \frac{K_{mra} \cdot \overline{da}}{r_0 \cdot l_0} \quad (14. 7)$$

m_0 массани α_0 бурчак остида O дан r_0 масофада жойлаштирамиз. Массалар статик моментларининг мувозанат тенгламасини тузамиз:

$$\sum_{i=1}^5 m_i r_i = \overline{m_1 r_1} + \overline{m_2 r_2} + \overline{m_3 r_3} + \overline{m_0 r_0} + \overline{m_y r_y} = 0$$

$K_{mr} \left[\frac{\text{кг сек}^2}{\text{мм}} \right]$ масштабни танлаб оламиз-да, ихтиёрый a_1 нуқ-тадан:

$$\overline{a_1 b_1} \parallel \overline{P_{u_1}}, \quad \overline{b_1 c_1} \parallel \overline{P_{u_2}}, \quad \overline{c_1 d_1} \parallel \overline{P_{u_3}}, \quad \overline{d_1 e_1} \parallel \overline{P_{u_4}}$$

кесмаларни ўтказиб, $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1$ — массалар статик моментларининг очиқ кўпбурчагини ҳосил қиламиз (2. 3-шакл, ε); e_1 ни a_1 билан туташтириб, $e_1 a_1$ кесмани ҳосил қиламиз. Бу кесмани K_{mr} га кўпайтирсак:

$$m_y \cdot r_y = \overline{e_1 a_1} \cdot K_{mr} \text{ [кг сек}^2\text{]}$$

келиб чиқади. r_y ни ихтиёрый равишда танлаб, m_y ни топамиз ва уни α_y бурчак остида қўйиб (2. 3-шакл, б), $F_1 F_1$ текисликка проекциялаймиз.

Хулоса. Бир текисликда ётувчи бир неча айланувчи массалар шу текисликда ётувчи биргина масса билан мувозанатлашади, алмо ҳар хил айланувчи ва бир-бирига параллел текисликларда ётувчи массалар ҳамма вақт иккита ихтиёрый текисликда ётувчи массалар билан мувозанатлашади:

$$\left(\sum_{i=1}^n m_i r_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n m_i r_i b_i = 0 \right)$$

3-§. Эластик валнинг критик тезлиги ҳақида тушунча

2-параграфлардаги 2. 2-шаклда динамик мувозанатда бўлмаган айланувчи системанинг (вал билан оғма ўрнатилган маховик) мувозанат шартларини кўриб ўтган эдик. Вал абсолют қаттиқ деб қўйилган масала ҳам ҳал этилган эди.

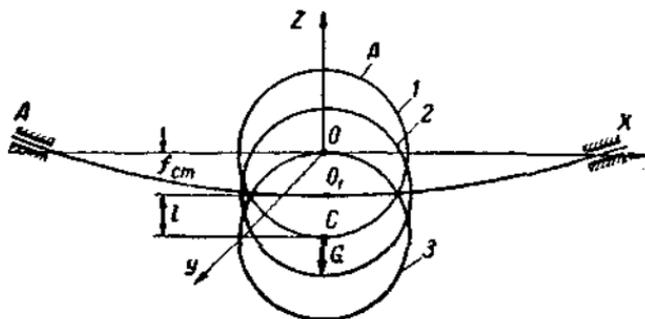
Эндиги масала валнинг эластиклигини, яъни унга ўрнатилган массаларнинг оғирлиги ва уларнинг инерция кучлари таъсирида унинг эгилишини ҳисобга олиб, валнинг ҳаракатини текширишдан иборат. Бундай ҳоллар техникада жуда кўп учраб туради, чунки табиатда абсолют қаттиқ звено бўлмаганлигидан, ҳар қандай звено машина ҳаракати вақтида бир оз бўлса ҳам деформацияланади.

3. 1-шаклда валга ўрнатилган шар (A) кўрсатилган. Вал горизонтал, шар эса унинг ўртасига ўрнатилган. Бундай ҳолда марказдан қочувчи инерция моментлари I_{yx} ва I_{zy} , агар шар билан валда айланиш ўқиға тик бўлган симметрия текислиги бор деб фараз қилинса, нолга айланади. Шунинг учун инерция кучининг моментлари M_y ва M_z ҳам нолга айланади. Агар $\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon = 0$ бўлса, у ҳолда M ҳам нолга айланади, чунки $M_x = I_x \cdot \varepsilon = 0$.

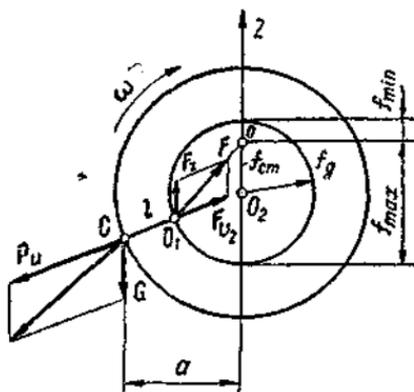
Энди вал айланмай турган ҳолни кўриб чиқамиз. Бунда вал шарнинг оғирлиги G таъсирида $f_{ст} = OO_1$ га эгилади. Бундаги O вал подшипниклари ўқида ётиб (вали эгилмаган ҳол), O_1 эса валнинг эгилган ўқида ётади. Статик эгилишни материаллар қарши-лигидан фойдаланиб қуйидагича топамиз:

$$f_{ст} = \frac{G}{k}, \quad (14. 8)$$

бунда k — валнинг бикрлик коэффициенти.



3.1-шакл.



3.2-шакл.

Вални икки таянчда ётувчи балка деб қаралса ва унинг ўр-тасига G кучи қўйилганлиги эътиборга олинса, у ҳолда куч қўйил-ган нуқтанинг эгилиши қуйидагича топилади:

$$f_{ст} = \frac{Gl^3}{48EI} \text{ см} \quad (14. 9)$$

Бикрлик коэффициенти эса

$$k = \frac{G}{f_{\text{ст}}} = \frac{48EL}{l^3} \text{ кг/см}, \quad (14. 10)$$

бунда E — балка материалнинг эгилишдаги эластиклик модули, I — балка қирқимининг экваториал инерция моменти.

Агар механик оғирлик марказининг эластик ўққа (AO_1B) nisbatan ҳолатини билдирувчи эксцентриситет (e) ни эътиборга олсак, у ҳолда валнинг ўзгармас тезлик билан айланишида марказдан қочувчи куч билан оғирлик кучи вални эгади.

Валнинг айланиш вақтида унда ҳосил бўлган эгилиш (f) вал ўқи подшипниклар марказини бирлаштирувчи ўқдан фарқ қилади ва у маховикнинг физик ўқи бўла олмайди. 3. 2-шаклда физик ўқни топиш кўрсатилган. Бу ерда O — подшипниклар ўқининг профил проекцияси, O_2 — ҳақиқий айланишини кўрсатувчи ўқнинг профил проекцияси, O_1 — эластик ўқнинг проекцияси. Валнинг меъёрли айланишида унинг эгилишидан ҳосил бўлган эластик куч (F) марказий куч бўлиб, у O га қараб йўналади. Бу куч марказдан қочувчи инерция кучи (P_u) ва маховик оғирлиги G нинг йиғиндисин билан мувозанатлашиши шарт. P_u куч ҳам O_2 марказга қараб йўналган. G эса вертикал йўналган. F кучининг миқдори қуйидагича топилади:

$$F = k \cdot \overline{OO_1} = k \cdot f \quad (14. 11)$$

f ни қуйидаги икки ташкил этувчига ажратамиз ва пропорционаллик коэффициентига икки томонни кўпайтирамиз:

$$k \cdot \overline{OO_1} = k \cdot \bar{f} = k \cdot \overline{O_1O_2} + k \cdot \overline{OO_2}$$

ёки

$$\bar{F} = \bar{F}_{O_2} + \bar{F}_z \quad (14. 12)$$

Бу ерда F_{O_2} ва $F_z = \overline{O_1O_2}$, $\overline{OO_2}$ деформациялар йўналишига мос келадиган эластик куч (F) нинг ташкил этувчилари. Меъёрли ҳаракатда бўлган вал учун $P_u = F_{O_2}$ шарти мавжуд бўлади. Бу шартдан $G = k \cdot \overline{OO_2}$ эканлигини кўриш қийин эмас, бу эса қуйидагини беради:

$$f_{\text{ст}} = \overline{OO_2} = \frac{G}{k}$$

Бу тенгликдан кўриниб турибдики, эластик валнинг физик ўқи унинг статик эгилишидан ҳосил бўлган ўқнинг ўзи бўлар экан.

Маҳозик инерция кучининг F_{O_1} га тенглик шартидан фойдаланиб қуйидаги тенгликни ёзамиз ва ундан фойдаланиб валнинг динамик эгилиши (f_g) ни топамиз:

$$P_u^n = m\omega^2(\overline{O_1O_2} + e) = k \cdot \overline{O_1O_2}$$

бундан

$$\overline{O_1O_2} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot e}{k - m\omega^2} = f_g \quad (14.13)$$

Шундай қилиб, вал ўқининг умумий эгилиши f_g ва $f_{ст}$ эгилишларнинг геометрик йиғиндисидан келиб чиқади ва қуйидагича топилади:

$$\overline{OO_1} = \overline{f} = \overline{f_g} + \overline{f_{ст}} \quad (14.14)$$

3. 2-шаклдан фойдаланиб максимал ва минимал эгилишларни қуйидагича топамиз:

$$f_{max} = f_{ст} + \frac{m\omega^2 e}{k - m\omega^2} \quad (14.15)$$

$$f_{min} = f_{ст} - \frac{m\omega^2 e}{k - m\omega^2} < 1 \quad (14.16)$$

3. 2-шаклдан фойдаланиб P_u^n ни топамиз:

$$P_u^n = m\omega^2(f_g + e) = m\omega^2\left(\frac{m \cdot e \cdot \omega^2}{k - m\omega^2} + e\right)$$

ёки

$$P_u^n = m\omega^2 e \cdot \frac{1}{1 - \left[\frac{\omega^2}{\left(\frac{k}{m}\right)}\right]} \quad (14.17)$$

$\frac{k}{m} = \omega_c^2$ — бу валнинг озод тебранишидаги такрорининг квадрати, такрорн эса қуйидагича топилади:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ сек}^{-1} \quad (14.18)$$

Валнинг бурчак тезлиги ёки 2л секунд ичидаги айланмишлар сонн ω нинг шу валнинг эркин тебраниши такрорига нисбатн тебраниш системасининг волейиқлик (расстройка) коэффициентига дей

аталади, уни γ орқали белгилаб P_u^n учун қуйидаги кўринишни оламиз:

$$P_u^n - m\omega^2 e \cdot \frac{1}{1-\gamma^2} = m\omega^2 e \cdot q \quad (14. 19)$$

Бундаги $q = \frac{1}{1-\gamma^2}$ — динамиклик коэффициентини деб аталади.

Динамик эгилишнинг физик маъносини билиш учун қуйидагини бажарамиз:

$$f_g = \frac{m\omega^2}{c - m\omega^2} = \frac{m\omega^2}{c} \cdot q \quad (14. 20)$$

Бу тенгликдаги $\frac{m\omega^2}{c}$ динамиклик коэффициентининг коэффициентини бўлиб, у валнинг фақат марказдан қочувчи кучнинг таъсиридан эгилишини билдиради.

Шундай қилиб, динамик эгилиш динамиклик коэффициентининг марказдан қочувчи куч таъсиридан вални эгилишига кўпайтмасидан иборат экан.

Агар $e = 0$ бўлса, $P_u^n = 0$, $f_g = 0$, $f = f_{ст}$ бўлади.

Бу идеал ҳолат бўлиб, у *идеал мувозанатлаш* деб аталади. Техникада идеал ҳолатда маховикнинг оғирлик маркази эластик вал ўқида ётади ва шундай шароитда айланувчи валда динамик эффект ҳодисалари бўлмайди. Айланувчи маховик марказидан ўтувчи ва айни бир вақтда статик эгилишлар ўқи билан бир ўқда ётувчи ўқлар атрофида бўлади. Бунда марказдан қочувчи инерция кучи бўлмайди. Марказдан қочувчи инерция кучи ва динамик эгилиш валнинг бурчак тезлиги билан фақат қуйидаги муносабатда бўлади:

$$\begin{aligned} P_u^n &= P_u^n(\omega) \\ f_g &= f_g(\omega) \end{aligned} \quad (14. 21)$$

P_u^n ва f_g лар вал бурчак тезлиги ω_c га интилганда чексизга интилади:

$$\begin{aligned} \lim_{\omega \rightarrow \omega_c} P_u^n(\omega) &\rightarrow \infty \\ \lim_{\omega \rightarrow \omega_c} f_g(\omega) &\rightarrow \infty \end{aligned} \quad (14. 22)$$

Бу ҳолат валда резонанс вужудга келтиргани учун уни резонанс деб аталади. Шу резонанс ҳолатидаги валнинг бурчак тезлиги валнинг *критик бурчак тезлиги* деб аталади ва у қуйидаги тенглама орқали топилди:

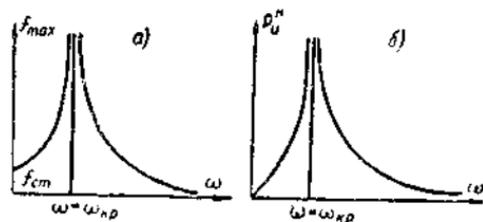
$$\omega_{кр} = \omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (14. 23)$$

Машина ёки механизм валларида критик бурчак тезлиги ҳосил бўлиши натижасида, катта инерция кучлара таъсиридаги динамик эгилиш оқибатида, синиш ҳодисалари рўй беради. Валларнинг резонанс ҳолатда узоқ айланishiда кўнгилсиз ҳодисалар юз беради, шунинг учун уни резонанс соҳасидан ташқарида ишлатган маъқул. Валлар резонанс ҳолатида қисқа вақт ичида айланса, улардаги динамик эгилиш хавфли миқдорга етиша олмайди ва шунинг учун қисқа вақт ичида валда бузилиш (синиш) ҳодисаси ҳам рўй бермайди.

Агар вал тезлиги критик тезликдан ошиб кетса, у ҳам бирдан катталашиб, P_u^n билан f_g нинг миқдорлари манфий бўлади. Бундай ҳолатнинг физик маъносини қуйидагича тушуниш керак: вал P_u^n таъсирида эксцентриситетга тескари томон эгилади ёки бошқача қилиб айтганда, $\omega < \omega_{кр}$ шароитида маховик оғирлик марказининг оралниги f_g дан катта бўлса ($f_g < O_2c$), $\omega > \omega_{кр}$ шароитида эса $f_g > O_2c$ бўлади. Агар вал тезлигини резонанс тезликдан катталаштирсак динамик эгилиш (f_g) эксцентриситетга яқинлашади.

Валнинг бурчак тезлиги катталашган сари маховикнинг оғирлик маркази статик эгилишлар чизигига яқинлашади ва у ўз оғирлик маркази атрофида айлана боради, бунинг натижасида валнинг геометрик ўқи e радиусли айлана — траектория чизади. Бундай ҳолда P_u^n нинг миқдори камайиб боради, чунки e $f_{ст}$ дан кичиклашади.

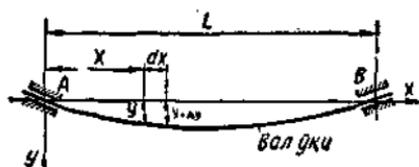
Шундай қилиб, валда вал билан биргаликда айланаётган маховик (звено) оғирлик марказининг валнинг статик эгилишлар ўқи-га яқинлашиши эластик валга ўрнатилган массивли маховикнинг ўз-ўзидан марказланиши деб аталади. Ушбу айтилганлардан қуйидаги хулосага келиш мумкин: эластик валга ўрнатилган маховик айланishiда $\omega = \omega_c$ ҳолатда резонанс пайдо бўлади. Резонанс ҳолатни йўқотиш вал тезлигини критик тезликдан ошириш (ўз-ўзидан марказланиш) ёки камайитириш орқали олиб борилади. Бу ҳодисани Н. Е. Жуковский назарий жиҳатдан асослаб берди.



3.3- шакл.

Вал ўқининг максимал эгилиши ва маховик массасининг инерция кучи бурчак тезлигига боғлиқлиги (14. 15) ва (14. 17) тенгламалардан аёндр. резонанс ҳолатлар графиклари 3. 3- шакл, а, б ларда тасвир этилган.

Энди вални жуда ингичка деб қараб, вал ўқининг эгилиш дифференциал тенгласини тузамиз. Валнинг узунлиги l , радиуси r , эластиклик модули E ва оғирлигини G орқали белгилаб оламиз.



3.4-шакл.

Валга ҳеч нарса ўрнатилмаган деб фараз қилиб ва унинг фақат оғирлиги ҳамда эгилишидан ҳосил бўлган инерция кучларинигина ҳисобга олган ҳолда масалани ҳал этамиз. Валнинг бурчак тезлиги маълум даражага етгунча унинг ўқи тўғри чизиқли ҳолини сақлайди. Агар вал критик тезлик билан айланса ўқи эгилади. Шундай ҳолатда подшипникларда урилиш пайдо бўлади ва яна тезликнинг оширилиши билан бу ҳол тўхтайтиди, тезлик ошиши ёки камайиши натижасида шип билан подшипник элементлари орасида яна урилиш пайдо бўлади. Эгилган валнинг айланиши натижасида унинг чексиз кичик бўлакчаларига инерция кучлари таъсир этади. Бу кучларни узлуксиз тарқалган куч деб қараш мумкин. Агар валнинг узунлик бирлиги оғирлигини $q = \frac{G}{L}$ деб олсак, у ҳолда dx кичик элементнинг оғирлиги $\frac{G}{L} \cdot dx$ бўлади (3.4-шакл).

Валнинг dx элементига таъсир этувчи марказдан қочувчи элементар инерция кучи қуйидагича топилади:

$$dP_u^n = m\omega^2 \cdot y = \frac{G}{gL} dx \cdot \omega^2 \cdot y, \quad (14.24)$$

бунда m — dx элемент массаси;

ω — валнинг бурчак тезлиги;

y — dx элементга мос келувчи эгилиш.

(y) эгилиш x нинг функциясиدير, y эгилувчи ўқ тенгламасидан топилади. Шунинг учун элементар инерция кучини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$dP_u^n = \frac{G}{gL} \omega^2 \cdot y \cdot dx = f(x) \cdot dx \quad (14.25)$$

Бу кучнинг моменти қуйидагича топилади:

$$dM = dP_u^n \cdot x = f(x) x dx \quad (14.26)$$

Бу тенгликни дифференциаллаб қуйидагини оламиз:

$$\frac{d^2M}{dx^2} = f(x) \quad (14.27)$$

$f(x) = \frac{G}{gL} \cdot \omega^2 \cdot y$ ва материаллар қаршилиги фанидан эгилган вал ўқиниң соддалаштирилган дифференциал тенгламаси $M = EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$

ни эсга олиб, бу тенгламани қуйидагича ёзамиз (I — вал кесимининг инерция моменти):

$$\frac{d}{dx^2} \left(EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = \frac{G}{gL} \cdot \omega^2 y$$

ёки

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{G\omega^2}{EI \cdot gL} y = 0$$

$\frac{G\omega^2}{EI \cdot gL} = k^4$ деб белгилаб, эгилган вал ўқининг қуйидаги дифференциал тенгласини оламиз:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - k^4 y = 0 \quad (14. 28)$$

Бу тўлиқ бўлмаган 4- тартибли чизиқли дифференциал тенгламани ечиш учун қуйидаги характеристик тенгламани тузамиз:

$$\lambda^4 - k^4 = 0$$

ёки

$$(\lambda - k)(\lambda + k)(\lambda^2 + k^2) = 0$$

Бу тенгламанинг илдизлари қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= k & \lambda_2 &= +ki \\ \lambda_3 &= -k & \lambda_4 &= -k \cdot i \end{aligned}$$

(14. 28) тенгламанинг умумий ечилиши қуйидаги кўринишни олади:

$$y = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx} + C_3 \cdot \sin kx + C_4 \cdot \cos kx \quad (14. 29)$$

Интеграллаш доимийларини топиш учун масаланинг қуйидаги чегара шартларидан фойдаланиш лозим:

1. $x = 0$ бўлганда $y = 0$
2. $x = 0$ бўлганда $\frac{d^2 y}{dx^2} = 0$
3. $x = L$ бўлганда $y = 0$
4. $x = L$ бўлганда $\frac{d^2 y}{dx^2} = 0$

(14. 29) тенгламани дифференциаллаймиз:

$$\frac{dy}{dx} = C_1 k e^{kx} - C_2 k e^{-kx} + C_3 k \cos kx - C_4 \sin kx$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = C_1 k^2 e^{kx} + C_2 k^2 e^{-kx} - C_3 k^2 \sin kx - C_4 k^2 \cos kx$$

Чегара шартларини қўйиб, қуйидаги тўртта тенгламани оламиз:

$$\left. \begin{aligned} C_1 + C_2 + C_4 &= 0 \\ C_1 + C_2 - C_4 &= 0 \\ C_1 e^{kL} + C_2 e^{-kL} + C_3 \sin kL + C_4 \cos kL &= 0 \\ C_1 e^{kL} + C_2 e^{-kL} - C_3 \sin kL - C_4 \cos kL &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14. 30)$$

Бу тенгламаларни ечиб, интеграллаш доимийларини топамиз:

$$\left. \begin{aligned} C_1 = C_2 = C_4 &= 0 \\ C_3 \cdot \sin kL &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14. 31)$$

Шундай қилиб, (14. 28) тенгламанинг чегара шартларини қаноатлантирувчи хусусий кўриниши қуйидагича бўлади:

$$y = C_3 \sin kL \quad (14. 32)$$

Агар $C_3 = 0$ бўлса, эгилган вал ўқининг тенгламаси $y = 0$ бўлади. Бундай ҳолда вал ўқи абсцисса ўқи (x) билан бир чизиқда ётади ва вал эгилмайди. Валнинг эгилиши учун C_3 волга тенг бўлмаслиги керак. У ҳолда иккинчи кўпайтма волга тенг бўлади, яъни:

$$\sin kL = 0,$$

бундан

$$k \cdot L = n \cdot \pi \quad k = \frac{n \cdot \pi}{L},$$

бунда $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Агар $n = 0$ бўлса, $k = 0$ бўлади, у ҳолда вал ўқининг тенгламаси абсцисса ўқининг ўзи бўлади, чунки $y = C_1 + C_2 + C_4 = 0$ k нинг нолдан бошқа қийматларида вал эгилади.

$$k = k_1 = \frac{\pi}{L}, \quad k = k_2 = \frac{2\pi}{L}, \quad k = k_3 = \frac{3\pi}{L}, \quad k = k_4 = \frac{4\pi}{L}, \dots$$

Қийматлар учун вал ўқи бўйлаб 1, 2, 3, 4 ва ундан ҳам кўп ярим тўлқинли синусоида бўлади, яъни:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= C_3 \cdot \sin \frac{\pi}{L} x \\ y_2 &= C_3 \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x \\ y_3 &= C_3 \cdot \sin \frac{3\pi}{L} x \\ y_4 &= C_3 \cdot \sin \frac{4\pi}{L} x \\ \dots &\dots \end{aligned} \right\} \quad (14. 33)$$

Валнинг критик бурчак тезлиги вақтида вал ўқи n та ярим тўлқинсимон ҳолатни олар экан, яъни:

$$\frac{G \cdot \omega_{кр}^2}{nlgL} = k_{кр}^4 = \left(\frac{n \cdot \pi}{L}\right)^4$$

ёки

$$\omega_{кр} = \frac{n^2 \pi^2}{L} \cdot \sqrt{\frac{EI}{mL}} \text{ (сек}^{-1}\text{)} \quad (14. 34)$$

Агар $n = 1$ бўлса, минимал критик тезликни оламыз. n , π , m , L , I ларни ўзгармас деб ҳисоблаб ва критик тезлик вал материалининг модулигагина боғлиқ деб қараб қуйидаги тенгликни ёзамиз:

$$\omega_{кр} = A \sqrt{E} \quad (14. 35)$$

бунда

$$A = \frac{(n\pi)^2}{L} \sqrt{\frac{I}{mL}}$$

XV 606

МАШИНА ЕКИ МЕХАНИЗМНИ МУВОЗАНАТЛАШ

1-§. Мувозанатланмаган куч ва унинг фундаментга таъсири

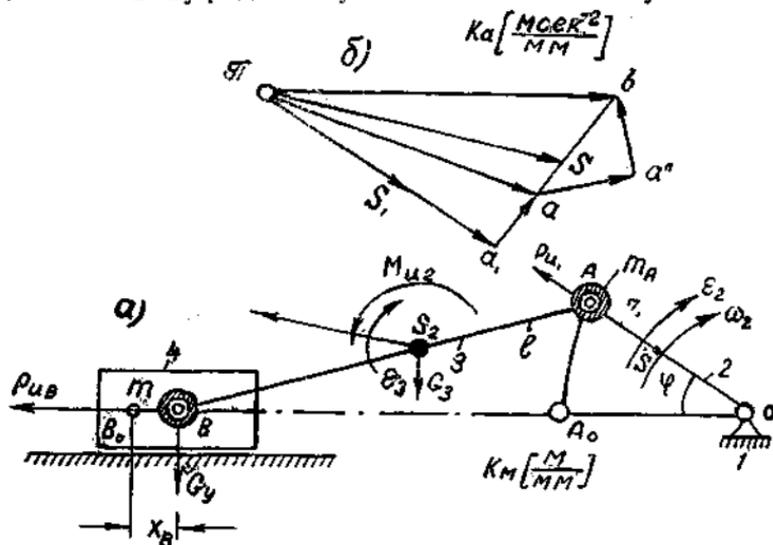
Бу параграфда кривошип-шатунли механизмдаги инерция кучларини мувозанатлаш ва фундаментдаги тебраниш ҳодисаси билан қисқача танишиб чиқамиз.

Машина рамаси ва фундаментига таъсир этувчи кучлар ичида энг асосийси инерция кучидир. Бу кучлар машинанинг ҳаракати вақтида ўзгариб туради, кривошипнинг бир марта тўла айланишида йўналиши ҳам, катталиги ҳам ўзгаради. Агар кривошип 1 минутда 3600 марта айланса, 1 секундда 60 марта айланган бўлади. Агар кривошипнинг 1 айланишини 24 тенг бўлакка бўлсак, шатун, ползуни ва кривошипдаги инерция кучлари кривошипнинг 1 айланишида катталиги ва йўналишларини 24 марта ўзгартирган бўлади. Шундай қилиб, бу кучлар машинанинг фундамент ва рамаларига ўтиб, уларда тебраниш ҳосил қилади.

1. 1-шакл, *a* да аксиал кривошип-шатунли механизм тасвирланган.

1. 1-шакл, *b* да эса механизмнинг шу ондаги вазияти учун тезланишлар плани кўрсатилган. Биз бу масалани массаларни алмаштириш методи билан ечамиз: шатун массасини иккита массага бўламиз. Булардан бири ползунга, иккинчиси эса кривошипдаги A_1 нуқтага тегишлидир. (8. 33) формуладан алмашинувчи m_A ва m_B массалар топилган эди.

Кривошипнинг A нуқтасига келтирилган масса айланувчи мас-салар мувозанатлангани каби мувозанатланади, яъни OA кривошипнинг AO давомига қўшимча мувозанатловчи қарши масса қўйилади. Аммо B нуқтада ползун массаси билан шатун массасидан



1.1-шакл. а — кривошип-шатунли механизм;
б — тезланишлар плани.

алмаштирилган m_B масса пайдо бўлади. Бу икки масса йиғиндисини m билан белгилаймиз.

Аксиал кривошип-шатунли механизмнинг аналитик кинемати-касидан қуйидагини топамиз ($\frac{l}{r} = \beta$):

$$x_B = r \left[\beta + 1 - \cos \varphi - \beta \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \varphi}{\beta} \right)^2} \right] \quad (15. 1)$$

Ньютон биномидан фойдаланамиз:

$$\left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{\beta^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2\beta^2} \cdot \sin^2 \varphi - \frac{1}{8\beta^4} \cdot \sin^4 \varphi - \frac{1}{16\beta^6} \cdot \sin^6 \varphi - \dots$$

Тригонометриядан қуйидагилар маълум:

$$\sin^2 \varphi = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi$$

$$\sin^4 \varphi = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi + \frac{1}{8} \cos 4\varphi$$

$$\sin^6 \varphi = \frac{5}{16} - \frac{15}{32} \cdot \cos 2\varphi + \frac{3}{16} \cos 4\varphi - \frac{1}{32} \cdot \cos 6\varphi$$

.....

Бу қийматларни ўрнига қўйиб ва тегишли ўзгармас катталарларни бир ҳарф билан белгилаб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$x_B = r [A_0 + A_1 \cos \varphi + A_2 \cdot \cos 2\varphi + A_4 \cos 4\varphi + A_6 \cos 6\varphi + \dots] \quad (15. 2)$$

Бу тенгламадаги:

$$\begin{aligned} A &= \left(1 + \frac{1}{4\beta} + \frac{3}{64 \cdot \beta^2} + \frac{5}{266 \cdot \beta^3} + \dots\right) \\ A_1 &= -1 \\ A_2 &= -\left(\frac{1}{4\beta} + \frac{1}{16\beta^2} + \frac{15}{512 \cdot \beta^3} + \dots\right) \\ A_4 &= \left(\frac{1}{64\beta^2} + \frac{3}{256 \cdot \beta^3} + \dots\right) \\ A_6 &= -\left(\frac{1}{512\beta^3} + \dots\right) \end{aligned} \quad (15. 3)$$

Шундай қилиб, B нуқтанинг координатаси (ўтган йўли) (15. 2) формула билан ифодаланувчи чексиз қаторлар кўринишини олди.

(15. 3) формулалардан маълум бўлишича, (15. 2) формуладаги қаторларнинг коэффициентлари ($A_0, A_2, A_4, A_6, \dots$) тез камайиб борувчи қаторлардан иборат экан.

(15. 3) формулани бир марта дифференциаллаб, B нуқта тезлигини, икки марта дифференциаллаб эса B нуқта тезланишини оламиз:

$$v_B = \frac{dx_B}{dt} \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

эканлигини эсласак:

$$\begin{aligned} a_B = \frac{d^2 x_B}{dt^2} &= -r \cdot \omega^2 [A_1 \cos \varphi + 4A_2 \cdot \cos 2\varphi + 16A_4 \cdot \cos 4\varphi + \\ &+ 36A_6 \cdot \cos 6\varphi + \dots] \end{aligned} \quad (15. 4)$$

келиб чиқади. Бу тенгликнинг иккала томонини B нуқтадаги йиғинди масса (m) га кўпайтириб, шу массанинг инерция кучини толамиз:

$$\begin{aligned} P_{иБ} &= -m \cdot a_B = m \cdot r \omega^2 [A_1 \cdot \cos \varphi + 4A_2 \cdot \cos 2\varphi + 16A_4 \cdot \cos 4\varphi + \\ &+ 36 \cdot A_6 \cos 6\varphi + \dots] \end{aligned} \quad (15. 5)$$

ёки:

$$\bar{P}_{uB} = P_{u_1} + P_{u_2} + P_{u_3} + P_{u_4} + \dots \quad (15. 6)$$

Бу ерда:

$P_{u_1} = A_1 \cdot m \cdot r \cdot \omega^2 \cos \varphi$ — 1- тартибли инерция кучи;

$P_{u_2} = A_2 \cdot m \cdot r \cdot (2\omega)^2 \cdot \cos 2\varphi$ — 2- тартибли инерция кучи;

$P_{u_3} = A_3 \cdot m \cdot r \cdot (4\omega)^2 \cdot \cos 4\varphi$ — 4- тартибли инерция кучи;

$P_{u_6} = A_6 \cdot m \cdot r \cdot (6\omega)^2 \cdot \cos 6\varphi$ — 6- тартибли инерция кучи;

$P_{u_n} = A_n \cdot m \cdot r \cdot (n\omega)^2 \cdot \cos n\varphi$ — n - тартибли инерция кучи.

2-§. Машина ёки механизмни тўла ва қисман мувозанатлаш

Илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи звенодаги инерция кучлари жуда мураккаб бўлиб, бу кучлар ичда энг хавфлиси 1- тартибли инерция кучидир, чунки бу кучнинг A_1 коэффициентлари бошқа тартибли инерция кучларининг коэффициентларига қараганда энг катта.

Кривошипнинг A нуқтасидаги масса айланувчи масса бўлганидан унинг инерция кучи қуйидагича бўлади:

$$P_{u_A} = m_A \cdot r \cdot \omega^2 \quad (15. 7)$$

(15. 7) тенгликдаги инерция кучини мувозанатлаш мумкин, бунинг учун AO давомига қарши масса ўрнатамиз (2. 1- шакл). Бу қарши масса оғирлигини (G_y ни) қуйидаги тенгликдан топамиз:

$$m_A \cdot r \cdot \omega^2 = \frac{G_y}{g} \cdot r_y \cdot \omega^2$$

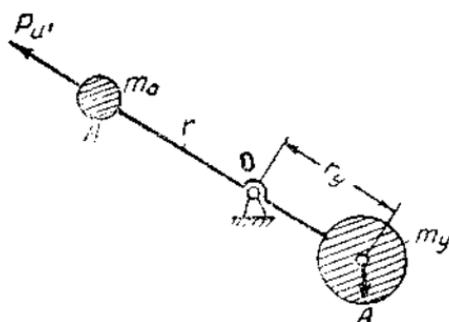
Бундан:

$$G_y = \frac{g \cdot m_A \cdot r}{r_y} \text{ [кг]} \quad (15. 8)$$

келиб чиқади.

Шундай қилиб, машина фундаментига (2. 1- шаклдаги O нуқтага) айланувчи массанинг инерция кучи ҳеч қандай таъсир қилмайди. Бу ҳолда машина фундаментига фақат ползун массаси билан шатун массасидан келиб чиқадиган P_{uB} инерция кучи таъсир этади, яъни илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи звенонинг инерция кучини тўла мувозанатлаб бўлмайди. 2. 2- шаклдаги B нуқта массасининг инерция кучини A нуқтага келтирамиз:

$$\bar{P}_{uB} = \bar{P}'_{uB} + \bar{N} \quad (15. 9)$$



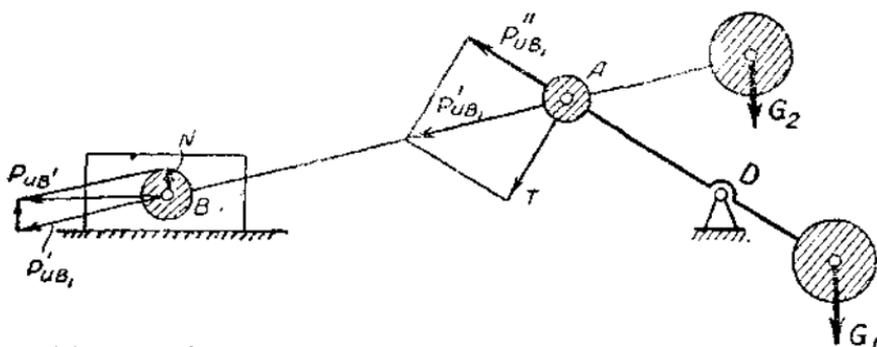
2.1-шакл. Кривошипни мувозанатлаш.

лан шатун массасидан келиб чиқадиган P_{uB} инерция кучи таъсир этади, яъни илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи звенонинг инерция кучини тўла мувозанатлаб бўлмайди. 2. 2- шаклдаги B нуқта массасининг инерция кучини A нуқтага келтирамиз:

P_{aB1} — 1- тартибли инерция кучи, P'_{aB} ни шатун бўйлаб A нуктага келтирамиз ва уни иккита тузувчига ажратамиз:

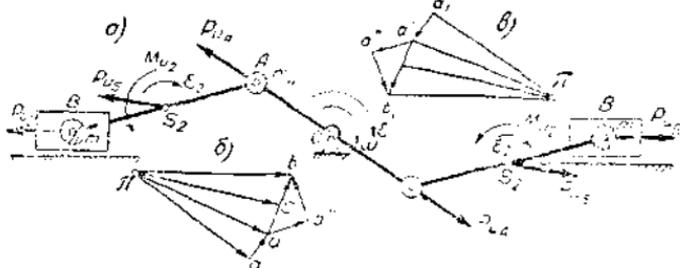
$$\vec{P}_{aB} = \vec{P}'_{aB} + \vec{T} \quad (15. 10)$$

Демак, \vec{P}'_{aB} ни $\vec{O}A$ давомига қўшимча масса қўйиб мувозанатласа бўлади экан, аммо N билан T ни мувозанатлаш қийин. Шун-



2.2- шакл. Кривошип-шатунли механизм звеноларининг массаларини қисман мувозанатлаш.

дай қилиб, илгариланма-қайтар ҳаракатланувчи массанинг 1- тартибли инерция кучини қисман ва тўла мувозанатласа ҳам бўлади, аммо бунинг ҳисобига худди шундай вертикал инерция кучи пайдо бўлади. 2, 4- ва юқори тартибли инерция кучларини қарши масса қўйиш билан мувозанатлаб бўлмайди.



2.3- шакл. Кривошип-шатунли механизм звеноларининг массаларини тўла мувозанатлаш.

Аксиал кривошип-шатунли механизм массаларининг инерция кучларини тўла мувозанатлаш учун бир валдан бир-биринга шибетан қарама-қарши ҳаракатланувчи кинематик ва динамик параметрлари бир хилда бўлган антикривошип-шатунли механизмлар қўриш керак (2, 3- шакл). Бу механизмдаги айланувчи ва илгариланма-

қайтар ҳаракатланувчи звенолар массаларининг инерция кучлари бир-бирига тенг ва қарама-қарши йўналганлиги учун исталган бурчак тезлигидаги ҳаракат бўлганда ҳам улар мувозанатда бўлади.

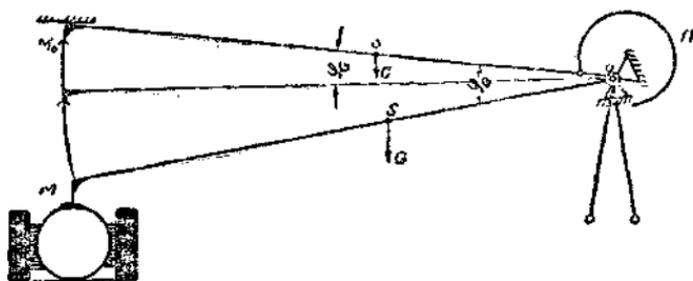
Буни қуйидаги тенгликлардан кўриш мумкин:

$$\begin{aligned}\bar{P}_{uA} + \bar{P}_{uA_1} &= 0 \\ \bar{P}_{uB} + \bar{P}_{uB_1} &= 0\end{aligned}\quad (15. 11)$$

Шундай қилиб, звеноси илгариланма-қайтар ҳаракат қилувчи механизмларни тўла мувозанатлаш учун фақат шу механизмга мос ва унга тескари ҳаракатланувчи қўш механизм қуриш лозим экан.

3. §. Қоққич ҳаракатининг дифференциал тенгламаси

Ипак, ип, юнг, капоп газламалар тўқшида мураккаб ҳаракат қилувчи машиналар ишлатилишини ўтган бобларда айтиб ўтган эдик. Бу машиналарни автоматлаштириш ҳозирги куннинг актуал масалаларидан бўлиб қолди. Тўқув автомати мокиси учидagi арқоқ найчасида ип тамом бўлгач, найча мокидан автоматик равишда чиқариб ташланади ва унинг ўрнига ип ўралган найча ўрнатилди. Шундай қилиб, машина тўхтамай, тўқши процесси япа давом этаверади. Газламаларнинг яхши тўқилиши шу процесснинг аниқлик билан бажарилишига боғлиқдир. Эски найчани чиқариш ва янгисини жойлаш ишви машинага ўрнатилган автоматик механизм 0,03 секундда бажаради (3. 1-шақл). Бу механизмнинг энг асосий звеноси бурчак ҳосил қилувчи ричагдан иборат бўлиб, бу ричаг қоққич деб аталади. Қоққич найча жой-



3.1- шақл. Тўқув автоматининг қоққичи.

лаш ҳаракатини станокнинг батан деб аталувчи звеносидан (коромислодан) олади, шу қоққич ўқига жойлашган пружинанинг реактив кучи (F куч) таъсирида эса ўз жойига қайтади. Қоққичнинг M нуқтаси найча жойлаш вақтида моки қутисининг ичига

кирган бўлади; агар у тезда чиқиб кетмаса, батан ҳаракатида унинг илиниб қолиш хавфи туғилади. Қоққичнинг қайтиш вақтидаги ҳаракат дифференциал тенгламасини шу қоққич оғирлигини ҳисобга олган ҳолда тузамиз.

Қоққич ўқидаги пружинанинг реактив momenti винтли шу пружинанинг бурилиш бурчагига (φ га) пропорционал эканлиги бизга маълум:

$$M_{\Pi} = c \cdot \varphi \quad (15. 12)$$

бу ерда, M_{Π} — пружинанинг реактив momenti;

c — пружинанинг бикрлиги;

φ — пружинанинг бурилиш бурчаги (радиан ҳисобида).

Пружинанинг қаттиқлигини махсус динамометр ёрдами билан топса бўлади:

$$c = \frac{M_{\Pi\varphi} - M_{\Pi\varphi_0}}{\varphi - \varphi_0}, \quad (15. 13)$$

бу ерда $M_{\Pi\varphi}$ — пружинани φ бурчакка бургандаги момент;

$M_{\Pi\varphi_0}$ — пружинанинг бошланғич вазиятидаги момент;

φ_0 — пружинанинг бурилиш бурчаги;

φ — пружинанинг бошланғич бурилиш бурчаги.

Пружина қоққични моки қутисидан олиб чиққанда унинг статик оғирлик momenti қаршилик кўрсатади. Пружинанинг дастлабки вазиятига қайтишидаги тенглама қуйидагича бўлади:

$$I_0 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + c \cdot \varphi - G \cdot a \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi) = 0$$

ёки

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K_1^2 \cdot \varphi - K_2^2 \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi) = 0 \quad (15. 14)$$

Бундан:

$$K_1^2 = \frac{c}{I_0}; \quad K_2^2 = \frac{G \cdot a}{I_0}$$

$\bar{a} = OS$ — қоққичнинг оғирлик марказидан айланиш ўқиғача бўлган оралик.

(15. 14) тенглама чизиқли бўлмаган 2- тартибли дифференциал тенгламадир. $(\varphi_0 - \varphi)$ кичик бурчак бўлгани учун $\cos(\varphi_0 - \varphi) = 1$ деб қабул қилиш мумкин. Бу ҳол учун (15.14) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K_1^2 \varphi - K_2^2 = 0 \quad (15. 15)$$

Агар қоққич оғирлигини ҳисобга олмасак, (15.15) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K_1^2 \cdot \varphi = 0 \quad (15. 16)$$

(15.15) тенгламанинг умумий ечилиши қўйидаги кўринишда бўлади:

$$\varphi = c_1 \cdot \cos K_1 t + c_2 \cdot \sin K_1 t + \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2$$

агар

$$t = 0, \quad \varphi = \varphi_0; \quad \dot{\varphi} = 0, \quad c_1 = \varphi_0 - \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2; \quad c_2 = 0$$

c_1 ва c_2 ларни ўрнига қўйиб, қўйидаги ечимни оламиз:

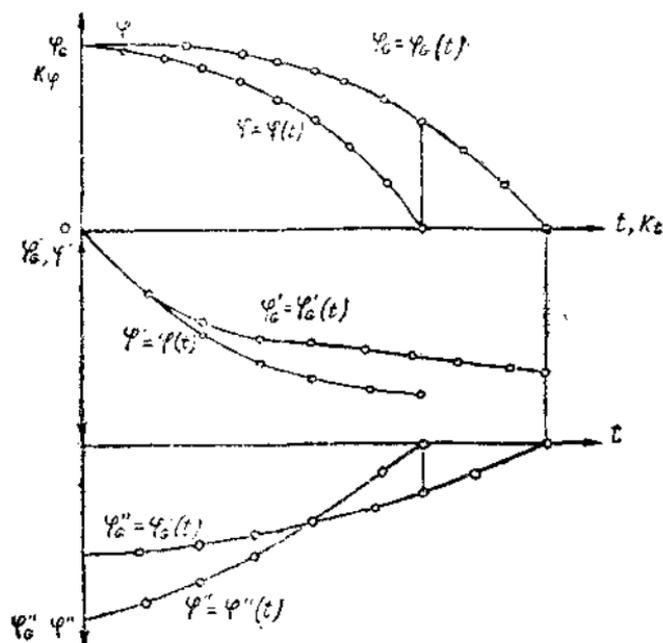
$$\varphi = \left[\varphi_0 - \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 \right] \cos K_1 t + \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 \quad (15.17)$$

Агар қоққичнинг оғирлиги ҳисобга олинмаса:

$$\varphi^* = \varphi_0 \cdot \cos K_1 \cdot t \quad (15.18)$$

бўлади.

Қўлчилик адабиётда (15.18) тенглама тавсия этилган, яъни қоққич ҳаракат тенгламаси шу қоққич оғирлиги ҳисобга олинмай чиқарилган. Аммо (15.17) тенглама қоққичнинг оғирлигини ўз ичига олади. Шунинг учун ҳам (15.18) тенглама (15.17) тенгламанинг хусусий ҳолидир.



3.2-шах. Қоққичнинг дастлабки вазиятига қайтаришдаги ҳаракат қонуни.

(15. 17) ва (15. 18) тенгламаларни дифференциаллаб, қоққичнинг кўтарилишидаги бурчак тезлиги ва бурчак тезланишини топамиз:

$$\omega = \left(\frac{K_2^2}{K_1} - \varphi_0 K_1 \right) \cdot \sin K_1 \cdot t \quad (15. 19)$$

$$\varepsilon = [K_2^2 - K_1^2 \cdot \varphi_0] \cdot \cos K_1 \cdot t \quad (15. 20)$$

$$\omega^* = -K_1 \cdot \varphi_0 \cdot \sin K_1 t$$

$$\varepsilon^* = -K_1^2 \cdot \varphi_0 \cdot \cos K_1 t$$

(15. 19) ва (15. 20) тенгламаларнинг график ифодаси 3. 2-шаклда тасвирланган. Шаклдаги графиклардан қоққичнинг оғирлигини кўтарилишига таъсир этиши кўриниб турибди, чунки оғирлик ҳисобга олинганда қоққич дастлабки вазиятига $\Delta t = 0,002$ сек кечикиб қайтади.

4-§. Тўқув автоматининг пухта ишлаш коэффициенти тўғрисида тушунча

Станокдаги батан механизми билан моки алмаштирувчи механизм ҳаракатида тўла мосланиш бўлгандагина тўқув автомати пухта ишлай олади. Иккала механизмнинг пухта ишлашини таъминлаш пухта ишлаш коэффициентиغا боғлиқ бўлади (1. 3-шакл, XI боб).

Моки қутиси олд қисми кўчиш вақтининг қоққич бошининг кўтарилиш вақтига нисбати тўқув автоматларининг пухта ишлаш коэффициенти деб аталади.

Қоққичнинг OM елкаси (3. 1-шакл) R билан белгилаб, M бошининг ўтган йўлини топамиз:

$$S_M = R \left[(1 - \cos K_1 t) \cdot \left(\varphi - \frac{K_2^2}{K_1^2} \right) \right]$$

Қоққич M нуқтасининг φ_0 бурчакка бурилиши учун кетган вақтни t_M деб, уни қуйидагича топамиз:

$$t_M = \frac{1}{K_1} \cdot \text{arc} \cdot \cos \left[\frac{\varphi_0 - K_2^2 \cdot K_1^{-2} - S_M \cdot R^{-1}}{\varphi_0 - K_2^2 \cdot K_1^{-2}} \right] \quad (15. 21)$$

Моки қутиси чеккасининг ўтган йўлини топиш учун батан механизмнинг кривошип-шатуили механизмга ўхшашлигидан фойдаланамиз:

$$S = \frac{R_1}{R_B} \left[r (1 - \cos \omega t) + \frac{r^2}{2l} \sin^2 \omega t \right]$$

Бундан S йўл ўттиш учун кетган t_s вақтни топамиз:

$$t_s = \frac{l}{\omega} \arccos \left[\frac{-l = \sqrt{(l+r)^2 - 2 \cdot Sl \cdot R_1 \cdot R_B^{-1}}}{r} \right], \quad (15. 22)$$

бу ерда S — моки қутиси олд томонининг ўтган йўли;

R_B — батан ости вали ўқидан батан бармоғигача бўлган ораллик;

R_1 — батан ости валининг моки қутиси олд қиррасигача бўлган ораллик;

r — тирсакли валнинг тирсак радиуси;

l — шатуннинг узунлиги;

t_s — моки қутисининг қўзғалиш вақти;

ω — тирсакли валнинг ўртача бурчак тезлиги. t_s ни t_M га бўлиб, тўқув автоматининг пухта ишлаш коэф-фициентини топамиз:

$$K_H = \frac{t_s}{t_M} \quad (15. 23)$$

(15. 21), (15. 22) тенгламаларнинг ўнг томонидаги тескари тригонометрик катталикларни тегишлича A° ва B° билан белгилаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$K_H = \frac{A^\circ \cdot K_1}{B^\circ \cdot \omega} \quad (15. 24)$$

$K_1 = \sqrt{\frac{c}{I_0}}$ нинг ўрнига ўз қийматини қўйиб, (15. 24) тенгламанн қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$K_H = \frac{A^\circ}{B^\circ \omega} \sqrt{\frac{c}{I_0}}, \quad (15. 25)$$

Бу ерда A° — батан механизмнинг кинематик ўлчамларини харак-терловчи катталиқ (градус ҳисобида).

B° — моки алмаштирувчи механизмнинг кинематик ва ди-намик параметрларини характерловчи катталиқ (градус ҳисобида).

Турли маркадаги тўқув автоматлари учун A° , B° ва K_H нинг қийматларини келтирамиз ($K_1 = 28,35 \text{ сек}^{-1}$).

Тўқув автомaти маркaси	A°	B°	$\frac{l}{r}$	K_H	ω [сек $^{-1}$]
АТС-5М	15	20	3,49	1,2	20,1
ЧГСП	18	19	3,75	1,77	16
Рюти	39	19	4,0	2,67	21,6
Заурер	17	17°30'	3,6	1,42	20,0
Британский нортроп	17	17°45'	3,67	1,51	18,8
Фомег	19	20	3,97	1,32	20

(15. 26) формуладан қуйидагиларни:

1) қоққич ўқиға ўрнатилган винтли пружинанинг бикрлиги (c) ва тўқув автомати тирсакли валининг бурчак тезлиги маълум бўлса, автоматнинг пухта ишлаш коэффициентини,

2) пружинанинг бикрлиги (c) маълум бўлса, пухта ишлаш коэффициентини танлаб, тирсакли валининг бурчак тезлиги (ω) ёки минутага айланиш сонини,

3) ω маълум бўлса, K_{II} ни танлаб олиб, моки алмаштирувчи механизм пружинасининг бикрлигини,

4) автомат тирсакли валининг бурчак тезлиги ошган сари ($c = \text{const}$ бўлганда) автоматнинг пухта ишлаш коэффициенти камайишини, аксинча бўлганда, моки алмаштирувчи механизмдаги пружина бикрлиги ошган сари, пухта ишлаш коэффициенти ҳам ошувини,

5) тўқув автоматнинг кинематик ва динамик параметрлари орқали механизмларнинг пухта ишлаш ёки ишламаслигини билиш мумкин.

(15. 25) формуладан фойдаланиб, инсталга параметрни (ω , c , I_0 , I , r ни) мақсадга мувофиқ ўзгартира олишимиз мумкин.

5-§. Қоққичнинг минимал оғирлигини топши

Машина ва механизмларнинг оғирлигини камайтириш масаласи ҳозирги куннинг актуал масалаларидан биридир. Ҳар қандай машина ва механизм оғирлиги, унинг таркибига кирувчи звенолар оғирлигидан таркиб топгани учун ҳам, шу звеноларнинг оғирлиги камайтирилса, машина ёки механизмнинг умумий оғирлиги камайтирилган бўлади.

(15. 17) формулада $\varphi_0 = \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2$ бўлса, формула қуйидаги кўринишни олади:

$$\varphi = \frac{K_2^2}{K_1^2} = \frac{G \cdot a}{C} \quad (15. 27)$$

$\varphi = \varphi_0$ бўлса, бу — абсциссалар ўқиға параллел тўғри чизиқни билдиради. Бундай ҳол учун пружина берилган c бикрлик билан қоққични кўтаришга кучи етмайди. Бундай ҳолда коэффициент (K_1 , K_2) бошқача, яъни қоққичнинг оғирлиги қуйидагича бўлади:

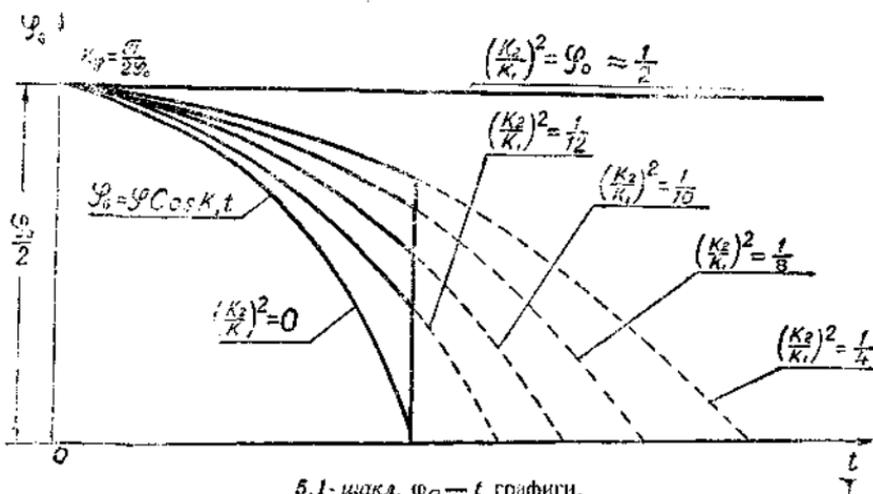
$$\left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 = \varphi = \frac{\pi}{6} = \frac{G \cdot a}{C}$$

$$G = \frac{\pi c}{6 \cdot a} [\text{кг}]$$

(15. 26) формуладан K_1 кўпайиши билан K_H ҳам кўпайишини кўриш мумкин. Қоққич оғирлигининг ошуви билан K_1 камаяди ва бунинг натижасида, K_H ҳам камаяди. Айтилганлардан қуйидаги хулосага келиш мумкин: пружинанинг биқирлиги ўзгармас бўлганда қоққич оғирлигининг ошуви билан K_H камаяди, аксинча, қоққич оғирлигининг камайиши билан K_H ошади.

(15. 27) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{G \cdot a}{C} = \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 = \frac{\varphi - \varphi_0 \cos K_1 t}{1 - \cos K_1 t} \quad (15. 28)$$



K_2^2 K_1^2 га кетма-кет қийматлар бериб, G ни топиш мумкин ёки қоққичнинг қийматларини танлаб олиб, $\varphi - t$ графигини тузиш ва бир неча вариант ичида энг кичигини танлаб олиш мумкин (5. 1-шакл).

XVI б о б

УМУМЛАШГАН КООРДИНАТА ВА ЛАГРАНЖ ТЕНГЛАМАСИНИНГ МЕХАНИЗМЛАР ҲАРАКАТИГА ТАТБИҚИ

1-§. Умумлашган координата ҳақида тушунча

Бирор механик система (механизмнинг) ҳолатини аниқловчи координата *умумлашган координата* деб аталади. Умумлашган координата чизикли ёки бурчак ўлчовида бўлиши мумкин (q).

Умумлашган координатадан вақтга нисбатан олинган ҳосила *умумлашган тезлик* деб аталади:

$$v = \frac{dq}{dt} \quad (16. 1)$$

Келтирилган масса ёки келтирилган инерция моментини умумлаштирилган масса ёки инерция моменти деб ҳам аташ мумкин. Келтирилган инерция моменти *тарқалган масса* деб ҳам аталади.

Келтирилган куч ёки момент ҳам *умумлашган куч* деб аталади.

Кинетик энергиядан умумлашган тезликка нисбатан олинган хусусий ҳосила *умумлашган импульс* ёки *ҳаракат миқдорига* тенг:

$$\frac{\partial E}{\partial q} = m_k \dot{q}. \quad (16. 2)$$

Илгариланма ҳаракатдаги умумлашган координаталар орасидаги боғланиш қуйидагича бўлишини билар эдик:

$$p = m \frac{dv}{dt} = m \cdot \ddot{x} \quad (16. 3)$$

Айланма ҳаракатда эса бу дифференциал тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$M = I \frac{d\omega}{dt} = I \cdot \ddot{\varphi} \quad (16. 4)$$

Агар бирор идишга сув тушаётган (тўлдириляётган) ёки идишдан сув бўшатиляётган бўлса, унинг дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$Q = F \cdot \frac{dh}{dt}, \quad (16. 5)$$

бу ерда: F — идишдаги сувнинг сатҳи;

h — идишдаги сувнинг баландлиги;

Q — сувнинг бир секундда идишга тўкиляётган ёки оқиб кетаётган ҳажми.

Агар пахта қуритиляётган ёки намлантириляётган бўлса, у ҳолда шу процесснинг дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\theta = q \cdot \frac{dW}{dt}, \quad (16. 6)$$

бу ерда: q — абсолют қуруқ пахтанинг оғирлиги;

W — пахтанинг абсолют қуруқлигига нисбатан намлиги;

θ — маълум вақт ичида (масалан, 1 секундда) намланиш ёки қуриш миқдори.

Юқорда айтиб ўтилган процессларнинг ҳаммаси ҳам бир хил тенглама билан ифодаланади. Бунда процесснинг моҳиятини англамоқ лозим бўлади. Буларнинг физик маънолари қуйидагиларни билдиради. Тенгламадаги чизиқли тезлик (v), бурчак тезлиги (ω), баландлик (h) ва висбий намликлар (W) бўлаётган процесснинг ички ҳолатини билдиради ва улар биринчи умумлашган координата деб аталади. Булар процесснинг сифат кўрсаткичи ёки бирор машинанинг режимини билдирувчи физик миқдордир. Тенгламадаги куч (P), момент (M), Q ва θ лар шу процесс ёки машинанинг ташқи режимини характерловчи физик миқдорлардир. Тенгламадаги масса (m), инерция моменти (I), F ва q лар процесс ёки машинанинг ўзига хос хоссасини билдирадиган факторлардир, яъни масса илгариланма ҳаракатланувчи звенонинг инертлигини, инерция моменти эса маълум ўқ атрафида айланувчи звенонинг инертлигини (тинчлигини) белгилайдиган физик миқдорлардир.

2- §. Механизм ҳаракатини ўрганишда Лагранж тенгламасининг татбиқи

Эркинлик даражаси битта бўлган механизмнинг ҳаракатини кривошипнинг бирор нуқтасига келтирилиб тўпланган массанинг айланиши билан эквивалент деб қаралган эди. Бу келтирилган масса кривошип механизмнинг бир нуқтага тўпланган *массали механик модули* деб аталади. Механизм ҳаракатининг келтирилган инерция моментли звено (тарқатилган массали звено) айланишига эквивалент эканлиги ҳам бизга маълум эди; шу келтирилган инерция моментли звено ҳам механизмнинг механик модули бўла олади. Шундай қилиб, эркинлик даражаси битта бўлган механизмни бир нуқтага келтирилган массали ёки тарқатилган массали (инерция моментли) механик модуллар орқали алмаштириш мумкин экан. Бу айтилган механик моделларнинг қайси бири билан механизмни алмаштириш мумкинлиги масаласини шу механизмнинг турига ва масаланинг моҳиятига қараб танланади.

Механизмнинг ҳаракат тенгламаларини тузишнинг энг қулайи Лагранж тенгламалари методи ҳисобланади. Механизмнинг эркинлик даражаси нечта бўлса, Лагранж тенгламаларининг сони ҳам шунча бўлади.

II тур Лагранж тенгламаси назарий механикадан бизга маълум бўлиб, у қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E}{\partial q_j} = Q_j - \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} \quad (16.7)$$

бу ерда: E — механизмнинг кинетик энергияси;
 q — умумлашган координата;

\dot{q}_j — умумлашган тезлик;
 Π — механизмнинг потенциал энергияси;
 Q_j — умумлашган (келтирилган) куч.

Лагранж тенгламасининг $\frac{\partial \Pi}{\partial \dot{q}_j}$ ҳади механизмга потенциалли кучлар таъсир қилгандагина бўлади, бундай потенциалли кучларга, масалан, оғирлик кучлари, звенолари, эластик кучлари, боғланиш кучлари (пружиналардаги) киради. Агар бу кучларнинг механизм ҳаракатига таъсири кам бўлса, у ҳолда $\frac{\partial \Pi}{\partial \dot{q}} = 0$ бўлади.

Ундай ҳолда II тур Лагранж тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi} = Q \quad (16. 8)$$

Агар материал нуқта n та бўлса ва улар координаталарига S боғланиш қўйилган бўлса у ҳолда бундай системанинг эркинлик даражаси қуйидагича топилади:

$$W = 3n - s$$

Деформацияланувчи звено ёки суюқликнинг эркинлик даражаси чексиз бўлади. Бундай ҳолларда звено ёки суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламаси хусусий ҳосилални бўлади. Аксинча, эркинлик даражаси чекли бўлган системанинг ҳаракати иккинчи тәртибли дифференциал тенглама билан ифодаланади. Бу тенгламаларнинг сони механизм (ёки системанинг) эркинлик даражасига тенг бўлади.

Звено нуқталарига қўйилган боғланишлар ўзгармас бўлса, бундай алоқаларга герц бўйича *голономли алоқалар* деб аталади (голоном сўзи юнонча — *holos*, латинча *integer* — интегралланувчи). Умуман интеграллаб бўлмайдиган алоқалар *голономсиз алоқалар* деб аталади.

Системанинг ҳаракат тенгламалари (ёки тебранишини) чизиқли ва чизиқсиз ҳаракат (ёки тебраниш) тенгламаларига бўлинади. Агар системадаги эластик боғланиш унинг ҳаракати даврида фақат чизиқли характеристикага эга бўлса, яъни унинг деформацияланиши Гук қонуни чегарасида бўлса, бундай система (механизм)нинг ҳаракати чизиқли дифференциал тенглама орқали ифодаланади. Агар система ҳаракатида боғланишлар чизиқсиз характеристикага эга бўлсалар, яъни уларнинг деформацияланиши кучга пропорционал бўлмаса, ёки системада ҳолатига нисбатан ўзгарувчан масса бўлса, у ҳолда бундай системанинг ҳаракати (ёки тебраниши) чизиқсиз дифференциал тенглама орқали ифодаланади. Бундай тенгламаларнинг ҳозирча аниқ ечимлари йўқ.

Механизмлар ҳаракатига II тур Лагранж тенгламасини татбиқ қилар эканмиз, механизмга қўйилган кучларнинг характерига қараб, уларнинг ҳаракат дифференциал тенгламаларининг кўриниши билан танишиб ўтиш мақсадга мувофиқ бўлур эди. Биз бу ерда икки хил механик система (механизм) учун Лагранж тенгламасининг кўринишини баён қилиб ўтаемиз.

Голономли механизмлар (геометрик боғланишли механизмлар). Бундай механизмларга қўйилган кучлар характери қуйидагича бўлиши мумкин:

1. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг бўлсин. Бундай ҳолат учун механизмнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = 0 \quad (16. 9)$$

2. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг ҳам эмас ва консерватив ҳам эмас. Бундай ҳолат учун механизмнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = Q_i$$

3. Механизмга қўйилган кучлар фақат консерватив кучлардан иборат бўлган ҳолат учун унинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} \quad (16. 10)$$

ёки

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_i} = 0; \quad L = E - \Pi$$

4. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг бўлмай, улар орасида консерватив ва ноконсерватив кучлар учраган ҳолат учун механизмнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} + Q_i \quad (16. 11)$$

ёки

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_i} = Q_i$$

Голономсиз механизмлар (дифференциал боғланишли механизмлар).

1. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг бўлган ҳол учун дифференциал тенгламанинг кўриниши қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = \sum_{i=1}^k \lambda_i A_{ij} \quad (16. 12)$$

бунда λ — Лагранж кўпайтувчиси.

2. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг ҳам эмас ва консерватив ҳам эмас. Бундай ҳол учун механизмнинг ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = Q_i + \sum_{i=1}^k \lambda_i A_{ij} \quad (16. 13)$$

3. Механизмга қўйилган кучлар нолга тенг бўлмай, улар орасида консерватив ва консерватив бўлмаган кучлар ҳам бор бўлган ҳол учун дифференциал тенгламанинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} + Q_i + \sum_{i=1}^k \lambda_i A_{ij}$$

ёки

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) + \frac{\partial L}{\partial \varphi_i} = Q_i + \sum_{i=1}^k \lambda_i A_{ij}$$

Массаси ўзгармас бўлган математик ёки физик тебрангичнинг мувозанат тенгламаси (консерватив механизмнинг) қуйидагича ёзилади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) + \frac{\partial E}{\partial \varphi} = 0$$

Энди (11. 18) ва (11. 19) тенгламалар II тур Лагранж тенгламасига асосланиб топилса ҳам бўлади. Бунинг учун механизм кинетик энергиясидан фойдаланамиз:

$$E = \frac{1}{2} I(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2$$

Лагранж тенгламасининг ҳадларини топамиз:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) &= \frac{d}{dt} [I(\varphi) \dot{\varphi}] = I(\varphi) \frac{d\dot{\varphi}}{dt} + \dot{\varphi} \frac{dI(\varphi)}{dt} = \\ &= I(\varphi) \ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^2 \frac{dI(\varphi)}{d\varphi}; \quad \frac{\partial E}{\partial \varphi} = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} \cdot \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} \end{aligned}$$

$$Q = M = M_o - M_c$$

M_o , M_c лар ҳаракатлантирувчи ва қаршилик кучларининг келтирилган моменти. Буларни Лагранж тенгламасига қўйиб, машина агрегати ҳаракат тенгламасининг момент кўриниши (11. 18) ни оламиз:

$$I(\varphi) \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} \cdot \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} = M_o - M_c = M \quad (a)$$

Агар умумлашган координата φ бурчаги бўлмай, балки тўп-ланган массанинг йўли бўлса, у ҳолда бу тенгламанинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$m(\varphi) \cdot \ddot{S} + \frac{S^2}{2} \cdot \frac{dm(\varphi)}{dS} = P_g - P_c \quad (6)$$

P_g , P_c — келтирилган ҳаракатлантирувчи ва қаршилик кучлари. (а) ва (б) тенгламалар машина агрегати ҳаракат тенгламаларининг момент ва куч кўринишлари эканлиги бизга маълум эди.

Энди Лагранж тенгламасини механизмлар ҳаракатига татбиқ этамиз. Биз механизмлар кинематикасини ўрганганимизда, етакловчи звенонинг ҳаракати ёки бирор ҳолати маълум бўлса, қолган звенолар ҳолатларини аниқлаш мумкинлигини айтиб ўтган эдик. Механизмнинг эркинлик даражаси унинг умумлашган координаталар сонига тенг бўлади. Умумлашган координата бурчак ёки чи-зиқли ўлчов ҳолида берилиши мумкин эканлигини ҳам юқорида айтиб ўтган эдик.

Эркинлик даражаси 1 та бўлган механизм учун умумлашган координатага мос келувчи куч қуйидагича топилишини ҳам билар эдик:

$$Q \cdot \delta S = P_g \delta S = \sum_{i=1}^m P_i \delta S_i \cdot \cos(\widehat{P_i, \delta S_i}),$$

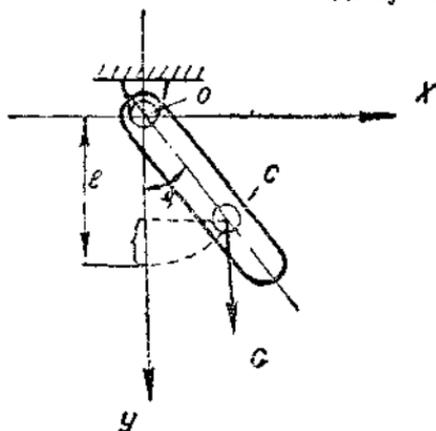
бу ерда m — механизм звеноларига қўйилган кучлар сони;
 δS — умумлашган координата айирмаси;

$\sum P_i \delta S_i \cdot \cos(\widehat{P_i, \delta S_i})$ — механизм нуқталарининг умумлашган координата орттирмасига мос кўчишлари-да кучлар бажарган ишларнинг йиғиндиси.

Агар механизм консерватив система тузилишида бўлса, яъни ундаги кучларнинг бажарган ишлари фақат кучларнинг бошланғич ва охириги тўхтаган ҳолатларига боғлиқ бўлса, у ҳолда умумлашган кучни қуйидагича топиш мумкин.

$$Q_j = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_j}$$

бу ерда Π — механизмнинг умумлашган координаталар орқали ифодаланган потенциал энергияси.



2.1-шакл.

Механизмнинг кинетик энергияси унинг умумлашган координата тезликлари орқали ифодаланганда (агар боғланишлар стационар бўлсалар), қўйидаги кўринишни олади:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{l=k} \sum_{i=1}^{j=k} a_{ij} \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_j = \frac{1}{2} (a_{11} \dot{\varphi}_1^2 + a_{22} \dot{\varphi}_2^2 + \dots + a_{nn} \dot{\varphi}_n^2 + 2a_{12} \dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2 + \dots + 2a_{n-1, n} \dot{\varphi}_{n-1} \cdot \dot{\varphi}_n),$$

бу ерда a_{ij} — инерция коэффициентлари.

Мисол тариқасида 2. 1-шаклда кўрсатилган оддий икки звеноли механизм (физик маятник) ҳаракат тенгламасини топиш учун II тур Лагранж тенгламасини қўллаемиз. Физик тебрангич учун кинетик энергия $E = \frac{I_0 \dot{\varphi}^2}{2}$, потенциал энергия эса $\Pi = Gy = G(l - l \cos \varphi)$ эканлигини билиш қийин эмас. Умумлашган координата ва умумлашган тезлик φ ва $\dot{\varphi}$ лардир; G — тебрангичнинг оғирлиги ва I_0 — тебрангич массасининг инерция моменти.

II хил Лагранж тенгламасининг ҳадларини топамиз:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) = I_0 \cdot \ddot{\varphi}, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = Gl \cdot \sin \varphi; \quad \varphi \frac{\partial E}{\partial \varphi} = 0 \quad (16.14)$$

Бу топилганларни Лагранж тенгламасига қўйиб тебрангичнинг ҳаракат дифференциал тенгламасини оламиз:

$$I_0 \ddot{\varphi} = -Gl \cdot \sin \varphi$$

ёки

$$\ddot{\varphi} + \frac{Gl}{I_0} \cdot \sin \varphi = 0 \quad (16.15)$$

механизм даврини $\tau = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{Gl}}$, бурчак такрорини $\omega = \sqrt{\frac{Gl}{I_0}}$ формулалар билан топишни биз физик тебранишлар назариясидан билар эдик.

Худди шу ҳаракат тенгламасини Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан олинса ҳам бўлар эди. Агар тебрангичнинг тебраниш амплитудаси (φ) унчалик катта бўлмаса, у ҳолда ундаги $\sin \varphi$ ни тахминан φ орқали алмаштириш мумкин бўлади. Бундай ҳол учун чизиқсиз (16. 15) тенгламани қўйидаги чизиқли тенглама кўринишида ёзиш мумкин:

$$\ddot{\varphi} + \frac{Gl}{I_0} \cdot \varphi = 0 \quad (16.16)$$

Биз бундан буён эластик боғланишни ва эркинлиги бирга тенг бўлган механизмларнинг кичик овоз тебранишлари худди шундай тенглама орқали ифодаланишини кўрамиз. Шунинг учун юқорида баён этилган физик маятник (ёки икки звеноли оддий механизм)

ни эластик боғланишли механизмларнинг динамик модели сифатида қаралса бўлар экан, чунки ҳар иккала ҳаракат ҳам бир хил дифференциал тенглама орқали ифода этилади. Бундай моделларни динамик текшириш $\varphi = \varphi(t)$ функция кўринишидаги (16. 16) тенгламани ечишдан иборат. (16. 16) чизиқли тенгламанинг ечими қуйидагича бўлиши олий математикадан маълум:

$$\varphi = \varphi_0 \sin \sqrt{\frac{G l}{I_0}} \cdot t$$

Бу эса гармоник ҳаракатнинг ўзгинасидир. (16. 15) тенглама чизиқсиз бўлганлигидан (чунки $\sin \varphi$ бор), уни аниқ ечиш қийин. Шунинг учун кўпчилик инженерлик масалалари чизиқсиз дифференциал тенгламалар кўринишида ифодаланишига қарамай, уларни тахминан чизиқли кўринишга келтириб сўнгра ечиш қулай бўлади.

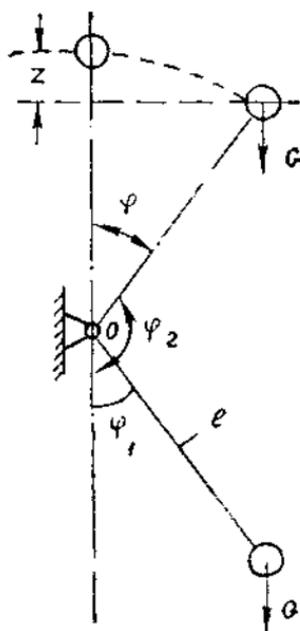
3-§. Мувозанатнинг устиворлиги ҳақида тушунча

Устиворлик ҳамда ноустиворлик тўғрисидаги тушунча тебранишлар ҳақидаги таълимот билан боғлиқ. Бу масала бизга назарий механикадан маълум.

Агар механизм белгиланган ҳолатидан бир оз қўзғатилса ва у шу белгилаанган ҳолатини сақлашга интилса, у ҳолда бундай механизмнинг ҳолати *устивор ҳолат* бўлади. Механизмнинг устиворлиги тўғрисидаги масала икки хил бўлиши мумкин; булардан бири механизмнинг мувозанат устиворлиги, иккинчиси эса механизм ҳаракатининг устиворлигидир.

Агар вақт ўтиши билан q_i нолга интилса, у ҳолда механизм асимптотик устиворликка эга бўлади. Оддий устиворликда эса механизм нуқталари олдиндан мўлжалланган ҳолатидан (чегарадан) чиқмаслиги шарт. Мувозанат устиворлиги ҳақидаги Лагранж—Дирихле теоремасига кўра агар консерватив механизмнинг мувозанат ҳолатидаги потенциал энергияси минимум бўлса, у ҳолда бундай механизмнинг мувозанати устивор бўлади.

Консерватив механизм, яъни потенциал куч майдонидаги механизм учун



3.1-шакл.

умумлашган кучни қуйидагича топиш мумкин:

$$Q_i = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_i}, \quad (16.17)$$

булда $\Pi = \Pi(q_i)$ — механизмнинг потенциал энергияси. (16.18)

Механизм мувозанати вақтида барча умумлашган кучлар нолга тенг бўлганлигидан:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} &= 0 \\ i &= 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (16.19)$$

Масаланинг моҳиятини 3. 1-шаклда кўрсатилган оддий механизм мисолида тушунтирамиз. Шаклдаги механизмнинг мувозанат устиворлигини ўрганиш учун потенциал энергияни умумлашган координата φ билан белгилаймиз:

$$\Pi = G \cdot Z = Gl(1 - \cos \varphi)$$

Умумлашган куч

$$Q = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = G \cdot l \cdot \sin \varphi$$

Бундан

$$\varphi_1 = 0, \quad \varphi_2 = \pi$$

Потенциал энергияни экстремумга текшириб чиқамиз.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} &= +Gl \cdot \cos \varphi \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} \right)_{\varphi_1=0} = +G \cdot l; \\ \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} \right)_{\varphi_2=\pi} &= -G \cdot l \end{aligned}$$

Бундан кўринишича, биринчи ҳолатда $\varphi = 0$ бўлганда $\Pi = \Pi_{\min}$ бўлгани учун Лагранж—Дирихле теоремасига асосан механизмнинг мувозанати устивордир. Иккинчи ҳолатда ($\varphi_2 = \pi$), $\Pi = \Pi_{\max} = = 2Gl$ бўлганлигидан механизмнинг мувозанат ҳолати устивор бўлмайди.

4-§. Ҳаракат устиворлиги ҳақида тушунча

Механизмнинг ҳаракати II тур Лагранж тенгламаси билан ифодаланишини билар эдик:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} = Q_i \quad (16.20)$$

$\varphi_{10}, \varphi_{20}, \dots, \varphi_{k0}$ — бошланғич шартлар бўлсин. Механизм учун тузилган Лагранж тенгламасининг ечими қуйидаги тенгламалардан иборат:

$$\varphi_1 = \varphi_1(t), \quad \varphi_2 = \varphi_2(t), \quad \dots, \quad \varphi_k = \varphi_k(t) \quad (16.21)$$

Бу тенгламалар орқали топилган ҳаракат асосий ёки ташқи таъсирсиз ҳаракат деб аталади. Бошланғич шарт берилгандан сўнги тенгламалар ташқи таъсирли ҳаракат деб аталади.

Асосий ва таъсирли ҳаракатлардаги миқдорларнинг айирмаси уларнинг вариацияси деб аталади ва уни $\Delta\Phi$ орқали белгилаймиз:

$$\Delta\Phi_i = \Phi_{0i} - \Phi_{0i}$$

Тебраниш механизмларига таъсир этувчи кучларнинг асосий классификацияси билан танишиб чиқамиз. Тебраниш механизмларининг дифференциал тенгламаларини тузиш учун аввало Лагранж тенгламасининг барча ҳадларини билиш лозим. Агар механизмнинг қўзғалувчи нуқталарининг координаталари K та $X_1, Y_1, Z_1, \dots, X_k, Y_k, Z_k$ бўлса, уларга стационар голономли боғланишлар воситасида, умумлашган координаталарнинг қуйидаги функцияларини ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} X_i &= X_i(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k) \\ Y_i &= Y_i(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k) \\ Z_i &= Z_i(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k) \end{aligned} \quad (16. 22)$$

Механизм нуқтаси тезликларининг проекциялари қуйидагича топилади:

$$\begin{aligned} \dot{X}_i &= \frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^K \frac{\partial X_i}{\partial \varphi_j} \dot{\varphi}_j \\ \dot{Y}_i &= \frac{dY_i}{dt} = \sum_{j=1}^K \frac{\partial Y_i}{\partial \varphi_j} \dot{\varphi}_j \\ \dot{Z}_i &= \frac{dZ_i}{dt} = \sum_{j=1}^K \frac{\partial Z_i}{\partial \varphi_j} \dot{\varphi}_j \end{aligned} \quad (16. 23)$$

Тебраниш механизмнинг кинетик энергияси қуйидагича топилади:

$$T = \sum_{i=1}^K \frac{m_i}{2} (\dot{X}_i^2 + \dot{Y}_i^2 + \dot{Z}_i^2) \quad (16. 24)$$

(16. 23) ни (16. 24) га қўйиб қуйидагини оламиз:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K A_{ij} \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_j, \quad (16. 25)$$

бунда

$$A_{ij} = A_{ij}(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k) \quad (16. 26)$$

координаталарининг умумий функцияси. Бунда $A_{ij} = A_{ji}$ бўлиши назарий механика курсидан маълум.

Эркинлик даражаси иккита бўлган механизм учун кинетик энергия қуйидагича ёзилади:

$$T = \frac{1}{2} (A_{11} \dot{\varphi}_1^2 + 2A_{12} \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2 + A_{22} \dot{\varphi}_2^2)$$

Умумлашган куч Q_j қуйидаги кучлар йиғиндисидан иборат бўлади:

$$Q_j = Q_{\Pi_j} + Q_{\Phi_j} + Q_j, \quad (16.27)$$

бунда Q_{Π_j} — қайтариш вазифасини бажарувчи потенциал куч.

$$Q_{\Pi_j} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_j} \quad (16.28)$$

Q_j — вақтга боғлиқ бўлган, таъсир берувчи куч

$$Q_j = Q_j(t); \quad (16.29)$$

Q_{Φ_j} — қаршилик кучи ёки диссепатив куч.

Қаршилик кучи ёки диссепатив куч асосан қуруқ ишқаланиш кучи бўлиб, бу кучни Кулон қаршилиги деб ҳам атайдилар; суюқлик қаршилиги ёки чизикли қаршилик — бундай қаршилик кучи тезликнинг биринчи даражасига пропорционалдир; тезликнинг квадратига пропорционал бўлган қаршилик кучлари — бундай кучларни гирдобли (уюрма) кучлар деб ҳам аталади. Агар механизм ҳаракатида фақат тезликнинг биринчи даражасига пропорционал бўлган қаршилик учраса унинг ҳаракати чизикли дифференциал тенглама билан ифодаланади (агар масса ёки инерция моменти ўзгармас бўлса). Қолган икки хил қаршилик кучлари учраган механизмлар ҳаракати чизиксиз дифференциал тенглама билан ифодаланади.

Агар машина агрегати таркибида потенциалли, диссепатив ва таъсир берувчи кучлар бўлса, у ҳолда Лагранж тенгласи қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_j} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_j} = Q_j \quad (16.30)$$

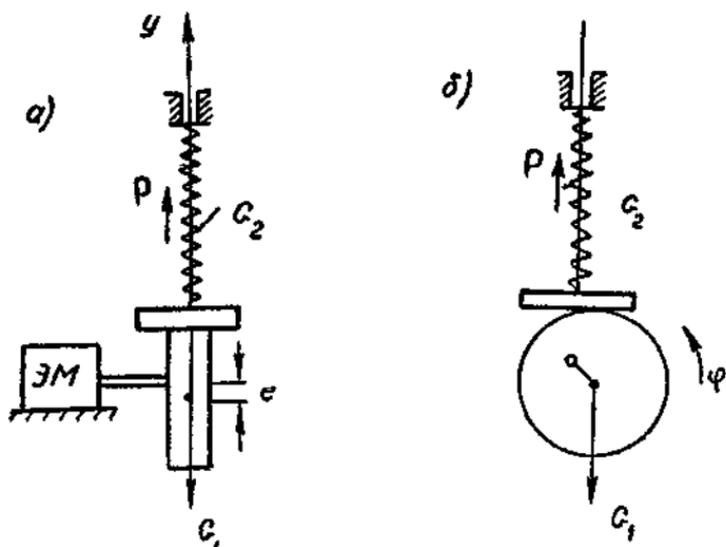
Бу ерда $\Phi = \sum_{i=1}^R \frac{c_i}{2} (\dot{X}_i^2 + \dot{Y}_i^2 + \dot{Z}_i^2)$ бўлиб, у Релейнинг диссепатив функцияси ёки йўқолиш (рассеяние) функцияси деб аталади; c_i — пропорционаллик коэффициентлари. Диссепатив куч эса

$$Q_{\Phi_j} = - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_j}$$

Релейнинг диссепатив функцияси худди кинематик энергия функциясига ўхшайди, чунки уларнинг структураси бирдир.

5-§. Мажбурий ва озод тебраниш тенгламаларининг баъзи бир ҳоллари

5.1-шаклдаги механизмнинг кулачоги моменти $M_k = M_0 - B\omega$ қонун билан ўзгарувчи ўзгармас оқимли электр мотордан ҳаракатланади. Кулачок билан толкателнинг оғирлигини тегишлича G_1 ва G_2 , кулачокнинг инерция моментини I_1 , эксцентритетини e , радиусини r , толкателнинг пастки ҳолатида пружина сиқилишини λ_0 орқали белгилаб, шу механизмнинг ҳаракат дифференциал тенгламасини тузамиз. Бунда кинематик жуфт элементларидаги ишқаланишни ҳисобга олмаймиз.



5.1-шакл.

Механизмнинг ҳаракати қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_A}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_A}{\partial \varphi} = Q$$

Агрегатнинг кинетик энергиясини толамиз:

$$E_A = E_1 + E_2 + E_M,$$

бунда $E_M = \frac{1}{2} I_p \cdot \dot{\varphi}^2$ — роторнинг кинетик энергияси;

$E_1 = \frac{1}{2} I_1 \cdot \dot{\varphi}^2$ — кулачокнинг кинетик энергияси;

$E_2 = \frac{1}{2} m_2 \dot{Y}_2^2$ — толкателнинг кинетик энергияси.

$$Y_1 = -e \cos \varphi_1 \quad I_2 = r - e \cos \varphi = \text{const},$$

$$\dot{Y}_2 = \frac{dy_2}{dt} = e \dot{\varphi} \sin \varphi$$

Буларнинг қийматларини ўрнига қўйиб агрегатнинг кинетик энергиясини топамиз:

$$E_A = \frac{1}{2} I_p \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} I_1 \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_2 e^2 \sin^2 \varphi \dot{\varphi}^2 = \frac{1}{2} (I_p + I_1 + m_2 e^2 \sin^2 \varphi) \cdot \dot{\varphi}^2$$

ёки

$$E_A = \frac{1}{2} I(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 \quad \dot{\varphi} = \frac{dl \cdot d\varphi}{dt \cdot d\varphi}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_A}{\partial \dot{\varphi}} \right) = I(\varphi) \cdot \ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} \quad \frac{\partial E_A}{\partial \varphi} = \frac{\dot{\varphi}^2}{2} \frac{\partial I(\varphi)}{\partial \varphi}$$

Энди умумлашган кучни топамиз. Механизмга электр мотори кучидан бошқа G_1 , G_2 ва пружинанинг эластик кучи P таъсир этади. Эластик куч қуйидагича топилади:

$$P = C[\lambda_0 + l(1 - \cos \varphi)]$$

Умумлашган координатани вариациялаб унга мос келадиган умумлашган куч Q ни топамиз:

$$\sum \delta A = M_0 \delta \varphi - G_1 \delta Y_1 - G_2 \delta Y_2 - P \delta Y_2 = Q \cdot \delta \varphi$$

$\delta Y_1 = e \sin \varphi \delta \varphi$, $\delta Y_2 = e \sin \varphi \cdot \delta \varphi$ ларни ҳисобга олсак:

$$Q = \frac{\sum \delta A}{\delta \varphi} = M_0 - [G_1 + G_2 + C[\lambda_0 + e(1 - \cos \varphi)]] e \cdot \sin \varphi$$

Топилганларни Лагранж тенгласига қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$I(\varphi) \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} = M_0 - b\dot{\varphi} - f(\varphi) = 0$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} \frac{\dot{\varphi}^2}{2I(\varphi)} + \frac{b\dot{\varphi}}{I(\varphi)} + \frac{f(\varphi) - M_0}{I(\varphi)} = 0$$

ёки

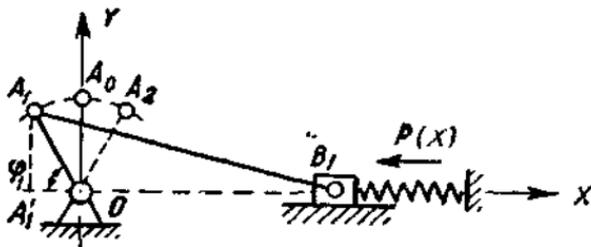
$$\ddot{\varphi} + Q(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 + \Psi(\varphi) \dot{\varphi} + \eta(\varphi) = 0 \quad (16.31)$$

Шундай қилиб, шаклдаги агрегатнинг ҳаракати ўзгарувчан коэффицентли иккинчи тартибли чизиксиз дифференциал тенгла-

ма билан ифодаланар экан. Агар келтирилган инерция моменти $I(\varphi) = \text{const} = I$ бўлса, у ҳолда тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\ddot{\varphi} + \psi_1(\varphi) \cdot \dot{\varphi} + \eta_1(\varphi) = 0 \quad (16.32)$$

5.2-шаклда кривошип-шатун механизми кўрсатилган. Шу механизм кривошипнинг A нуқтасига келтирилган массанинг OA_0 ҳолати атрофида, пружина таъсиридан тебраниш тенгламаси тувилсин ва уни электрон моделда ечилсин. Масалани ҳал этишда шатун массаси билан кинематик жуфт элементларидаги ишқала-



5.2-шакл.

ниш ҳисобга олинмасин. Кривошипнинг бошланғич оғиши $\pm \varphi$, яъни кривошипни OA_0 дан $\pm \varphi$ га оғдириб механизмга бошланғич таъсир кўрсатамиз.

Масалани ечиш учун қуйидагиларни белгилаб оламиз: φ —кривошипнинг оғиш бурчаги; OA_0B_0 —механизмнинг мувозанат ҳолати, $r = OA$ —кривошипнинг узунлиги; c —пружинанинг бикрлиги; $l = AB$ —шатуннинг узунлиги; m —ползуннинг массаси. ψ_0 , ψ —шатун ўқи билан йўналтирувчи орасидаги бурчаклар; $\varphi = 0$ бўлса, $\psi = \psi_0$ бўлади.

Механизм пружина таъсирида тебранма ҳаракат қилади ва унинг кинетик ва потенциал энергияси қуйидагича топилади:

$$E = \frac{1}{2} I_0 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m \dot{\xi}^2(\varphi)$$

$$P = \frac{1}{2} c \xi^2(\varphi),$$

бу ерда E —механизмнинг кинетик энергияси;

I_0 —кривошипнинг инерция моменти;

φ —кривошипнинг бурчак тезлиги;

$\xi(\varphi)$ —ползуннинг чизиқли тезлиги;

$$\xi_{(x)} = X_0 - X_{(x)} = r \sin \varphi + l (\cos \psi - \cos \psi_0)$$

ψ_0 , ψ ларни φ орқали белгилаб, қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\xi_{(z)} = r \sin \varphi + l(\sqrt{1 - \lambda^2 \cos^2 \varphi} - \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad (16.33)$$

(16.33) дан вақтга нисбатан ҳисоблаб олиб, ползуннинг тезлигини топамиз:

$$v_B = \dot{\xi}_{(z)} = r \dot{\varphi} \left(\cos \varphi + \frac{\lambda \sin 2\varphi}{2\sqrt{1 - \lambda^2 \cos^2 \varphi}} \right) \quad (16.34)$$

(16.33) ва (16.34) ларни кинетик ва потенциал энергия тенгламаларига қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \left[I_0 + m \cdot r^2 \left(\cos \varphi + \frac{\lambda \sin 2\varphi}{2\sqrt{1 - \lambda^2 \cos^2 \varphi}} \right)^2 \right] \cdot \dot{\varphi}^2 = \\ &= \frac{1}{2} I_{(\varphi)} \cdot \dot{\varphi}^2 \end{aligned} \quad (16.35)$$

$$P = \frac{1}{2} c \left[r \sin \varphi + l(\sqrt{1 - \lambda^2 \cos^2 \varphi} - \sqrt{1 - \lambda^2}) \right]^2 \quad (16.36)$$

Механизм тебраниши II тур Лагранж тенгламасига асосан топилади:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi} + \frac{\partial P}{\partial \varphi} = 0$$

Тенглама ҳадларини топиб ва уларни ўрнига қўйиб, ҳамда $\sin \varphi = \varphi$, $\cos \varphi \approx 1$ деб алмаштириб қуйидагини оламиз:

$$(A_0 + A_1 \varphi + A_2 \varphi^2) \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\dot{\varphi}^2}{2} (A_2 + 2A_3 \varphi) + (B_1 \varphi + B_2 \varphi^2) = 0,$$

бундан

$$A_0 = I_0, \quad A_1 = m r^2, \quad A_2 = \frac{2m\lambda \cdot r^2}{\sqrt{1 - \lambda^2}};$$

$$A_3 = \frac{m \cdot \lambda^2 \cdot r^2}{1 - \lambda^2}, \quad B_1 = c \cdot r^2, \quad B_2 = \frac{c \cdot \lambda \cdot r^2}{\sqrt{1 - \lambda^2}}$$

тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\ddot{\varphi} + f(\varphi) \dot{\varphi}^2 + q(\varphi) = 0 \quad (16.37)$$

6-§. Озод тебраниш дифференциал тенгламаси

Пахта териш машиналарининг териш аппарати, одатда, махсус ричакка ўрнатилади ва 6.1-шаклдаги сингари осиб қўйилади. Пахта териш аппаратининг оғирлиги $G = 1 \div 1,5$ тонна бўлганлигидан, бу оғирликнинг тебранишига кўрсатадиган динамик эффектн ҳам маълум тарзда бўлади. Биз қуйида механизмда қаршилиги тезликка пропорционал куч бор деб масалани ҳал қилишга киришамиз. Бунда эластик звенолар ҳам иштирок этади.

6.1-шаклдаги механизмнинг ҳолатини фақат φ бурчаги орқали билиш мумкин деб қараб, уни шу система учун умумлашган координата деб ҳисобланса бўлади. Механизм кичик тебраниш ҳолатида деб фикр юритиб унинг дифференциал тенгламасини тузишга киришамиз. Бунинг учун механизмнинг (тегиш аппаратининг) кинетик энергиясини топамиз:

$$E_G = \frac{G}{2g} v_A^2 = \frac{G}{2g} (a \cdot \dot{\varphi})^2$$

Ричагнинг кинетик энергияси:

$$E_p = \frac{1}{2} I_0 \dot{\varphi}^2, \quad (16.25)$$

бу ерда G — аппаратнинг оғирлиги;

v_A — A нуқтанинг тезлиги;

I_0 — ричагнинг инерция моменти.

Энди механизм таркибидаги эластик звеноларнинг потенциал энергияларини топамиз:

$$П = \frac{1}{2} c_1 (a \cdot \varphi)^2 + \frac{1}{2} c_2 (\varphi \cdot d)^2,$$

бу ерда φ — ричагнинг мувозанат ҳолатидан бошлаб ҳисобланади.

c_1, c_2 — тегишли пружиналарнинг бикрлиги;

a, d — тегишли узунлик ўлчовлари.

Икки елкали $LOAB$ ричагнинг кичик тебранишидаги дифференциал тенгламасини тузиш учун аввало иккинчи тур Лагранж тенгламасидан фойдаланамиз:

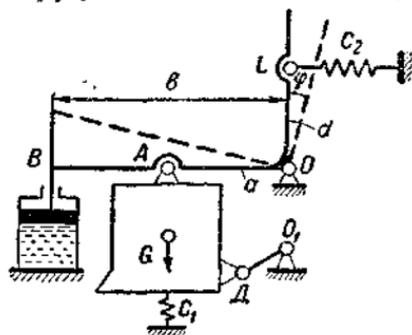
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E}{\partial \varphi} = Q,$$

бу ерда Q — умумлашган куч бўлиб, унинг қийматини қуйидагича топамиз (ишқаланиш кучи тезликнинг биринчи даражасига пропорционал бўлсин):

$$Q = - \frac{\partial П}{\partial \varphi} - k \cdot v = - (c_1 \cdot a^2 + c_2 \cdot d^2) \cdot \varphi - k \cdot b \cdot \dot{\varphi}$$

$$\frac{\partial E}{\partial \varphi} = \frac{G \cdot a^2 + I_0 g}{g} \cdot \varphi = (ma^2 + I_0) \cdot \varphi$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\varphi}} \right) = (ma^2 + I_0) \ddot{\varphi} \quad \frac{\partial E}{\partial \varphi} = 0$$



6.1- шакл.

Бу қийматларни Лагранж тенгламасига қўйиб қуйидаги тенгликни оламиз:

$$\ddot{\varphi} + \frac{k \cdot b}{m \cdot a^2 + I_0} \cdot \dot{\varphi} + \frac{c_1 \cdot a^2 + c_2 d^2}{m a^2 + I_0} \cdot \varphi = 0$$

Бу тенгламани қуйидаги каноник кўринишга келтирамиз:

$$\ddot{\varphi} + \frac{k \cdot b}{m \cdot a^2 + I_0} \cdot \dot{\varphi} + \frac{c_1 \cdot a^2 + c_2 d^2}{m a^2 + I_0} \cdot \varphi = 0$$

ёки

$$\frac{k \cdot b}{m a^2 + I_0} = 2\alpha, \quad \frac{c_1 a^2 + c_2 d^2}{m a^2 + I_0} = \beta^2 \quad \text{деб белгиласак}$$

$$\ddot{\varphi} + 2\alpha \cdot \dot{\varphi} + \beta^2 \cdot \varphi = 0, \quad (16.38)$$

бу ерда α тебранишнинг сўниши (K) га пропорционалдир ва у система тебранишининг сўниши декременти деб аталади.

$t = 0$, $\varphi = \varphi_0$ бўлганда тенгламанинг интегрални қуйидагича бўлади:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos \sqrt{\beta^2 - \alpha^2} \cdot t \quad (16.39)$$

Бу тенглама сўнувчи тебранишнинг аналитик ифодасидир. Сўниш декременти (α) эгувчи чизиқнинг эгрилик радиусини белгилувчи фактор бўлиб, у тебраниш амплитудасининг вақт бирлиги ичидаги қийматини ифодалайди.

Қаршилиқ қанча кўп бўлса, декремент ҳам шунча катта бўлади ва тебранишнинг сўниши тезлашади.

Декрементнинг миқдори қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\alpha = \frac{k}{2(m a^2 + I_0)}$$

7-§. Осиш механизмининг дифференциал тенгламаси ва қаршилиқ турлари

Энди сўнувчи озод тебранишларни қисқача изоҳлаб ўтамиз. Умуман олганда табиатда идеал тебранишлар учрамайди, чунки ҳаракатланувчи объектга таъсир этувчи ноэластик қаршилиқлар ҳамма вақт мавжуддир. Бу қаршилиқларни енгиш учун энергия сарфланади ва бу энергия қайтмас энергия формасида бўлади.

Биз бу қаршилиқларнинг хили, уларнинг қай тарзда бўлиши билан танишиб ўтамиз. Улар қуйидагича бўлади:

1. Ҳаракат тезлигига пропорционал бўлган қаршилиқлар. Бундай қаршилиқлар гидравлик амортизаторларда учрайди. Унинг математик ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$F = k \cdot v$$

2. Ҳаракат тезлиги квадратига пропорционал қаршиликлар. Бундай қаршиликлар *гидродинамик* қаршиликлар деб аталади. Унинг математик ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$F = k \cdot v^2$$

3. Қуруқ ишқаланиш жараёнида мавжуд бўладиган қаршиликлар. Бу қаршиликлар миқдор жиҳатидан тахминан ўзгармас бўлиб, йўналиши эса доимо нисбий ҳаракатга қарама-қарши бўлади. Унинг математик ифодаси қуйидагича бўлади:

$$F = \pm k$$

4. Звеноларда бўладиган ички ноэластик қаршиликлар. Бундай қаршиликлар гистерезис ҳалқаси деб аталувчи юза орқали аниқланади.

Биз қуйида осииш механизмининг кичик озод сўнувчи ва мажбурий тебраниш тенгламалари билан танишиб чиқамиз.

Баъзан тебраниш ҳолатида бўлган системанинг хоссаси унинг декременти орқали эмас, балки системанинг пухталиги (добротность) орқали белгиланади ва у қуйидагича ифодланади:

$$\Delta = \frac{\beta \cdot (m\alpha^2 + I_0)}{k} = \frac{\beta}{2\alpha} \quad (16.40)$$

Система пухталигининг физик маъноси тебраниш ҳолатида бўлган системанинг бирор вақт ичида тўплаган тўла энергиясининг шу вақт ичида системадаги зарарли ва фойдали қаршиликларни енгиш учун сарф бўлган энергияга нисбатини билдиради. Агар тебранма системада йўқотиш бўлмаса, унинг пухталиги чексиз катта бўлади. Бу эса идеал ҳолатдир.

Йўқотишли тебраниш сўниб борувчи системасининг такрори қуйидагича топилади:

$$\chi = \sqrt{\chi_0^2 - \left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^2} \quad (16.41)$$

Формуладан кўриниб турибдики, тебраниш системасидаги йўқотиш тебранишининг сўнишигагина олиб келмай, балки унинг такрорини ҳам камайтирар экан. Агар декремент кичик бўлса, у ҳолда $\chi = \chi_0$ деб қабул қилса ҳам бўлади.

8-§. Машина агрегатининг ҳаракат дифференциал тенгламасини баъзи ҳоллар учун интеграллаш

Машина агрегати ҳаракат тенгламасининг икки турда берилишини юқорида кўриб ўтган эдик. Эндиги масала шу тенгламаларни, яъни жонли куч ёки Лагранж тенгламаси кўринишидаги

машина ҳаракатининг тенгламаларини интеграллаш устида боради. Ҳар иккала кўринишдаги тенгламани интеграллаш гоят мураккабдир.

Бундай масаланинг икки хил кўриниши бор. Биринчи кўриниши машинанинг меъёрсиз ҳаракат [ўткинчи (меъёрсиз) қўзғалиш — неустановившееся движение] даври, иккинчиси эса унинг барқарор ҳаракат даври (установившееся движение) учундир. Нобарқарор ҳаракат даври учун бошланғич шартни механизмнинг маълум ўлик ҳолати (ноль ҳолати) дан олиш мумкин бўлади. Аммо келтирилган ҳаракатлантирувчи ва қаршилиқ кучларининг моментлари $M_g = M_g(\omega)$ ёки $M_g = M_g(t)$, $M_c = M_c(\omega)$ ёхуд $M_c = M_c(t)$ ва келтирилган инерция моменти $I_k = I_k(\varphi)$ кўринишда берилган бўлса, масалани ҳозирги замон математик аппаратлари ёрдамида аниқ ечиб бўлмайди. Шунинг учун бундай масалалар тақрибий йўллар билан ечилади. Машина агрегатининг меъёрли ҳаракати учун масалани ечиш ўткинчи ҳаракатдагига nisbatan мураккаблашади, чунки бошланғич шартни, ўткинчи давр учун ҳаракат қонунини топмасдан туриб аниқлаб бўлмайди.

Масалани қуйидаги ҳоллар учун кўриб чиқамиз.

1. Келтириш звеносининг инерция моменти ўзгарувчан бўлиб, унинг ўзгариш қонуни ҳамда шу келтириш звеносига таъсир этувчи ҳаракатлантирувчи куч билан қаршилиқ кучларининг келтирилган моментларининг ўзгариш қонунлари механизмнинг умумлашган координатасига боғлиқ деб фараз қилайлик. У ҳолда кинетик энергиянинг ўзгариш қонуни қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} I(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 - \frac{1}{2} I(\varphi_0) \cdot \dot{\varphi}_0^2 &= \int_{\varphi_0}^{\varphi} [M_g(\varphi) - M_c(\varphi)] d\varphi = \\ &= \int_{\varphi_0}^{\varphi} M(\varphi) d\varphi = A_0(\varphi), \end{aligned} \quad (16.42)$$

бу ерда $I(\varphi_0)$, $\dot{\varphi}_0$ — φ нинг ҳисоб боши φ_0 га тўғри келадиган бурчак тезлиги билан механизмнинг келтирилган инерция моменти;

$A_0(\varphi)$ — моментларнинг бажарган иши.

(16.42) тенгламадан:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi} = \sqrt{\frac{2A_0(\varphi)}{I(\varphi)} - \frac{I(\varphi_0) \cdot \dot{\varphi}_0^2}{I(\varphi)}} \quad (16.43)$$

ёки

$$t = t(\varphi) = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{\frac{2A_0(\varphi)}{I(\varphi)} - \frac{I(\varphi_0) \cdot \dot{\varphi}_0^2}{I(\varphi)}}} \quad (16.44)$$

(16.44) тенгламадан кўринишича, келтириш звеносининг ҳаракат вақти фақат ортиқча иш $A_0(\varphi)$ га боғлиқ бўлмай, балки $I(\varphi)$, $I(\varphi_0)$ ва $\dot{\varphi}_0$ ларга ҳам боғлиқ бўлар экан. Машина агрегатининг барқарор (меъёрли) ҳаракат даврида бурчак тезлигини аниқ топиб бўлмайди. Бундай ҳолда келтириш звеносининг ўртача тезлигига нисбатан солиштириб кўрилади. Бундай ўртача бурчак тезлиги берилган бўлиб, у шу звенонинг минутдаги айланиш сонидан топилади. Масалани ечишнинг тақрибий усулида $\varphi = \omega_0 t = \omega_{ур} t$ деб қабул қилинади ва (16.38) дан фойдаланиб $\varphi = \varphi(t)$ ҳамда $t = t(\varphi)$ ларни топилади ва бу икки тенгламадан умумий параметр φ ни чиқариб ташлаб $\varphi = \varphi(t)$ ни топамиз. Бу тенгликдан вақтга нисбатан бир марта ҳосила олиб келтириш (бошланғич) звеносининг бурчак тезланишини топамиз:

$$\varepsilon = \frac{d\dot{\varphi}(t)}{dt} = \ddot{\varphi}(t) \quad (16.45)$$

Келтирилган инерция моменти ўзгарувчан бўлган механизм ҳаракатини ўрганиш мураккаб транцендент тенгламага олиб келганлигидан, уни аналитик ечиш қийинлашади. Шунинг учун бундай транцендент тенглама график йўл билан ечилади.

Механизмнинг нобарқарор ҳаракат даври учун масалани ҳал этишда $\varphi = 0$ бўлади. У ҳолда (16.37), (16.38) тенгламаларнинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$\ddot{\varphi} = \sqrt{\frac{2A_0(\varphi)}{I(\varphi)}} \quad (16.46)$$

$$t = \int dt = \int \frac{d\varphi}{\ddot{\varphi}} = \int \frac{d\varphi}{\sqrt{\frac{2A_0(\varphi)}{I(\varphi)}}} \quad (16.47)$$

(16.46), (16.47) тенгламалар орқали келтириш звеносининг нобарқарор ҳаракат давридаги ҳаракат қонунини топиш ишончли бўлмайди, чунки $Mg(\varphi)$ нинг ўзгариши агрегатни юргизиш вақтидаги тасодифий сабабларга боғлиқ бўлиб, бу йўл билан олинган натижа ҳақиқий ҳаракатдан фарқ қилиши мумкин.

Агар келтириш звеносининг ўртача бурчак тезлигининг даврий бурчак тезлигидан фарқи кам бўлса, у ҳолда агрегатнинг барқа-

роҳ ҳаракатидаги бурчак тезлигини ўзгармас деб қараш мумкин, яъни $\varphi = \omega \cdot t$. Бундай ҳолда келтириш звеносининг инерция моменти ҳақиқийсидан бир оз фарқ қилади. Бу фарқни сифат нуқтаи назаридан баҳолаш учун қуйидагича мулоҳаза юритамиз.

Етакчи звенонинг бурчак тезлиги $\omega = \omega(t)$ эгри чизиқли қонун билан ўзгараётир деб фараз этайлик. Шу звенонинг айланиш бурчагини топиш учун $\omega = \omega(t)$ ни интеграллаймиз:

$$\varphi_1 = \varphi_1(t) = \int_0^T \omega(t) dt \quad (16.48)$$

Агар етакчи звено ўзгармас бурчак тезлик билан айланса, у ҳолда $\omega = \text{const}$ $\omega - t$ координата системасида t абсциссага параллел чизиқни ифодалайди. Механизм айланиш даври ичида етакчи звенонинг айланиш бурчаги қуйидагича топилади:

$$\varphi_2 = \varphi_2(t) = \int_0^T \omega dt = \omega \cdot T = \omega_{\text{ср}} \cdot T \quad (16.49)$$

Энди механизмнинг келтирилган инерция моменти $I = I(\varphi)$ нинг графигини тузамиз. $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ ва $\varphi_2 = \varphi_2(t)$ графикларидан t га мос келувчи $\varphi_1(t_1)$ ва $\varphi_2(t_1)$ ларни топиб, сўнгра $I = I(\varphi)$ графигидаги абсциссага $\varphi_1(t_1)$ ва $\varphi_2(t_1)$ ларни қўйиб $I(\varphi_1)$ ҳамда $I(\varphi_2)$ ординаталарни фарқи етакчи звенонинг ўзгармас бурчак тезлиги билан айланишидаги келтирилган инерция моментига нисбатан бўлиб, у мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Агар $\omega = \text{const}$ бўлса, у ҳолда $I = I(\varphi)$ графиги билан $I(t)$ графиги бир-бирига мос келади.

Энди машина агрегати ҳаракат дифференциал тенгламасининг Лагранж кўринишини қуйидагича ёзамиз:

$$I(\varphi) = \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dI(\varphi)}{dt} = M(t), \quad (16.50)$$

бунда

$$\frac{dI(\varphi)}{dt} = \omega \cdot \frac{dI(\varphi)}{d\varphi}$$

(16.50) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{dI(\varphi)}{2I(\varphi)dt} \cdot \omega - \frac{M(t)}{I(\varphi)} = 0$$

ёки

$$\frac{d\omega}{dt} + F_1(t)\omega - F_2(t) = 0, \quad (16.51)$$

бунда

$$F_1(t) = \frac{dI(\varphi)}{2I(\varphi) dt}; \quad F_2(t) = \frac{M(t)}{I(\varphi)}$$

Агар $\omega = \text{const}$ бўлса, $\varphi = \omega t$ бўлади, $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$ бўлган ҳолда $F_1(t)$ ва $F_2(t)$ лар қуйидагича топилади:

$$F_1(t) = \frac{\omega}{2I(\varphi)} \cdot \frac{dI(\varphi)}{d\varphi}; \quad F_2(t) = \frac{M(t)}{I(\varphi)}$$

(16.51) дифференциал тенгламани кетма-кет ажралувчиларга (квадратурага) келтириб ечиш (интеграллаш) мумкин. Бунинг учун $\omega = x_1 \cdot x_2$ деб қабул қиламиз. $x_1 = x_1(t)$, $x_2 = x_2(t)$ вақтга боғлиқ функциялардан иборат бўлади; ω дан вақтга nisbatan ҳосила оламиз:

$$\frac{d\omega}{dt} = x_1 \frac{dx_2}{dt} + x_2 \frac{dx_1}{dt}$$

Буни (16.50) га қўйиб, қуйидаги кўранишга келтираемиз:

$$x_1 \frac{dx_2}{dt} + x_2 \frac{dx_1}{dt} - F_1(t) \cdot x_1 \cdot x_2 - F_2(t) = 0 \quad (16.52)$$

x_1 ва x_2 лардан бирини ихтиёрини танлаш мумкинлигидан фойдаланамиз:

$$x_1 \frac{dx_2}{dt} + F_1(t) x_1 \cdot x_2 = 0$$

ёки

$$\frac{dx_2}{dt} + x_2 F_1(t) = 0 \quad (16.53)$$

(16.53) ни ечамиз:

$$\int \frac{dx_2}{x_2} = \ln x_2 = - \int F_1(t) dt \quad (16.54)$$

$F_1(t) = \frac{1}{2I(\varphi)} \cdot \frac{dI(\varphi)}{dt}$ ни (16.54) га қўйиб:

$$\ln x_2 = - \frac{1}{2} \int \frac{dI(\varphi)}{I(\varphi)} = \ln [I(\varphi)]^{-\frac{1}{2}}$$

ёки

$$x_2 = [I(\varphi)]^{-\frac{1}{2}}$$

(16.52) тенгламадан

$$x_2 \frac{dx_1}{dt} - F_2(t) = 0,$$

бундан

$$x_1 = \int \frac{1}{x_2} \cdot F_2(t) dt = \int [I(\varphi)]^{-\frac{1}{2}} \cdot F_2(t) dt$$

x_1 , x_2 ларни топиб, уларнинг қийматларини ўрнига қўйсак, ω ни топамиз:

$$\omega = x_1 \cdot x_2 = \frac{\int \sqrt{I(\varphi)} \cdot F_2(t) dt}{\sqrt{I(\varphi)}} = \frac{\int [I(\varphi)]^{-\frac{1}{2}} M(t) dt}{\sqrt{I(\varphi)}} \quad (16.55)$$

$t = 0$ бўлганда $\omega = \omega_0$ бўлади.

(16.55) даги $M(t)$ аналитик ёки график берилса, масалани ҳал этиш мумкин. Агар $M(t) \cdot [I(\varphi)]^{-\frac{1}{2}}$ нинг графикини қура билсак, у ҳолда бу ифодани график интеграллаб ω ни топилади. Бу топилгандан $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ ни аниқлаш имконияти туғилади. Бошланғич бурчак тезлиги ω_0 эса ўртача бурчак тезлигига асосланиб топилади: $\omega_{\text{ўр}}$ эса қуйдагича топилади:

$$\omega_{\text{ўр}} = \frac{\int_0^T \varphi dt}{T} = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$\omega_0 = \omega_{\text{ўр}} - \frac{\int_0^T \Delta\omega dt}{T} = \omega_{\text{ўр}} - \Delta\omega_{\text{ўр}}$$

9-§. Механизм ҳаракатининг фазовий текисликда талқин этилиши ҳақида тушунча

Механизм ҳолатини аниқлашда унинг умумлашган координати ва тезлигидан тузилган координата системасидан фойдаланилади. Агар механизмнинг эркинлик даражаси бирга тенг бўлса, у ҳолда фазовий координаталар иккига тенг бўлади (φ , $\dot{\varphi}$). Булардан бири (φ) ордината ўқи бўлиб, иккинчиси ($\dot{\varphi}$) абсцисса ўқи бўлади:

$$x = \varphi, \quad y = \dot{\varphi}$$

Шу координаталар орқали топиладиган нуқта *тасвирловчи нуқта* деб аталади. Механизм ҳаракати вақтида тасвирловчи нуқта OXY (ёки $OY'Y'$) текислигида ҳаракатланади. $OY'Y'$ текислиги *фазовий текислик* деб аталиб, шу текисликда тасвирловчи нуқтанинг чизган эгри чизиқ *фазовий траектория* деб аталади.

Турли бошланғич шартлар учун тузилган фазовий траекториялар йнғиндисини *механизмнинг фазовий диаграммаси* деб аталади.

Энди фазовий траекториялар тенгламасини умумий ҳолда топамиз. Механизм ҳаракатининг чизиқли ёки чизиксиз дифференциал тенгламаларининг фазовий диаграмма орқали анализ қилинган маъқулдир, чунки кўпчилик механизм автоном система бўлганлигидан, уларнинг ҳаракат тенгламалари умумий ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\ddot{\varphi} = \Phi(\varphi, \dot{\varphi}) \quad (16.56)$$

$x = \varphi$, $y = \dot{\varphi}$ ларни ўрнига қўйиб, (16.56) ни қуйидаги иккита биринчи тартибли тенгламалар билан алмаштирамиз:

$$\frac{dy}{dt} = \Phi(x, y); \quad \frac{dx}{dt} = y$$

Умумий кўринишда бу тенгламаларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y); \quad \frac{dy}{dt} = \Psi(x, y) \quad (16.57)$$

(16.57) ни бир-бирига бўлиб қуйидагини оламиз:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\Psi(x, y)}{f(x, y)} \quad (16.58)$$

(16.58) тенгламанинг интеграл эгри чизиги бир ёки бир неча фазовий траекториядан иборатдир, шунинг учун у *фазовий траекторияларнинг дифференциал тенгламаси* деб аталади.

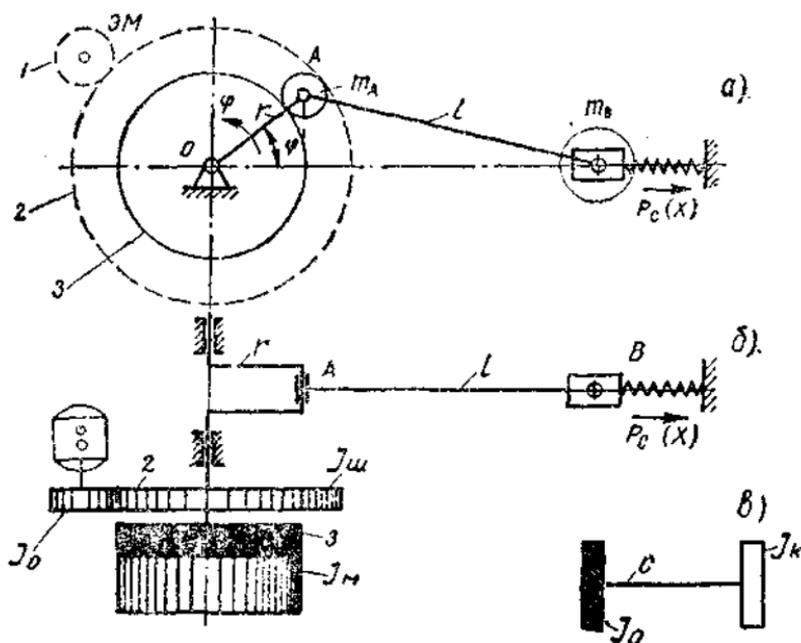
10-§. Машина агрегатининг бир чизиксиз масаласи ҳақида

Электромотор билан ҳаракатга келувчи, кривошип механизмнинг ползунига чизиқли қаршилик қўйилган машина агрегати вали ҳаракатининг дифференциал тенгламаси билан таъиниб чиқамиз.

Бу шаклдаги машина агрегатининг ҳаракати вақтида тирсакли валнинг тебраниш дифференциал тенгламасини тузиш лозим. Шаклда икки проекцияда агрегат схемаси кўрсатилган (10.1-шакл, а, б). Агрегатнинг иккита тарқалган массали эквивалент системаси (10.1-шакл, в) билан таништирамиз.

Масалани ҳал этишда шундай мулоҳаза юритамиз. Тирсакли валнинг мотордан олган ўзгармас бурчак тезлиги ω га валнинг бурилишидан ҳосил бўлган a амплитудали ва такрори k бўлган $\psi = a \cdot \sin k \cdot t$ гармоник қонунли тебранма ҳаракат қўшилади. Бунда ψ — валнинг тебраниш ҳисобига φ га қўшилган бурчак. Валнинг асосий айланиш бурчаги φ бўлиб, у қуйидаги чизиқли қонун билан ўзгаради:

$$\varphi = \omega t$$



10.1-шакл.

Масалани ҳал этишда шатуи массасини A ва B нуқталарга статик жойлаштирамиз. Тебраниш валнинг кривошип-маховик қисмида содир бўлади деб қараймиз. Агрегатнинг кинетик энергияси қуйидагича бўлади:

$$T = \frac{1}{2} I_o \omega^2 + \frac{1}{2} I_{ш} (\omega + \dot{\psi}_{ш})^2 + \frac{1}{2} I_M (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \frac{1}{2} I_K (\omega + \dot{\psi}_K)^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2,$$

бунда I_o — роторнинг инерция моменти;

$I_{ш}$ — тишли вилдиракнинг инерция моменти;

I_M — маховикнинг инерция моменти;

I_K — кривошипнинг инерция моменти;

m — ползун массаси;

$\dot{\psi}_{ш}$ = $\dot{\psi}_M$, $\dot{\psi}_K$ — кривошип ва маховикларнинг бир текис айланishiдан оғиш бурчаклари;

$\dot{\psi}_M$, $\dot{\psi}_K$ — маховик ва кривошипларнинг ўзгармас бурчак тезликлари ω дан оғиши.

Ползуниинг ҳаракат қонунини тахминан қуйидагича қабул қиламиз:

$$x = r(1 - \cos \varphi)$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = r \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} = r (\omega + \dot{\psi}_K) \sin \varphi$$

Мотор билан вал ўртасидаги узатиш сони

$$i = \frac{\omega_\partial}{\omega + \dot{\psi}_M}; \quad \omega_\partial = (\omega + \dot{\psi}_M) i$$

Бўлади. Бунини кинетик энергия формуласига қўямиз:

$$T = \frac{1}{2} I_\partial \cdot i^2 (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \frac{1}{2} (I_{Ш} + I_M) (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \\ + \frac{1}{2} \left[I_K + \frac{mr^2}{1} \sin^2 \varphi \right] (\omega + \dot{\psi}_K)^2$$

ёки

$$T = \frac{1}{2} (I_\partial \cdot i^2 + I_{Ш} + I_M) (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \frac{1}{2} I_K (\varphi) (\omega + \dot{\psi}_K)^2$$

ёки

$$T = \frac{1}{2} I_\partial (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \frac{1}{2} I_K (\varphi) \cdot (\omega + \dot{\psi}_K)^2 \quad (16.59)$$

Вал бурилишидан ҳосил бўлган потенциал энергия қуйидагича бўлади:

$$P(\varphi) = \frac{1}{2} C (\varphi_M - \varphi_K)^2 = \frac{1}{2} C (\psi_M - \psi_K)^2 \quad (16.60)$$

Механизм ҳаракат тенгламасининг Лагранж кўринишини ёзамиз:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_K} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_K} = - \frac{\partial P(\varphi)}{\partial \psi_K} \quad (16.61)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_M} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_M} = - \frac{\partial P(\varphi)}{\partial \psi_M}$$

Лагранж тенгламаларидаги барча ҳосилларни топамиз:

$$\frac{\partial T}{\partial \psi_K} = I_K (\varphi) (\omega + \dot{\psi}_K); \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_K} \right) = I_K (\varphi) \cdot \dot{\psi}_K;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \psi_K} = \frac{\partial T}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \psi_K} = \frac{1}{2} mr^2 \cdot \sin 2\varphi (\omega + \dot{\psi}_K)^2; \quad \frac{\partial P}{\partial \psi_K} = -C (\psi_M - \psi_K)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \psi_M} = I_\partial (\omega + \dot{\psi}_M);$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_M} \right) = I_\partial \cdot \dot{\psi}_M; \quad \frac{\partial T}{\partial \psi_M} = \frac{\partial T}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \psi_M} = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \cdot \sin 2\varphi (\omega + \dot{\psi}_K)^2;$$

$$\frac{\partial P(\varphi)}{\partial \psi_M} = C (\psi_M - \psi_K)$$

Бу ҳосилаларни Лагранж тенгламасига қўйиб қуйидаги тенг-
маларни оламиз:

$$\left. \begin{aligned} I_K(\varphi) \cdot \ddot{\psi} - \frac{mr^2}{2} \sin 2\alpha (\omega + \dot{\psi}_K)^2 - C(\psi_M - \psi_K) &= 0 \\ I_0 \cdot \ddot{\psi}_M - \frac{mr^2}{2} \sin 2\varphi \cdot (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + C \cdot (\psi_M - \psi_K) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

ёки

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\psi}_K - \frac{mr^2}{2I_K(\varphi)} \cdot \sin 2\varphi \cdot (\omega + \dot{\psi}_K)^2 - \frac{C}{I_K(\varphi)} \cdot (\psi_M - \psi_K) &= 0 \\ \ddot{\psi}_M - \frac{mr^2}{2I_0} \cdot \sin 2\varphi \cdot (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \frac{C}{I_0} (\psi_M - \psi_K) &= 0 \\ \ddot{\psi}_K - f_1(\varphi)(\omega + \dot{\psi}_K)^2 - f_2(\varphi)(\psi_M - \psi_K) &= 0 \\ \ddot{\psi}_M - f_3(\varphi) \cdot (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + \eta (\psi_M - \psi_K) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$\psi = \psi_M - \psi_K$, $\ddot{\psi} = \ddot{\psi}_M - \ddot{\psi}_K$ эканлигини эътиборга олган ҳолда тенгламанинг иккинчисидан биринчисини айириб, қуйидаги иккинчи тартибли тенгламага эга бўламиз:

$$\ddot{\psi} - \left[\frac{mr^2}{2I_0} (\omega + \dot{\psi}_M)^2 - \frac{mr^2}{2I_K(\varphi)} (\omega + \dot{\psi}_K)^2 \right] \cdot \sin 2\varphi + c \left[\frac{1}{I_0} + \frac{1}{I_K(\varphi)} \right] \cdot \psi = 0 \quad (16.62)$$

Агар ω кичик бўлиб, $\dot{\psi}_K$, $\dot{\psi}_M$ лар жуда ҳам кичик бўлсалар, у ҳолда бу тенгламалардан қуйидагича фойдаланиш мумкин:

$$\ddot{\psi} + c \cdot \left[\frac{1}{I_0} + \frac{1}{I_K(\varphi)} \right] \cdot \psi = 0$$

ёки

$$\ddot{\psi} + cf(\varphi) \cdot \psi = 0 \quad (16.63)$$

Бу машина агрегати ваги ҳаракатининг буралиш дифференциал тенгламасидир.

(16.62) тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\ddot{\psi} - \frac{mr^2}{2I_0} \left\{ \omega^2 + 2\omega\dot{\psi}_M + \dot{\psi}_M^2 - \frac{I_0}{I_K(\varphi)} \cdot (\omega^2 + 2\omega\dot{\psi}_K + \dot{\psi}_K^2) \right\} \cdot \sin 2\varphi + \frac{C}{I_0} \left[1 + \frac{I_0}{I_K(\varphi)} \right] \cdot \psi = 0$$

$\frac{mr^2}{2I_0} = A$; $\frac{I_0}{I_K(\varphi)} = \mu \cdot (\varphi)$; $\frac{C}{I_0} = \eta$ орқали белгилаб ва баъзи ўзгаришларни

$$\ddot{\psi} - A \cdot \sin 2\varphi \left\{ \omega^2 [1 - \mu(\varphi)] + 2\omega[\dot{\psi}_M - \mu(\varphi) \cdot \dot{\psi}_K] + \dot{\psi}_M^2 - \mu(\varphi) \cdot \dot{\psi}_K^2 \right\} + \eta [1 - \mu(\varphi)] \cdot \psi = 0$$

қуйидагича белгилаб: $\mu(\varphi) = \text{const} = 1$ бўлса, $\dot{\psi}_M - \dot{\psi}_K = \dot{\psi}$;

$$\dot{\psi}_M^2 - \dot{\psi}_K^2 = (\dot{\psi}_M + \dot{\psi}_K)(\dot{\psi}_M - \dot{\psi}_K) = (\dot{\psi}_M + \dot{\psi}_K) \cdot \dot{\psi},$$

тенгламага қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$\ddot{\psi} - A \sin 2\varphi [2\omega\dot{\psi} + (\dot{\psi}_M + \dot{\psi}_K)\dot{\psi}] + 2\eta \cdot \psi = 0 \quad (16.64)$$

Агар $(\dot{\psi}_M + \dot{\psi}_K) = \alpha \cdot \dot{\psi}$ бўлса, у ҳолда тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\ddot{\psi} - 2A\omega \cdot \sin 2\varphi - A \cdot \alpha \cdot \sin 2\varphi \cdot \dot{\psi}^2 + 2\eta \cdot \psi = 0$$

ёки

$$\ddot{\psi} - f_1(\varphi) \cdot \dot{\psi} - f_2(\varphi) \cdot \dot{\psi}^2 + 2\eta \cdot \psi = 0 \quad (16.65)$$

бунда

$$f_1(\varphi) = 2A\omega \cdot \sin 2\varphi$$

$$f_2(\varphi) = A \cdot \alpha \cdot \sin 2\varphi$$

Энди электр двигатели билан фойдали қаршилиқни ҳисобга олган ҳолда, Лагранж тенгламасини қуйидагича ёзамиз:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \dot{\psi}_K} \right) - \frac{\partial \Gamma}{\partial \psi_K} + \frac{\partial \Pi(\varphi)}{\partial \psi_K} = M'_\partial - M'_c$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \dot{\psi}_M} \right) - \frac{\partial \Gamma}{\partial \psi_M} + \frac{\partial \Pi(\varphi)}{\partial \psi_M} = 0 \quad (16.66)$$

Бунда M'_∂ ва M'_c — валга келтирилган ҳаракатлантирувчи ва қаршилиқ кучларининг моментлари. Улар қуйидагича топилди:

$$M'_\partial = M_\partial \cdot \frac{i}{1 + i_M}, \quad i_M = \frac{\psi_M}{\omega}, \quad M_\partial = M_0 - b \cdot \omega_\partial; \quad \frac{\omega_\partial}{\omega} = i$$

$$M'_c = cr^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)$$

Буларни Лагранж тенгламасига қўйиб, қуйидагиларни оламиз:

$$\left. \begin{aligned} I_K(\varphi)\ddot{\psi}_K - \frac{mr^2}{2} \sin 2\varphi (\omega + \dot{\psi}_K)^2 - c(\psi_M - \psi_K) &= \\ = M_0 - bi\omega - cr^2 \left(\sin \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) & \\ I_0\ddot{\psi}_M - \frac{mr^2}{2} \sin 2\varphi (\omega + \dot{\psi}_M)^2 + c(\psi_M - \psi_K) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16.67)$$

XVII б о б.

МАШИНА ЗВЕНОЛАРИНИНГ ҲАРАКАТ ҚОНУНИНИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛ УСУЛДА УРГАНИШ1- §. Механик миқдорларни электр билан ўлчаш
ҳақида тушунча

Машина ва механизмлардаги айрим звенолар нуқталарининг ҳақиқий йўллари (траекториялари), звенонинг ҳаракати вақтидаги кўринишлари ва машина асосий валининг нотекис айланишини экспериментал усул билан ҳам ўрганиш маъқулроқдир. Бунда кўпчилик механик катталиклар электр ёрдами билан ўлчанади. Масалан, звено нуқталарининг ҳақиқий траекториясини *осциллограф* деб аталувчи асбоб ёрдами билан ёзиб олиш мумкин. Машина ва механизмларнинг механик параметрлари — тезлик, тезланиш, йўл, куч ва буровчи моментлар ёки қувват махсус датчиклар (қабул қилиб олувчилар) ёрдамида осциллограф асбобида махсус қоғозга ёзиб олинади. Бу методларнинг ҳаммаси ҳам механик катталикларнинг ўзгаришини пропорционал электр катталиклар билан алмаштириш мумкинлигига асосланган. Пропорционал ўзгарувчи электр катталиклар махсус магнито-электрик ёки катод осциллографлари воситасида ёзиб олинади. Худди шундай ишни автор автомат тўқув станокларининг моки алмаштирувчи механизмдаги қоққич деб аталувчи звено бошининг траекториясини ёзиб олишда бажарган (1.1-шакл). Бу шаклда (осциллограммада) 1, 2, 3, 4, 5 рақамларидан қуйидагиларни тушуниш мумкин:



1.1- шакл. Қоққич бошининг ҳаракат осциллограммаси (плёнканинг тезлиги $v = 500 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$).

1) вақтнинг ёзиб олинган изи, бу изда секундига 500 марта тебраниш кўрсатилган, бу из 500 герцлик вақтни билдирувчи камертон изи;

2) қоққич бошининг (M нуқтасининг) ўтган йўли (траекторияси);

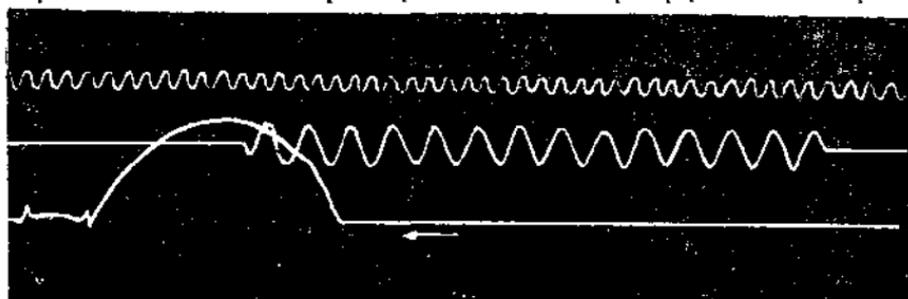
3) тўқув автомати тирсакли валининг нотекис айланиши;
4) 100 герцли вақт ўлчагичнинг изи (камертоннинг тебраниш частотаси);

5) бу ҳам вақт ўлчагичнинг изи.

Шундай қилиб, 1.1-шаклда кўрсатилган осциллограмма кенглиги 35 мм бўлган фотоплёнкага ёзиб олинган; бунда плёнканинг тезлиги секунлига 500 мм дир. Осциллограммадаги горизонтал синусоида (буни абсциссалар ўқи деб қабул қиламиз) вақтни билдиради; вертикал чизик эса қоққич боши ўтган йўлдир.

Осциллограммадаги йўл графигининг абсциссалар ўқи бўйлаб чўзиқроқ ёки қисқароқ чизиши осциллографдаги ёзиб олувчи плёнка тезлигига боғлиқдир. Агар тезлик катта бўлса, осциллограмма чўзиқроқ, тезлик кичик бўлса, қисқароқ чиқади. 1.1-шаклдаги осциллограмма плёнкасининг тезлиги секундига 500 мм бўлиб, худди шу процесснинг $v = 250$ мм/сек тезлик билан ёзиб олингани 1.2-шаклда кўрсатилган. Шундай қилиб, иккала шаклда қоққичдаги M нуқтанинг оралиқ графиги ($S_M - t$) кўрсатилган. Бу график моки алмашиш процессидаги ҳақиқий оралиқ графигидир.

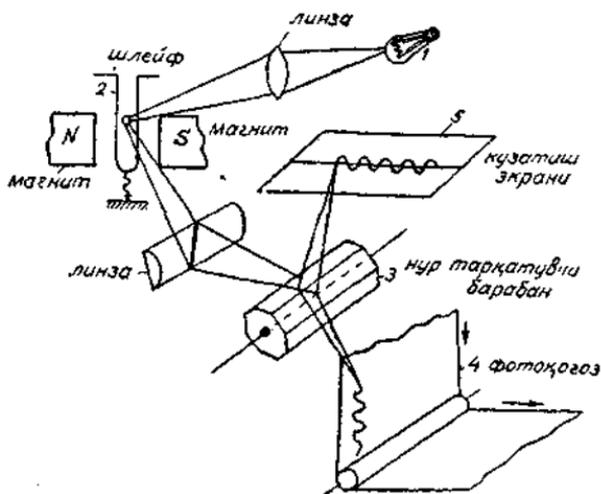
1.1- ва 1.2-шакллардаги осциллограммаларни ҳосил қилиниш усули билан танишиб чиқамиз. Бу осциллограммалар 8 шлейфли МПО-2 маркали осциллографда ёзиб олинган. Бу осциллограф ёрдами билан аynи бир вақтда 8 та шлейф орқали 8 хил про-



1.2-шакл. Қоққич бошининг ҳаракат осциллограммаси (плёнканинг тезлиги $v = 250 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$).

цессни бир плёнкага ёзиб олиш мумкин, 1.1-шаклдаги осциллограммада 5 процесс, 1.2-шаклдаги осциллограммада эса 3 процесс кўрсатилган. Осциллограф регистрация қилувчи асбоб бўлиб, асосан, қуйидаги қисмлардан иборат (1.3-шакл):

- 1) ёруғлик берувчи манба (лампа ёки электр ёйи);
- 2) махсус гальванометр (шлейф);
- 3) нур тарқатувчи барабан ва линзалар;
- 4) фотоқоғоз (плёнка) ўрнатилган махсус камера;
- 5) процессни бевосита кузатиб бориш учун экран.

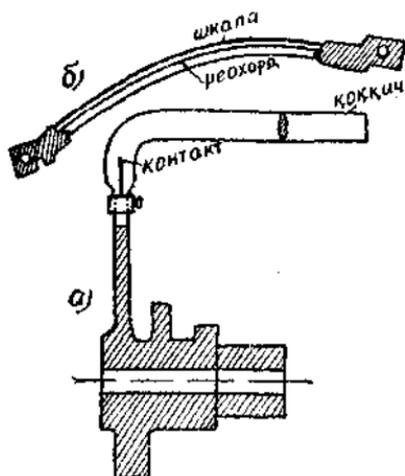


1.3-шакл. Осциллограф механизмнинг принципиал схемаси.

Вақтни маълум амплитудали тебранишда олиш учун камертон тебранишидан фойдаланилади. Электр тармоғининг тебраниш частотаси 50 герц бўлса, 100 ва 500 герцли камертон қабул қилинади. 1.1-, 1.2-шаклдаги осциллограммалар реохорд датчиклар ёрдами билан ёзиб олинган. Қоққич айланма ҳаракат қилгани учун, унинг бошига контакт ўрнатилиб, бу контакт ёй шаклидаги ўрам — реохорд датчик устида сирғанади (1.4-шакл, а ва б). Датчик моки алмаштирувчи механизмга қўзғалмас қилиб ўрнатилади. Датчикнинг уланиш схемаси 1.5-шаклда кўрсатилган. Тўқув автомати тирсакли валининг нотекис айланишини ёзиб олиш процесси 245-шаклда тасвирланган.

1.5-шаклдаги схемада: E — батарея орқали электр токи тарқалади;

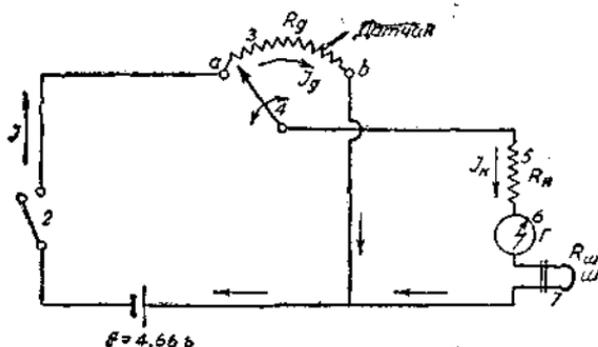
R_d — ёй шаклида ишланган ўрам — реохорд датчикнинг қаршилиги; R_k — гальванометрни ноль вазиятга келтирувчи (мувозанатловчи) қўшимча қаршилиқ; $R_{ш}$ —



1.4-шакл. а — қоққич; б — реохорд датчик.

осциллограф шлейфининг қаршилиги; Γ — электр токи бор ёки йўқлигини кўрсатувчи гальванометр; I — тўла электр токи; I_d — ўрам реохорд датчикдан ўтувчи электр токи; I_k — қўшимча қаршиликдан ўтувчи ток.

Реохорд датчик диаметри 0,015 мм, солиштирма қаршилиги эса ҳар метр узунликка 270 ом бўлган манганин симини дна.



1.5-шакл. Датчикнинг улаиш схемаси.

метри 5 мм ли эбонит найга ўраш йўли билан ҳосил қилинган (1.4-шакл, б). Ўрам реохорд датчикнинг узунлиги қоққич каллаги ўтган тўла йўлга тенг ($S_M = 85$ мм) бўлиб, қоққичдаги контакт юқори вазиятда бўлганда (1.4-шакл, в нуқта) гальванометрдан электр токи ўтмайди, яъни унинг стрелкаси нолни кўрсатади (бу эса 1.5-шаклдаги абсциссалар ўқининг a нуқтасини ифодалайди). Агар қоққичнинг боши (M нуқтаси) айланиб, моки қутисига тушса (1.5-шаклдаги стрелканинг a вазияти), гальванометрдан максимал электр токи ўтади. Бу, 1.1-шаклдаги $S_M = t$ графигининг максимал ординатасини беради ёки бу ордината реохорд узунлигини ифодалайди. Агар реохорд датчик узунлигини осциллограммадаги $S_M - t$ нинг максимал ординатасига бўлсак, осциллограмма масштабини олган бўламиз. Шундай қилиб, осциллограф шлейфи гальванометрдан электр токи ўтмаса, ҳеч қаёққа оғмайди ва плёнкага горизонтал тўғри чизиқ тушади (1.1-шакл, ac чизиғи).

Электр токи кучайиб бориши билан шлейф магнит қутблари (1.3-шакл) орасида оғади, тушаётган ёруғлик плёнкада ҳар хил баландликдаги эгри чизиқ чизади (1.1-шакл, 2 чизиғи).

Электр сими қаршилигининг сим узунлигига тўғри пропорционал эканлиги бизга электротехникадан маълум. Худди шунга ўхшаш, электр симидан ўтаётган электр токи потенциаллар айирмасига тўғри пропорционал бўлиб, симнинг қаршилигига тескари пропорционал эканлиги ҳам маълумдир. Ана шу икки қонун симли датчиклар воси-

тасида механик катталикларни электр ёрдами билан ўлчашнинг асосидир.

Сим қаршилигининг формуласи қуйидаги чизиқли муносабатдан иборатдир:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} [\text{ом}], \quad (17.1)$$

бу ерда R — симнинг қаршилиги;

l — симнинг узунлиги;

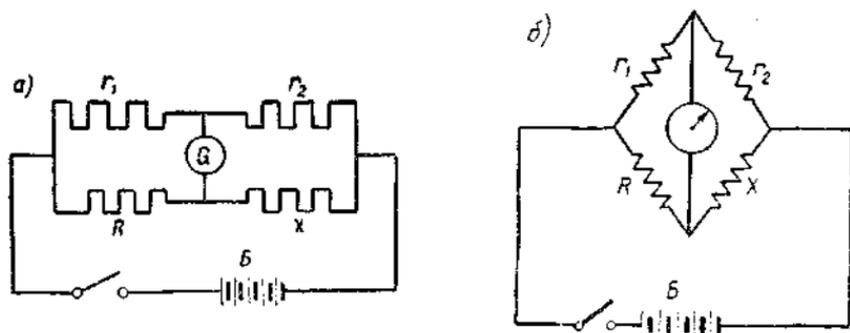
S — симнинг қўйдалаш кесми;

ρ — симнинг солинитирма қаршилиги.

Деталларга (звеноларга) позик датчикларни елим билан ёпиштириб звенодаги зўриқни ёки деформацияларни ўлчаш мумкин. Бу соҳада чуқур маълумот олувчи китобхонларга ну дарслик охиридаги манбалардан фойдаланиш тавсия этилади, чунки ҳозирги замон техника тараққиёти механизм ва машиналарнинг ҳаракатини экспериментал йўл билан ўрганишни талаб этади.

Қуйида электр ўлчаш кўприкларидан баъзи бир тушунчаларни баён қиламиз. 1.6-шаклда 4 қиррали ўлчаш схемаси келтирилган. Диагоналлардан бирига электр оқими манбаи, бошқа диагоналга ўлчаш асбоби ёки кўрсатувчи асбоб ўрнатилади. Шундай электр кўприкларининг r_1 , r_2 , R қаршиликлари ўзгармас ёки ўзгартириш мумкин бўлган қаршиликлар бўлиб, R_x эса ўлчаниши лозим бўлган қаршилиқдир.

Ўлчаш кўприкларни мувозанатлашган ёки мувозанатлашмаган бўлиши мумкин. Агар ўлчаш вақтида кўприк схемаси элементларининг қаршиликлари тинч танлаш ҳисобига гальванометрдан (кўрсатувчи асбоб) электр оқими ўтмаса, бундай ўлчаш методи



1.6- шакл.

нолли метод деб аталади ва ўлчаш кўприги мувозанатлашган бўлади. Агар ўлчаш асбоби нолни кўрсатмай, қандайдир оқимни кўрсатса, бундай схема *мувозанатлашмаган кўприк* схемаси деб аталади.

Электр ўлчаш кўприклари ўзгармас ва ўзгарувчан оқимли бўлади. Бундай кўприкларда, масалан, ўзгармас электр оқими ҳисобига ишлайдиганида бевосита электр қаршиликлари ўлчаниб, ҳақиқий ўлчанадиган механик миқдорлар эса қаршиликнинг ўзгаришига функционал боғланишда бўлади.

1.7-шаклдаги кўприкнинг r_1 , r_2 қаршиликлари ўзгармас маълум қаршиликлар, R — маълум мувозанатловчи (меъёрловчи) қаршилик бўлиб, R_x эса ўлчаниши лозим бўлган қаршиликдир. Ноль си темада, яъни гальванометрдан ток ўтмаса R_x куйидагича топилади:

$$R_x = \frac{r_2 R}{r_1} = \rho \cdot \frac{l}{S}. \quad (17.2)$$

Шундай қилиб, $R_x = f(\rho, l, S)$

бўлса, шлейфдан ўтувчи оқим R_x га боғлиқ (ёки деталнинг деформациясига боғлиқ) бўлади.

$$I_x = \varphi(R_x) = \varphi(\rho, l, S) \quad (17.3)$$

1.7-шаклда 4 звеноли механизм шатунда ҳаракат вақтида пайдо бўлган чўзилиш ёки сиқилиш деформацияларини (ёки кучларини) ўлчаш схемаси кўрсатилган. (Бу газлама тўқув автомат станогининг батан механизми.) Шаклдан куйидагиларни оламиз:

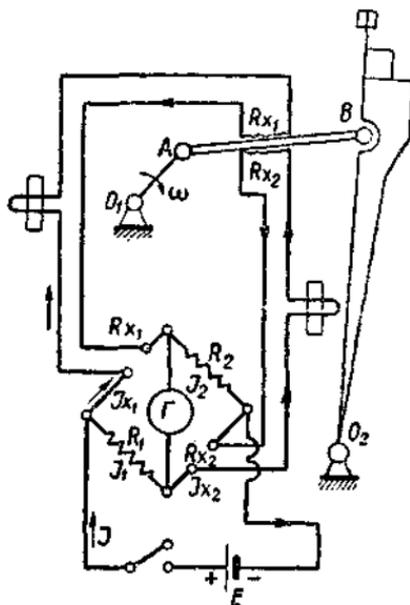
$$\frac{R_{x_1}}{R_2} = \frac{R_1}{R_{x_2}}$$

ёки $R_{x_1} \cdot R_{x_2} = R_1 \cdot R_2$ агар $R_{x_1} = R_{x_2} = R_x$ бўлса

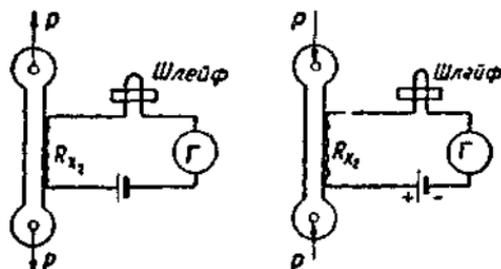
$$R_x = \sqrt{R_1 \cdot R_2} = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (17.4)$$

1.8-шакл, а, б ларда электр оқимининг шатуннинг чўзувчи ва сиқувчи кучларга боғлиқлик диа-

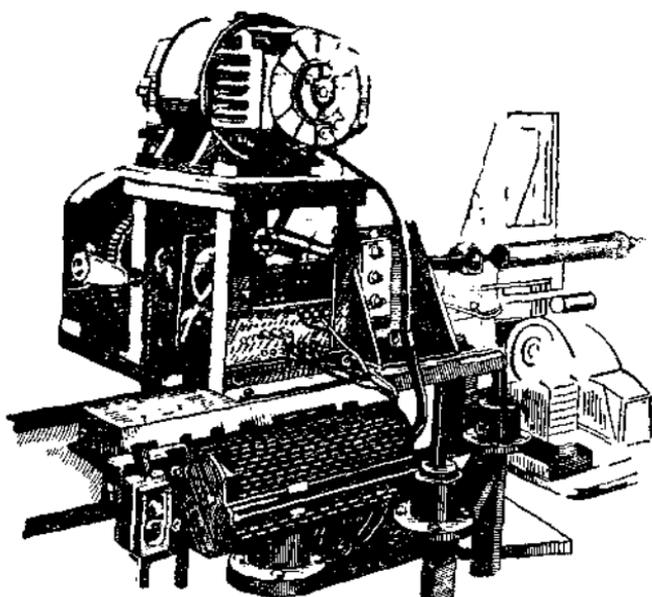
граммасини олиш қурилмасининг идеаллаштирилган схемаси кўрсатилган. Бундан фойдаланиб $I_x = f(R_x) = \varphi(\rho)$ графигини қурамыз.



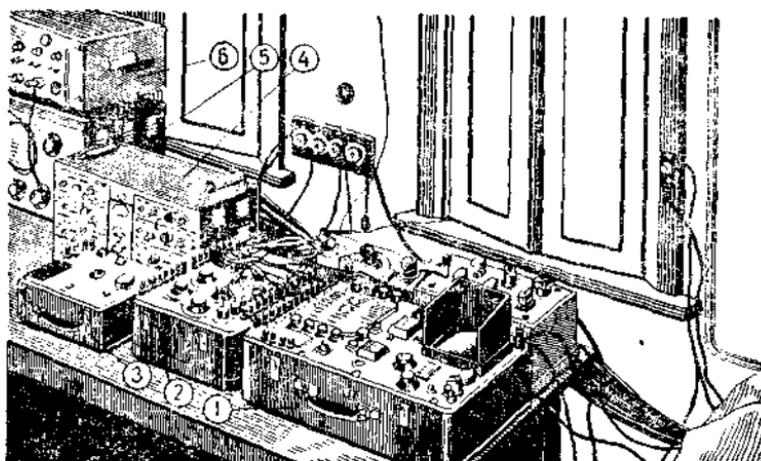
1.7- шакл.



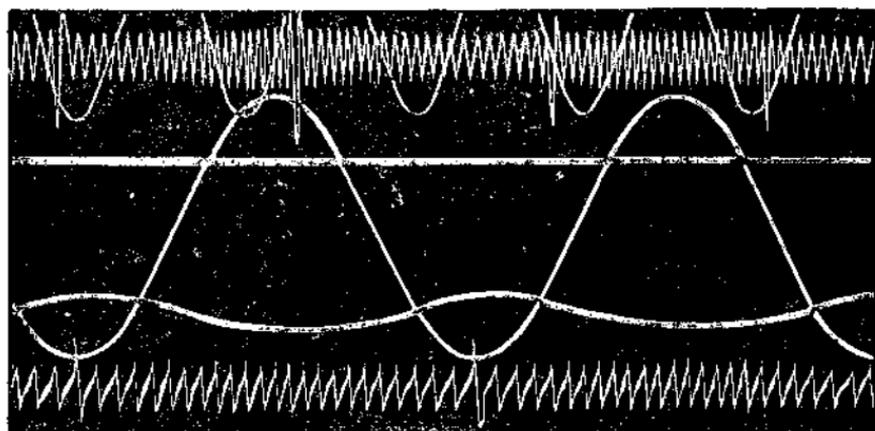
1.8-шакл.



1.9-шакл.



1.10- шакл.



1.11- шакл.

Одатда, механизм звенолари ҳаракати вақтида ундаги сиқувчи ёки чўзувчи кучларнинг momenti, ёки қувватнинг миқдорларини аниқ топши учун олдиндан ясалган звено нусхасини шундай қурилмаларда статик сиқиб, чўзиб унинг осциллограммаси ёзиб олинади ва олдиндан $I_x = \psi(\dot{P})$ ёки $I_x = \varphi(M)$ графиги қурилади. Бундай графиклар *даражаланган графиклар* деб аталади.

Ўзбекистон Фанлар академияси Механика институти «Механизм ва машиналар назарияси» лабораториясида ўрнатилган «КДМ-1» қурилмаси 1.9-шаклда, осциллограф ва кучайтиргич приборлари 1.10-шаклда ва установкадаги ползуннинг ҳаракат осциллограммаси 1.11-шаклда келтирилган.

2-§. Арқоқли найчани мокига жойлаш энергиясини топши

Арқоқли найчани мокига жойлашга кетадиган куч, кўпинча, статик куч орқали ҳисобланади. Арқоқли найчани мокига жойлаш процесси статик процесс бўлмай, балки динамик процессдир. Шунинг учун бу кучнинг аниқ катталиги тензометрия усулидагина топилиши мумкин. Бироқ 2.1-шаклда кўрсатилган оддий асбоб билан мокига арқоқли найчани жойлаш учун кетган кучни эмас, балки энергияни топши осон.

2.1-шаклда эркин тушувчи жисм қонунига асосланган асбоб кўрсатилган. Бунда 1 қўзғалмас асосга 3 платформа 2 стержень тепасидаги юки билан ўрнатилган. 7 мокида ипи тамом бўлган найча турибди. Шу найчанинг ўрнига ип ўралган найчани ўрнатиш керак.

Умуман, эркин тушаётган жисмнинг ердан баландлиги билан тушиш вақти орасидаги боғланиш қуйидагича эканлиги механикадан маълумдир:

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

ёки

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (17.5)$$

Масалани амалий ҳал қилиш учун, юкни (тушаётган жисми) шундай баландликдан ташлаш керакки, унинг мокидаги найча сирти билан учрашгандаги тезлиги қоққич бошининг шу ондаги тезлигига тенг бўлсин.

Энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланиб, тушаётган жисм учун қуйидагини ёзамиз:

$$\frac{m \cdot v_x^2}{2} + Q \cdot x = Qh$$

Жисм найча билан учрашганда $x = 0$, $v_x = v_M$ бўлади, у ҳолда тенгликни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

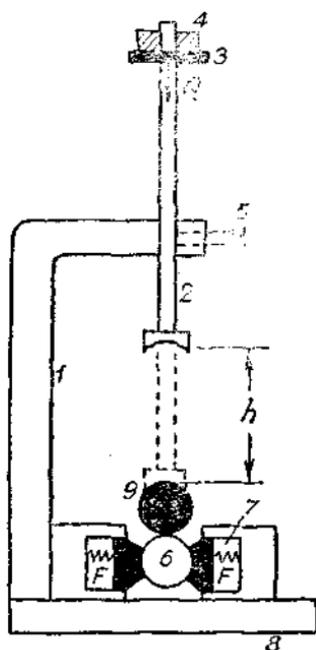
$$\frac{m \cdot v_M^2}{2} = Q \cdot h = mg \cdot h \quad h = \frac{v_M^2}{2g} \quad (17.6)$$

(17.6) тенглама орқали жисмнинг тушиш баландлигини аниқлаймиз-да, шу баландликдан бир неча хил оғирликдаги юкларни ташлаб, қайси бирида янги ил ўралган найча мокига жойлашса, ўша оғирликка кўра (жисмнинг ўша оғирлигини G деб фараз қилайлик), унинг энергиясини қуйидагича топамиз:

$$E = G \cdot h$$

ёки

$$E = \frac{G \cdot v_M^2}{2g} \quad (17.7)$$



2.1- шакл. Найчани мокига жойланиш энергиясини ўлчаш усталовкаси.

XVIII боб

МЕХАНИЗМ ВА МАШИНАЛАР НАЗАРИЯСИДА
МОДЕЛЛАШТИРИШ

1-§. Қисқача тарихий маълумот

Ҳозирги замон илм ва техника масалаларининг муваффақиятли ҳал қилиниши кўп жиҳатдан ҳисоблаш техникасига боғлиқдир. Ҳисоблаш ишларини тезлатиш йўлидаги уринишлар натижасида логарифмик линейкалар, механик арифмометрлар, электро-механик ҳисоблаш машиналари ҳамда ҳозирги замон ҳисоблаш машиналари каби мураккаб воситалар яратилди.

Маълумки ҳар қандай физикавий, химиявий процесслар, моддий нуқта, механизм ва машиналар ҳаракати ва шу каби бошқа бирор ҳодиса — процесслар алгебранг ёки дифференциал тенгламалар орқали ифодаланиб, сўнгра уларнинг ўзгариш қонуниятлари ўрганилади. Баъзан бундай дифференциал тенгламаларнинг ечилиши қийин ва кўп вақт талаб қилганлиги учун ўз таркибига интеграллаш элементлари бўлган «дифференциал анализаторлар» ихтиро этила бошланди. Механик прибор ёрламида $\int y(x) dx$ кўринишидаги интегрални ва дифференциал тенгламаларни ечиш мумкинлигини 1876 йилда физик Томсон айтиб ўтган эди. 1904 йилда академик Қрилов Томсон приборига ўхшаш прибор ясади.

1.1-шаклда В. Буш ишлатган механик интеграторнинг кинематик схемаси тасвир этилган. Шаклдан чиқиш радиусининг бурчак йиғиндиси қуйидагича бўлишини кўриш қийин эмас:

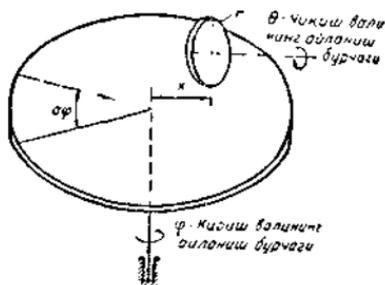
$$r \cdot d\theta = x d\varphi,$$

бундан

$$\theta = \frac{1}{r} \int x d\varphi \quad (18.1)$$

(18.1) дан агар φ кириш бурчаги бўлса, чиқиш бурчаги θ интегралланувчи миқдор $\int x d\varphi$ га пропорционал эканлиги кўриниб турибди.

XIX аср охиридан бошлаб ва XX аср бошларида секин ва кўпгина хатолар билан ишлайдиган интеграторлар ясалган бўлса, ҳозирги вақтда эса тез ишлайдиган ва кам хатога йўл қўядиган интеграторлар мавжуддир.



1.1-шакл.

Машина ва механизмлар назариясида процессларни ифодаловчи бир қанча кўринишли дифференциал тенгламалар учрайди. Биз дифференциал тенгламаларни ечиш методларини қисқача баён қилиб ўтамыз.

Ҳар қандай ўткинчи (ўзгарувчан тезликли) процесслар дифференциал тенгламаларни ечиш орқали олиб борилади. Уларни ечишнинг қуйидаги уч методини эслатиб ўтамыз.

1. Алгебраик метод. Бу метод инженерлик практикасида учрайдиган ўзгармас коэффициентли дифференциал тенгламаларни ечишда ишлатилади. Бундай тенгламаларнинг ечилиши $x = ce^{\lambda t}$ кўринишидаги функциядан топилади. Масала фақат c ва λ ларни топишдан иборатдир. Масалан, $\dot{x} + a_1x + a_2x = 0$ кўринишидаги 2-тартибли дифференциал тенглама берилган бўлса, уни қуйидагича алгебраик кўринишга келтирилади:

$$ce^{\lambda t} \cdot (\lambda^2 + a_1\lambda + a_2) = 0$$

ёки $\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0$ алгебраик тенглама илдизидан λ_1, λ_2 лар топилиб, C эса бошланғич шартдан топилади.

2. Кетма-кет (қадам-бақадам) ечиш методи. Бу метод билан исталган дифференциал тенгламани ечиш мумкин; ammo бу метод билан тақрибий ечилади. Бу метод билан ечишда рақамли электрон машиналаридан фойдаланиш маъқулдир. Алгебраик методда ҳам ва бу айтилган методда ҳам тегишли параметрларнинг ҳаракатга таъсирини яққол кўриш қийиндир. Бунинг учун тенгламанинг бир неча вариантларини ечиб уларни бир-бирига таққослаб кўрилади.

3. Физик методи (тенглама моделни тузиш). Бу метод математик тенгламани физик миқдорлар орқали боғлаш асосида олиб борилади. Интеграллаш процессидан биргина натижани олиш учун бошланғич шартдан фойдаланиш керак. Агар бошланғич шарт турлича бўлса, тенгламанинг ечилиши ҳам турлича бўлади. Бошланғич шартни танлаш математика нуқтаи назаридан ихтиёрли бўлиб, реал физик процесс учун эса у бизларни қизиқтирувчи бошланғич шарт бўлиши лозим. Табиатда ҳар бир математик ибора физикавий амалга оширилади. Ҳаракатланувчи ҳар бир физик жисм траекторияси тезликни интеграллаб босиб ўтилган йўлни кўрсатади. Худди шу ҳаракатдаги жисм тезликни дифференциаллар тезланишга пропорционал бўлган инерци кучини билдиради. Шундай қилиб, математик операцияни физик йўл билан амалга ошириш мумкин. Мана шундай масалани механик миқдорлар орқали олиб бориш анча ноқулай бўлиб, уларни электр миқдорлар билан бажариш осонлик туғдиради, чунки электр миқдорларни бошқариш қулайдир. Математик операцияларни бажарувчи электр схемалари шу дифференциал тенгламаларнинг физик

ечимини беради. Бундай электрик мосламалар *математик схеманинг модели* бўлиб, унинг ёрдамида олинган тенгламанинг ечимига *физик ечим* деб аталади. Дифференциал тенгламаларни физик ечишда интегратор, ўзгармас коэффициентларга кўпайтиргич, йиғувчилар, инверторлар (ишора ўзгартирувчилар) каби электрик мосламалар (аппаратлар) керак бўлади.

2-§. Рақамли ва аналог электрон ҳисоблаш машиналари

Ҳозирги замон ҳисоблаш техникаси асосан, рақамли ва узлуксиз ишлайдиган (аналоглар) электрон ҳисоблаш машиналаридан иборат бўлиб, улардан рақамли ҳисоблаш машиналари турли арифметик амалларни импульслар сони орқали бажаради. Маълум бир масаланинг программаси тўғри тузилган бўлса, бу машинанинг хато қилиши фақат разряд турларининг миқдорига боғлиқдир. Аналог машиналар, ёки бошқача айтганда, узлуксиз ишлайдиган математик машиналарда эса бирор физик миқдор билан тўхтовсиз (узлуксиз) ўзгарувчи электр миқдорлар ўртасидаги ўхшашлик асосида иш олиб борилади. Аналог машиналар 0,01% дан 5% гача хатога йўл қўяди, улар кўпгина масалаларни ҳал этишда жуда ҳам қулай.

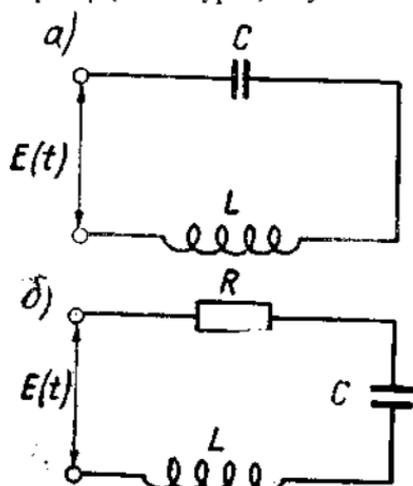
Аналог машиналар ёрдамида механизм ва машиналар кинематикаси ва динамикасинигина эмас, балки механиканинг бошқа масалаларини, электротехника, физика, химия, геодезия ва шу каби бошқа фанларга онд масалаларни осонлик билан ечиш ҳамда изланаётган ўзгарувчиларнинг қонуниятларини махсус индикаторлар орқали кўриб, кузатиб бориш ҳамда осциллограф воситаси

билан плёнкаларга оптимал вариантни берувчи қонуниятларни ёзиб олиш мумкин.

Аналог машиналарида бўлаётган процессларнинг бошқа бир система процессларига ўхшашлигини айтиб ўтган эдик. Ҳақиқатан ҳам, буни биз $P(t)$ кучи таъсирида тебранаётган физик тебрангич мисолида кўришимиз мумкин. Бундай тебрангичнинг ҳаракат дифференциал тенгламаси бизга маълум эди.

$$I \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + mgl \cdot \varphi = P(t) \quad (18.2)$$

$$G = m \cdot g$$



2.1- шакл.

2.1-шаклда ёпиқ контурли электр занжирининг схемаси берилган. Электр занжиридаги электр зарядининг ҳаракати қуйидаги дифференциал тенглама билан ифодаланиши бизга электротехникадан маълум:

$$L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{C} q = E(t), \quad (18.3)$$

бунда, L — индуктивлик;

q — электр заряди;

C — сифим;

$E(t)$ — электр юритувчи куч.

Агар физик тебрангичга кўрсатилаётган қаршиликни $2h \frac{d\varphi}{dt}$ га тенг деб олсак, электр занжиридаги қаршиликни $R \cdot \frac{dq}{dt}$ орқали ифодаласак, у ҳолда (18.2), (18.3) тенгламаларнинг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2h \frac{d\varphi}{dt} + mgl \cdot \varphi = P(t) \quad (18.4)$$

$$L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} + R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} \cdot q = E(t) \quad (18.5)$$

(18.4) ва (18.5) дифференциал тенгламалар бир-бирига жуда ҳам ўхшаш, чунки иккала тенглама турли процессларни ифодаласа ҳам, улар математика нуқтаи назаридан бир хилдир, чунки:

$$L \doteq I; \quad R \doteq 2h; \quad \frac{1}{C} \doteq mgl \quad \text{ва} \quad P(t) \doteq E(t) \quad \text{бўлганда}$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} \doteq \frac{d^2q}{dt^2}, \quad \frac{dq}{dt} \doteq \frac{d\varphi}{dt}; \quad q \doteq \varphi \quad \text{бўла олади.}$$

Юқорида келтирилган механик ва электрик процессларни ифодаловчи тенгламаларнинг умумий ечилишлари бир хилдир. Тенгламалардаги φ , $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$, q , \dot{q} ва \ddot{q} лар миқдор жиҳатидан бир-бирига тенг бўлмаса ҳам, ўзаро пропорционал бўлади.

Шундай қилиб, келтирилган мисолдан маълум бўлдики, текширилувчи механизми бошқа бир текширишга қулай бўлган система билан алмаштириш мумкин экан, чунки биз вольтметр ёки амперметр ёрдамида кучланиш ёки электр оқимини электр занжирининг исталган жойидан ўлчаб олишимиз мумкин. Демак, электр занжири сўнувиш механизмининг (тебрангичнинг) аналоги, яъни электр аналоги бўла олар экан. Улар фақат бир-бирдан ўлчов бирликлари билан фарқ қилади. Шунинг учун ҳам буларни ўрганишда янги-янги имкониятлар туғилмоқда. Юқорида баён этилган физик процессларни биргина дифференциал тенглама орқали ифодалаш мумкин. Бундай дифференциал тенгламалар асосан

физик миқдорлар (масса, тезлик, куч, тезланиш, электр оқими, қаршилик, кучланиш ва ҳ.к.) орасидаги миқдорий боғланишларни билдиради, холос. Аммо, ҳар қандай физик ҳодиса, агар ундаги барча факторларни ҳисобга олинса, жуда мураккабдир. Шунинг учун бирор физик процесснинг тенгламасини тузишда, кўп факторларни ҳисобга олиш масалани мураккаблаштиришни эътиборга олиб, асосий факторларгина ҳисобга олинади.

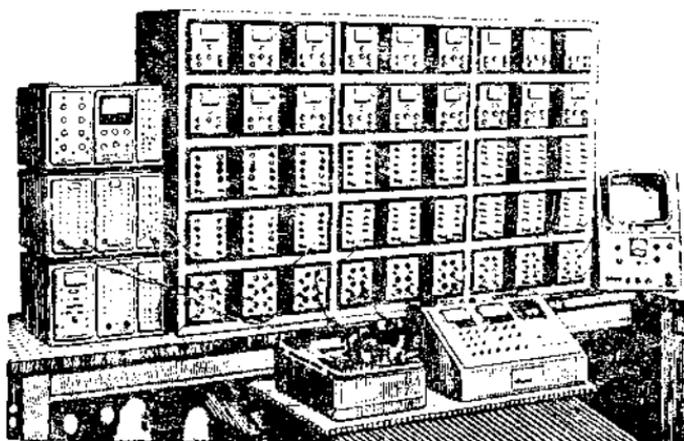
Шундай қилиб, махсус электрон моделлаш машиналарини қўллаб, физик процессларни ифодаловчи мураккаб дифференциал тенгламаларни электр схемалари кўринишида тасвирлаш мумкин. Бундай электр схемаларидаги кучланиш, қаршилик, электр оқими ва гидравлик қаршиликларни ўзгартириш худди реал физик процесслардагидай бўлади. Шунинг учун механизм ва машиналар кинематикаси ва динамикаси масалаларини ечишда шу машина ёки механизмларнинг асл натурал нусхасини тузишнинг ҳождати йўқ. Бундай ҳолларда масала узлуксиз ишлайдиган электрон моделлаш машиналарида осонлик билан ҳал этилади.

Электрик моделлар орасида энг қулайи электрон лампалар билан бирга актив, индуктив ва сифмли қаршиликларни ўз ичига олган схемалардир. Механизм ёки механик системадаги процессларни ўрганишда, одатда 5-жадвалдаги аналогия системаларидан фойдаланилади.

5-жадвал

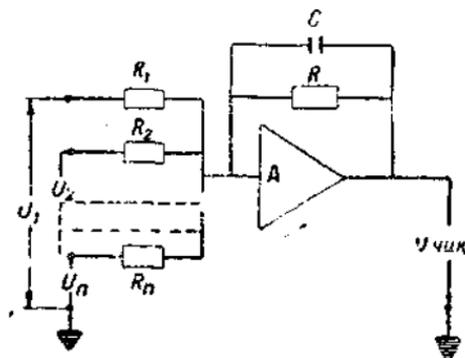
I аналогия системаси		II аналогия системаси	
механик миқдорлар	электр миқдорлар (аналоглар)	механик миқдорлар	электр миқдорлар (аналоглар)
Оралиқ-йўл (S)	Электр заряди (q)	Оралиқ-йўл (S)	Магнит оқими (Φ)
ёки бурчак (φ)	Кучланиш (U)	ёки бурчак (φ)	Электр оқими (i)
Куч (P) ёки момент (M)	Электр оқими (i)	Куч (P) ёки момент (M)	Кучланиш (U)
Тезлик: чизиқли (v)	Индуктивлик (L)	Тезлик: чизиқли (v)	Электр сифми (C)
ёки бурчак тезлик (ω)	Электр сифми (C)	ёки бурчак тезлик (ω)	Индуктивлик (L)
Масса (m) ёки инерция моменти (I)		Масса (m) ёки инерция моменти (I)	
Эластиклик (k)		Эластиклик (k)	

Энди узлуксиз ишловчи электрон моделлаш машиналари (аналог машиналар) билан танишиб чиқамиз. Совет Иттифоқида ИПТ-5; ЭМУ-8; МПТ-9; МНБ-1; МН-7; МН-10; МН-14 маркали аналог машиналар ишлаб чиқарилади. Бу машиналар ёрдамида чизиқли ва чизиқсиз дифференциал тенгламаларни ечиш мумкин.



2.2- шакл.

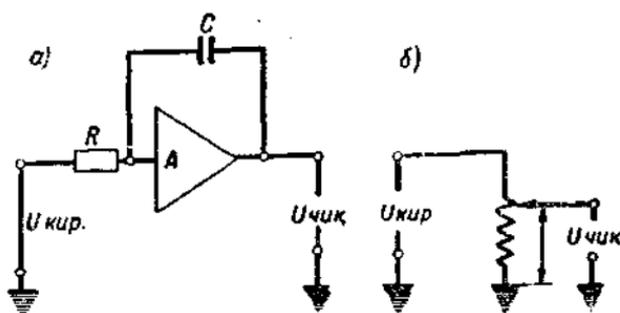
Ўзбекистон Фанлар Академияси Механика институтининг машина ва механизмлар назарияси лабораториясида ишлатилаётган ИПТ-5 маркали электрон аналог машинанинг ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз (2.2-шакл). Бу машина айрим блоклардан иборат бўлиб, ҳар бир блок бир операцияни бажаради. Машинада 18 та БОУ—операцияни кучайтиргич блоклари бор. Бу блокларнинг ҳар бири ё интеграллаш, ё йғиш ёки ўзгарувчининг ишорасини ўзгартириш-инвентирлаш вазифаларини амалга оширади. Бу машинада УПТ-4 маркали ўзгармас ток кучайтиргичи ишлайди (2.3-шакл). Бундан ташқари, у 18 та кучланишни бўлувчи ўзгармас блоklar ва 18 та вақтга боғлиқ равишда кучланишни бўлувчи ўзгарувчи блоклари, бошқариш пульта, индикатор ва стабиллаштирилган электр оқими манбаларидан иборат. Бу машинада 12-тартибгача бўлган дифференциал тенгламаларни ечиш мумкин.



2.3- шакл.

Операцияни кучайтиргич блокининг схематик кўриниши шаклда кўрсатилган. Бунда u_1, u_2, \dots, u_n лар R_1, R_2, \dots, R_n қаршилликлар орқали ўтадиган кириш кучланишлари, $u_{чик}$ — чиқиш кучланишидир, A — бир неча марта кучайтирувчи электрон

кучайтгич, R ва C лар қайтма алоқа қаршилиги ва сигимидир. Агар қайтма алоқага C сигимли конденсатор уланса, у ҳолда бундай блок интегралловчи бўлади (2.4-шакл). Агар сигимли конденсатор ўрнига R қаршилик уланса, у ҳолда бу блок u_1, u_2, \dots, u_n ларни йиғувчи вазифасини бажаради. Блокка кирувчи кучланишларнинг ишораси чиқиш вақтида блок интегралловчи ёки йиғувчи бўлса ҳам, тескарисига ўзгаради. Интеграллаш вазифасини бажарувчи блокнинг кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги боғланиш тақрибан қуйидаги кўринишда бўлади (2.4-шакл, а).



2.4-шакл.

$$u_{\text{чик}} = \frac{1}{RC} \int_0^t u(t) dt \quad (18.6)$$

Агар кириш кучланишлари бир қанча бўлса, у вақтда:

$$u_{\text{чик}}(t) = -\frac{1}{C} \int_0^t \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{R_i} dt \quad (18.7)$$

Кириш кучланишларига пропорционал бўлган кучланиш олиш учун қайтма алоқага қаршилик уланади; у ҳолда Кирхгоф ва Ом қонулларига асосланиб (кучайтгич сони A жуда катта бўлганда), қуйидаги тақрибий кўринишни олиш мумкин:

$$u_{\text{чик}} = -R \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \dots + \frac{u_n}{R_n} \right) \quad (18.8)$$

Агар ўзгармас коэффициент блоки орқали кучланиш миқдорини ўзгартиришга тўғри келса, уни қуйидагича оддий потенциалометр орқали амалга оширилади (2.4-шакл, б).

$$u_{\text{чик}} = Q \cdot u_{\text{кир}} \quad (18.9)$$

бунда $a = \text{const}$, ундан $0 \leq Q \leq 1$ оралигидаги қийматларни олиш мумкин.

3-§. Машина ва механизмлар ҳаракатини электрон моделлаштириш

Механизм ёки машина агрегатининг ҳаракатини ўрганиш — шу ҳаракатни инфодаловчи дифференциал тенгламани тузишдан иборат. Шунинг ўзи эса математик моделлаштириш маъносини аниқлатади. Тенгламаларни машинада ечишдан олдин, берилган тенгламаларни машина тилига, яъни машина тенгламаларига кўчириш лозим бўлади. Машина тенгламаларига кўчириш вақтида хатога йўл қўймаслик учун ўхшашликлар назариясидаги асосий теоремаларга амал қилиши керак. Бу теоремалар қаралаётган ҳодисаларнинг бир-биринга ўхшаш бўлишлигининг зарурий ва етарли шарт-шароитларини очиқ беради.

Моделлаштириш етарли ўрганиш учун уни мисоллар орқали тушунтирамиз. Мисолларни ИПТ-5 маркали электрон моделлаштириш машинасида ечамиз. Бошқаруш пулти орқали қуйидагиларни амалга ошириш мумкин: а) бошланғич қийматларни бериш, б) вольтметр орқали бўлаётган процессни кузатиб бориш, в) вақтни ўлчаш, г) процессни бошлаб юбориш ва маълум бир вақтда тўхтатиш ҳамда аввалги ҳолатга келтириб процессни бир неча марта қайтадан кўриш.

Индикатор ва шлейфли осциллограф орқали эса бўлаётган процессни кўриб ва кузатиб бориш ҳамда уларни плёнкаларга ёзиб олиш мумкин.

Бу машинага қўшимча равишда чизиксиз ечувчи элементлар ёки бошқача айтганда функционал блоklar ҳам берилган бўлса, у ҳолда чизиксиз дифференциал тенгламаларни ҳам ечиш мумкин бўлади. Функционал ўзгартирувчиларга кўпайтувчи, бўлувчи ва маълум аргумент бўйича функция қийматларини олиш мумкин бўлган мосламалар мисол бўла олади.

Мисол тариқасида пахта териш машинаси териш аппаратининг асосий механизми бўлган—планетар механизмни оламиз ва сателлит (шпиндель) тишларининг траекторияларини ўрганамиз.

Эпициклоида учун параметрик тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{cases} x = R_H \cdot S_{\omega_H t} - r_c \cdot \sin \omega_c t \\ y = R_H \cdot \cos \omega_H t - r_c \cdot \cos \omega_c t \end{cases} \quad (18.10)$$

бунда R_H — 120 мм водилонинг (барабаннинг) радиуси;
 r_c — 12 мм сателлитнинг (шпинделнинг) радиуси;
 ω_H — 10,5 рад/сек — водилонинг бурчак тезлиги;
 ω_c — 105 рад/сек — сателлитнинг бурчак тезлиги.

$$i = \frac{R_H}{r_c} = \frac{\omega_c}{\omega_H} = 10$$

Машина тенгламасига ўтиш учун машинанинг масштаб бирлиги танлаб олинади, чунки машинага бериладиган ва ундаи оли-

надиган ўзгарувчи ва ўзгармас параметрлари ± 1 ёки ± 100 вольтдан ошмаслиги шарт.

Шунинг учун масштабларни танлаймиз:

$$\alpha_x = \alpha_y = \frac{1}{x_{\max}} = \frac{1}{y_{\max}} = \frac{1}{150}$$

Водило билан сателлит жуда тез айланганлиги учун машина вақтининг масштаб бирлиги $\alpha_t = 50$, яъни бўлаётган процессни 50 марта секинлаштириб оламиз:

$$\alpha_t = \frac{\tau}{t} = 50; \quad \tau = 50 t$$

τ — машина вақти;

t — реал вақт.

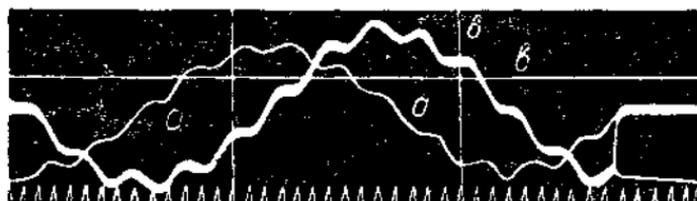
$$\tilde{y} = \alpha_y \cdot y; \quad x \approx \alpha_x \cdot x; \quad \tilde{y} = \frac{y}{150}; \quad \tilde{x} = \frac{x}{150}$$

\tilde{x} ва \tilde{y} лар машинанинг ўзгарувчи параметрларидир, улар ± 1 орасидаги birlikлар ёки улар қабул қилиб олинган бир машина birlikига (100 вольт) кўпайтирилиб вольтлар орқали берилади.

Шундай қилиб, топилган ҳамма қийматларни (18.10) га қўйиб машина тенгламасини оламиз:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y} &= 0,8 \cdot \cos 0,21 \tau - 0,08 \cos 2,1 \tau \\ \tilde{x} &= 0,8 \cdot \sin 0,21 \tau - 0,08 \sin 2,1 \tau \end{aligned} \right\} \quad (18.11)$$

Шу берилган тенгламалар учун блок-схема тузиб, машинада аниқланаётган x ва y ларнинг вақт бўйича ўзгаришини олиш



3.1- шакл.

мумкин (3.1-шакл). (18.11) тенгламадаги косинус ва синусларни қуйидаги иккинчи тартибли дифференциал тенгламани ечиб олиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 z_1}{d\tau^2} + \left(\frac{\omega_n}{\alpha_t}\right)^2 \cdot z_1 &= 0, \\ \frac{d^2 z_2}{d\tau^2} + \left(\frac{\omega_c}{\alpha_t}\right)^2 \cdot z_2 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Бу тенгламаларнинг қуйидагича ечимини оламиз:

$$\tilde{z}_1 = R_H \cdot \cos \frac{\omega_H}{\alpha_I} \cdot \tau, \quad \tilde{z}_2 = r_C \cdot \cos \frac{\omega_C}{\alpha_I} \cdot \tau$$

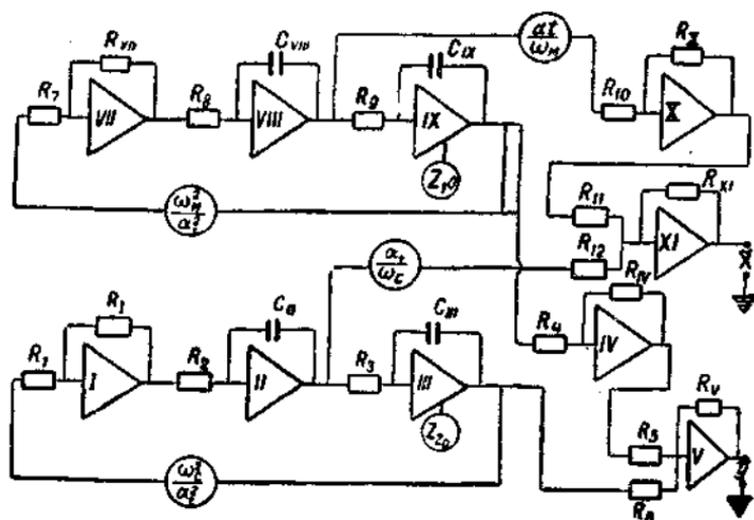
Бу олинган \tilde{z}_1 ва \tilde{z}_2 ларни $\left(\frac{\omega_H}{\alpha_I}\right)^2$ ва $\left(\frac{\omega_C}{\alpha_I}\right)^2$ ларга кўпайтириб, ишораларини ўзгартирсак ва бир марта интегралласак қуйидаги ларни ҳосил қиламиз:

$$R_H \cdot \frac{\omega_H}{\alpha_I} \cdot \sin \frac{\omega_H}{\alpha_I} \tau \quad \text{ва} \quad r_C \cdot \frac{\omega_C}{\alpha_I} \cdot \sin \frac{\omega_C}{\alpha_I} \tau$$

Буларни тегишли $\frac{\alpha_I}{\omega_H}$ ва $\frac{\alpha_I}{\omega_C}$ ларга кўпайтирсак керакли

$$R_H \cdot \sin \frac{\omega_H}{\alpha_I} \cdot \tau \quad \text{ва} \quad r_C \cdot \sin \frac{\omega_C}{\alpha_I} \cdot \tau \quad \text{лар ҳосил бўлади.}$$

Энди умумий блок-схемани тузамиз (3.2-шакл) z_{10} ва z_{20} бошланғич қийматлар. 3.2-шаклда тўртта интегралловчи блоклар — II, III, VIII ва IX, тўртта ишора ўзгартирувчи блоклар (инверторлар) — I, IV, VII ва X ва иккитайнғувчи — V ва XI блоклар иштирок этади. Кучайтиргичларга бериладиган кириш қаршиликлари 1 мгом, 0,1 мгом, 20 ком ва чиқиш қаршиликлари ҳам шундай ўзгаради. Агар тенгламадаги ўзгарувчиларнинг коэффициентлари $1 < \text{коэффициент} < 10$ оралиғида ўзгарса, у ҳолда қаршилик 0,1 мгом орқали берилди.



3.2- шакл.

$u_{\text{чик}} = -\alpha_k \frac{R_i}{R_j} \cdot u_{\text{кир}}$ тенгликка асосан инвертордан чиқадиган кучланиш ± 100 вольтдан ошмаслигини биламиз. Шунинг учун ҳам $\left(\frac{\omega_c}{\alpha_i}\right)^2 = 2,1 > 1$ бўлганлигидан $R_1 = 0,1$ мгом деб қабул этилди. Қолган қаршиликлар қуйидагича танлаб олинади:

$$\left(\frac{\omega_n}{\alpha_i}\right)^2 = 0,044 < 1, \text{ демак } R_7 = 1 \text{ мгом олинди.}$$

$$\frac{\alpha_i}{\cos \theta} = 4,76 > 1, R_{10} = 0,1 \text{ мгом олинди.}$$

$$\frac{\alpha_i}{\omega_c} = 0,476 < 1; R_{12} = 1 \text{ мгом олинди.}$$

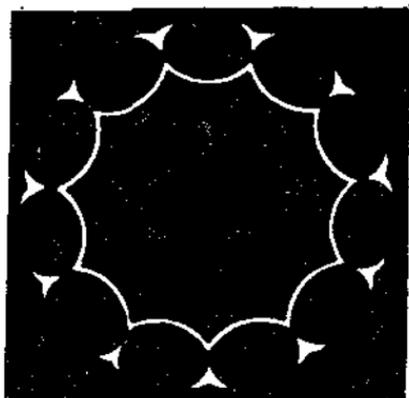
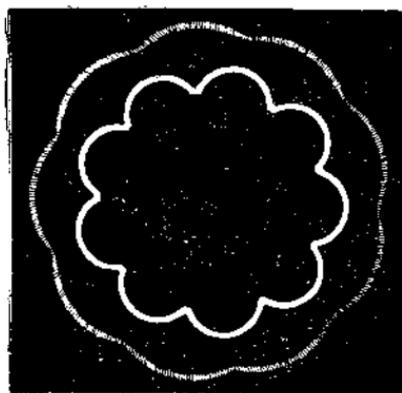
Қолган ҳамма кириш қаршиликлари 1 мгом дир. Қайтма алоқалардаги конденсаторлар сифими 1 мкф, қаршиликлар эса 1 мгом дир.

Тузилган блок-схемани машинада йиғиб, бошланғич қийматларни берсак машина ишлашга тайёрланган бўлади. Бошқариш пультадан машинани ишга солиб индикатор экранидан траекторияни кўрамиз.

Гипоциклоида учун (шпиндель тищининг пахта териш зонасидаги траекторияси) тенглама қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x} &= R_n \cdot \sin \omega_n t - r_c \cdot \sin \omega_c t \\ \tilde{y} &= R_n \cdot \cos \omega_n t + r_c \cdot \cos \omega_c t \end{aligned} \right\} \quad (18.12)$$

(18.12) учун ҳам юқоридаги йўллар билан машина тенгламаси тузилади ва блок-схема қурилади. Блок-схема бўйича машинадан XOY текислигида чизилган эпициклоида билан гипоциклоида каби шакллар олинади.



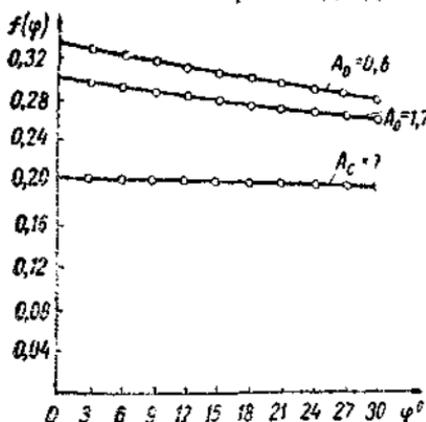
3,3-шакл.

Узатиш сонни ҳар хил бўлган ҳоллар учун турли хил шакллар олиши мумкин.

Агар III интеграторга кўпроқ бошланғич шарт берсак (z_{20}) у ҳолда узайтирилган эпициклоида, агар z_{20} ни камроқ берсак, у ҳолда қисқартирилган эпициклоида ёки гипоциклоида олинган бўлар эди.

Шундай қилиб, 3.2-шаклдаги блок-схема орқали электрон машинада олинган эпициклик траекториялар 3.3-шаклдаги осциллограммада кўрсатилган.

Яна бир мисол тариқасида қуйидаги чизиқсиз дифференциал, тенгламани электрон моделда ечиб чиқамиз.



$$\ddot{\varphi} + f(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 + q(\varphi) = 0 \quad (18.13)$$

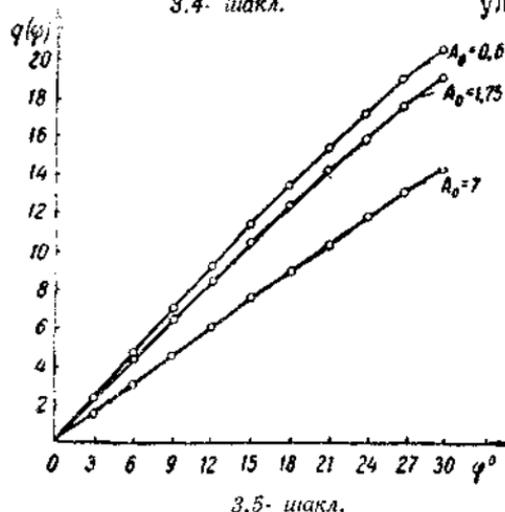
Тенгламанинг ўзгарувчан $f(\varphi)$ ва $q(\varphi)$ коэффициентлари $\varphi = 0^\circ - 30^\circ$ учун ҳисобланган ва 1-жадвалда келтирилган. Уларнинг графиглари эса 3.4 ва 3.5-шаклларда келтирилган ($r = 10$ см; $l = 30$ см; $\lambda = \frac{1}{3}$; $c = 5$ кг/см; $m = 0,1 \frac{\text{кгсек}^2}{\text{см}}$).

Графиклардан кўринишича, уларни тўғри чизиқ қонуни билан алмаштира бўлади, яъни графикларни қуйидаги аналитик тенгламалар билан ифодалаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} f(\varphi) &= a - b\varphi \\ q(\varphi) &= c_1 \cdot \varphi \end{aligned} \right\}$$

b ва c_1 лар чизиқларнинг абсцисса ўқиға оғиш бурчагининг тангенсидир. $f(\varphi)$, $q(\varphi)$ қийматлари (18.13) тенгламага қўйиб қуйидаги чизиқсиз дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\ddot{\varphi} + a\dot{\varphi}^2 - b\varphi \cdot \dot{\varphi}^2 + c_1\varphi = 0 \quad (18.14)$$



Шундай қилиб, (18.13) тенглама ўрнига, ўзгармас коэффициентли иккинчи тартибли (18.14) кўринишидаги тенгламага эга бўлади

(18.14) тенгламани электрон моделда ечиш учун уни машина тенгламаси кўринишига келтирамиз:

$$\ddot{\varphi} = m \dot{\varphi} \cdot \dot{\varphi}^2 - n \cdot \dot{\varphi}^2 - P \cdot \dot{\varphi} \quad (18.15)$$

Машина ўзгарувчиларини қуйидагича танлаб оламиз:

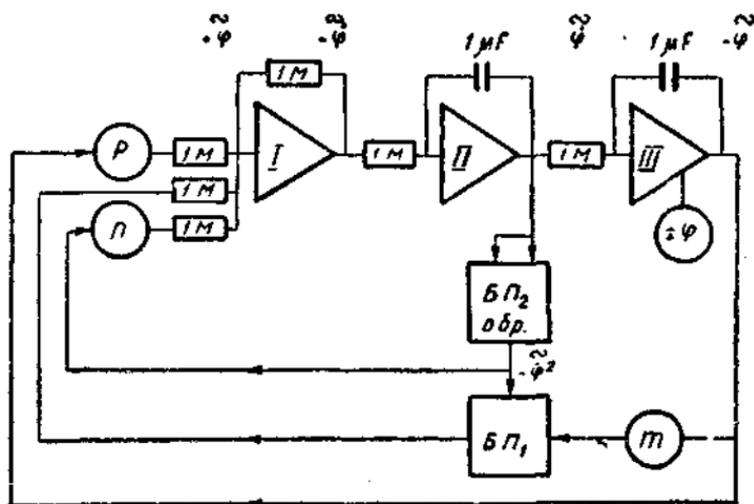
$$\dot{\varphi} = \alpha \varphi \cdot \ddot{\varphi}; \quad \alpha \varphi = 1,7 = \frac{1}{\varphi}$$

$$\tau = \alpha_1 \cdot t; \quad \alpha_1 = 7$$

(процесс 7 марта секинлаштирилади). (18.15) тенгламага тузилган электрон моделнинг блок-схемаси 3.6-шаклда кўрсатилган.

Блок-схема қуйидагича ишлайди.

$t = 0$ бўлганда блок-схема мувозанат ҳолатида бўлади. Системага бошланғич шартни $\pm \dot{\varphi}$ қийматида бериб, уни мувозанат ҳолатидан қўзғатамиз ва системада тебраниш ҳосил қиламиз. Худди шу пайтда I йиғувчи (сумматор)га (18.15) тенгламанинг ўнг томонидаги йиғиндиларни киритамиз. I йиғувчининг чиқиш еридан келтириш звеносининг манфий бурчак тезланишини оламиз ($-\ddot{\varphi}$). Сўнгра $\ddot{\varphi}$ ни ва II ва III интеграторларидан ўтказиб келтириш звеносининг бурчак тезлиги ($\dot{\varphi}$) билан ($\ddot{\varphi}$) ни оламиз. $\dot{\varphi}$



3.6-шакл.

— II интеграторнинг чиқиш жойидан, $\tilde{\varphi}$ эса III интеграторнинг чиқиш жойидан олинади. Сўнгра $\tilde{\varphi}$ ни унинг чиқишидан БП₂ — кўпайтириш блокига киритиб, унинг чиқишидан $\tilde{\varphi}^2$ ни оламиз. $\tilde{\varphi}^2$ ни БП₂ нинг чиқишидан I йиғувчига ва БП₁ кўпайтиргичнинг киришига йўналтирамиз. БП₁ кўпайтирувчининг чиқишидан $m \cdot \tilde{\varphi} \cdot \tilde{\varphi}^2$ ни олиб I йиғувчига киритамиз. III интеграторнинг чиқиш жойидан $\tilde{\varphi}$ ни олиб, $P \cdot \tilde{\varphi}$ ни I йиғувчига киритамиз. Шундай қилиб, блок-схема механизми тебраниш ҳаракатини акс эттирувчи ёпиқ контур ҳосил қилади.

Яна бир мисол тариқасида ХВС-1,2 ва ХТ-1,2 пахта териш машиналарида бункерни ағдарадиган механизмнинг дифференциал тенгламасини ечиб кўрсатамиз. Бу механизмнинг ҳаракат дифференциал тенгламаси Ўзбекистон Фанлар академиясининг ахборотларида¹ ва унинг электрон моделда ечилиши шу академиянинг докладларида² кўрсатилган. Бункернинг ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда:

$$\ddot{\varphi} + \psi(\varphi) \cdot \dot{\varphi}^2 + \eta(\varphi) \cdot \dot{\varphi} = q(\varphi) \quad (18.16)$$

Бу тенгламадаги φ пахта териш машинаси бункерининг бурчак тезлигидир, $\psi(\varphi)$, $\eta(\varphi)$, $q(\varphi)$ лар бункер ҳолати (φ) га боғлиқ бўлган миқдорлар. Бу тенгламани машина ўзгарувчиси кирган тенглама кўринишига келтирилади, яъни масштаб коэффициентлари киритилади: $\tilde{\varphi} = \alpha_\varphi \cdot \varphi$;

$$\tau = \alpha_t \cdot t; \quad q_b = \alpha_q \cdot q\varphi; \quad \eta_b = \eta_\varphi \cdot \alpha_\eta; \quad \psi = \psi_\varphi \cdot \alpha_\psi$$

Буларни (18.16) га қўйиб қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\tilde{\ddot{\varphi}} = \frac{\alpha_\varphi}{\alpha_t^2 \alpha_q} \cdot \tilde{q}(\tilde{\varphi}) - \frac{1}{\alpha_\varphi \alpha_\psi} \cdot \tilde{\psi}(\tilde{\varphi}) \cdot \tilde{\dot{\varphi}}^2 - \frac{1}{\alpha_t \alpha_\eta} \tilde{\eta}(\tilde{\varphi}) \cdot \tilde{\dot{\varphi}}$$

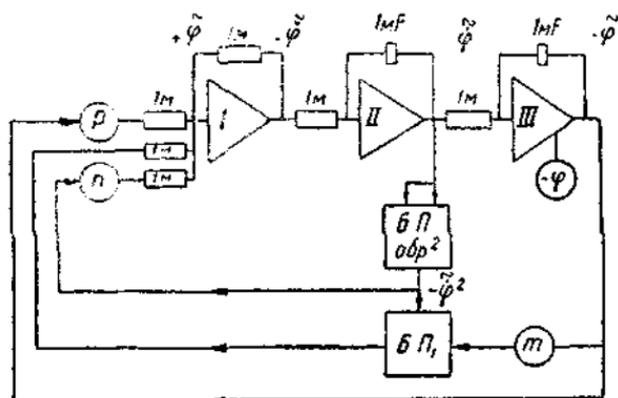
ёки

$$\tilde{\ddot{\varphi}} = \alpha \cdot \tilde{q}(\tilde{\varphi}) - b \tilde{\psi}(\tilde{\varphi}) \cdot \tilde{\dot{\varphi}}^2 - c \cdot \tilde{\eta}(\tilde{\varphi}) \cdot \tilde{\dot{\varphi}} \quad (18.17)$$

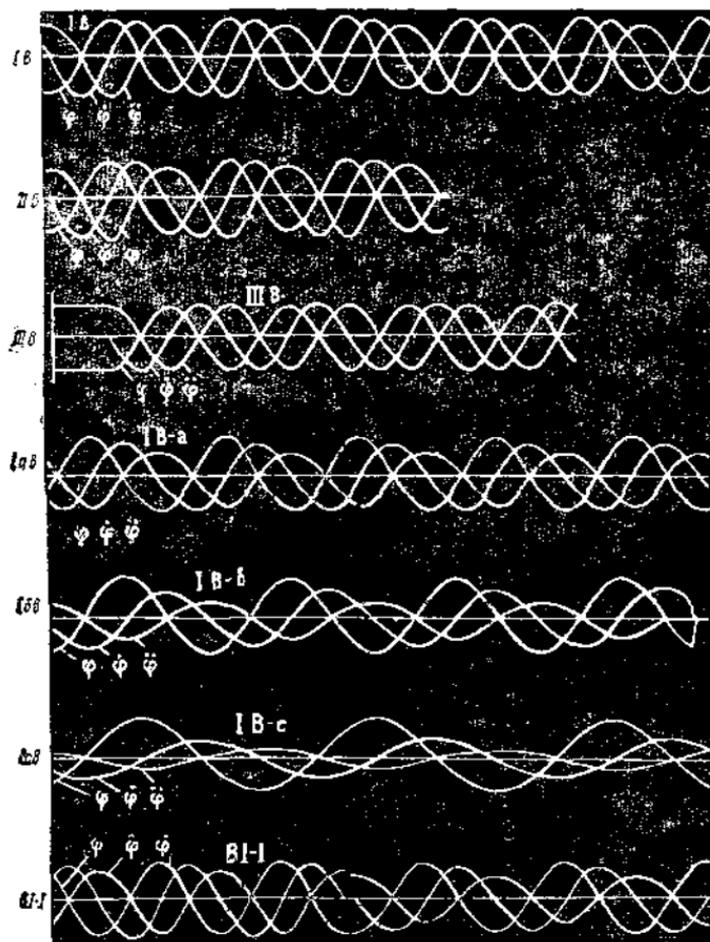
(18.17) га тузилган блок-схема 3.7-шаклда кўрсатилган $\psi(\varphi)$, $\eta(\varphi)$ ва $q(\varphi)$ лар учун $\varphi = 0 \div 103^\circ$ чегарасида ҳар 5° дан ҳисобланиб, жадвалда берилади. Буларнинг ўзгариш графиклари блок-схемадаги БН-1, БН-2, БН-3 чизиқсиз блокларида тасвирланган.

¹ Усманходжаев Х. Х., Кузибаев Г. С., «Известия АН УзССР», 1965, № 3, стр. 38.

² Кузибаев Г. С. Доклады АН УзССР, 1965. № 8.



3.7- шакл.



3.8- шакл.

(18.17) тенгламанинг ўнг томонидаги ҳадларнинг йиғиндиси I йиғувчига киритилади. Йиғувчи блокнинг чиқишидаги кучланиш бункернинг бурчак тезланиши $\ddot{\varphi}$ га пропорционал. $\ddot{\varphi}$ ни икки марта II ва III интеграторларда интеграллаб $\dot{\varphi}$ ва φ ларни оламиз.

Чизиқсиз блокларнинг киришига φ бурчагига пропорционал кучланиш берилади. $БН_1$, $БН_2$ чизиқсиз блокларнинг чиқишлари a ва b бўлувчилар орқали $БП_2$ ва $БП_3$ кўпайтириш блокларига берилади. $БП_3$ функционал блокнинг чиқиши IV инвентордан ва c бўлувчидан ўтиб I йиғувчига киради. II интеграторнинг чиқиши ($\dot{\varphi}$) $БП_1$, $БП_2$, $БП_3$ кўпайтириш бурчакларига кириб $БП_2$ ва $БП_3$ лардан чиққан кучланишлар ҳам I йиғувчига киради.

Агар $t = 0$ бўлса, система мувозанатда бўлади ва системага $\tilde{q}(\varphi)$ таъсир кўрсатиб, уни мувозанат ҳолатидан чиқарилади. 3.8-осциллограммаларда гидроприводдаги босим кучининг бункер ҳаракатига таъсири кўрсатилган.

4-§. V класс илгариланма сирпанувчи кинематик жуфтлардаги механик аналоглар

Ишқаланиш—механизм ёки машина кинематик жуфтларида содир бўладиган куч билан ўлчаниб, турли материалларнинг элементларaro ишқаланишида ишқаланиш кучлари кўпми ёки кам эканлиги, ишқаланиш коэффициентни деб аталувчи ўлчовсиз миқдор билан характерланади.

Ишқаланиш коэффициенти турли материаллар учун турлича бўлиб, улар тажриба йўли билан топилади ва махсус справочникларда келтирилади.

Ҳозирги кунда илмий ташкилотларда ишқаланиш соҳасида икки йўналишда иш олиб борилмоқда. Булардан бирида ишқаланиш коэффициенти катта бўлган материаллар яратиш устида иш олиб борилаётган бўлса (фрикцион материаллар яратиш), иккинчисида ишқаланиш коэффициентини камайтириш устида иш олиб борилмоқда (антифрикцион материаллар яратиш).

Биз қуйида турли материаллар орасидаги ишқаланиш коэффициентини тез топиш учун ишлатиладиган асбоб механизмининг яратиш ва унинг ишлаш принципининг илмий асоси билан танишиб чиқамиз.

I

Илгариланма V класс кинематик жуфтни ташкил этувчи звено элементлари орасидаги ишқаланиш коэффициентини топиш назарияси билан шуғулланамиз.

Бу ишдан асосий мақсад шундай звено элементлари орасидаги ишқаланиш коэффициентини топиш учун ишлатиладиган механизм параметрларини топишнинг асосий яратишдир.

Ҳақиқатан ҳам пружинанинг эластик кучи таъсирида сирпанаётган ползун (4.1-шакл) маълум йўл босгач тўхтайди ёки тўхтаб яна тескари йўналган эластик куч таъсирида орқасига қайтади. Унинг тўхташи ёки қайтиши бошланишида қуйидаги шарт бажарилиши зарур:

$$cx_1 \leq F, \quad (18.18)$$

бунда, c — пружинанинг эластиклик (бирлик) коэффициенти;

x_1 — ползуннинг босган йўли;

F — ползун билан йўналтирувчи элементлари орасидаги ишқаланиш кучи.

Биз танлаган механизмнинг (4.1-шакл) эркинлик даражаси академик П. Л. Чебишев формуласига асосан бирга тенг. Унинг ишлаш принципидаги диссепатив хусусият, шу механизмнинг ишқаланиш коэффициентини топиш учун ишлатиш фикрини тугдиради. Бундай диссепатив механизмларда ишқаланиш ҳисобига энергия камайиб боради.

Механизмни устивор ҳолати (00) дан x_0 масофага тортиб қўйиб юборсак, унинг ҳаракати қуйидаги дифференциал тенглама билан ифодаланади:

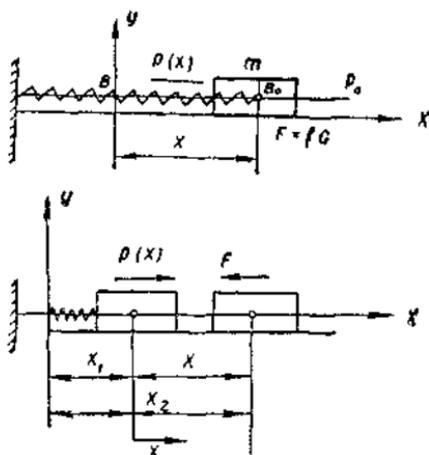
$$m\ddot{x} + cx \pm fmg = 0, \quad (18.19)$$

бунда, m — ползуннинг массаси;

f — ишқаланиш коэффициенти;

g — эркин тушиш тезланиши.

(18.19) тенгламадаги ишқаланиш коэффициентини ҳисобга олмасак, у оддий гармоник ҳаракат тенгламасининг ўзига айланади. Математик нуқтан назардан массанинг муҳит қаршилигини ҳисобга олмагандаги тебраниши, ишқаланишни ҳисобга олгандаги тебранишга қараганда осонроқдир, чунки ишқаланиш кучи ҳисобга олингандаги (fmg) дифференциал тенгламани ечишни кетма-кет олиб боришга тўғри келади.



4.1-шакл.

Шунинг учун қаршилиқ кучининг олдида икки ишора (\pm) турибди, чунки ишқаланишдаги қаршилиқ кучи жисм ҳаракатига (ёки тезлигига) тескари йўналган бўлади. Тенгламадаги ишқаланиш кучининг олдидаги икки ишора унинг чизиксиз эканлигини билдиради, шунинг учун қуруқ ишқаланишли механизмлар ҳаракати чизиксиз дифференциал тенглама орқали ифодаланганликларидан уларни чизиксиз механизмлар деб атаса бўлади.

Ишқаланиш кучи ҳамма вақт ҳаракатга тескари йўналганлиги учун (2) тенгламани Кронкер функцияси орқали қуйидагича ёзса бўлади:

$$m\ddot{x} + cx + fmg \operatorname{Sgn} x = 0$$

ёки

$$\ddot{x} + \omega^2(x + \mu \operatorname{Sgn} \dot{x}) = 0 \quad (3)$$

бундаги

$$\omega^2 = \frac{c}{m}; \quad \frac{F}{c} \cdot \frac{c}{m} = \mu \cdot \omega^2$$

$\mu = \frac{F}{c}$ (мм) ползун массасининг ишқаланиш кучи ҳисобига ўз мувозанат ҳолатидан четланиши.

Тушунарли бўлиши учун Кронкер функциясини қуйидагича ёзамиз:

$$\operatorname{Sgn} \dot{x} \begin{cases} +1, & \text{агар } \dot{x} > 0 \\ -1, & \text{агар } \dot{x} < 0. \end{cases}$$

(3) тенгламанинг умумий ечилишини қуйидагича ёзамиз:

$$x(t) = A \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t - \mu \operatorname{Sgn} x \quad (4)$$

$t = 0, x_{0i} > 0, \dot{x} = 0$ бошланғич шартдан ва $\operatorname{Sgn} \dot{x} = -1$ ни ҳисобга олиб интеграллаш донмийларини топамиз, улар қуйидагиларга тенг:

$$A = x_{0i} - \mu; \quad B = 0$$

A ва B ларни (4) га қўйиб, қуйидаги ҳаракат тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$x(t) = (x_{0i} - \mu) \cdot \cos \omega t + \mu \quad (5)$$

Эндиги масаланинг моҳияти (5) тенгламадан мақсадга мувофиқ фойдаланишдир. Ҳаракат тебранма бўлганлигидан, ҳаракатнинг ярим даври охирида тезлик ноль бўлишини топиш қийин эмас, бунинг учун (5) дан вақтга нисбатан ҳосила олиб уни нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = -(x_{0i} - \mu) \cdot \omega \cdot \sin \omega t = 0 \quad (6)$$

(6) шарт, фақат, $\omega t = \pi$ бўлгандагина бўлади. (6) дан ползуннинг тўхташ вақти $\left(\tau = \frac{\pi}{\omega}\right)$ ни топиб уни (5) га қўйсак, ползуннинг ишқаланиш кучи таъсирида тўхтагунча босган йўли билан механизм параметрлари ҳамда ишқаланиш коэффициентлари орасидаги боғланишни топамиз, у қуйидагича бўлади:

$$x_i = -(x_{oi} - 2\mu) = (2\mu - x_{oi}) \quad (7)$$

(7) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$x_i = x_{oi} \left(\frac{G_i}{C_i x_{oi}} \cdot 2f - 1 \right) \quad (8)$$

(8) тенгламадан мўлжалланган механизм параметрларини, яъни худди шу тенгламадан G_i — ползуннинг оғирлиги, C_i — пружинанинг бикрлиги (эластиклиги) ва бошланғич тортилиш x_{oi} лар орасидаги боғланишларни топиш мумкин, шу тенгламадан қуйидагини ёзамиз:

$$\frac{C_i}{C_i \cdot x_{oi}} = 1, \quad (9)$$

бундан

$$x_{oi} = \frac{C_i}{G_i} \quad (10)$$

(10) тенглама ёрдамида ползуннинг оғирлиги билан пружинанинг бикрлигини танлаб x_{oi} ни ёки x_{oi} , C_i ни танлаб G_i ни ёхуд x_{oi} , G_i ни танлаб ползуннинг оғирлигини топиш мумкин.

(8) тенгламадан қуйидагини олишимиз мумкин:

$$\frac{2G_i}{C_i x_{oi}} = 1 \quad (11)$$

(11) тенглама ҳам G_i , C_i ва x_{oi} лар орасидаги боғланишни беради. Булар механизмнинг асосий кинематик ва динамик параметрларидир.

Шундай қилиб, (9) ёки (11) шартларидан фойдаланиб, конструктор прибор механизмининг асосий параметрларини танлаш, аниқлаш имкониятига эга бўлади.

(9) ни (11) шартларини (8) тенгламага қўйиб, шу икки шартни бажарувчи механизмлар учун тортилишдан (x_{oi}) то тўхташ давригача бўлган масофа оралиғидаги x_i билан ишқаланиш коэффициенти (f) орасидаги боғланишларнинг қуйидаги кўринишларини оламиз:

$$x_i = x_{oi} (2f - 1) \quad (12)$$

$$x_i = x_{oi}' (f - 1) \quad (13)$$

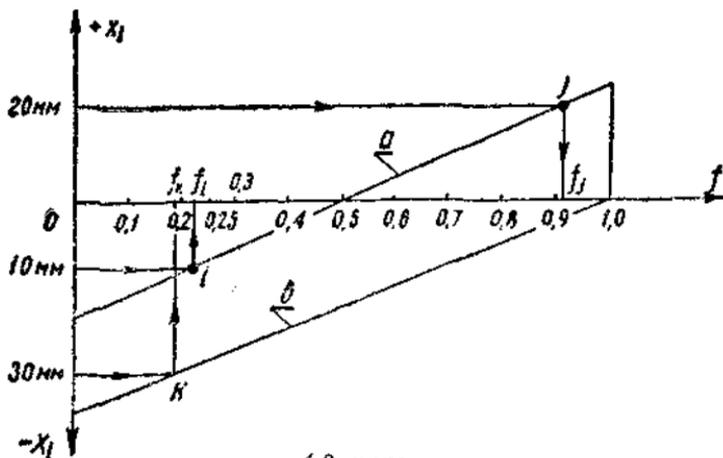
(12) ва (13) тенгламалардан фойдаланиб $f = 0 - 1$ диапазон учун номограммалар тузиш мумкин (4.2-шакл). Шаклдаги a чи-

зиғи (12) тенгламанинг чизиқли, b сса (13) тенгламанинг чизиқли инфодасидир.

(12) ва (13) тенгламалардан G_i ва c_i параметрлари бир-бирига тенг бўлган механизмлар учун $x_{0i} = 2x_{0i}$ бўлиши лозимлигини кўриш қийин эмас.

Номограммадан фойдаланиш. (12) тенглама асосида қурилган номограмма учун қурилган прибор механизми шкаласидан $x_i = 10$ мм ни белгилаб олинади ва уни ордината ўқининг пастидан (i) ни ўлчаб қўйиб унинг охиридан горизонтал чизиқ ўтказамиз. Шу горизонталнинг номограмма чизиғи билан кесишган нуқтаси (i) дан юқорига вертикал чизиқ ўтказамиз. Вертикалнинг абсцисса билан кесишган нуқтасидан чизиқли аналог (x_i) га тўғри келган f_i ишқаланиш коэффициентини топамиз.

Шу прибор механизмидан $x_j = 20$ мм топилиб, уни ордината ўқининг мусбат томонидан топамиз ва шу баландликда горизонтал чизиқ ўтказиб, унинг номограмма чизиғи билан кесишган нуқтасини (j) ни топиб, ундан абсцисса ўқига тик туширамиз ва шу абсциссадан f_j ни топамиз. Шундай қилиб f_i ва f_j ишқаланиш коэффициентларининг чизиқли аналоглари x_i билан x_j лардир.



4.2- шакл.

Агар номограмма чизиғи (13) тенглама асосида тузилган бўлса (b чизиғи) ва прибор механизмининг параметрлари (11) тенглама асосида топилган бўлса, у ҳолда прибор шкаласидан топилган $x_k = 30$ мм, шу абсцисса ўқининг манфий томонига қўйилиб, ўша баландликда горизонтал чизиқ ўтказилади. Шу горизонталнинг b номограмма чизиғи билан кесишган нуқтасидан (k) абсциссага тик туширсак $x_k = 30$ аналогига мос келган f_k ишқаланиш коэффициентини топган бўламиз.

Шундай қилиб, конструктор исталган параметрни (9) ва (11) лардан танлаш имкониятига эга бўлади ва шу параметрлар асосида прибор механизмининг конструкциясини ишлаб чиқа олади.

Аналогияни яхши тушуниш учун биз турли системаларнинг ўхшашлигини фақат кинетик ва потенциал энергияларни ёзилишида қанчалик ўхшашлик борлиги мисолида кўрсатиб ўтмоқчимиз. Асосан механик электрик ва акустик системалардаги ҳаракатлар кинетик, потенциал ва иссиқлик энергиялар орқали характерланадилар.

Механик система ҳаракати. Масалан, илгариланма ҳаракат қилувчи массанинг кинетик энергиясини қуйидаги кўринишдаги формула билан топилади:

$$E_M(x) = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$$

бунда, m — ҳаракатдаги жисм массаси;

$v = \dot{x}$ — шу жисмнинг чизиқли тезлиги.

Агар жисм қаттиқ бўлиб фақат айланма ҳаракатда бўлса, унинг кинетик энергияси қуйидагича топилар эди:

$$E_M(\dot{\varphi}) = \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2$$

бунда, I — айланувчи жисм массасининг айланиш ўқиға нисбатан инерция м.менти;

$\omega = \dot{\varphi}$ — шу жисмнинг бурчак тезлиги.

Электрик система ҳаракати. Масалан, магнит майдонида электр токининг йиққан кинетик энергияси қуйидагича топилади:

$$E_S(i) = \frac{1}{2} L \cdot i^2,$$

бунда, L — индуктивлик (генри билан ўлчанади);

i — индуктивликдан ўтувчи ток (ампер).

Акустик система ҳаракати. Масалан, акустик система инертилик томонидан йиғилган кинетик энергия қуйидагича топилади:

$$E_A(\alpha) = \frac{1}{2} u \alpha^2,$$

бунда: u — инертилик ($г/см^4$)

α — муҳитдаги ток ($см^3/сек$).

Энди шу системаларнинг потенциал энергиялари билан танишиб ўтаемиз.

Илгариланма ҳаракатдаги массани эластик элемент таъсиридан ҳосил бўлган потенциал энергиянинг кўриниши қуйидагича топилади:

$$P_M(x) = \frac{1}{2} c x^2,$$

бунда, c — пружина (эластик элемент) қаттиқлиги ($кг см$);
 x — чўзилиш ($см$).

Пружина таъсирида айланиб турувчи массанинг тўплаган потенциал энергияси эса қуйидагича топилади:

$$P_M(\varphi) = \frac{1}{2} c \varphi^2,$$

бунда, c — пружина қаттиқлиги ($\frac{кг см}{рад}$);
 φ — буралиш бурчаги ($рад$).

Электр занжирининг электр сифимидаги йиғилган потенциал энергия қуйидагича топилади:

$$P_E(q) = \frac{1}{2C_E} q^2,$$

бунда, C_E — сифим (*фарада* билан ўлчанади);
 q — сифимнинг электр заряди (*кулон*).

Акустик система акустик сифимидаги тўпланган потенциал энергия қуйидагича топилади:

$$P_A(\alpha) = \frac{1}{2C_A} \cdot \alpha^2,$$

бунда, α — сиқиб чиқарилган ҳажм ($см^3$);

$C_A = \frac{V}{\rho U^2}$ — акустик сифим ($\frac{см^5}{дина}$);

V — идиш ҳажми ($см^3$);

ρ — ҳаво зичлиги;

U — товуш тезлиги ($см сек$).

Учала кўриб ўтилган системалардаги умумий энергия шу кинетик ва потенциал энергиялар йиғиндисидан иборатдир.

Энди шу энергиялар тарқалишини иссиқлик энергияга ўтатиш қай тартибда бўлишини эслатиб ўтамиз. Иссиқлик ишқаланишдан келиб чиқади. Агар механик илгариланма ҳаракатдаги ишқаланиш кучи тезликка пропорционал бўлса, у ҳолда иссиқликка ўтувчи механик энергия қуйидагича топилади:

$$R_M(x) = E v = \mu \dot{x} \cdot \dot{x} = \mu \dot{x}^2,$$

бунда, μ — пропорционаллик коэффициентини.

Айланим ҳаракатдаги звено подшипнигидаги ишқаланиш моменти бурчак тезликка пропорционал деб қабул этилса, у ҳолда иссиқликка ўтувчи механик энергия қуйидагича топилади:

$$R_M(\varphi) = M_1 \dot{\varphi} = \mu_2 \dot{\varphi}^2,$$

μ_2 — пропорционаллик коэффициентини.

Иссиқликка айланувчи электромагнит энергия эса қуйидагича топилади:

$$R_{\mathfrak{E}}(\dot{L}) = r i^2,$$

бунда, r — электр қаршилиги (ом);

i — ток (ампер).

Тешикдан суяқлик ўтишидаги ёпишқоқлик коэффициентини (ишқаланиш коэффициентини) натижасида иссиқликка айланувчи акустик энергия қуйидагича топилади:

$$R_A(\dot{\alpha}) = r_A \cdot \dot{\alpha}^2,$$

бунда, r_A — акустик қаршилиқ;

α — муҳитдаги оқим (см³/сек).

Юқорида келтирилган уч системани ҳаракатидан ҳосил бўлган кинетик энергиялар тенгламалари орасида жуда ўхшашлик бор. Потенциал энергиялар формулаларида ҳам тўлиқ ўхшашлик борлигини сезиш қийин эмас. Бу системалардаги иссиқликка айланувчи механик энергия формулаларида ҳам тўла ўхшашлик борлигини кўриб турибмиз. Шунинг учун улар қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\begin{aligned} E_M(x) &\doteq E_M(\varphi) \doteq E_{\mathfrak{E}}(i) \doteq E_A(\dot{\alpha}) \\ P_M(x) &\doteq P_M(\varphi) \doteq P_{\mathfrak{E}}(i) \doteq P_A(\dot{\alpha}) \\ R_M(x) &\doteq R_M(\varphi) \doteq R_{\mathfrak{E}}(i) \doteq R_A(\dot{\alpha}) \end{aligned}$$

ИЛОВАЛАР

1- илова

Физик миқдорлар ва уларнинг ўлчов бирликлари

Механик бирликларни ҳисоблашда МКГСС ўлчов системаси (масса, килограмм-сила и секунд), иссиқлик техникасида эса калорияга асосланган бирликлар, электр билан боғлиқ ишларда эса МКГСС, МКСА (масса, килограмм-сила ангстрем) ва халқаро практик бирликлар ишлатиларди. Физик ва акустиклар эса, одатда, СГС (сантиметр, грамм, секунд) бирликлари билан иш тутадилар. Кўпинча, бирор системада ҳисобланган ўлчовлар бошқа мутахассисларга тушунарли бўлмай, уни хоҳлаган системага кўчириш жуда кўп вақтга оларди. Шундай қийинчилик бўлмаслиги учун 1963 йил 1 январдан бошлаб СССРда халқаро бирликлар системаси (СИ) жорий этилди. Бу системанинг жорий этилиши лойиҳалаш ишларидаги кўпгина қийинчиликларга барҳам берди. Табиат ҳодисалари ўртасидаги боғлаишлар физика қонунилари орқали ифодаланади. Бу боғлаишлар алоҳида тушунчалар орқали ифодаланиб—улар *физик миқдорлар* деб аталади. Масалан, ўзгармас массаи роторнинг потекис айлаиши куйидаги дифференциал тенглама орқали ифодаланади:

$$I \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M_g - M_k$$

Бунда бурмак тезлигининг ўзгариши

$$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt}$$

икки моментининг айирмасига боғлиқ экан, яъни:

$$\varepsilon = \varepsilon(M_g, M_k)$$

I , M_g , M_k лар физик миқдорлар бўлиб, булардан I — роторнинг инерция моменти, M_g — роторни ҳаракатлантирувчи момент, M_k — эса ротор ҳаракатига кўрсатилаётган қаршилик. Ана шу физик миқдорлар ўзгармас бўлса, ε ҳам бир хил қийматга эга бўлган ўзгармас сонни берар эди. Бу айтилган формуладаги ҳар бир физик миқдор I , M_g ёки M_k лар алоҳида тушунчалар орқали белгиланган физик миқдорлардир. Ўлчов системаларига стандартлар ишлаб чиқилган. Масалан Д. И. Менделеев номидаги ВНИИМ таклифи билан электр ва магнит бирликлари (ГОСТ8033-56), акустик бирликлар (ГОСТ 8849-58), механик бирликлар (ГОСТ7664-61) каби Давлат стандартлари тасдиқ этилиб ҳозирги кунда ишлатилмоқда.

Ўлчов бирликларини маълум тартибга солиш мақсадида Халқаро ўлчовлар ва оғирликлар комитетининг 1956 йилда чақирилган X Бош конференциясида ишлаб чиқилган асосий, қўшимча ва ҳосилали бирликлар рўйхатига асосан янги система тузилиб, унга «Халқаро ўлчов системаси» деб ном берилди ва 1958 йилда бу системага Si — Systeme international (русча транскрипцияси СИ) деган символ берилди. Бу системани СССРда 1963 йил 1 январдан жорий этишликка қарор қилинди.

Механик миқдорлар ва уларнинг ўлчов бирлиги

Механик миқдорнинг номи	Харфий белгиси	Улчамларнинг формуласи		Ўлчов бирлиги	
		физик абсолют системада	техник системада	абсолют CGS	халқаро СИ системадада қисқача белгиси
Узушлик	l	L	L	CM	M
Масса	m	M	$L^{-1}FT^2$	g	$KG \cdot SEC^2/M$
Куч	F				
Оғирлик	G	$L \cdot M \cdot T^{-2}$	F	дин ($g \cdot CM/SEC^2$)	N (НЬЮТОН) ($KG \cdot M/SEC^2$)
Вақт	t	T	T	SEC	SEC
Текисликдаги бурчак	φ	I	I	RAD	RAD
Бурчак тезлиги	ω	T^{-1}	T^{-1}	SEC^{-1}	SEC^{-1}
Бурчак тезланиш	ϵ	T^{-2}	T^{-2}	SEC^{-2}	SEC^{-2}
Тезлик	v	LT^{-1}	LT^{-1}	CM/SEC	M/SEC
Тезланиш	a	LT^{-2}	LT^{-2}	CM/SEC^2	M/SEC^2
Куч momenti	M	L^2MT^{-2}	$L \cdot F$	дин·см ($g \cdot CM^2/SEC^2$)	$N \cdot M$ ($KG \cdot M/SEC^2$)
Куч импульси	S	LMT^{-1}	$F \cdot T$	дин·сек ($g \cdot CM \cdot SEC$)	$KG \cdot SEC$
Харакат миқдори	Q	LMT^{-1}	$F \cdot T$	дин·сек ($g \cdot CM \cdot SEC$)	$N \cdot SEC$
Харакат миқдор momenti	K	L^2MT^{-1}	$L \cdot FT$	$g \cdot CM^2/SEC$	$KG \cdot M^2/SEC$
Кинетик энергия	T				
Иш	A	L^2MT^{-2}	LF	$g \cdot CM^2/SEC^2$	эрг ($g \cdot CM^2/SEC^2$)
Кувват	W	L^2MT^{-3}	LFT^{-1}	$g \cdot CM^2/SEC^3$	вт ($KG \cdot M^2/SEC^3$)
Жўм момент инерцияси	J	L^2M	LFT^2	$KG \cdot CM^2$	$KG \cdot M^2$

МУНДАРИЖА

Автордан	3	11-§. Аналитик кинематика	194
Кириш	5	12-§. III класс 3-тартибли механизмлар учун тезликлар ва унинг интеграллиги методлари	205
I қисм Механизмларнинг асосий турлари, тузилиши, классификацияси ва кинематикаси		13-§. График интеграллиги методлари. Интеграл чизиқлар	210
I б о б. Механизмларнинг асосий турлари		14-§. Узатиш функцияси ҳақида тушуنча	217
1-§. Ричагли механизмлар	21	15-§. Механизмларнинг борманент ва бошланғич ҳаракатини топиш	219
2-§. Кулочоқли механизмлар	27	16-§. Механизм ва механизм назариясидаги инвариантлар ўқинишлиги методининг асослари ҳақида тушунча	224
3-§. Шестерняли механизмлар	29	V б о б. Қуйи жуфтли механизмлар лойиҳалаш асослари	
4-§. Винтли ва понали механизмлар	36	1-§. Механизм лойиҳалашнинг асосий масалалари	228
5-§. Фрикцион механизмлар	36	2-§. Тўрт звеноли механизмларнинг асосий типларини қўрилган турли шартларга мувофиқ лойиҳалаш	234
6-§. Эгиловчан звеноли механизмлар	37	3-§. Механизм кинематик схемаларини сингезлаш	237
7-§. Гидравлик ва пневматик механизмлар	39	V I б о б. Олий жуфтли механизмлар лойиҳалаш асослари	
8-§. Электр механизмлар	40	1-§. Ҳаракатини узатиш тўрисидаги умумий масала	249
II б о б. Механизмларнинг тузилиши		2-§. Нисбий ҳаракатдаги центроидлар	252
1-§. Боғланишлар тўғрисида умумий тушунча	40	VII б о б. Кулачоқли механизмлар ва уларни лойиҳалаш	
2-§. Кинематик жуфтлар классификацияси	44	1-§. Текисликда ва фазода ҳаракатланувчи кулачоқли механизмларнинг анализи	253
3-§. Деталь ва звенолар. Кинематик жуфтларнинг шартли белгилари	53	2-§. Кулачоқли механизмларнинг анализи	259
4-§. Кинематик занжир ва уларнинг турлари	54	3-§. Кулачоқли механизмларнинг кинематик лойиҳасини тузиш	264
5-§. Кинематик занжирнинг эркинлик даражаси	57	4-§. Узатиш бурчиси ҳақида тушунча; Қудак профилининг динамик лойиҳасини тузиш	265
6-§. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмларнинг тузилиш формуласи (академик П. Л. Чебишев формуласи)	58	5-§. Лойиҳалашнинг аналитик методи	274
III б о б. Механизмларнинг классификацияси		VIII б о б. Текисликда ҳаракатланувчи шестерняли механизмлар	
11-§. Механизмларнинг рационал классификациясига қўйилган талаблар	65	1-§. Шестерняли механизмлар ва уларнинг турлари	285
2-§. Текисликда ҳаракат қилувчи механизмлар классификацияси	69	2-§. Эвольвенти бўйича ишлаш ва унинг хоссалари	286
3-§. Қуйи кинематик жуфтли II класс 2-тартибли группанинг модификациялари	76	3-§. Шестернялардан тузилган мураккаб узатмалар	302
4-§. Фазовий ва текис механизмлар тузилиш формуласининг ишлатилиши тўғрисида баъзи бир мулоҳазалар	78	4-§. Дифференциал ва планетар механизмлар (эпициклик механизмлар)	304
I V б о б. Текисликда ҳаракатланувчи механизмлар кинематикасининг текшириш методлари		5-§. Виллис формуласи	305
1-§. Механизмлар кинематикасининг асосий масалалари	81	6-§. Фазода ҳаракатланувчи шестерняли механизмлар	317
2-§. Механизмларнинг турли вазиятдаги планларини тузиш	85	7-§. Сатиллиги ўзгарувчан бурчак тезликли эпициклик механизмларнинг аналитик кинематикаси	326
3-§. Текисликда ҳаракатланувчи механизм звено нукталарининг тезлик ва тезланишларини топиш	88	8-§. Оқдий планетар ва дифференциал механизм етакланувчи звеноларининг аналитик кинематикаси	332
4-§. Кинематик диаграммалар ёрдами билан механизмлар кинематикасини ўрганиш (график кинематика)	90	9-§. Универсал эпи-типоциклограф	336
5-§. Уринмалар методи билан дифференциаллаш	94	IX б о б. Кинестатика	
6-§. Ватарлар ёрдами билан дифференциаллаш	98	1-§. Механизмлар динамикасининг асосий масалалари	340
7-§. Ординалатларни орттириш усули билан дифференциаллаш	100	2-§. Механизм звеноларидаги инерция муқдариини ҳисобга олиш	343
8-§. Механизмлар учун тезликлар плани	102	3-§. Кинематик занжирнинг статик аниқлик шартлари	356
9-§. II класс механизмлар учун тезланишлар планини тузиш	120	4-§. Механизм кинематик жуфтларидаги реакцияларни топиш	356
10-§. Тўрт звеноли шартли механизм учун В. Т. Костицкининг юзлар қонуни	192	5-§. Ассур группаларини кинестатикаси	358
		6-§. Етакловчи звеноларнинг кинестатикаси	376

7- §. Проф. Н. Е. Жуковскийнинг қаттиқ ричақ тўғрисидаги теоремаси	387	6- §. Академия И. И. Артоблевский метод	471
8- §. Берилган кучлар таъсиридаги механизмнинг мувозанат шартларидан бири	392	dI	
9- §. Каторли тишли узатмаларни кучга ҳисоблаш	394	7- §. $f_k(\varphi)$ ва $\frac{h(\varphi)}{d\varphi}$ ларни аналитик усулда топиш	473
10- §. Кулачокли механизмлардаги босим бурчаги ҳақида тушунча	395	8- §. Н. И. Мерцалов методи	473
X б о б. Кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш кучлари		9- §. Механизм етакловчи звеносини ўртача тезлигини кинетик энергия орқали тақрибий топиш	480
1- §. Нисбий ҳаракатга кўрсатилган қариндасликлар	397	XIV б о б. Массаларни мувозанатлаш	
2- §. Илгариланма ҳаракат қилувчи кинематик жуфт элементларидаги ишқаланиш	400	1- §. Аплавувчи массаларни мувозанатлаш	483
3- §. Сирғаниш подшиникларидаги ишқаланиш	404	2- §. Массаларни статик ва динамик мувозанатлаш ҳақида тушунча	485
4- §. Ишқаланиш доираси	408	3- §. Эластик валнинг критик тезлиги ҳақида тушунча	492
5- §. Товон ва донос ости кинематик жуфт элементлари орасидаги ишқаланиш	409	XV б о б. Машина ёки механизми мувозанатлаш	
6- §. Слий кинематик жуфтларидаги ишқаланиш	411	1- §. Мувозанатланмаган куч ва унинг фундаментига таъсири	500
7- §. Эгилувиш звеноларидаги ишқаланиш	413	2- §. Машина ёки механизмнинг тўла ва қисман мувозанатлаш	503
XI б о б. Берилган кучлар таъсиридаги механизмнинг ҳақиқий ҳаракати		3- §. Қосқич ҳаракатининг дифференциал тенгламаси	505
1- §. Механизм ва машина назариясидаги динамика ҳисоблаш, уларнинг методлари ва кучлар тўғрисидаги қисқача тўғриси	416	4- §. Тўқув автоматининг пухта ишлаш коэффициенти тўғрисида тушунча	509
2- §. Аппозиция ағрегатининг ҳаракат тенгламаси. Машинанинг тартибли ва тартибсиз ҳаракати	424	5- §. Қосқичнинг минимал оғирлигини топиш	511
3- §. Энгтирилган куч ва момент ҳақида тушунча	427	XVI б о б. Умулланган координата ва Лагранж тенгламасининг механизмлар ҳаракатига таътиқи	
4- §. Энергия ва иш тўғрисида тушунча	433	1- §. Умулланган координата ҳақида тушунча	512
5- §. Механизмнинг кинетик энергияси	431	2- §. Механизм ҳаракатини ўрганишда Лагранж тенгламасини таътиқи	514
6- §. Келтирилган масса ва энергия momenti ҳақида тушунча	433	3- §. Мувозанатнинг устиворлиги ҳақида тушунча	520
7- §. Механизмнинг ҳақиқий тезлиги ва теълавланиш топиш	435	4- §. Ҳаракат устиворлиги ҳақида тушунча	521
8- §. Ҳаракат тенгламасини интеграллаш	437	5- §. Мажбурий ва озод тебраныш тенгламаларининг баъзи ҳоллари	523
9- §. Қосқич дифференциал тенгламасини тартибли интеграллаш	439	6- §. Осиш механизмнинг дифференциал тенгламаси ва қаршиллик турлари	527
10- §. Узгармас электр оқимили мотор билан ҳаракатланувчи машина агрегатининг дифференциал тенгламаси	441	7- §. Машина агрегатининг ҳаракат дифференциал тенгламасини баъзи ҳоллар учун интеграллаш	530
XII б о б. Машина ва механизмларнинг механик фойдали иш коэффициентлари		8- §. Механизм ҳаракатини фазовий теъкисликда талқин этилиши ҳақида тушунча	535
1- §. Машинанинг механик фойдали иш коэффициентини топиш	450	9- §. Машина агрегатининг бир чиқиқсиз масаласи ҳақида	537
2- §. Кетма-кет параллел улашдаги механик фойдали иш коэффициенти	452	XVII б о б. Машина звеноларининг ҳаракат қонунини экспериментал ўрганиш	
3- §. Ташли гилдиракли механизмнинг фойдали иш коэффициенти	453	1- §. Механик микдорларни электр билан ўлчаш ҳақида тушунча	541
XIII б о б. Машина ҳаракатини бир мезърда сақлаш назариясида оия асосий тушунчалар		2- §. Арқоқли найчани мокига жойлаш энергиясини топиш	540
1- §. Машиналарнинг даврий ва давриймас ҳаракати	457	XVIII б о б. Механизм ва машиналар назариясида моделлаштириш	
2- §. Машинанинг потекис айланиш коэффициенти	460	1- §. Қисқача тарихий маълумот	550
3- §. Маҳозик инерция моментини топиш формуласининг исботи	461	2- §. Рақамли ва аналог электрон ҳисоблаш машиналари	552
4- §. Уринма кучлар усули билан ортқача ишни топиш	462	3- §. Машина ва механизмлар ҳаракатини электрон моделлаш	557
5- §. Маҳозик инерция моментини энергия — масса методи билан топиш	465	4- §. V класс илгариланма ширинувчи кинематик жуфтларидаги механик аналоглар	565
		Иловалар	573

