Amangeldi Hallyýew, Aşyrmyrat Hallyýew

MEHANIZMLERIŇ WE MAŞYNLARYŇ NAZARYÝETI

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat
“Ylym” neşirýaty
2013

UOK 621+378
H 19

Hallyýew A., Hallyýew A.
H 19 **Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Ylym, 2013. – 232 sah.

TDKP № 251 KBK 34.5 ýa 73

Bu okuw kitabynda mehanizmleriň gurnalyşy, kinematikasy, dinamikasy we olary taslamak baradaky meselelere seredilýär. Kitapda seredilýän mehanizmleriň ählisi gaty jisimlerden durýar. Olar: ryçagly, friksion, dişli tigirli geçiriji, kulaçokly, maýyşgak elementli mehanizmler. Bu mehanizmleriň kinematikasyna seredilende zwenolaryň belli nokatlarynyň süýşmesi, tizligi we tizlenmesi analitiki we grafiki usullar bilen kesgitlenýär. Şeýle hem mehanizm hereketlenende olaryň zwenolaryna täsir edýän güýçler, inersiýa, sürtülme güýçleri, kinematiki jübütlerde ýüze çykýan gaýtawul güýçleri hasaplanylýar. Mehanizmi kinetostatiki hasaplamak we olary deňagramlaşdyrmak meselelerine hem giňden garalýar.

Bu okuw kitaby S.A.Nyýazow adyndaky Türkmen oba hojalyk uniwersitetiniň oba hojalygynyň mehanizasiýasy we dokma önümçiligi fakultetiniň talyplary üçin niýetlenýär. Şeýle hem bu okuw kitabyndan ýurdumyzyň beýleki ýokary okuw mekdepleriniň inžener-tehniki hünärleri boýunça bilim alýan hem-de degişli orta hünär okuw mekdepleriniň talyplary, önümçiligiň inžener-tehniki işgärleri, aspirantlar, ylmy işgärler peýdalanyp bilerler.

Redaktor	*G. Tagandurdyýewa*
Teh. redaktor	*T. Aslanowa*
Suratçylar	*Ý. Peskowa, Ý. Osmanow*
Neşir üçin jogapkär	*B. Aşyrow*

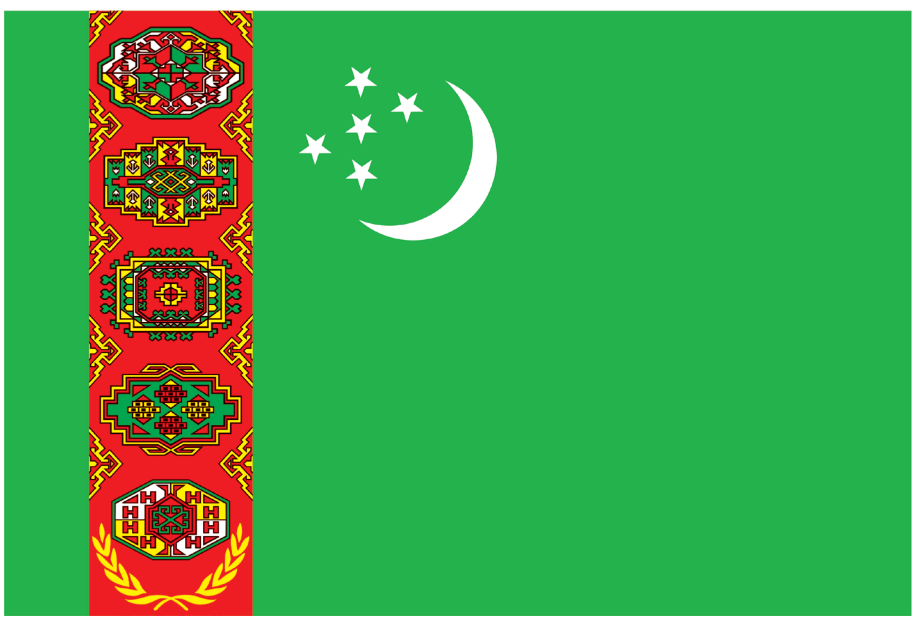
Çäp etmäge rugsat edildi 23.07.2013.
Möçberi 70x100 1/16. Ofset kagyzy. Edebi garnitura.
Ofset çap ediliş usuly. Şertli çap listi 14,5. Çap listi 14,5.
Hasap-neşir listi 13,5. Neşir № 70. Sargyt № 1284. Sany 1100.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň “Ylym” neşirýaty.
744000 Aşgabat, Türkmenbaşy şaýoly, 18.

“Hatdat” hususy kärhanasy.
744000. Aşgabat, Magtymguly şaýoly, 74.

TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň öňünde.

Gaýtalama:
Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:
Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

GIRIŞ

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň baştutanlygynda ýurdumyzda bilim ulgamyny kämilleşdirmekde ummasyz köp işler durmuşa ornaşdyrylýar. Hormatly Prezidentimiziň 2007-nji ýylyň fewral aýynyň 15-ne kabul eden “Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda” Permany, şeýle hem şol ýylyň mart aýynyň 4-ne gol çeken “Bilim-terbiýeçilik edaralarynyň işini kämilleşdirmek hakynda” Karary, 2013-nji ýylyň 17-nji maýynda çykan “Türkmenistanyň bilim hakyndaky” Kanuny ýurdumyzyň bilim ulgamyny kämilleşdirmegiň, ýaş nesle döwrebap bilim we terbiýe bermegiň aýdyň ýollaryny kesgitledi.

Hormatly Prezidentimiziň Türkmenistanda ylym-bilim ulgamyny kämilleşdirip guramak baradaky taglymatlaryndan, Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň 2011-2030-njy ýyllar üçin Milli maksatnamasynyň hem-de XX Halk maslahatynyň taryhy kararlaryndan ugur alyp, ýurdumyz üçin döwrebap inženerleri taýýarlamagyň möhüm wezipelerini çözmäge, olaryň öz saýlap alan hünärleriniň hakyky ussady bolup ýetişmeginde umumy inžençilik ylymlarynyň ugry bolan Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti dersi möhüm orny eýeleýär.

Häzirki zaman ylmynyň we tehnikasynyň ösüşi täze ýokary öndürijilikli maşynlary döretmek bilen aýrylmaz baglydyr, maşynlar adamlaryň zähmetini ýeňilleşdirýär.

Maşyn döretmegiň maksady adamyň gol zähmetini maşyn bilen çalyşmak, olaryň fiziki zähmetini ýeňilleşdirmekden, umuman alanyňda, iş öndürijiligini ýokarlandyrmakdan ybarat. Käbir halatlarda, maşyn adamyň diňe bir fiziki zähmetini däl, eýsem akyl zähmetini hem ýeňilleşdirýär. Mysal üçin, kompýuterler adamyň akyl zähmetini çalyşmaga ýa-da oňa zerur bolan matematiki operasiýalary geçirmäge kömek berýär. Olar adam tarapyndan oňa girizilen köp mukdardaky maglumatlary işlemäge we degişli netijeleri almaga mümkinçilik döredýär. Adam tarapyndan döredilen maşynlar öňden düzülen maksatnama laýyklykda, önümçiligi dolandyrmakda we beýleki hadysalary işlemekde, şeýle hem käbir ýagdaýlarda oňaýly netijeleri awtomatiki üpjün etmekde ulanylýar.

Maşynlarda, käbir ýagdaýlarda, robotlarda adamyň belli bir synasyny: elini, aýagyny (manipulýatoryň mehanizmi, emeli el, emeli aýak), lukmançylykda ýürek (emeli ýürek, emeli böwrek) we ş.m. çalşyp bilýär.

Şeýlelikde, maşyn adamyň zähmet we fiziologik funksiýalarynyň köp sanly obýektlerini öz içine alyp bilýär.

Maşyn düşünjesine gysga görnüşde şeýle kesgitleme bermek bolar: maşyn adamyň akyl we fiziki zähmetini ýeňilleşdirmek ýa-da çalyşmak maksady bilen energiýany, materialy, informasiýany özgertmek üçin niýetlenen guraldyr.

Maşynlaryň ýerine ýetirjek işlerini (funksiýalaryny) olary şu toparlara bölmek bolar:

a) energetiki maşynlar;

b) iş maşynlary;

c) informasion maşynlar;

d) kibernetiki maşynlar.

Energiýanyň islendik görnüşini mehaniki energiýa (ýa-da tersine) öwürmek üçin niýetlenen maşyna **energetiki** maşynlar diýilýär. Birinji ýagdaýda maşyn-dwigatel, ikinji ýagdaýda bolsa maşyn-generator diýip atlandyrylýar.

Materiallary öwürmek üçin niýetlenen maşynlara bolsa iş maşynlary diýilýär. Iş maşynlary ulag (transport) we tehnologiki maşynlara bölünýärler. Esasy daşalýan obýektiň diňe ornuny üýtgedip, materialy öwürýän iş maşynyna transport maşynlary diýilýär. Mysal üçin, adamlary we ýükleri daşamak üçin ulanylýan awtoulaglar, uçarlar, parohodlar, demir ýol teplowozlary, liftler we ş.m.

Işlenilýän obýektiň ýa-da materialyň ýagdaýyny we görnüşini üýtgedýän iş maşynyna tehnologiki iş maşyny diýilýär. Tehnologiki iş maşynlary haýsy-da bolsa bir tehnologiki işi ýerine ýetirýär. Mysal üçin oba hojalyk maşynlary, kombaýnlar, ussahanalardaky stanoklaryň ähli görnüşleri, dokma hem-de azyk senagatynda ulanylýan, çaphanada ulanylýan maşynlar we başgalar.

Informasiýalary, ýagny habarlary almak we öwürmek üçin ulanylýan maşynlara informasion maşynlar diýilýär. Informasion maşynlar ***barlag-dolandyryjy*** we **matematiki** maşynlara bölünýärler.

Alnan barlag-ölçeg informasiýalary öwrüp, energetiki we iş maşynlaryny dolandyrmak maksady bilen işleýän maşynlara barlag-dolandyryjy maşynlar diýilýär.

Aýratyn san ýa-da algoritm görnüşli informasiýalary öwürýän maşynlara **matematiki** maşynlar diýilýär.

Adama ýa-da janly tebigata mahsus bolan dürli mehaniki, fiziologiki ýa-da biologiki işleri çalyşýan ýa-da şoňa meňzeş hereketi amala aşyrýan maşynlara **kibernetiki** maşynlar diýilýär. Muňa mysal edip medisinada ulanylýan maşynlary görkezmek bolar.

Käbir halatlarda energiýany, materialy, informasiýalary öwürmek adam gatnaşmazdan amala aşyrylýar. Şeýle maşynlara **maşyn-awtomatlar** diýilýär. Maşyn-awtomatlar tehnologiki işleri ýerine ýetirende adamyň gatnaşmagyny aradan aýyrýar, emma öz işine operatoryň gatnaşmagyny talap edýär, ýagny maşyn-awtomatyň işleýşine gözegçilik edýän, gerek bolan halatynda onuň iş maksatnamasyna düzediş girizýän we barlaýan operator gerek bolýar.

Energetiki maşynlara elektrodwigateller, içinden ýandyrylýan dwigateller, turbinalar we ş.m. mysal bolup biler. Lokomotiwler, turbadaşaýjylar, awtomobiller, traktorlar, liftler, transportýorlar bolsa transport maşynlaryna degişlidirler.

Mehanizmleriň nazaryýetinde garalýan meseleleri iki topara bölmek bolýar. Birinji toparda seredilýän meseleleri mehanizmleriň gurluşyny, kinematikasyny we dinamikasyny öwrenmeklige, ýagny mehanizmleriň seljerilişine (analizine), ikinji meseleler topary bolsa berlen gurnalyşynyň, kinematiki we dinamiki häsiýetli mehanizmlerden talap edilýän hereketi almak üçin taslamaklyga, ýagny mehanizmleriň sintezine bagyşlanýar.

Mehanizmleriň hereketi olaryň gurluşyna we olara täsir edýän güýçlere baglydyr. Şonuň üçin mehanizmleriň nazaryýeti beýan edilende mehanizmleri seljermegiň meseleleri iki bölüme bölünýär:

a) gurnalyşynyň (gurluş) we kinematiki seljerme (analizi);

b) mehanizmleriň dinamiki seljermesi.

Gurnalyşynyň görnüşli mehanizmlerde käbir detallar gozganmaýar, beýleki detallar olara görä hereketlenýär. Gozganýan görnüşli mehanizmler, meselem, uçaryň ýa-da awtomobiliň dwigatelinde gozganmaýan detal hökmünde uçaryň ýa-da awtomobiliň korpusy bilen bagly bolan detallar şertli kabul edilýär. Şunuň esasynda kriwoşipli dwigatelleriň ähli ýagdaýlarynda gozganmaýan detala dwigateliň korpusy, korennoý wallaryň podşipnikleri degişlidir. Korennoý wal, porşenler, klapanlaryň detallary we beýlekiler gozganmaýan detallar hasaplanylýar. Her bir gozganýan detal ýa-da detallar toplumy bir jebis gozganýan jisimleri emele getirse, oňa mehanizmiň gozganýan zwenosy diýilýär. Mysal üçin, dwigateliň şatuny bir gozganýan zweno hasaplanýar, emma ol birnäçe detallardan: şatundan, gapagyndan, şatunyň podşipniklerinden, şatun bilen birikdirilýän boltlardan we başgalardan durýar. Emma olar bir gozganýan zweno hasaplanýar, sebäbi ähli detallar biri-biri bilen jebis birleşip, şatuny emele getirýär.

Ähli gozganmaýan detallar jebis-gozganmaýan zweno ýa-da direg diýip atlandyrylýar. Mysal üçin, dwigateliň korpusy, korennoý walyň podşipnikleri we ş.m. bilelikde bir gozganmaýan zwenony ýa-da diregi emele getirýär. Şeýlelikde, islendik mehanizmde bir gozganmaýan we bir ýa-da birnäçe gozganýan zwenolar bolýar.

Mehanizmleriň her biri başlangyç zwenodan, Assuryň toparyndan hem-de gozganmaýan zwenodan durýar. Käbir mehanizmlerde herekete getiriji zweno birden köp hem, meselem, iki sany hereketlendiriji zweno bolup bilýär. Mehaniki hereketi özgerdýän enjama mehanizm diýilýär. Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti maşynlaryň detallaryny we maşynlaryň hasaplamalaryny we gurnalyşyny öwrenmekligi taýýarlaýan ylymdyr.

Mehanizmleriň nazaryýeti ylym hökmünde XVIII asyryň ikinji ýarymynda ýüze çykypdyr. Ilki bilen mehanizmi seljermek usuly öwrenilip başlanýar. XIX asyryň ortalarynda mehanizmiň sintez usuly uly ösüşe eýe bolýar. Bu ugurda umumy analitik usullar giň gerim alýar. Bu usuly rus akademigi P.L.Çebyşew (1821–1894) öz işlerinde has hem ösdüripdir.

I BÖLÜM

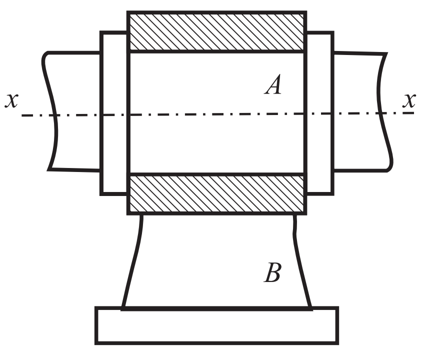
MEHANIZMLERIŇ KINEMATIKI SELJERILIŞI

1-nji BAP

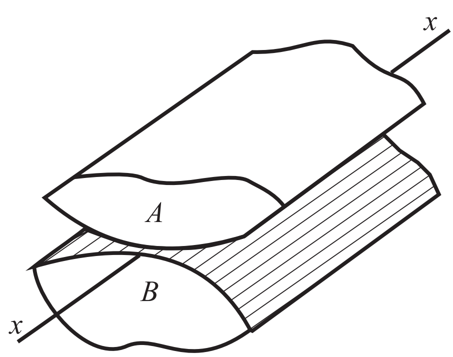
MEHANIZMLERIŇ GURNALYŞY WE KINEMATIKI TAÝDAN SELJERILIŞI

1.1. Kinematiki jübütler we kinematiki zynjyrlar

Iki zwenonyň galtaşyp süýşýän birleşmesine kinematiki jübüt diýilýär. Kinematiki jübütlere girýän mümkin bolan zwenolaryň birleşmeleri örän dürlüdir. Mysal üçin, 1.1-nji suratda hemişelik galtaşmada bolan iki silindriň *A* we *B* zwenolaryň birleşmesi aýlanýan kinematiki jübüt görnüşinde görkezilendir. Içki silindirdäki ösüntgiler bir silindriň beýlekä garanyňda $x - x$ ok boýunça hereketine päsgelçilik berýär, emma biriniň beýlekä garanyňda aýlanmagyna päsgelçilik bermeýär.



1.1-nji surat. Aýlanýan kinematiki jübüt



1.2-nji surat. Iki silindriň galtaşýan görnüşindäki kinematiki jübüt

1.2-nji suratda *A* we *B* iki zwenonyň birleşmesiniň başga görnüşi görkezilendir. Bu kinematiki jübütde zwenolar biri beýlekisine görä typyp we togalanyp bilýär.

Şeýlelikde, kinematiki jübütleriň her bir zwenosynyň hereketine, jübütiň zwenolarynyň birleşmelerine baglylykda çäklendirmede bolýar. Kinematiki jübütlerde bu çäklendirmäni baglanyşyk şerti diýip atlandyrýarys.

Indi bolsa kinematiki jübütleriň zwenosynyň degişli hereketlerine nähili we näçe möçberde baglanyşykda bolýandygyna seredeliň. Belli bolşy ýaly, umumy ýagdaýda giňişlikde erkin hereketlenýän absolýut gaty jisim (*1.3-nji surat*) erkin saýlanyp alnan *A*, *B* we *C* üçburçlyk *ABC* nokatlaryň erkinlik derejesi alta deňdir. Giňişlikde gaty jisimiň ýagdaýy onuň *A*, *B* we *C* nokadyň koordinatalary bilen fiksirlenýär, ýagny dokuz koordinatalarda : (x_A, y_A, z_A), (x_B, y_B, z_B) we (x_C, y_C, z_C) bolýar.

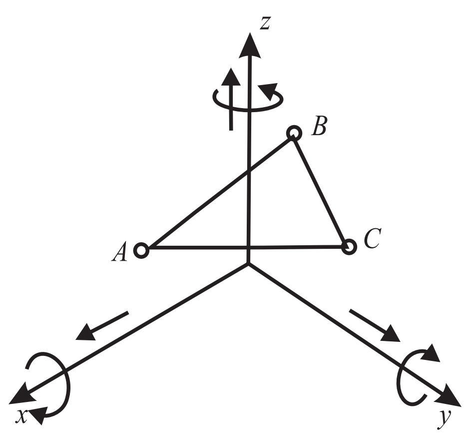
Bu koordinatalar öz aralarynda üç *AB*, *BC*, *CA* hemişelik aralyk şertleri bilen baglydyr. Şeýlelikde, giňişlikde gaty jisimiň ýagdaýyny kesgitleýän bagly bolmadyk parametrleriň *x* sany alta deňdir, ýagny erkinlik derejesi alta deň bolýar. Şeýle jisimiň hereketi elmydama özara biri-birine perpendikulýar erkin kabul edilen *x*, *y* we *z* oklary boýunça aýlanýan we şol oklaryň boýuna süýşýän hereketdir. Şeýlelikde, umumy ýagdaýda giňişlikdäki gaty jisim mümkin bolan alta bagly bolmadyk *x*, *y*, *z* oklaryň töwereginde aýlanýan herekete we şol oklaryň boýuna gönüçyzykly herekete eýedir. Şonuň üçin, eger kinematiki jübütiň birinji zwenosyna absolýut jisim diýip hiç hili aragatnaşyk şerti goýulmadyk bolsa, şeýle zwenonyň hereketi, ýokarda alty hereketiň *x*, *y*, *z* koordinata ulgamyna degişlikde, ikinji zweno bilen bagly bolýar. Ýokarda aýdylyşy ýaly, zwenonyň beýleki zweno bilen kinematiki jübüte girmesi bu zwenolaryň degişli hereketine baglanyşyk şertini goýýar. Baglanyşyk şertiniň sany diňe bitin san we altydan kiçi bolmaly. Eger-de baglanyşyk şertiniň sany alta deň bolanda eýýäm zwenolar biri-birine degişli gozganmasyny ýitirýär we kinematiki jübüt iki zwenonyň jebis birleşmesine geçýär. Edil şonuň ýaly baglanyşyk şertiniň sany birden kiçi bolup bilmez, haçan-da baglanyşyk şertiniň sany nola deň bolanda, zwenolar biri-birine galtaşmaýarlar we kinematiki jübüt emele gelmeýär. Bu ýagdaýda biz iki jisimiň biri-birine bagly bolman hereketlenýändigini görýäris.

Şeýlelikde, kinematiki jübütleriň her biriniň degişli hereketine goýlan baglanyşyk şertiniň sany *S* 1-den 5-e çenli bolýandygyny bellemeli. $1 \le S \le 5$ Onda kinematiki jübütiň zwenosynyň degişli hereketde erkinlik derejesiniň sany *H*, şu baglanyşyk bilen aňladylýar:

$$H = 6 - S. \qquad (1.1)$$

(1.1) deňlikden degişli hereketde kinematiki jübütiň zwenosynyň erkinlik derejesiniň sany hem 1-den – 5-e çenli bolup biler.

Kinematiki jübütleri zwenosynyň degişli hereketine goýlan baglanyşyk zwenolaryň erkin ýagdaýyna eýe bolýan degişli hereketi çäklendirýär. Bu çäklendirmäniň esasynda erkin hereketlenýän zwenonyň mümkin bolan alty hereketinden onuň birnäçesi baglanýar. Mysal üçin, zwenolaryň galtaşýan elementleri olara degişli bolan haýsy-da bolsa bir oka görä

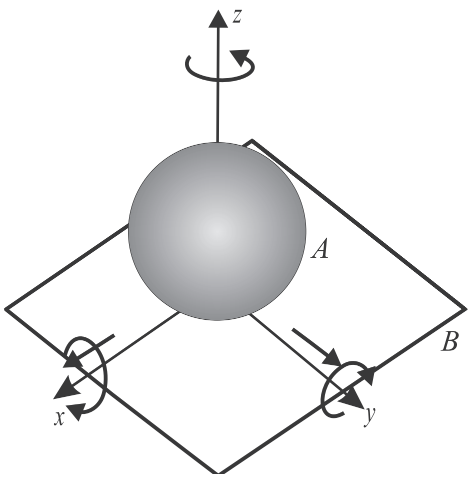


1.3-nji surat. Giňişlikde jisimiň ýagdaýynyň kesgitlenilişi

aýlaw hereketi ýa-da haýsy-da bolsa bir okuň boýuna gönüçyzykly hereketi, ýa bolmasa, bir wagtda hem aýlaw, hem gönüçyzykly hereketlerden mahrum bolup biler.

Ähli kinematiki jübütler olaryň zwenolarynyň degişli hereketlerine goýlan baglanyşyk şertiniň sanyna baglylykda synplara bölünýärler. Baglanyşyk şertiniň sany 1-den – 5-e çenli bolan bolsa, onda jübütleriň synplarynyň sany hem 5-e deňdir, şuňa degişlilikde biz I, II, III, IV we V synply kinematiki jübütleri alarys, (1.1) baglanyşygy göz öňünde tutmak bilen kinematiki jübütleriň synpyny kesgitlemek bolar. Aşakdaky deňlikden tapýarys:

$$S = 6 - H. \qquad (1.2)$$



1.4-nji surat. Bäş gozganýan kinematiki jübüt

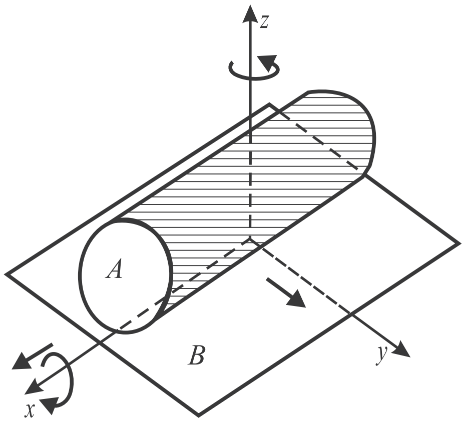
(1.2) deňlikden gelip çykýan, kinematiki jübütleriň goýulan baglanyşyk şertiniň sany jübütiň her bir zwenosynyň degişli hereketinde alty san bilen olaryň erkinlik derejesiniň sanynyň aralygyndaky tapawuda deňdir. Emma ýokarda görkezilişi ýaly, seredilýän jübütlerde erkinlik derejesiniň sany mümkin bolan ýönekeý hereketiň sany bilen gabat gelýär. Şeýlelikde, kinematiki jübütiň degişli hereketinde zwenonyň erkinlik derejesi hasaplanyp alnan sany altydan aýyrsak, onda biz kinematiki jübütleriň degişli hereketine olaryň zwenolarynyň goýýan baglanyşyk sanyny alarys. Şonuň bilen birlikde jübütiň synpyny kesgitläris. Birnäçe mysallara seredeliň. 1.4-nji suratda *B* tekizlik bilen *A* şaryň birleşip, typyp-togalanýan kinematiki jübüt görkezilendir. Tekizlige degişlilikde şaryň hereketi B tekizlik boýunça *x*, *y*, *z* oklaryň töwereginde üç aýlanýan herekete bölünýär. Bu hereket öz gezeginde *x* we y oklaryň boýuna gönüçyzykly hereket hem edýär. Şaryň hereketi dik *z* oky boýunça mümkin däl, sebäbi *B* tekizlik bilen çäklenen ters tarapyna hereketlendirseň, zwenolaryň galtaşmalary aýrylýar we kinematiki jübüt bolup bilmeýär.

Şeýlelikde, şaryň hereketi üç okuň töwereginde aýlanmakdan we iki okuň ugruna gönüçyzykly hereket etmekden durýar, ýagny ýönekeý hereketiň sany bäşe deň bolýar. Bu ýagdaýda kinematiki jübütleriň zwenolarynyň erkinlik derejesiniň sany bäşe deňdir we baglanyşyk şertiniň sany bire deň bolar:

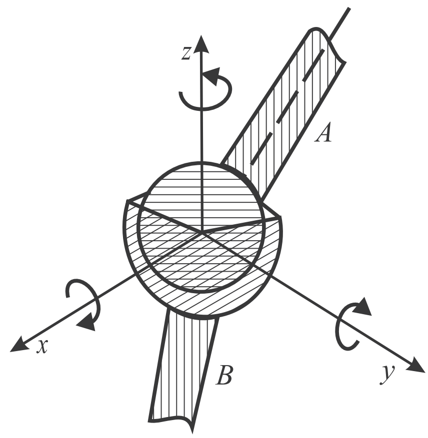
$$S = 6 - H = 6 - 5 = 1.$$

Şonuň üçin 1.4-nji suratda görkezilen jübüt I synply jübütdir (bäş gozganýan jübüt). II synply jübüte mysal edip 1.5-nji suratda görkezilen *B* tekizlikde ýatan *A* silindri görkezmek bolar. *B* tekizlikde degişlilikde *A* silindriň hereketi ýa-da tersine

x we z oklaryň töwereginde aýlaw hem-de x we z oklary boýunça süýşmeden durýar. Şeýlelikde, silindriň ýönekeý hereketiniň sany dörde deňdir, ýagny kinematiki jübütiň erkinlik derejesiniň sany H dörde deňdir. Onda baglanyşyk şertiniň sany deňdir:



1.5-nji surat. Dört gozganýan kinematiki jübüt



1.6-njy surat. Üç gozganýan şar görnüşli kinematiki jübüt

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

Bu kinematiki jübüt II synply jübüte degişli bolýar (dört gozganýan jübüt). 1.6-njy suratda III synply jübüte degişli mysal görkezildi.

A zweno şar bilen gutaryp, şar boşlugy B zweno bilen birleşýar. B zweno degişlilikde A zwenonyň hereketi ýa-da tersine x, y we z oklaryň töweregindäki aýlaw hereketi ýerine ýetirýär. Şeýlelikde, kinematiki jübütiň zwenosynyň erkinlik derejesiniň sany H üçe deňdir. Baglanyşyk şertiniň sany üçe deň bolan bu jübüt III synply jübüte (üç gozganýan jübüt) degişlidir. Bu jübüt **sfera (şarnir)** adyny aldy. IV synply jübüte 1.7-nji suratda görkezilen mysal degişli bolup biler:

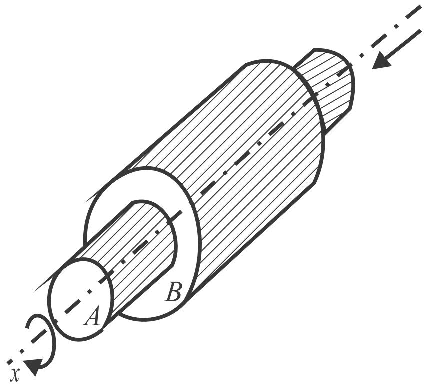
$$S = 6 - H = 6 - 3 = 3.$$

A silindr içi deşik B silindriň içinde ýerleşen. B silindre degişlilikde A silindriň hereketi x okuň uzynlygyna süýşmeginden we okuň töwereginde aýlanmagyndan ybarat. Erkinlik derejesiniň sany H ikä deňdir. Şeýlelikde, baglanyşyk şertiniň sany S bolar:

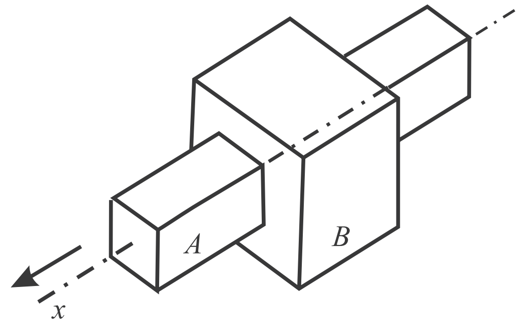
$$S = 6 - H = 6 - 2 = 4.$$

Şeýlelikde, bu jübüt IV synpy (iki gozganýan jübüte) degişlidir. Bu jübüt silindrik jübüt diýlip atlandyrylýar. 1.1-nji suratda kinematiki jübüt görkezilendir. Zwenolaryň her biri mümkin bolan diňe bir ýönekeý hereketi ýerine ýetirýär. **$x - x$ okuň töwereginde aýlaw hereketi.** Şonuň üçin bu jübütiň erkinlik derejesiniň sany H bire deňdir we bu kinematiki jübütde baglanyşyk şertiniň sany 5-e deň bolar:

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



1.7-nji surat. Iki gozganýan silindrik kinematiki jübüt



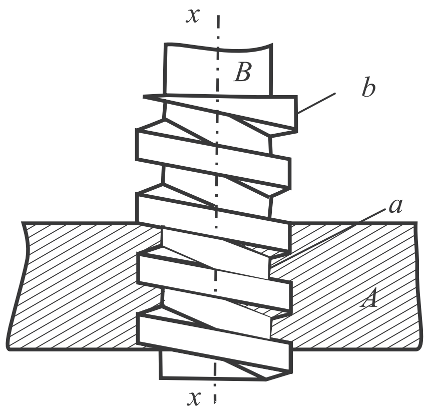
1.8-nji surat. Bir gozganýan kinematiki jübüt

Diýmek, bu jübüt V synply (bir gozganýan jübüte) degişlidir. Bu jübüt **aýlanýan jübüt** diýip atlandyrylýar.

1.8-nji suratda V synply kinematiki jübüt görkezilendir. Zwenolaryň her biri diňe bir ýönekeý hereket, ýagny x oky boýunça gönüçyzykly hereket edip bilýär. Şonuň üçin bu jübütiň erkinlik derejesiniň sany H bire deňdir we bu kinematiki jübütiň baglanyşyk şertiniň sany S deň bolar:

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

Şeýlelikde, bu jübüt V synply jübüte (bir gozganýan jübüte) degişlidir. Bu jübüt **gönüçyzykly hereketlenýän jübüt** diýlip atlandyrylýar.



1.9-njy surat. Hyrly jübüt

Tehnikada şeýle kinematiki jübüt olaryň zwenolarynyň degişli hereketleri haýsy-da bolsa goşmaça geometriki baglanyşyk bilen baglanan jübütde gabat gelýär. Mehanizmlerde ýygy-ýygydan gabat gelýän şunuň ýaly jübütiň mysalyna seredeliň. Mysal 1.9-njy suratda görkezilendir. IV synply jübüt berlen bir zwenonyň φ öwrülme burçy beýleki zweno degişlilikde x-x okuň töwereginde şol okuň ugruna gönüçyzykly süýşýän h aralyk bilen şertli baglydyr:

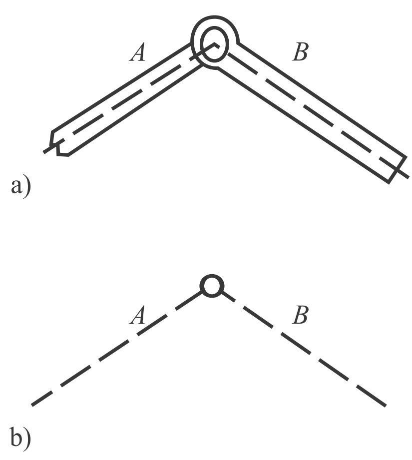
$$h = h(\varphi). \qquad (1.3)$$

Şeýlelikde, jübütiň zwenolarynyň degişli hereketlerine (1.3) gatnaşykda aňladylýan ýene-de bir goşmaça baglanyşyk girýär. Bu ýagdaýda jübüt IV däl-de, V synpa degişlidir. Şuňa meňzeş jübütler tehnikada ýygy-ýygydan gabat gelýär we olaryň zwenolarynyň degişli hereketleri hyryň häsiýetini görkezýändigi sebäpli, olara **hyrly jübüt** diýilýär. A we B zwenolar birleşip, hyrly jübüti emele getirýärler (*1.9-njy surat*). *B* silindre daşky hyr kesilen, degişlilikde *A* zwenoda bolsa içki hyr kesilendir. *B* zweno degişlilikde *A* zweno aýlananda ýa-da *A* zweno degişlilikde *B* zweno aýlananda hereketlenýän zweno *x–x* okuň boýuna süýşýär.

Kinematiki jübütler **pes** we **ýokary** jübütlere bölünýärler. Zwenolaryň elementleri üsti boýunça galtaşsalar, olara **pes kinematiki** jübüt diýilýär. Zwenolaryň elementleri nokat ýa-da çyzyk boýunça galtaşsalar, olara **ýokary kinematiki jübüt** diýilýär. 1.1-nji suratda görkezilen jübüt pes kinematiki jübüte mysal bolup biler. Bu jübütde zwenolar silindrik üstler bilen galtaşýarlar. 1.2-nji we 1.4-nji suratlarda ýokary kinematiki jübütlere mysal görkezilendir. 1.2-nji suratda şekillendirilen jübütde zwenolar çyzyk boýunça galtaşýarlar. Kinematiki jübütleriň elementleri hemişelik galtaşmada bolar ýaly, olar biri birine gysylyp birleşmeli. Gysylyp birleşme **geometriki** ýa-da **güýç** birleşme bolup biler. Kinematiki jübütleriň zwenolarynyň elementleri degişli geometriki görnüşleri bilen birleşse, olara **geometriki birleşme** diýilýär. Mysal 1.1-nji we 1.6–1.9-njy suratlarda şekillendirilen ähli jübütler geometriki birleşmedir, sebäbi bu jübütleriň elementleriniň galtaşmalaryny olaryň geometriki şekilleri üpjün edýär.

1.4-nji we 1.5-nji suratlarda görkezilen jübütlerde şar we silindr tekizlige haýsy-da bolsa bir güýç bilen birleşmeli. Güýç birleşmesi agyrlyk güýjüniň, pružiniň maýyşgaklyk güýji we ş.m. bolup biler.

1.2. Kinematiki jübütleriň şertli belgilenilişi

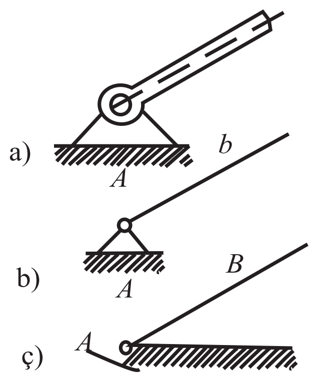


1.10-njy surat. Aýlanýan jübütüň shemada görkezilişi: *a – shemada konstruktiw görnüşde görkezilişi; b – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşi*

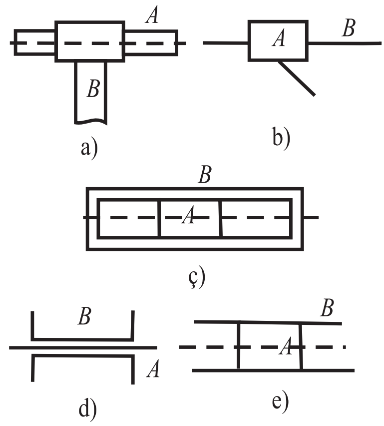
Çyzgylarda mehanizmleriň shemalarynyň konstruktiw belgilenilişiniň deregine kinematiki jübütleri we zwenolary olaryň şertli belgilenilişi bilen aňlatmak amatly. Köplenç ulanylýan käbir kinematiki jübütleriň belgilenilişine seredeliň.

1.10-nji suratda *A* we *B* zwenolardan durýan V synply kinematiki jübütiň shemada belgilenilişiniň iki nusgasy görkezilendir. Birinji nusga (*1.10-njy a surat*) konstruksiýa has ýakyn belgilenilişini berýär; ikinji nusga (*1.10-njy b surat*) kinematiki shemalarda ulanylýan şertli belgilenilişine gabat gelýär.

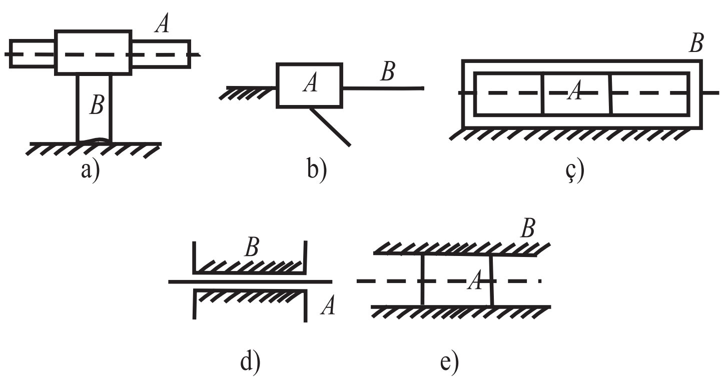
1.11-nji suratda aýlanýan V synply jübütiň bir zwenosynyň (*A* zweno) gozganmaýan ýagdaýyndaky şertli belgilenilişiniň shemasy berlen. 1.12-nji suratda gönüçyzykly hereketlenýän V synply jübütiň shemada belgilenilişi berlen, 1.13-nji suratda bolsa şol jübütiň *B* zwenosynyň gozganmaýan ýagdaýyndaky shemalary görkezilendir. 1.14-nji suratda hyrly jübütiň shemada belgilenilişi görkezilendir Käbir halatlarda jübütiň zwenolarynyň galtaşýan elementleri barada doly maglumat bermeli bolýar. Bu ýagdaýda shemada zwenolaryň elementleriniň galtaşyşyny doly we takyk görkezmeli. Şeýle jübütleriň belgilenilişiniň mysallary görkezilendir. 1.15-nji *a* suratda togalak *A* tigirçek *B* zwenonyň *a–a* egri çyzygy bilen galtaşýar; 1.15-nji *b* suratda bir dişli tigriň *A* dişi, beýleki dişli tigriň *B* dişi bilen galtaşýar. 1.16-njy suratda iki dişli tigirleriň kinematiki jübüte degişli şertli belgilenilişi görkezilendir.



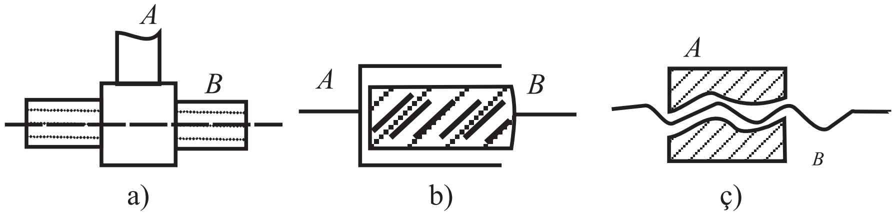
1.11-nji surat. Bir gozganmaýan zwenoly aýlanýan jübütiň shemada görkezilişi:
a – shemada konstruktiw görnüşde görkezilişi; b, ç – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşleri



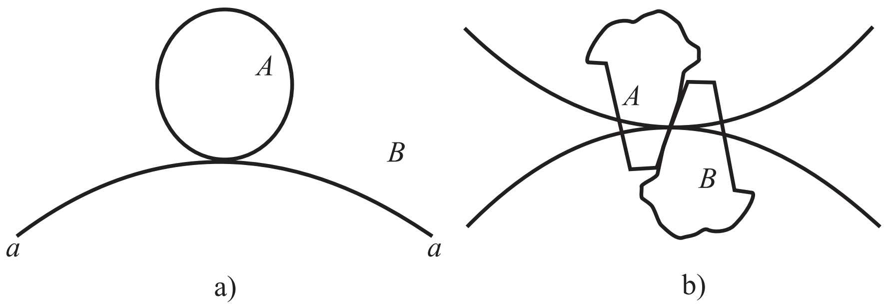
1.12-nji surat. Gönüçyzykly jübütiň shemada görkezilişi: *a –shemada konstruktiw görnüşde görkezilişi; b – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşi; ç – ugrukdyryjynyň oýuk görnüşde görkezilişi; d, e – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşleri*



1.13-nji surat. Bir gozganmaýan zwenoly gönüçyzykly jübütiň shemada görkezilişi:
a – konstruktiw görnüşi; b – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşi; ç – ugrukdyryjynyň oýuk görnüşde görkezilişi; d, e – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşleri

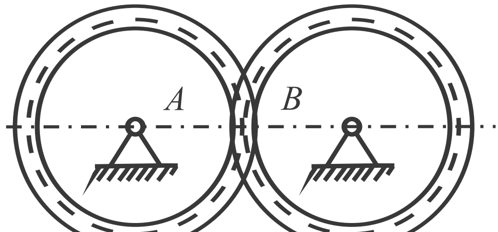


1.14-nji surat. Hyrly jübütiň shemada görkezilişi: *a – konstruktiw görnüşi; b we ç – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşleri*

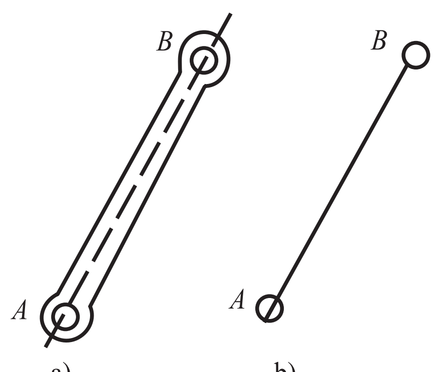


1.15-nji surat. Ýokary jübütiň görkezilişi: *a – togalak A tigirçekli we egri çyzyk profilli B; b – iki egri çyzykly A we B dişleriň galtaşýan jübüti*

Şeýle hem kinematiki jübütlere girýän zwenolaryň şertli belgilenilişine seredeliň. Eger zwenonyň diňe iki nokadynyň hereketi öwrenilýän halatynda, onuň ýaly zwenony shemada belgilenilişini 1.17-nji suratdaky ýaly görkezmek bolar. Bu suratda görkezilendir. Zwenonyň *A* we *B* kinematiki jübütlere birleşýän ýagdaýy 1.18-nji suratda *A*, *B* we *C* aýlanýan jübütli zwenonyň shemada belgilenilişi esasynda görkezilendir. Aýlanýan oklary bir tekizlikde ýatýan *A*, *B* we *C,* ýagny üç aýlanýan jübütiň shemada belgilenilişi 1.19-njy suratda görkezilendir.

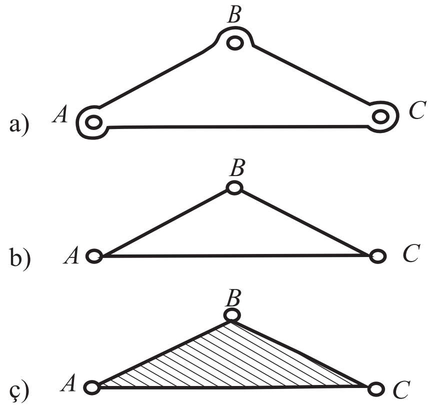


1.16-njy surat. Dişli tigirli geçiriji mehanizmiň shemada görkezilişi

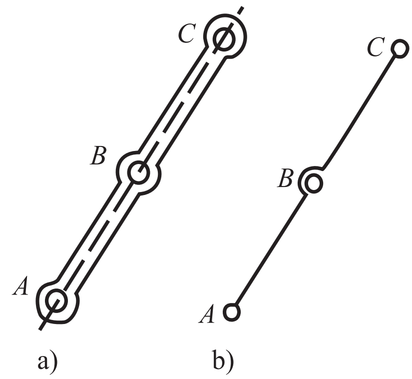


1.17-nji surat. Iki aýlanýan kinematiki jübüte girýän zwenonyň shemada görkezilişi:
a – konstruktiw görnüşi;
b – kinematiki shemada ulanylyşy

*2. Sargyt № 1284



1.18-nji surat. *a*, *b*, we *ç* – üç kinematiki jübüte girýän dürli zwenonyň görkezilişi



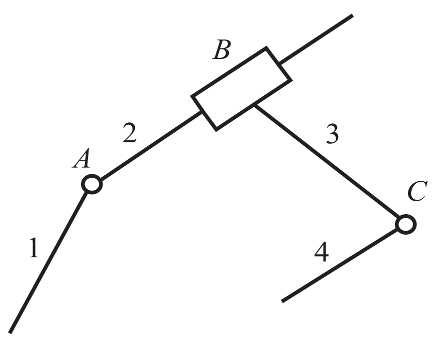
1.19-njy surat. Üç kinematiki jübüte girýän zwenonyň shemada görkezilişi:
a – konstruktiw görnüşli; b – kinematiki shemalarda ulanylyşynyň görkezilişi

Inžener tejribeliginde has giň ýaýran kinematiki jübütleriň şertli belgilenilişi 1-nji tablisada getirilendir.

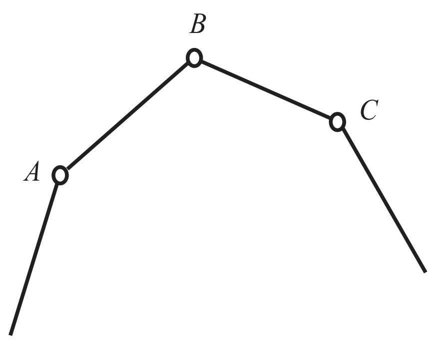
1.3. Kinematiki zynjyrlar

Zwenolar toplumynyň öz aralarynda kinematiki jübütler bilen birleşmesine kinematiki zynjyr diýilýär. 1.20-nji suratda dört zwenodan ybarat bolup üç kinematiki jübüti emele getirýän **kinematiki zynjyr** görkezilendir. 1 we 2 zwenolar V synply *A* aýlanýan jübüte girýär, 2 we 3 V synply *B* gönüçyzykly jübüte hem-de 3 we 4 zwenolar V synply *C* aýlanýan kinematiki jübütlere girýär.

Kinematiki zynjyr **ýönekeý** we **çylşyrymly** görnüşe bölünýärler. Zwenolaryň her biri iki kinematiki jübütden **köpe girmeýän** zynjyra ýönekeý kinematiki zynjyr diýilýär. Mysal 1.21-nji suratda V synply *A*, *B* we *C* aýlanýan kinematiki jübütli ýönekeý **kinematiki zynjyr** görkezilendir.



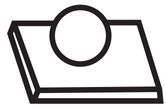
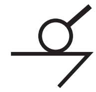
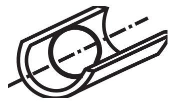
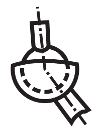
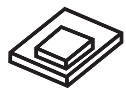
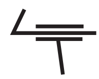
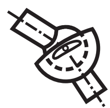
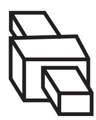
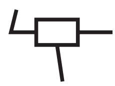
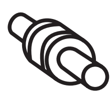
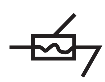
1.20-nji surat. Dört zwenoly kinematiki zynjyr



1.21-nji surat. Dört zwenoly ýönekeý açyk kinematiki zynjyr

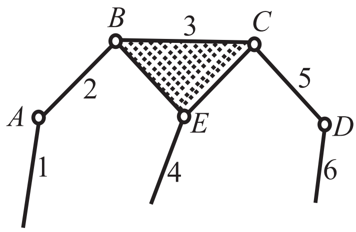
1-nji tablisa

Kinematiki jübütleriň şertli bellenilişi

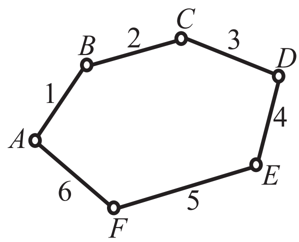
Jübütiň synpy	Baglanysyk şertiniň sany	Erkinlik derejesiniň sany	Jübütiň atlary	Surat	Şertli belgilenilişi
I	1	5	Şar-tekizlik		
II	2	4	Şar-silindr		
III	3	3	Sferik		
III	3	3	Tekizlik		
IV	4	2	Silindr		
IV	4	2	Sferiki barmakly		
V	5	1	Gönücyzykly		
V	5	1	Aýlanýan		
V	5	1	Hyrly		

Zynjyrda iň bolmanda bir zweno iki kinematiki jübütden köpe girýän bolsa, onuň ýaly zynjyra **çylşyrymly zynjyr** diýilýär. Mysal: 1.22-nji suratda V synply *A*, *B*, *C*, *D* we *E* kinematiki jübütli zynjyr görkezilendir.

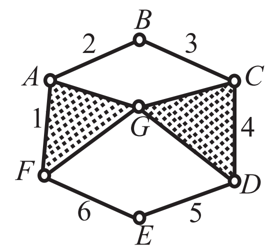
Ýönekeý we çylşyrymly kinematiki zynjyrlar öz gezeginde **açyk** we **ýapyk** zynjyrlara bölünýärler. Kinematiki zynjyryň zwenolarynyň birleşip, bir ýa-da birnäçe ýapyk kontury emele getirýän zynjyra **ýapyk kinematiki** zynjyr diýilýär. Şeýle zynjyrlaryň V synply aýlanýan kinematiki jübütli mysaly 1.23-nji we 1.24-nji suratlarda görkezilendir.



1.22-nji surat. Alty zwenodan durýan açyk çylşyrymly kinematiki zynjyryň shemasy



1.23-nji surat. Alty zwenodan durýan çylşyrymly ýapyk kinematiki zynjyryň shemasy



1.24-nji surat. Alty zwenodan durýan çylşyrymly ýapyk kinematiki zynjyryň shemasy

Zwenolar birleşip ýapyk kontury emele getirmeýän kinematiki zynjyra **açyk kinematiki** zynjyr diýilýär. 1.21-nji we 1.22-nji suratlarda şolar ýaly zynjyrlaryň mysaly görkezilendir.

2-nji BAP
MEHANIZMLERIŇ GURNALYŞY

2.1. Mehanizm we onuň kinematiki shemasy

Kinematiki zynjyryň bir ýa-da birnäçe zwenolarynyň berlen hereketi esasynda olaryň islendik birine degişlilikde beýleki zwenolaryň ählisi birmeňzeş hereket etse, şonuň ýaly zynjyra mehanizm diýilýär.

Bu kesgitlemeden görnüşi ýaly, islendik mehanizmde hereketi berlen zweno (ýa-da birnäçe zwenolar) bar. Mehanizmiň beýleki zwenolaryny talap edilýän herekete öwürmeklik üçin herekete goýlan mehanizmiň zwenosyna **başky zweno** (başky zwenolar) diýilýär.

Mehanizmiň talap edilýän hereketi ýerine ýetirmek üçin niýetlenen zwenosyna (zwenolaryna) **ahyrky zweno** (ahyrky zwenolar) diýilýär. Mehanizmiň beýleki gozganýan zwenolaryna **birleşdiriji zwenolar** diýilýär.

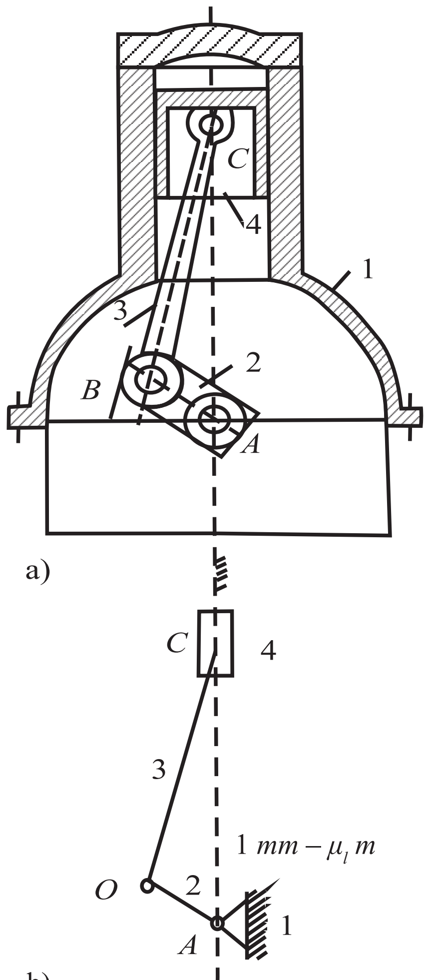
Käbir halatlarda **eýerdiji zweno** (zwenolar) diýen termin hem ulanylýar. Ähli daşky güýçleriň ujypsyz **işleriniň jemi položitel goýulan zweno eýerdiji** zweno diýilýär. Degişlilikde, zweno goýulan ähli daşky güýçleriň ujypsyz işleriniň jemi otrisatel ýa-da nola deň bolsa, onuň ýaly zweno **eýerji zweno** diýilýär.

Köp halatlarda başky zweno eýerdiji zweno bolup bilýär, emma başky zweno eýeriji zweno hem bolup biler. Şonuň üçin mehanizmiň gurnalyşy we kinematikasy öwrenilende mehanizmi herekete getirýän daşky güýçler goýlan zwenony başky zweno diýip kabul etmek hökman däl.

Mehanizmiň hereketini öwrenmeklik üçin zwenolaryň sanyny, kinematiki jübütleriň sanyny we synpyny, ýagny onuň gurnalyşyny bilmek ýeterlik däl. Şeýle hem zwenolaryň ýagdaýlaryna we hereketine täsirini ýetirýän käbir zwenolaryň ölçeglerini bilmek zerur. Şonuň üçin mehanizmiň zwenolarynyň hereketleri öwrenilende, adatça, mehanizmiň **kinematiki shemasy** diýilýän shema düzülýär. Bu bolsa onuň kinematiki **modelidir**.

Mehanizmiň kinematiki shemasy kabul edilen masştabda olaryň görnüşlerini we ähli ölçeglerini takyk saklamak bilen gurulýar. Sebäbi şol ýa-da beýleki zwenolaryň hereketleri olara bagly, başgaça aýdanyňda, şol görnüşi we ölçegleri berjaý etmeli, olar üýtgän halatynda mehanizmiň nokatlarynyň ýagdaýy, tizligi we tizlenmeleri üýtgeýär. Kinematiki shemada hereketi öwrenmeklik zerur bolan zatlaryň ählisi görkezilmelidir. Çyzgyny çylşyrymlaşdyrmaz ýaly herekete degişli bolmadyk ähli artykmaç zatlar aýrylmalydyr.

Mysal hökmünde 2.1-nji *a* suratda görkezilen dwigateliň mehanizmine seredip geçeliň. Bu mehanizmiň ähli zwenolary bir umumy tekizlige parallel hereketlenýärler (tekizlikde hereketlenýän mehanizm) onuň islendik zwenosynyň hereketini öwrenmek üçin olaryň haýsy-da bolsa iki nokadynyň hereketini öwrenmek ýeterlik. Mysal üçin, *AB* kriwoşipiň hereketini öwrenmek üçin, her bir berlen pursatda *A* we *B* iki nokadynyň ýagdaýyny bilmek ýeterlikdir. *BC* şatunyň hereketini öwrenmek üçin, her bir berlen pursatda *B* we *C* nokatlaryň ýagdaýyny bilmek ýeterlikdir. Onda 1.11-nji we 1.20-nji suratlarda gör-

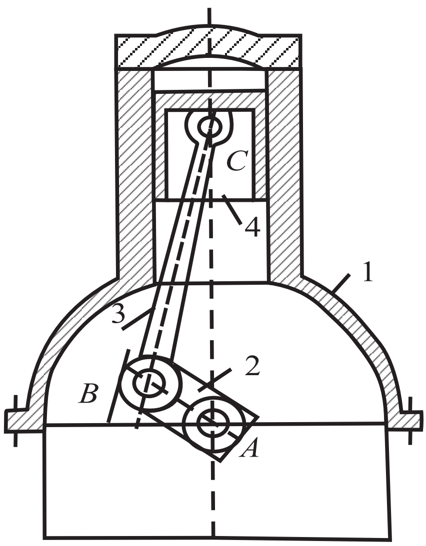


2.1-nji surat. Porşenli dwigateliň mehanizminiň shemasy: *a – konstruktiw görnüşli; b – kinematiki shemalarda ulanylýan görnüşli* kezilen şertli belgilerden peýdalanyp, mehanizmiň kinematiki shemasyny çyzýarys (*2.1-nji b surat*). Zwenolaryň gerek bolan ähli ölçegleri kabul edilip alnan μ_l m/mm masştabda geçirilendir. Bu bolsa çyzgynyň bir millimetriniň hakykatda μ_l metre deňdigini görkezýär, ýagny:

$$1 \text{ mm} \rightarrow \mu_l \text{ m}.$$

Eger mehanizmiň zwenolary giňişlikde hereketlenýän bolsa, onuň kinematiki shemasyny çyzmaklyk çylşyrymlaşýar. Bu ýagdaýda kinematik shemanyň degişli proýeksiýalary biri-birine iki, käbir halatlarda üç özara perpendikulýar tekizlikde gurulýar.

2.2. Umumy görnüşde kinematiki zynjyryň gurnalyşynyň kesgitlemeleri



2.2-nji surat. Dört zwenodan durýan tekiz mehanizmiň görkezilişi

Eger giňişlikdäki zwenonyň hereketine hiç hili arabaglanyşyk şerti goýulmadyk bolsa, onda onuň, mälim bolşy ýaly, erkinlik derejesiniň sany alta deňdir. Eger kinematiki zynjyryň zwenolarynyň sany k deň bolsa, onda olaryň kinematiki jübütlere birleşmezden ozalky erkinlik derejesiniň sany 6*k* deň bolar. Zwenolaryň kinematiki jübütler bilen birleşmesi jübütiň synpyna baglylykda zwenolaryň degişli hereketlerine dürli baglanyşyk sanyny ýitirýär. Eger I synply jübütiň sany seredilýän kinematiki zynjyra girip, P_1 deň bolsa, II synply jübütiň sany – P_2, III synply jübütiň sany – P_3, IV synply jübütiň sany – P_4, V synply kinematiki jübütiň sany – P_5-dir, onda zwenolaryň kinematiki jübütlere girmezden ozalky 6*k* erkinlik derejeden zwenolaryň kinematiki jübütlere girmegi bilen şol erkinlik derejeden birnäçesini aýyrmaly. Onda kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sany *H* deňdir:

$$H = 6k - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1. \qquad (2.1)$$

Konstruksiýalarda, adatça, ýapyk we ýapyk däl kinematiki zynjyrlar ulanylýar. Ol zwenolardan biri gozganmaýar, ýagny direg bolup hyzmat edýär. Mysal üçin, içinden ýandyrylýan dwigateliň mehanizminde (*2.2-nji surat*) 2 kriwoşip, 3 şatun, 4 porşen, 1 rama bilen silindre birleşip, kinematiki zynjyry emele getirýär. Bu suratda dwigateliň ramasy silindr bilen bilelikde gozganmaýan zweno (direg) bolýar.

Şeýlelikde, dwigateliň kinematiki zynjyrynyň hereketi öwrenilende biz olaryň haý-sy-da bolsa bir zwenosynyň gozganmaýan zweno (direg) diýip kabul edilen zweno degişlilikde süýşýändigine göz ýetirýäris. 1, 2, 3, 4 zwenolardan durýan kinematiki zynjyr ýapyk bolýar, sebäbi 2 we 4 zwenolar direg bilen A we C kinematiki jübütlere girýär. Eger kinematiki zynjyryň bir zwenosy gozganmaýan bolsa, onda zynjyryň umumy erkinlik derejesiniň sany alty san azalar we gozganmaýan zweno degişlilikde erkinlik derejesiniň sany W deň bolar:

$$W = H - 6. \tag{2.2}$$

Kinematiki zynjyryň gozganmaýan diýip kabul edilen zweno degişlilikde erkinlik derejesiniň sanyna kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sany ýa-da gysgaça **erkinlik derejesi** diýilýär. Kesgitlemede (2.2) H ornuna (2.1) aňlatmadan onuň bahasyny goýup, alarys:

$$W = 6\,(k - 1) - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1. \tag{2.3}$$

(2.3) deňlemedäki $k - 1$, n üsti bilen aňladyp şu aşakdaky kesgitlemani alarys:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1, \tag{2.4}$$

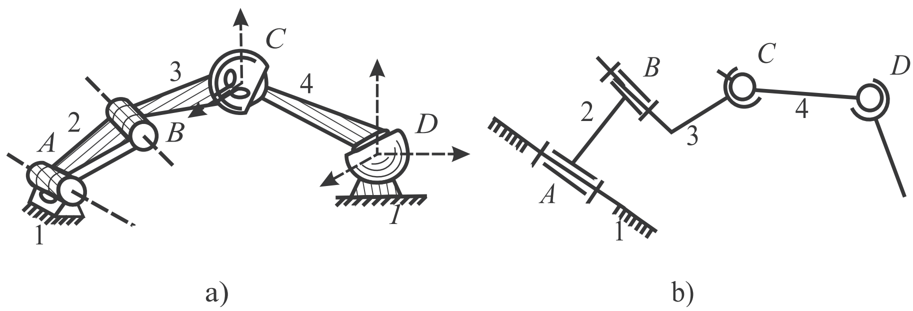
bu ýerde n – kinematiki zynjyrda gozganýan zwenolaryň sany (2.4) deňlige umumy görnüşde kinematiki zynjyryň **gurnalyşynyň kesgitlemesi** ýa-da gozganýanlyk kesgitlemesi diýilýär.

1887-nji ýylda P.I. Somow tarapyndan (2.4) kesgitleme ilkinji gezek başgarak görnüşde berildi we 1923-nji ýylda A.P. Malyşew ösdürdi. Şonuň üçin bu kesgitleme Somowyň-Malyşewiň adyny göterýär. Eger kinematiki zynjyr diňe V synply jübütlerden düzülen bolsa, onda (2.4) kesgitleme şu görnüşi alar:

$$W = 6n - 5P_5.$$

1-nji mysal. Ýapyk kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sanynyň kesgitlenilişiniň mysalyna seredeliň. 2.3-nji (*a*) suratda, kinematiki zynjyr we 2.3-nji (*b*) suratda onuň shemasy görkezilendir. Shemada (V synply) A jübüte 1 (direg) we 2 zweno girýär. (V synply) B jübüte 2-nji we 3-nji zwenolar, (IV synply) C jübüte-3-nji we 4-nji zwenolar we iň soňunda (III synply) D jübüte 4-nji we 1-nji (direg) zwenolar girýär. Gozganýan zwenolaryň sany n üçe deňdir, V synply P_5 jübütleriň sany ikä deňdir. IV synply P_4 jübütleriň sany bire deňdir we III synply P_3 jübütleriň sany hem bire deňdir. Zwenolaryň we jübütleriň sanlaryny (2.4) kesgitlemä goýup alýarys, ýagny garalýan kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sany bire deňdir:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 = 6{\cdot}3 - 5{\cdot}2 - 4{\cdot}1 - 3{\cdot}1 = 1.$$

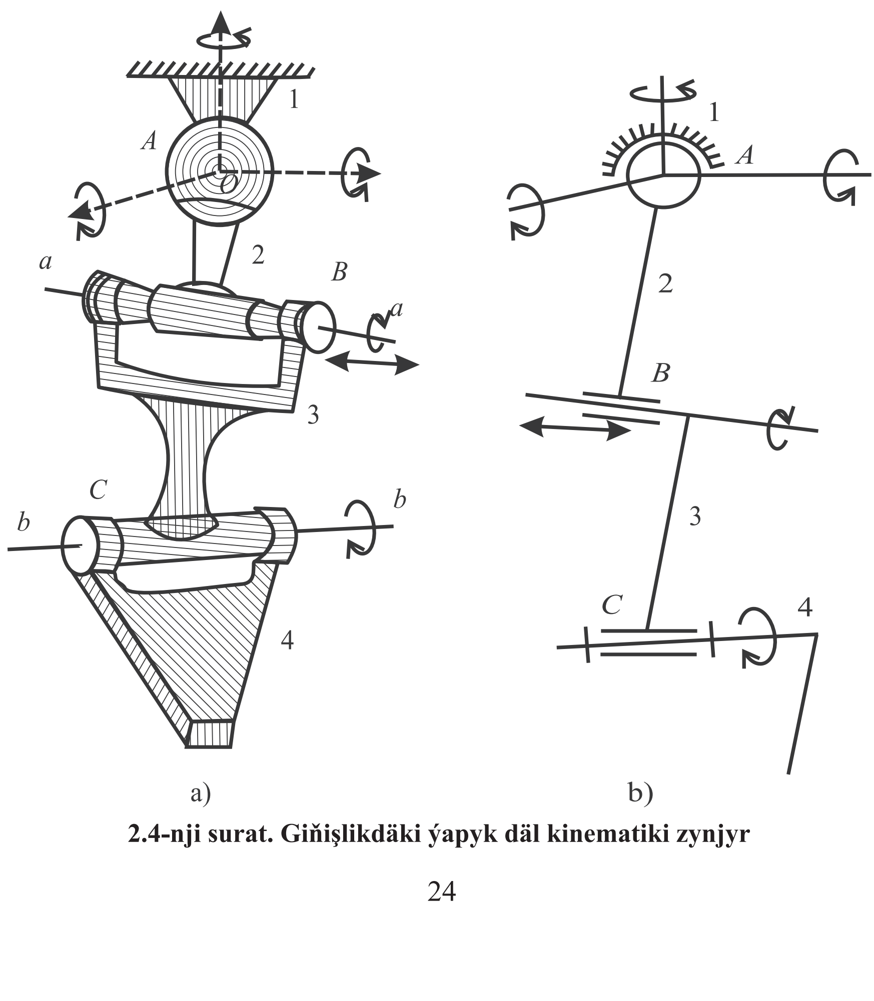


2.3-nji surat. Dört zwenoly giňişlikde hereketlenýän mehanizm

2-nji mysal. 2.4-nji *a* suratda we 2.4-nji *b* shemada görkezilen ýapyk däl kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sanyny kesgitlemeli. Shemada (III synply) *A* jübüte 1-nji (direg) we 2-nji zwenolar girýär, (IV synply) *B* jübüte 2-nji we 3-nji zwenolar girýär we (V synply) *C* jübüte 3-nji we 4-nji zwenolar girýär. (2.4) kesgitleme boýunça alýarys:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1 = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 1 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 6$$

ýagny garalýan kinematiki zynjyryň erkinlik derejesiniň sany alta deňdir.



2.4-nji surat. Giňişlikdäki ýapyk däl kinematiki zynjyr

Belli kesgitli hereketleri bolan kinematiki zynjyra zwenolary bilen birlikde mehanizm diýilýär. Onda mehanizmiň erkinlik derejesiniň sany bilen onuň zwenolarynyň kesgitli hereketleri nähili baglydygy baradaky soraga düşünmek zerur. (2.4) kesgitlemeden görnüşi yaly, gozganýanlyk derejesi mehanizmiň gozganmaýan (direg) diýip kabul edilen zwenosyna degişlilikde erkinlik derejesiniň sany bilen häsiýetlendirilýär. Eger mehanizmiň erkinlik derejesi bire deň bolsa, onda mehanizmiň zwenolarynyň birine direge degişlilikde (mehanizmiň bir umumylaşdyrylan koordinatyny) kesgitli hereketiň kanunyny ýazmak bolar. Mysal üçin, aýlanýan, gönüçyzykly ýa-da hyrly hereket berlen tizlikleri bilen. Şeýlelikde, mehanizmiň galan beýleki zwenolary hem berlen funksiýa bagly belli kesgitli hereketleri alýar. Eger mehanizmiň erkinlik derejesi ikä deň bolsa, onda direge degişlilikde, zwenolaryň birine iki bagly bolmadyk (mehanizmiň iki umumylaşdyrylan koordinatyny) bermek zerur ýa-da direge degişlilikde iki zweno biri beýlekisine bagly bolmadyk hereketleri bermeli we ş.m. Mysal üçin, 2.3-nji suratda görkezilen mehanizmiň düşündirilişi ýaly, erkinlik derejesi bire deňdir. Şeýlelikde, onuň zwenolarynyň birine kesgitli kanun boýunça hereket berip, bu mehanizmiň beýleki ähli zwenolarynyň hem belli kesgtitli hereketlerini alýarys.

Mehanizmiň direge degişlilikde ähli zwenolarynyň ýagdaýyny kesgitleýän özara bagly bolmadyk koordinatalaryň her birine mehanizmiň umumylaşdyrylan koordinaty diýilýär.

Bir ýa-da birnäçe umumylaşdyrylan koordinat goýlan mehanizmiň zwenosyna mehanizmiň başlangyç zwenosy diýilýär.

Mysal üçin (*2.3-nji suratda*) 2-nji zweno aýlaw kanuny $\varphi_2 = \varphi_2(t)$ funksiýa görnüşinde berlen, bu ýerde φ_2 2 zwenonyň aýlaw burçy, t-wagt. Eger 2-nji zwenonyň hereketi berlen bolsa, onda beýleki ähli zwenolar belli kesgitli hereket boýunça süýşerler, ýöne olaryň hereketi $\varphi_2 = \varphi_2(t)$ saýlanyp alnan funksiýa bagly bolar. Şonuň üçin mehanizmiň 2-nji zwenosy başlangyç zweno bolýar.

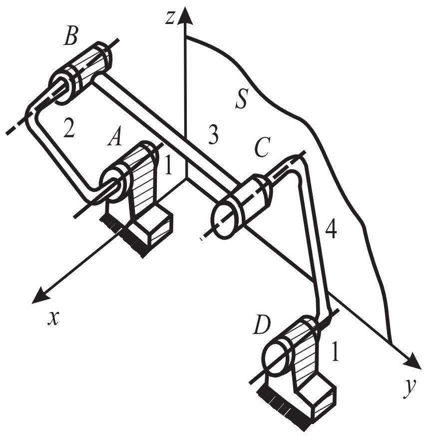
Şeýlelikde, φ_2 belli bir bahasy mehanizmiň diregine degişlilikde onuň zwenolarynyň degişli ýagdaýlaryny kesgitleýär, şonuň üçin φ_2 seredilýän mehanizmiň umumylaşdyrylan koordinatydyr. 2.4-nji suratda görkezilen kinematiki zynjyryň, öň düşündirilişi ýaly, erkinlik derejesi alta deňdir. Şeýlelikde, ähli zwenolaryň kesgitli hererketleri üçin alty umumylaşdyrylan koordinatyň berilmegi gerek. Mysal üçin, 2-nji zwenonyň 0 nokatda kesişýän üç okunyň daşyndaky aýlaw kanuny 3-nji zwenonyň *a-a* okunyň töweregi we ugry boýunça aýlaw we typma hereketi we 4 zwenonyň b-b okuň töwereginde aýlaw hereketi bellidir.

Esasan, maşynlaryň we abzallaryň konstruksiýalarynda erkinlik derejesi bire deň bolan mehanizmler ulanylýar. Maşynlaryň käbir konstruksiýalarynda iki we ondan köp erkinlik derejeli mehanizmler gabat gelýär. Bular ýaly konstruksiýalara, awtomobilleriň differensiýaly, käbir manipulýatoryň we hasap-çözüji maşynlaryň mehanizmleri degişlidir.

2.3. Tekizlikde hereketlenýän mehanizmleriň gurnalyşynyň kesgitlemesi

Ýokarda bellenişi ýaly, mehanizmiň erkinlik derejesiniň sany W (2.4) gurnalyşynyň deňlemesi boýunça kesgitlenip bilner:

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



2.5-nji surat. Dört zwenoly şarnirli mehanizm

Bu kesgitlemeden peýdalanmak diňe mehanizmiň düzümine girýän zwenolaryň hereketlerine haýsy-da goşmaça şert goýulmadyk halatynda bolsa bir mümkin. Bu şert tutuşlygyna ähli mehanizm üçin umumy we örän dürli bolup biler. Mysal üçin, diňe aýlanýan V synply kinematiki jübütlerden düzülen mehanizm üçin ähli jübütleriň oklary parallel bolmaly, bir nokatda kesişmeli we ş.m. Şeýle goşmaça talaplar mehanizmiň hereketiniň häsiýetini düýpli üýtgedýär we degişlilikde onuň gurnalyşynyň kesgitlemesiniň görnüşini hem üýtgedýär. Mysal üçin (*2.5-nji surat*) suratda görkezilen mehanizm V synply kinematiki jübütlerden durýar. Ähli jübütleriň oklary paralleldir. Gozganmaýan *xyz* koordinat ulgamyny, *x* okuň ugry jübütleriň oklary 2.5-nji surat ugry bilen gabat geler ýaly, *y* we *z* oklary jübütleriň oklaryna perpendikulýar tekizlikde ýatar ýaly saýlaýarys. Şu ýagdaýda *ABCD* mehanizmiň zwenolarynyň nokatlarynyň *y* we *z* oklaryndan durýan bir umumy gozganmaýan *S* tekizlige parallel tekizlikde hereketlenýändigine göz ýetirýäris we bir tekizlikde hereketlenýän mehanizm diýip atlandyrylýany, ýagny mehanizmiň zwenolarynyň nokatlarynyň yzlary parallel tekizlikde ýatýan ýagdaýyny alýarys. Ähli kinematiki jübütleriň oklarynyň parallellik şertine görä ýokarda görkezilen mehanizmiň ähli zwenolarynyň hereketlerine nähili umumy çäklendirme goýulandygyna seredeliň. Mehanizmiň zwenolary *y* we *z* oklarynyň töwereginde aýlaw hereketini edip bilmeýär, *x* okuň ugruna gönüçyzykly hereket etmeýär, ýagny mümkin bolan alty hereketden üç hereketi ýerine ýetirip bilmeýär. Şuňa degişlilikde, *x* oka parallel ýa-da onuň töwereginde aýlaw hereketi hem-de *y* we *z* oklarynyň boýuna gönüçyzykly hereketi, ýagny jemi üç hereketi mümkindir.

Eger mehanizmiň ähli zwenolarynyň hereketlerine üç umumy çäklendirme goýulýan bolsa, onda tutuş mehanizmiň erkinlik derejesi ýa-da aýratyn zwenolaryň erkinlik derejesiniň sany hasaplananda bu çäklendirmeler hasaba alynmalydyr. Eger umumy ýagdaýda mehanizmiň gozganýan zwenolarynyň erkinlik derejesiniň sany $6n$ deň bolsa, bu ýerde n-gozganýan zwenolaryň sany bolup, onda seredilýän mehanizmiň gozganýan zwenolarynyň erkinlik derejesiniň sany $(6 - 3)n = 3n$ bolar. Degişlilikde bu mehanizmde V synply jübütler $(5-3)P_5 = 2P_5$ baglanyşykda bolar. Sebäbi üç baglanyşyk eýýäm jübütleriň oklarynyň parallellik şerti boýunça aýrylandyr we ş.m. Onda mehanizmiň (2.4) gurnalyşynyň kesgitlemesi şeýle bolar:

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

ýagny tekizlikde hereketlenýän mehanizmiň erkinlik derejesi deň bolar:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4. \qquad (2.5)$$

Bu kesgitlemä umumy görnüşde tekizlikde hereketlenýän mehanizmiň gurnalyşynyň kesgitlemesi diýilýär.

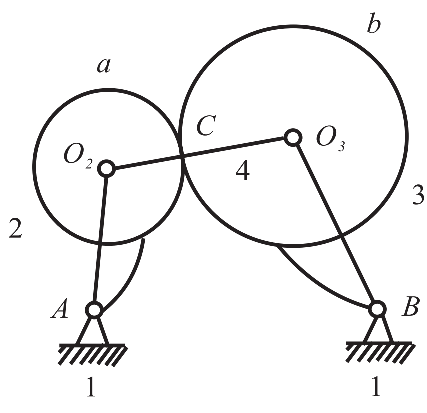
Tekizlikde hereketlenýän mehanizmiň düzümine I, II, III synply jübütler girip bilmeýär. Sebäbi bu jübütler giňişlikdäki degişli hereketleriň häsiýetlerine eýedir.

2.4. Tekizlikde hereketlenýän mehanizmleriň ýokary jübütlerini pes jübütler bilen çalysmak

Ýokarda görkezilişi ýaly, tekizlikde hereketlenýän mehanizmleriň zwenolary ýokary we pes jübütlere girýärler. Tekizlikde hereketlenýän mehanizmleriň gurnalyşynyň we kinematikasy öwrenilende kinematiki zynjyra ýa-da zwenolara girýän ýokary jübütleri diňe pes aýlanýan we gönüçyzykly hereket edýän V synply jübütler bilen çalyşmak amatlydyr. Çalşylandan soň alnan mehanizmiň ähli zwenolarynyň hereketleri öňki ýagdaýyny saklamaly, şeýle hem mehanizmiň erkinlik derejesi öňküligine galmalydyr. 2.6-njy suratda görkezilen üç zwenoly mehanizme seredeliň. Bu mehanizm 1 direg bilen V synply A we B aýlanýan kinematiki jübütlere girýän 2-nji we 3-nji gozganýan zwenolardan we IV synply C ýokary jübütden, zwenolaryň a we b bölekleri bolsa O_2C we O_3C radiusly töwereklerden durýar. Mehanizmiň erkinlik derejesi (2.5) kesgitlemäniň esasynda deň bolar:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 2 = 2 \cdot 2 - 1 = 1.$$

Garalýan mehanizmi oňa meňzeş (ekwiwalent) bolan $AO_2\,O_3B$ dört zwenoly şarnirli mehanizm bilen çalyşmak bolar. C nokatda IV synply ýokary jübüt V synply O_2we O_3 aýlanýan jübüte girýän zweno bilen çalşylýar. Çalyşma netijesinde alnan $AO_2\,O_3B$ mehanizme **çalşylan mehanizm** diýilýär. Çalşylan mehanizmiň erkinlik derejesi hem edil berlen mehanizmiňki ýaly bolar. Onda:



2.6-njy surat. Iki töwerek görnüşde ýokary jübütli mehanizmiň shemasy we ony çalyşýan dört zwenoly şarnirli mehanizm

$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

zwenolarýň a we b bölekleri O_2 we O_3 nokatlarda merkez edilip geçirilen töwerekler bolandygy üçin, 4-nji zwenonyň O_2O_3 uzynlygy hemişelik bolup galýar. Şonuň ýaly hem 2-nji we 3-nji zwenolaryň AO_2 BO_3 uzynlyklary hemişelik bolýar. 2 we 3 zwenolaryň hereketleriniň kanunlary nukdaýnazaryndan çalşylan $AO_2\ O_3B$ mehanizm berlen mehanizme ekwiwalentdir.

2.5. Giňişlikde hereketlenýän mehanizmleriň gurnalyşynyň kesgitlemesi

Häzirki zaman maşyn gurluşygynda giňişlikde hereket edýän mehanizmleriň dürli görnüşleri ulanylýar.

Ýokarda görkezilişi ýaly, giňişlikde hereketlenýän mehanizmleriň umumy görnüşde gurnalyşynyň kesgitlemesi şeýle ýazylýar:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1. \qquad (2.6)$$

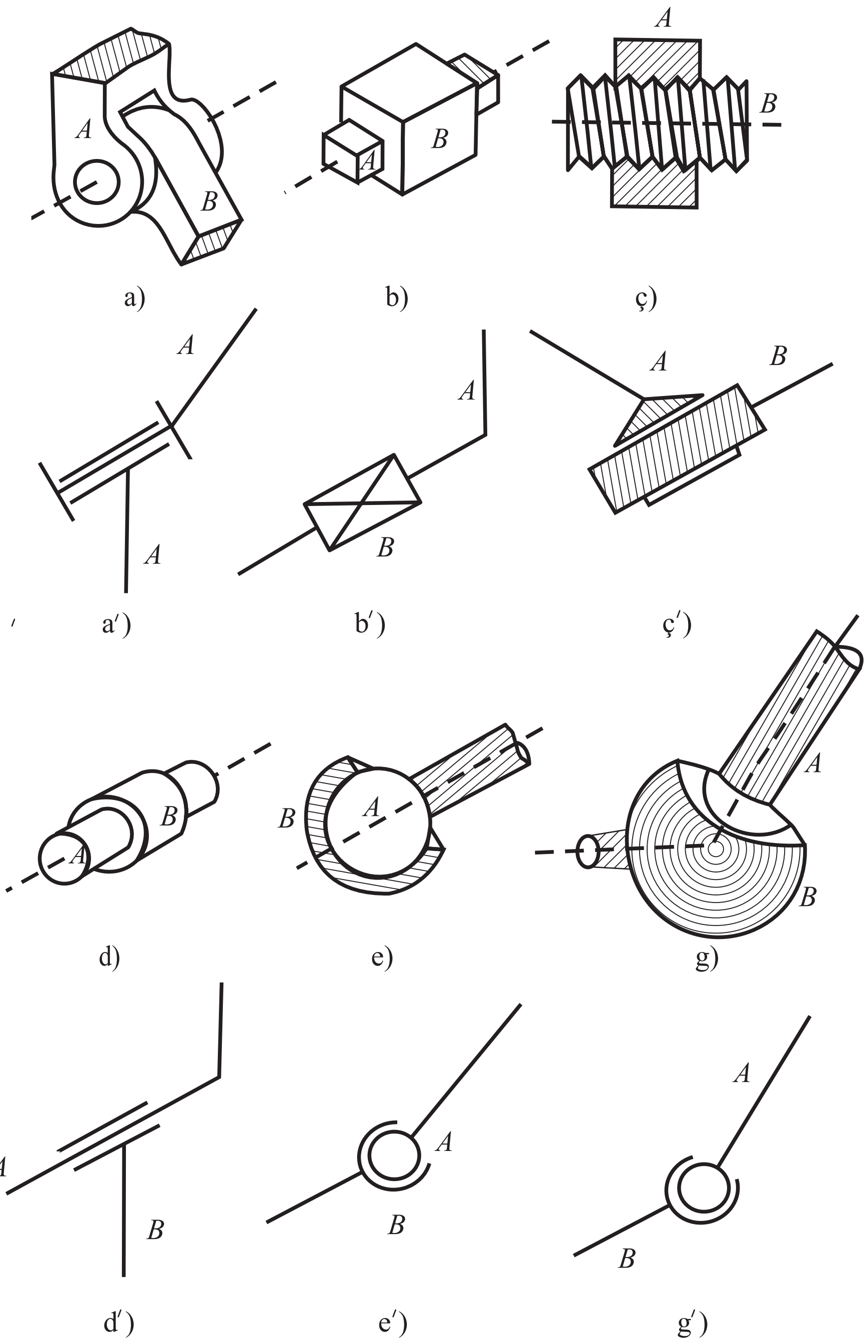
(2.6) deňlemeden görnüşi ýaly, bu mehanizmler ähli bäş synply kinematiki jübütlere girýän zwenolardan emele gelýär.

Pes kinematiki jübütler ýygy-ýygydan duş gelýän, 2.7-nji suratda görkezilen jübütlerdir. 2.7-nji *a*, *b* we *ç* suratlarda V synply aýlanýan, gönüçyzykly hyrly jübütler görkezilendir. Eger bu jübütler giňişlikde herekietlenýän mehanizmleriň jübütine girýän bolsa, olaryň şertli belgilenilişi degişlilikde 2.7-nji, *a'*, *b'* we *ç'* suratdaky ýaly alynmalydyr. IV synply silindrik jübüt we onuň belgilenilişi 2.7-nji d we d' suratdaky ýaly görkezilmelidir. III synply togalak jübütiň şertli belgilenilişi 2.7-nji *e* we *e'* suratda görkezilendir. Şeýle hem IV synply barmakly şar görnüşli jübütiň şertli belgilenilişi 2.7-nji *g* we *g'* suratda görkezilendir.

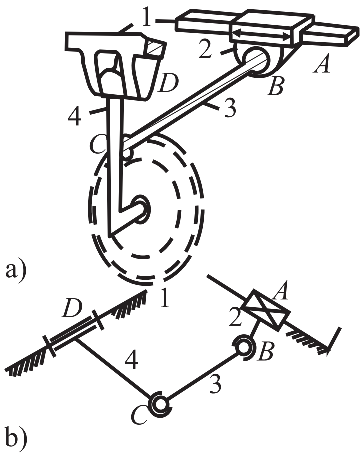
Tehnikada ulanylýan giňişlikde hereketlenýän käbir mehanizmlere seredip geçeliň. 2.8-nji suratda uçaryň ýygnalýan ýöreýiş bölegi bolan dört zwenoly *ABCD* mehanizmi görkezilendir. 2 polzun 1 gozganmaýan ugrukdyryjy boýunça hereketlenýär we 3-nji şatun 4-nji direg tigre hereket geçirýär. Ol bolsa 1 gozganmaýan zwenonyň *D* okunyň töwereginde öwrülýär.

Mehanizmden görnüşi ýaly, 3 zweno artykmaç erkinlik derejä eýedir, onuň özüniň boý okunyň töwereginde erkin aýlanmak mümkinçiligi bar. Şonuň üçin *B* we *C* jübütleriň birini togalak barmakly jübüt bilen çalyşmaly (*2.7-nji e we e' surat*). Bu artykmaç erkinlik derejesi mehanizmiň hereketine hiç hili täsirini ýetirmeýär, konstruksiýany ýönekeýleşdirmek nukdaýnazaryndan, mehanizm iki sany togalak jübütli başlanýar. Eger seredilýän mehanizmden ýokarda ýatlanýan artykmaç erkinlik derejesi aýrylsa mehanizmiň (2.6) gurnalyşynyň kesgitlemesi şeýle bolar:

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



2.7-nji surat. Giň ýaýran kinematiki jübütleriň shemalary: *a – aýlanýan kinematiki jübütiň shemada konstruktiw görkezilişi; a′ – aýlanýan jübütiň kinematiki shemalarda görkezilişi; b, b′ – şolar ýaly gönüçyzykly jübüt; ç, c′ – şolar ýaly hyrly jübüt üçin; d, d′ – şolar ýaly silindrli jübüt üçin; e, e′ – şolar ýaly şarly jübüt üçin; g, g′ – şolar ýaly barmakly şarly jübüt üçin*



2.8-nji surat.
Uçaryň ýöreýiş mehanizmi:
a – konstruktiw görnüşli;
b – kinematiki shemalarda ulanylanda görkezilişi

2-nji we 1-nji zwenolar gönüçyzykly jübüti emele getirýärler. 2-nji we3-nji hem-de 3-nji we 4-nji sferiki jübütler, 4-nji we 1-nji zwenolar – aýlanýan jübütler. Mehanizmiň kinematiki shema 2.8-nji *b* suratda görkezilendir.

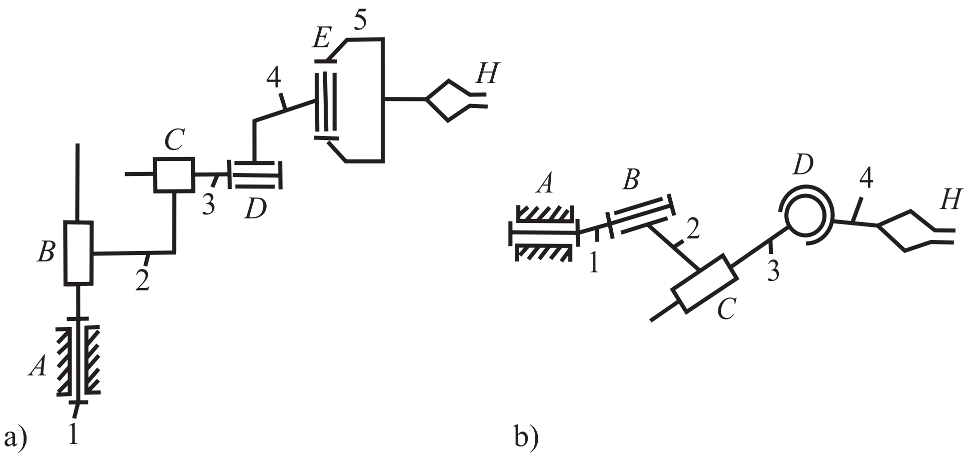
Şeýlelikde, uçaryň ýöreýiş böleginiň mehanizminiň erkinlik derejesi 1-e deňdir.

Häzirki zaman tejribeliginde ulanylýan mehanizmlerde ýapyk däl kinematiki zynjyrlaryň we erkinlik derejesiniň sany has köp bolýar. Bu mehanizmler dürli synply kinematiki jübütlerden düzülip bilner we olaryň ýerleşişi hem dürli bolýar.

2.9-njy suratda manipulýatoryň iki mehanizmi görkezilendir. 2.9-njy *a* suratda görkezilen mehanizmiň bäş sany gozganýan zwenosy bar. Ol *A*, *D* we *E* aýlanýan jübütlerden hem-de *B*, *C* gönüçyzykly hereketlenýän jübütlerden düzülendir. Erkinlik derejesiniň sany deňdir:

$$W = 6n - 5P_5 = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 5 = 5,$$

ýagny mehanizmiň erkinlik derejesiniň sany 5-e deňdir.



2.9-njy surat. Manipulýator mehanizmiň kinematiki shemasy

2.9-njy *b* suratda dört gozganýan zwenodan durýan manipulýatoryň mehanizminiň shemasy görkezilendir. Ol *A*, *B* aýlanýan jübütlerden, *C* gönüçyzykly hereketlenýän jübütden we D togalak jübütden durýar. Erkinlik derejesiniň sany deňdir:

$$W = 6n - 5P_5 - 3P_3 = 6 \cdot 4 - 5 \cdot 3 - 3 \cdot 1 = 6,$$

ýagny mehanizmiň erkinlik derejesi 6-a deňdir.

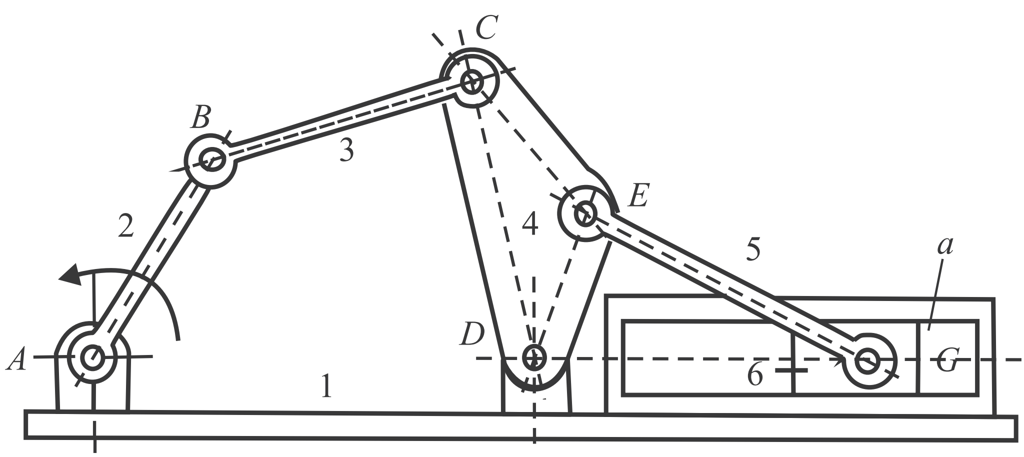
2.6. Mehanizmleri döretmegiň esasy ýörelgesi

Mehanizmleri döretmegiň esasy ýörelgesi ilkinji gezek 1914-nji ýylda rus alymy L.W. Assur tarapyndan hödürlendi. Ol mehanizmleri döretmegiň usulyny kinematiki zynjyrlary yzygider birikdirmek arkaly ösdürdi. Bu usuly haýsy-da bolsa bir mehanizmiň mysalynda (mysal 2.10-njy suratda görkezilen) yzarlamak aňsat. Bu mehanizm bäş gozganýan zwenodan we ýedi sany V synply kinematiki jübütlerden durýar. Şeýlelikde, Çebyşewiň (2.5) kesgitlemesi boýunça onuň erkinlik derejesiniň sany deňdir:

$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1, \qquad (2.7)$$

ýagny 2.10-njy suratda görkezilen mehanizmiň erkinlik derejesi 1-e deňdir.

Başlangyç zweno hökmünde 2 zwenony alýarys. Onda bu mehanizmiň erkinlik derejesi 1-e deň bolan 2 başlangyç zwenodan, 1 diregden we kinematiki zynjyry emele getirýän 3, 4, 5 we 6 zwenolardan durýar. Bu mehanizmiň gurnalyşy 2 başlangyç zweno we 1 direge yzygider 3-nji we 4-nji zwenolardan durýan kinematiki zynjyry birleşdirmek arkaly geçirilýär. Onda erkinlik derejesi 1-e deň bolan 4 zwenoly *ABCD* mehanizmi alarys. Soňra *ABCD* mehanizmiň dördünji zwenosyna we 1 direge 5-nji we 6-njy zwenolardan durýan kinematiki zynjyry birleşdirýäris. Şeýlelikde, erkinlik derejesi 1-e deň bolan alty zwenoly mehanizmi alarys.



2.10-njy surat. Alty zwenoly mehanizmiň nusgasy

Indi mehanizmi döretmegiň kesgitli kanunalaýyklygynyň bardygyna göz ýetirmek kyn däl. Islendik mehanizmde bir gozganmaýan zweno (direg) bolýar. 2.10-njy suratda görkezilen mehanizmde 1 zweno diregdir. Şeýle hem mehanizmde herekete getiriji zwenolarynyň sany onuň erkinlik derejesiniň sanyna deň bolmaly. Biziň seredýän mehanizmimizde bir sany başlangyç 2-nji zweno bar, sebäbi mehanizmiň erkinlik derejesi (2.7) kesgitlemä laýyklykda $W = 1$.

Şeýle hem 3, 4, 5 we 6 zwenolar birleşenden soň mehanizmiň erkinlik derejesiniň sany bire $W = 1$ deňligine galýar, onda başlangyç 2 zweno we 1 direge birleşdirilen 3, 4, 5 we 6 zwenolardan düzülen kinematiki zynjyryň, bu zynjyryň birleşdirilen zwenolaryna degişlilikde erkinlik derejesi nola deňdir.

2.7. Assuryň topary barada düşünje

Erkinlik derejesi nola deň bolan kinematiki zynjyra Assuryň topary diýilýär.

Eger 2.10-njy suratda görkezilen mehanizme ser salsak, 3, 4, 5 we 6 zwenolar bilelikde erkinlik derejesi nola deň bolanda hem topar bolup bilmeýär, sebäbi bu topary iki sany kinematiki zynjyra dargatmak bolýar. Bularyň 3, 4 we 5, 6 zwenolardan düzülen her biriniň erkinlik derejesi nola deňdir.

Hakykatdan hem, *BCD* kinematiki zynjyr üç sany *B*, *C*, *D* kinematiki jübütlere girýän iki 3-nji we 4-nji zwenolardan durýar, şeýlelikde, onuň erkinlik derejesi deňdir:

$$Wt = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

EG kinematiki zynjyr bolsa *E* we *F* iki aýlanýan kinematiki jübütlere we bir gönüçyzykly hereket edýän *G* (6 polzun we gozganmaýan ugrukdyryjy) jübüte girýän 5 we 6 zwenolardan durýar. Bu zynjyryň erkinlik derejesi deňdir:

$$Wt = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Şunlukda, 2.10-njy suratda görkezilen mehanizm 2-nji başlangyç zweno we 1-nji direge birikdirilen iki sany topardan, birinjisi 3-nji we 4-nji zwenolardan durýan, ikinjisi bolsa 5-nji we 6-njy zwenolardan durýan toparlardyr.

Ýokarda görkezilişi ýaly, tekizlikde hereketlenýän mehanizmiň düzüminde IV we V synply ýokary kinematiki jübütler, bar bolsa, olar diňe V synply jübütlerden emele gelen kinematiki zynjyrlar bilen çalşylyp biler. Görkezilen usul bilen çalşylan mehanizmiň zwenolary başlangyç ýagdaýda düzümine ýokary jübüt girýän mehanizmiň hereketleri ýaly hereketlenmeli. Şonuň üçin mehanizmleriň bölünişine seredilende ähli ýokary jübütler deslapky ýagdaýda V synply jübütlerden emele getirilen degişli kinematiki zynjyr bilen çalşylmagyny çäklendirmek bolar.

2.7 kesgitleme esasynda düzümine diňe V synply jübüt girýän topar şu şerti kanagatlandyrmaly, ýagny ony şeýle ýazmak bolar:

$$3n - 2P_5 = 0,$$

bu ýerden:

$$P_5 = \frac{3}{2}n, \qquad (2.8)$$

ýagny topara girýän V synply jübütleriň sany oňa girýän zwenolaryň ikiden üç sanyna deň bolmaly.

Zwenolaryň we jübütleriň sanlary diňe bitin bolmaly, onda (2.8) şert boýunça, topara girýän zwenolaryň we jübütleriň sanlary aşakdaky tablisadaky ýaly bolmaly.

(2.8) şerti kanagatlandyrýan san bahalary bermek arkaly biz toparyň dürli görnüşini alyp bileris.

Şeýlelik bilen, alnan toparlary synplar boýunça bölmek bolar.

2-nji tablisa

T/b	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	×
n	2	4	6	8	×	×
P_5	3	6	9	12	×	×

(2.8) şerti kanagatlandyrýan ýönekeý toparyň jübütleriniň we zwenolarynyň sanlary $n = 2$ we $P_5 = 3$ bolar. Islendik topar başlangyç zweno we direge birleşdirilende ýapyk kinematiki zynjyry emele getirýär, onda toparyň birleşdirilýän elementleriniň sany ikiden kiçi bolmaly däl diýen netijä gelýäris. Onda garalýan ýönekeý toparyň üç kinematiki jübütlerden durýan iki zwenosynyň bölekleri boş galýar we topar umumy görnüşde 2.11-nji suratda görkezilen görnüşi alar. Bu suratda görkezilen *BCD* topar iki zwenodan we üç kinematiki jübütden durýar.

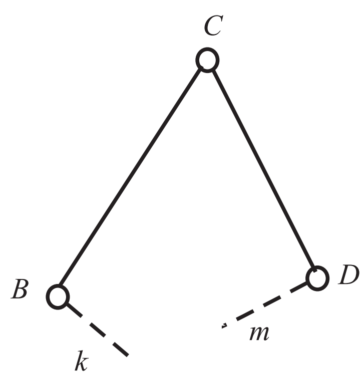
Bu topar *B* we *D* bölekleri bilen mehanizmiň islendik iki *k* we *m* zwenolaryna birleşdirilip bilner.

Iki zweno we üç V synply jübütden durýan topara II synply topar diýilýär.

2.11-nji suratda görkezilen iki zwenodan we üç aýlanýan jübütlerden düzülen topara II synply birinji görnüşli topar diýilýär. Ähli II synply toparlaryň beýleki görnüşleri aýratynlykda aýlanýan jübütleriň gönüçyzykly jübütleri bilen çalyşmak arkaly alynýar.

Bir çetki aýlanýan jübüt gönüçyzykly hereket edýän jübüt bilen çalşylyp ikinji görnüşli topar alynýar (*2.12-nji surat*).

Üçünji görnüşli topar 2.13-nji suratda görkezilendir. Bu ýerde ortaky aýlanýan jübüt gönüçyzykly jübüt bilen çalşylandyr.



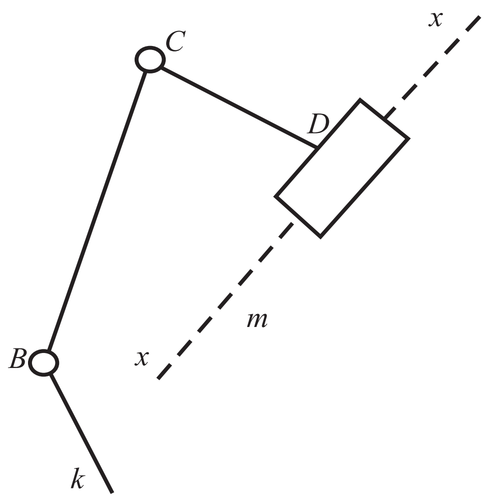
2.11-nji surat. Iki zwenoly birinji görnüşli toparyň shemasy

Dördünji görnüşli topar 2.14-nji suratda görkezilendir.

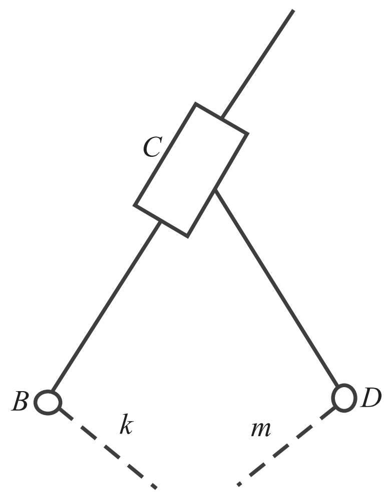
Bu ýerde iki çetki aýlanýan jübütler gönüçyzykly hereketlenýän jübütler bilen çalşylandyr.

Bäşinji görnüşli topar 2.15-nji suratda görkezilendir. Bu ýerde *C* çetki we ortaky aýlanýan jübütler gönüçyzykly hereket edýän jübütler bilen çalşylandyr.

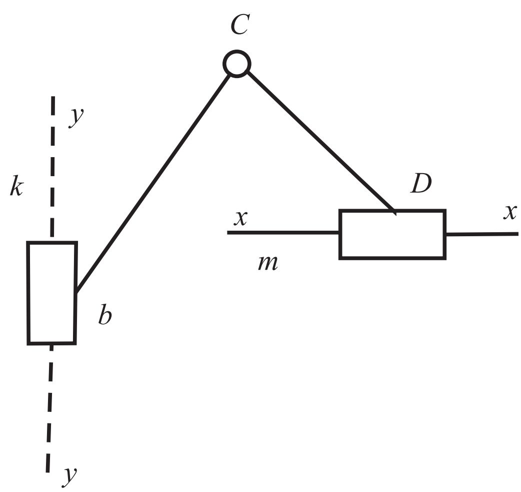
Şeýlelikde, tekizlikde hereketlenýän mehanizmler aýlanýan, gönüçyzykly hereketlenýän we IV we V synply ýokary jübütlerden düzülen diňe II synply bäş görnüşli toparlardan durýar.



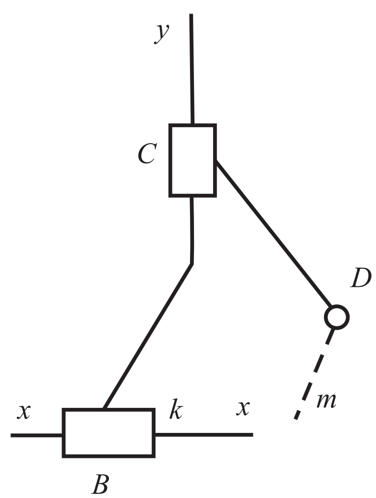
2.12-nji surat. Iki zwenoly ikinji görnüşli toparyň shemasy



2.13-nji surat. Iki zwenoly üçünji görnüşli toparyň shemasy



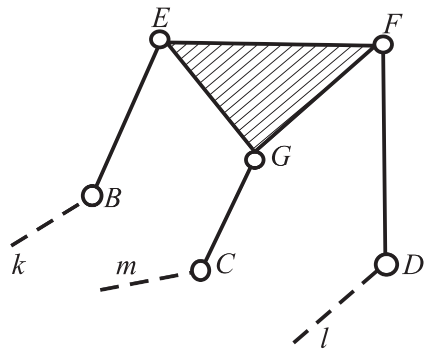
2.14-nji surat. Iki zwenoly dördünji görnüşli toparyň shemasy



2.15-nji surat. Iki zwenoly bäşinji görnüşli toparyň shemasy

(2.8) deňlemä laýyklykda, toparyň zwenolarynyň sany dört zwenodan we V synply alty jübütden durmaly. 2.16-njy suratda *EGF* zwenodan durýan we ondan çykýan *EB*, *GC* we *FD* zwenolar görkezilendir. Bu zynjyr çylşyrymly ýapyk däl kinematiki zynjyr bolup, III synply üçünji yzygider topara degişlidir. Bu toparyň esasy mehanizme birleşmesi *EB*, *GC* we *FD* zwenolaryň *B*, *C* we *D* elementleri bilen umumy ýagdaýda esasy mehanizme degişli *k*, *m* we *l* zwenolaryň jübütleri bilen birleşýärler.

Bu toparyň aýratyn tapawutlanmasy üç kinematiki jübüte girýän jebis ýapyk konturly üçburçlyk bolup, ol *EG*, *GF* we *FE* üç zweno, üç kinematiki jübüte girýän ýaly bolup görünýär. *EFG* zwenony bazis zweno diýip atlandyrarys. Esasy mehanizme toparyň *EB*, *GC* we *FD* zwenolarynyň *B*, *C* we *D* bölekleri birleşendir. *B* jübüt başlangyç *k* zweno, *C* we *D* jübütler direge birleşdirilendir.



2.16-njy surat. Üç zwenoly aýlanýan jübütli toparyň shemasy

Düzümine üçünji synply topardan ýokary bolmadyk topar girýän mehanizme III synply mehanizm diýilýär.

3-nji BAP

MEHANIZMLERIŇ KINEMATIKI SELJERILIŞI

3.1. Mehanizmleriň başlangyç zwenolarynyň kinematikasy

Mehanizmleriň kinematiki barlagy, ýagny mehanizmiň güýç täsir etmezden zwenolarynyň hereketlerini öwrenmek esasy şu 3 sany meseläni çözmekden ybarat:

1) Zwenolaryň ornuny üýtgetmek we zwenolaryň nokatlarynyň traektoriýalaryny kesgitlemekden;

2) Zwenolaryň aýry-aýry nokatlarynyň tizliklerini we zwenolaryň burç tizliklerini kesgitlemekden;

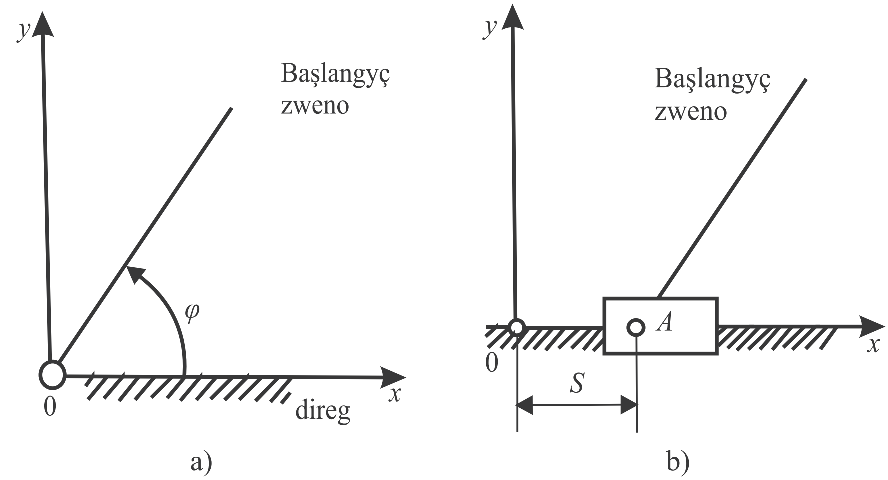
3) Zwenolaryň aýry-aýry nokatlarynyň tizlenmelerini we zwenolaryň burç tizlenmelerini kesgitlemekden.

Eger mehanizmiň erkinlik derejesi bire deň bolanda, mehanizmiň zwenolarynyň we nokatlarynyň ornuny üýtgetmegi, tizligi we tizlenmesi onyň haýsy-da bolsa bir zwenosynyň başlangyç zweno diýip kabul edilen zwenonyň ornuny üýtgetmegine baglydyr.

Ilkinji nobatda başlangyç zwenolaryň hereketleriniň kanunlary nähili şekilde berilýändigine seredip geçeliň. Geljekde biz bu kanunlary ornuny üýtgetme, tizligiň ýa-da tizlenmäniň funksiyalary diýip atlandyrarys.

Ornuny üýtgetme funksiýasy şeýle berlip bilner: analitik şekilde degişli baglanysyk görnüşinde, ýagny başlangyç zwenonyň wagt birliginde ornuny üýtgemegine baglylykda.

Eger başlangyç zweno direg bilen birleşip aýlanýan jübüte girýän bolsa (*3.1-nji surat*), baglanyşyk $\varphi = \varphi(t)$ görnüşde berilýär, bu ýerde φ – başlangyç zwenonyň direg bilen bagly gozganmaýan koordinat sistema degişlilikde aýlaw burçy:



3.1-nji surat. Başlangyç zwenolaryň shemasy: *a – direg we aýlaw jübüte girýän zweno;*
b – direg bilen güýjeýän jübüte girýän zweno

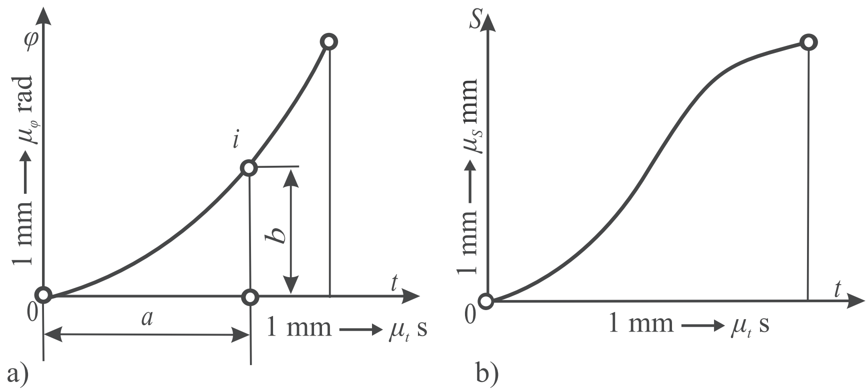
Eger başlangyç zweno direg bilen güýjeýän kinematiki jübüte girýän bolsa (*3.1-nji b surat*), onda $S = S(t)$ baglanysyk berilýär, bu ýerde S – başlangyç zwenonyň A – nokadynyň direg bilen bagly gozganmaýan koordinat sistema degişlilikde süýşmesi, t – wagt.

$\varphi = \varphi(t)$ we $S = S(t)$ baglanyşyklar, şeýle hem egri çyzyk şekilli grafiki görnüşde hem berlip bilner. (*3.2-nji surat*), ordinat oklar boýunça φ aýlaw burçy ýa-da S süýşmesi käbir μ_φ we μ_S diýlip kabul edilen masştablarda alnyp goýlan, absissa oklaryndan μ_t masştabda t – wagty alnan.

Grafiklerden peýdalanmak bilen islendik saýlanyp alnan wagt aralygynda φ – aýlaw burçuň we S süýşmäniň san bahalaryny ýeňil kesgitlemek bolar. Mysal üçin: egri çyzykda i – nokady alsak (*3.2-nji a surat*), onda başlangyç zwenonyň başlangyç ýagdaýyndan φ_i – aýlaw burçy şeýle kesgitleýäris, haçan-da $\varphi_0 = 0$ bolanda:

$$\varphi_i - \varphi_0 = \mu_\varphi \cdot b,$$

bu ýerde b – mm alnan kesim.



3.2-nji surat. Başlangyç zwenonyň süýşmesiniň grafigi:
a – burç üýtgemeginiň grafigi; b – çyzyk üýtgemeginiň grafigi

Degişlilikde, başlangyç zweno φ_i burça öwrülen wagty t_i – deňdir:

$$t_i - t_0 = \mu_t \cdot a,$$

bu ýerde a – mm-de alnan kesim.

Käbir inženerçilik meselelerinde başlangyç zwenonyň hereketiniň kanuny, tizlikleriň funksiýasy görnüşinde $\omega = \omega(t)$ ýa-da $\upsilon = \upsilon(t)$ hem berlip bilner.

Onda tizlikleriň funksiýalaryndan süýşmäniň funksiýasyna geçmeklik integraly çözmek ýoly bilen amala aşyrylýar:

$$\varphi_i - \varphi_0 = \int_{t_0}^{t_i} \omega(t)dt, \qquad s_i - s_0 = \int_{t_0}^{t_i} \upsilon(t)dt. \tag{3.1}$$

Bu ýerde ω_0, υ_0, t_0 – başlangyç zwenonyň başlangyç ýagdaýyna degişli bolan aýlaw burçy, süýşme (orny üýtgetme) we wagt. Eger netijede başlangyç zwenonyň hereketiniň funksiýalary $\varepsilon = \varepsilon(t)$ ýa-da $a = a(t)$ görnüşde berlen bolsa, onda tizlikleriň funksiýalaryna geçmeklik ýoly integraly çözmeklik bilen amala aşyrylýar:

$$\omega_i - \omega_0 = \int_{t_0}^{t_i} \varepsilon(t)dt, \qquad \upsilon_i - \upsilon_0 = \int_{t_0}^{t_i} a(t)dt, \tag{3.2}$$

bu ýerde ω_0, υ_0 we t_0 – başlangyç zwenonyň başlangyç ýagdaýyna degişli bolan, burç tizligi, çyzyk tizligi we wagt.

(3.2) deňlik boýunça tizlikleriň funksiýalaryny kesgitläp, (3.1) deňligi peýdalanyp, ornuny üýtgetme (süýşme) funksiýasyny hem kesgitläp bolar. Şeýlelikde, (süýşme) ornuny üýtgetme funksiýasyny kesgitlemek berlen tizlikleriň funksiýalary boýunça hasaplamak haýsy-da bolsa bir integraly çözmek bilen tizlenmeleriň funksiýalary berlen ýagdaýynda 1-nji we 2-nji integrallary yzygiderli çözmek bilen tapylýar. Eger-de başlangyç zwenolaryň hereketiniň kanuny tizlikleriň ýa-da tizlenmeleriň funksiýalary görnüşinde berlende we başky şertler berlende, onda biz mydama orny üýtgetme (süýşme) funksiýasyna geçip bileris.

3.2. Tizliklere we tizlenmelere meňzeş ululyklar

Mehanizmler kinematiki barlananda olaryň degişli zwenolarynyň we nokatlarynyň tizliklerlni we tizlenmelerini başlangyç zwenonyň aylaw φ ýa-da orny üýtgetme S funksiýasyna baglylykda aňlatmak bolar. Haýsy-da bolsa k – zwenonyň aýlaw burçy φ_k, şu funksiýa görnüşde berlen bolsa $\varphi_k = \varphi_k(\varphi)$, onda bu zwenonyň burç tizligi şeýle bolar:

$$\omega_k = \frac{d\varphi_k}{dt} = \frac{d\varphi_k}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\varphi_k}{d\varphi} = \omega\cdot\omega_\varphi = \omega\cdot\varphi_k', \tag{3.3}$$

bu ýerde ω – başlangyç zwenonyň burç tizligi, ölçeg birligi s^{-1}.

$\omega_\varphi = \varphi_k' = \dfrac{d\varphi_k}{d\varphi}$ – k zwenonyň ölçegsiz burç tizligi. Şu ölçegsiz burç tizligine k – zwenonyň burç tizligine meňzeş ululyk diyip aýdylýar.

Şeýlelikde, hakyky burç tizligi ω_k – başlangyç zwenonyň burç tizligini, k – zwenonyň burç tizligine meňzeş ululyga köpeldilmegine deňdir. Yokarky deňlemäni wagt birliginde differensirläp k – zwenonyň burç tizlenmesini alarys:

$$\varepsilon_k = \frac{d\omega_k}{dt} = \frac{d\left(\omega\cdot\omega_\varphi\right)}{dt} = \omega\frac{d\omega_\varphi}{dt} + \omega_\varphi\frac{d\omega}{dt} = \omega\frac{d\omega_\varphi}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + \omega_\varphi\frac{d\omega}{dt} =$$

$$= \omega^2\frac{d\omega_\varphi}{d\varphi} + \varepsilon\omega_\varphi = \omega^2\varepsilon_\varphi + \varepsilon\cdot\omega_\varphi = \omega^2\varphi_k'' + \varepsilon\varphi_k'' . \tag{3.4}$$

Bu ýerde φ_k'' – k – zwenonyň burç tizlenmesine meňzeş ululyk. Şuňa meňzeşlikde haýsy-da bolsa k – zwenonyň m – nokadynyň tizligi we tizlenmesi üçin deňleme almak bolar. Goý, m – nokadyň ýagdaýyny kesgitleýän r_m – radius-wektor diýeliň. Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, wagt birliginde radius-wektory r_m – yzygiderli 2 gezek differensirläp m – nokadyň tizligini we tizlenmesini almak bolar:

$$\upsilon_m = \frac{dr_m}{dt} = \frac{dr_m}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{dr_m}{d\varphi} = \omega\upsilon_\varphi = \omega r_m' , \tag{3.5}$$

bu ýerde ω – başlangyç zwenonyň burç tizligi – ölçeg birligi rad/s.

$\upsilon_\varphi = r'_m = \dfrac{dr_m}{d\varphi}$ m – nokadyň tizligine meňzeş ululyk, uzynlyk ölçeg birliginde.

Şeýlelikde, m – nokadyň hakyky tizligi başlangyç zwenonyň burç tizligini ω, m nokadyň tizligine meňzeş ululyga köpeldilmegine deňdir. Yokarky aňlatmany wagt birliginde differensirläp, m – nokadyň tizlenmesini alarys. Umumy ýagdaýda alnanda tizlenme 4 sany düzüjiden durýar, adaty tizlenme r_m, radius-wektoryň ugry boýunça onuň başlangyjyna ugrukdyrylan, tangensial tlzlenmä r_m – radius-wektora perpendikulýar ugrukdyrylan, degişli, relýatiw tizlenme r_m – radius-wektoryň ugruna ugrukdyrylan hem-de Koriolisiň tizlenmesi r_m – radius-wektora perpendikulýar ugrukdyrylandyr.

Yokarky deňlemäni wagt birliginde differensirläp, m – nokadyň tizlenmesini alarys.

$$a_m = \frac{d\upsilon_m}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega \cdot \upsilon_\varphi) = \omega\frac{d\upsilon_\varphi}{dt} + \upsilon_\varphi\frac{d\omega}{dt} = \omega\frac{d\upsilon_\varphi}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + \upsilon_\varphi\frac{d\omega}{dt} =$$

$$= \omega^2\frac{d\upsilon_\varphi}{d\varphi} + \varepsilon\upsilon_\varphi = \omega^2 a_\varphi + \varepsilon\upsilon_\varphi = \omega^2 r''_m + \varepsilon r'_m\,. \qquad (3.6)$$

Deňlemede ω, we ε başlangyç zwenonyň burç tizligi we tizlenmesidir.

υ_φ – tizlige meňzeş ululyk uzynlyk ölçegindedir.

Ululyk, $$a_\varphi = r''_m = \frac{d^2 r_m}{d\varphi^2}\,,$$

bu ýerde a_φ m – nokadyň tizlenmesine meňzeş ululyk, ol hem uzynlyk ölçegindedir.

Eger k – zweno ornuny üýtgedýän bolsa, onuň tizligine meňzeş ululyk S'_k bilen bellenýär.

Şeýlelikde, zwenolaryň we olaryň nokatlarynyň tizlikleri we tizlenmelerini degişlilikde tizlige we tizlenmä meňzeş ululyk bilen we mehanizmiň başlangyç zwenosynyň burç tizligi we tizlenmesi bilen aňlatmak bolar. Eger-de mehanizmiň başlangyç zwenosynyň kanuny şu funksiýa görnüşinde berlen bolsa $S = S(t)$, bu ýerde S başlangyç zwenonyň çyzykly göni hereketidir. Onda tizlige we tizlenmä meňzeş ululyklaryň tapylyşy ýokarka meňzeşlikde geçirilýär.

Tizlige we tizlenmä menzeş ululyklar diňe umumylaşdyrylan koordinata baglydyr we wagta bagly däldir. Şonuň üçin mehanizmiň kinematiki barlagyny arassa geometriki ýol bilen geçirmek bolar.

Eger başlangyç zweno hemişelik burç tizligi bilen aýlanýan bolsa, onuň burç tizlenmesi ε deňdir we biz k zwenonyň we onuň m – nokadynyň tizligini we tizlenmesini aşakdaky ýaly alarys:

$$\omega_k^n = \omega \cdot \omega_\varphi = \omega \cdot \varphi_k'; \qquad (3.7)$$

$$\varepsilon_k^n = \omega^2 \varepsilon_\varphi = \omega^2 \varphi_k'' \; ; \qquad (3.8)$$

$$\upsilon_m^n = \omega \upsilon_\varphi = \omega r_m' \; ; \qquad (3.9)$$

$$a_m^n = \omega^2 a_\varphi = \omega^2 r_m''. \qquad (3.10)$$

Mehanizmiň başlangyç zwenosynyň hereketi ω = const we ε = 0 burç tizligi bilen permanent ýa-da mehanizmiň esasy hereketi diýip atlandyrylyar.

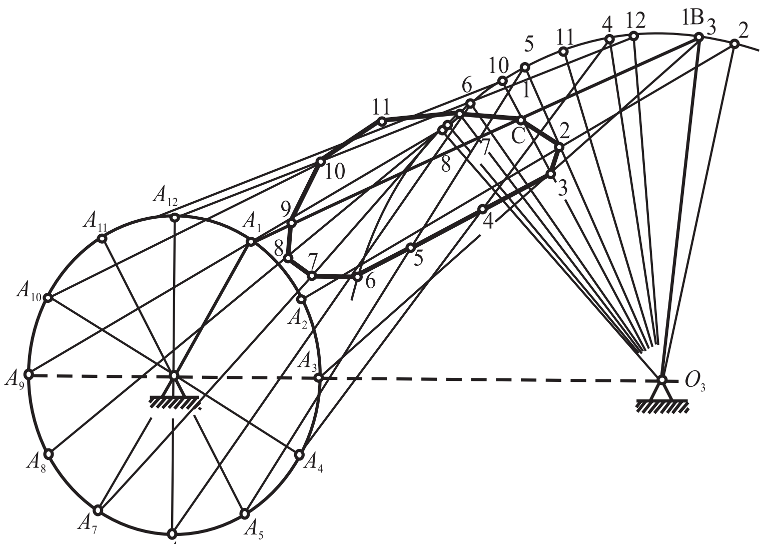
3.3. Zwenolaryň ýagdaýlarynyň we olaryň nokatlarynyň galdyrýan yzlarynyň gurluşy

Mehanizmler kinematiki seljerilende ilkinji nobatda berlen mehanizmiň talap edilýän ýagdaýlaryny gurmaly.

Mysal hökmünde dört zwenoly şarnirli mehanizmiň zwenolarynyň ýagdaýlarynyň gurluşyna seredip geçeliň.

3.3-nji suratda *OA* kriwoşip hemişelik burç tizlik bilen aýlanýar, şonuň üçin *A* nokadyň ýagdaýy islendik wagt üçin belli.

Mehanizmler kinematiki seljerilende *A* nokadyň ýagdaýy kriwoşipiň degişli wagt aralygynda aýlaw burçuna proporsionallykda seredilýär. Bu bolsa wagta bagly bolman, hereketiň diňe geometriýasyna seretmäge mümkinçilik berýär.



3.3-nji surat. Dört zwenoly şarnirli mehanizmiň ýagdaýlarynyň plany

AB şatun we O_3B koromyslo üç şarnir bilen iki zwenoly topary döredýär. Şonuň üçin bu ýerde ýokarda görkezilen zwenolaryň ýagdaýlaryny kesgitlemek usulyny peýdalanýarys. AB şatunyň we O_3B koromyslonyň ýagdaýlaryny gurmak üçin OA radius bilen töweregi birnäçe deň böleklere bölmeli. Mysal üçin 12 bölege bölüp bolar. Mundan soň B nokadyň ýagdaýlaryny görkezýäris, ýagny O_3 nokady merkez edip, ondan O_3B radius bilen duga geçirýäris. Şu geçirilen dugada yzygiderli A_1, A_2, A_3, ... nokatlardan AB şatunyň uzynlygyna deň kesim bilen bellik edip B_1, B_2, B_3, ... nokatlary alarys. Şol bir wagtda A we B nokatlaryň degişli ýagdaýlaryny tapýarys, B we O_3 nokatlary birleşdirmek arkaly koromyslonyň ýagdaýlaryny alarys. Eger zwenolaryň biriniň haýsy-da bolsa bir nokadyny, mysal üçin şatunda C nokady görkezmeli bolsa, onda onuň ýagdaýlaryny öňki tapylan zwenonyň ýagdaýlarynda ýönekeý geometriki gurmak arkaly kesgitlenýär. Has takygy A_1B_1 çyzykda AC aralykda nokat belläp, A_2B_2 çyzykda AC aralykda nokat belläp we ş.m. C nokadyň bellenen ýagdaýlaryny yzygider birleşdirip, onuň galdyrýan yzyny görkezýäris.

3.4. Mehanizmiň planynyň masştab koeffisiýenti, kinematiki diagrammalaryň gurluşy

Mehanizmiň haýsy-da bolsa bir ýagdaýy shema görnüşde çyzgyda görkezilse, oňa *mehanizmiň plany* diýilýär. Eger mehanizmiň zwenolarynyň hakyky ölçegleri hasaplanylanda metrde (m) kabul edilýän bolsa, çyzgyda olaryň degişli kesimleri millimetrde (mm) ölçelýär.

Mysal mehanizmiň zwenosynyň ölçegi l_{AB} m çyzgyda AB (mm) kesim bilen görkezilýär, onda:

$$l_{AB} = \mu_l \cdot AB,$$

bu ýerde μ_l – mehanizmiň planynyň masştab koeffisiýenti.

μ_l masştab koeffisiýentiň berlen san bahasyny ulanyp, mehanizmiň planynyň kömegi bilen kesimleri ölçäp, onuň hakyky ululygyny kesgitlemek kyn däl.

μ_l hödürlenýän bahalary:

0,001 (1:1)	0,002 (1:2)	0,005 (1:5)
0,01 (1:10)	0,02 (1:20)	0,05 (1:50)
0,1 (1:100)	0,2 (1:200)	0,5 (1:500)
1 (1:1000)	2 (1:2000)	5 (1:5000)
10 (1:10000)	20 (1:20000)	50 (1:50000)
100 (1:100000)	200 (1:200000)	500 (1:500000).

Ýaýyň içinde deňeşdirmek üçin çyzgy masştaby getirilen, hakyky ölçegiň millimetrde ölçelip alnyşy.

Mehanizmler kinematiki barlananda, barlanýan mehanizmiň hereketini doly siklde barlamak bolýar. Şonuň üçin hem mehanizmiň zwenolarynyň ornuny üýtgetmegini, tizlikleri we tizlenmeleriň analitiki ýa-da grafiki barlagy biri-birinden ýakyn aralykda deň daşlaşýan birnäçe ýagdaýlar üçin geçirilýär. Alnan kinematiki ululyklary tablisa görnüşinde ýazmak bolar ýa-da şol ululyklaryň bahalary esasynda grafikleri gurmak bolar. Şu grafiklere kinematiki diagrammalar diýilýär. Mehanizmiň barlanýan zwenolarynyň ýa-da onuň aýry-aýry nokatlarynyň hereketlerine baglylykda, her hili kinematiki diagrammalar gurmak bolar. Mehanizmleriň nazaryýetinde praktiki meselelerde her bir kinematiki diagrammalar zwenonyň haýsy-da bolsa bir kinematiki parametrleriniň grafigi görnüşinde ornuny üýtgetmegi barlanýan mehanizmiň zwenosynyň nokadynyň ýerini üýtgetmegininiň tizliginiň ýa-da tizlenmesi wagta baglylykda mehanizmiň başlangyç zwenosynyň umumylaşdyrylan koordinatyna baglylykda berilýär. Mysal üçin: kriwoşipli polzunly mehanizm üçin göni çyzykly hereket C nokadyň ornuny üýtgetmegi S_c tizligi we tizlenmesi (υ_c we a_c) diýip bellenýär. Bu ululyklaryň kinematiki diagrammalaryny wagta baglylykda ýa-da umumylaşdyrylan koordinata baglylykda gurmak bolar. Ýagny şu grafiki görnüşlere baglylykda:

$$S_C = S_C(t); \qquad \upsilon_C = \upsilon_C(t); \qquad a_C = a_C(t);$$

$$S_C = S_C(\varphi_1); \qquad \upsilon_C = \upsilon_C(\varphi_1); \qquad a_C = a_C(\varphi_1).$$

Eger-de birinji zwenonyň φ aýlaw burçy umumylaşdyrylan koordinat diýip kabul edilýän bolsa, käbir ýagdaýlarda şunuň ýaly grafikleri gurmak bolar:

$$\upsilon_C = \upsilon_C(S_C); \qquad a_C = a_C(S_C).$$

Bu baglanyşyk ýokarky 1-nji baglanyşykdan t-parametri aýyrmak bilen alynýar. Eger-de şatunyň burçunyň üýtgemegi φ_2 burç tizliginiň ω_2 burç tizlenmesiniň ε_2 üýtgemegi barlananda şeýle grafiki görnüşleriň baglanyşygyny almak bolar.

$$\varphi_2 = \varphi_2(t); \qquad \omega_2 = \omega_2(t); \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_2(t);$$

ýa-da:

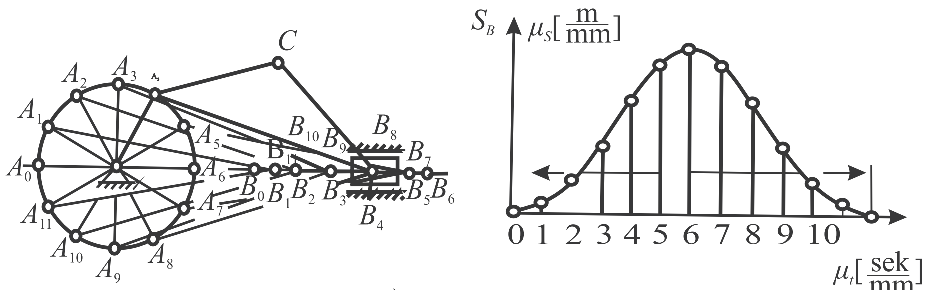
$$\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1); \qquad \omega_2 = \omega_2(\varphi_1); \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_2(\varphi_1).$$

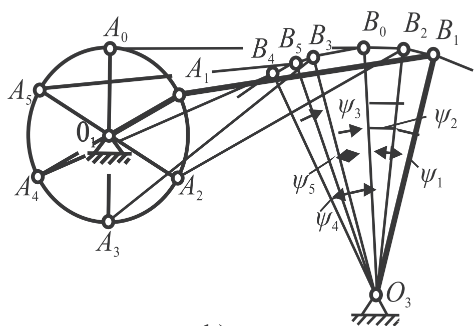
Şeýle-de şunuň ýaly baglanyşyklary gurmak bolar:

$$\omega_2 = \omega_2(\varphi_2); \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_2(\varphi_2).$$

3.4-nji suratyň çep tarapynda kriwoşipli-polzunly mehanizm görkezilendir. Onuň üçin porşeniň ýa-da B nokadyň süýşmesiniň diagrammasyny gurmaly. Silindriň okunyň dowamynda kriwoşipiň A nokadynyň nolunjy ýagdaýyny belleýäris. O nokatdan OA radius bilen tömerek geçirip, ony deň 12 bölege bölýäris. Tömerekde A_0,

A_1, A_2, ... nokatlary belleýäris we bu nokatlaryň her birinden $AB = \frac{l_{AB}}{\mu_l}$ aralyk bilen, ýagny şatunyň uzynlygy bilen silindriň okunda bellik edýäris. Bellenen B_0, B_1, B_2,.... nokatlar porşeniň merkeziniň ýagdaýlaryny kesgitleýär. Soňra koordinatanyň başlangyç nokadyny belläp, koordinat oklaryny geçirýäris. Absissa okundan kriwoşipiň bir aýlawyna degişli wagt aralygyny X kesimi alyp goýýarys we ol aralygy hem töweregi näçe bölege bölen bolsak, şonça bölege bölmeli. Absissanyň bölünen nokatlaryndan dik çyzyklary geçirmeli we olardan B nokadyň süýşýän aralyklaryna proporsionallykda $B_0 - B_1$, $B_0 - B_2$, $B_0 - B_3$, ... kesimleri alyp goýmaly.





3.4-nji surat. *a – kriwoşipli-polzunly mehanizmiň porşeniniň süýşme diagrammasynyň gurluşy; b – koromyslonyň ýagdaýlarynyň gurluşy*

Absissa okunyň masştab koeffisiýenti μ_t, eger wagt alnyp goýulýan bolsa ýa-da μ_φ eger-de kriwoşipiň aýlaw burçy alnyp goýulan bolsa:

$$\mu_l = \frac{T}{x} = \frac{60}{n \cdot x} \text{ we } \mu_\varphi = \frac{2\pi}{x},$$

bu ýerde T – kriwoşipiň bir aýlawynyň wagty, S.

$S_B = S_B(t)$ ýa-da $S_B = S_B(\varphi)$ diagrammalar gurulanda masştab koeffisiýentlerini kese ýa-da dik ok boýunça diagramma aşa beýik ýa-da uzyn bolmaz ýaly saýlap almaly.

Şuňa meňzeşlikde zwenonyň burç üýtgemeginiň diagrammasy hem gurlup biler. Bu ýagdaýda ordinata oky boýunça ψ_1, ψ_2, ψ_3, ... burçlara proporsionallykda:

$$y_1 = \frac{\psi_1}{\mu_\psi} \text{ mm}, \ \mu_\psi = \frac{\psi_{\max}}{y_{\max}} \text{ mm}, \left[\frac{\text{grad}}{\text{mm}}\right] \text{mm}, ...$$

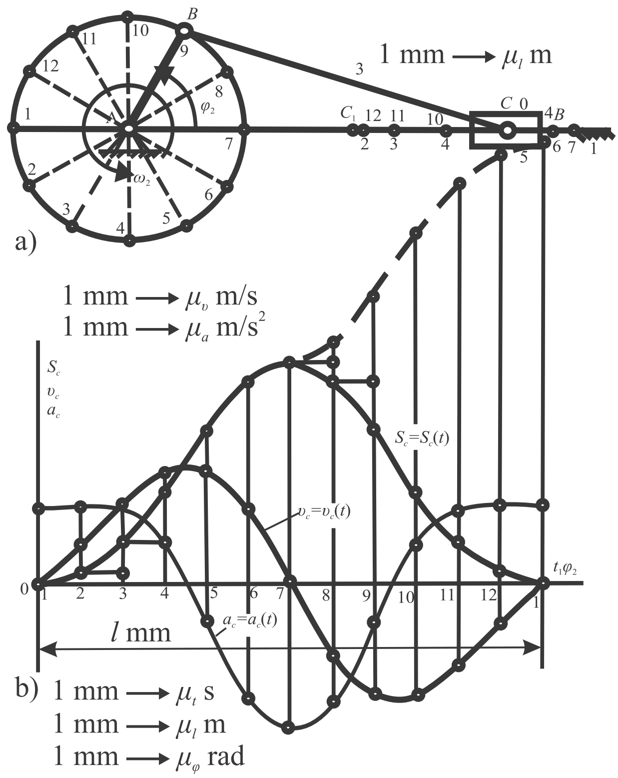
aralykda alyp goýmaly. Bu ýerde:

$\mu_\psi = \dfrac{\psi_{\max}}{y_{\max}} \left[\dfrac{\text{grad}}{\text{mm}}\right]$ – ordinata oky boýunça masştab koeffisiýenti;

$\psi_{\max}$ – koromyslonyň iň uly burça öwrülmesi;

$y_{\max}$ – diagrammanyň iň uly beýikligi, mm (erkin kabul edilýär).

Mysal hökmünde kriwoşipli-polzunly *ABC* mehanizmiň gönüçyzykly hereket edýän *C* nokadynyň kriwoşip ω_2 hemişelik burç tizlik bilen aýlanandaky $S_C = S_C(t)$, $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$, we $a_C = a_C(\varphi)$ kinematiki diagrammalarynyň gurluşyna seredeliň.



3.5-nji surat. Kriwoşipli-polzunly mehanizm:
a – kinematiki shemasy; b – $S_C = S_C(t)$, $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ we $a_C = a_C(t)$ grafikleri görkezýän baglanyşyklar

Onuň üçin, ýokarda görkezilişi ýaly, *B* we *C* nokatlaryň geçen ýollaryny belleýäris. *C* nokadyň süýşýän aralyklaryny polzunyň çep çetki ýagdaýyndan almaklyk amatly. Iki sany koordinata oklaryny geçirýäris (*3.5-nji b surat*) we absissa oky boýunça l mm kesimi alyp goýýarys. Bu bolsa μ_t masştabda kriwoşipiň bir aýlawynyň T wagtyny görkezýär, ýagny:

$$T = \frac{60}{n} = \mu_t \cdot l. \tag{3.11}$$

bu ýerde n – kriwoşipiň aýlaw ýygylygy, minutdaky aýlaw sany. Ýokardaky deňlikden μ_t masştaby alýarys:

$$\mu_t = \frac{60}{n \cdot l}. \tag{3.12}$$

l aralygy 12 deň bölege bölýäris we degişli 1, 2, 3, ... nokatlardan polzunyň çep çetki ýagdaýyndan başlap (*3.5-nji a suratda*) goýýarys. 2 nokatdan ordinata boýunça ýokarlygyna (*3.5-nji b surat*) C_1C_2 3 nokatdan – C_1C_3 we ş.m. aralyklary alyp goýýarys. Eger C_1C_2, C_1C_3,... kesimleri göni ulaltman (*3.5-nji a suratdan*) shemadan alynsa, onda $S_C = S_C(t)$ diagrammanyň ordinata oky boýunça masştaby μ_l, ýagny shemanyň gurnalyşynyň masştabyna deň bolar. Şeýlelikde, alnan egri çyzyk, polzunyň çep çetki ýagdaýyndan C nokadyň süýşýän aralygynyň egri çyzygydyr. Eger C nokadyň geçen ýolunyň egri çyzygyny gurmaly bolsa, onda C_7 aralykdan öňki ölçelip alnan C_1C_7 aralygyň üstüne C_7C_8, C_7C_9 aralyklary goşmaly. 3.5-nji *b* suratda geçilen ýoluň egri çyzygy üzülen çyzyk bilen görkezilendir.

Kriwoşip hemişelik ω_2 burç tizlik bilen aýlanýar, onda absissa oky boýunça t wagt alynman, kriwoşipiň φ_2 aýlaw burçy alynýar, ýagny $S_C = S_C(t)$, $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$, we $a_C = a_C(t)$ diagrammalar şol bir wagtda $S_C = S_C(\varphi_2)$, $\upsilon_C = \upsilon_C(\varphi_2)$ we $a_C = a_C(\varphi_2)$ diagrammalar bolar. Bu diagrammalaryň absissa oky boýunça masştaby $\mu_\varphi = \dfrac{2\pi}{l}$ bolar, bu ýerde l çyzgydan millimetrde alynmaly.

$\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ we $a_C = a_C(t)$ diagrammalary gurmak üçin tizlikleriň we tizlenmeleriň planlaryndan υ_C tizligi we a_C tizlenmäni aňladýan kesimleri 1, 2, 3, ... nokatlardan geçirilen ordinatalardan alyp goýmaly, şeýle hem υ_C tizligiň we a_C tizlenmäniň belgilerini hasaba almaly (*3.5-nji b surat*).

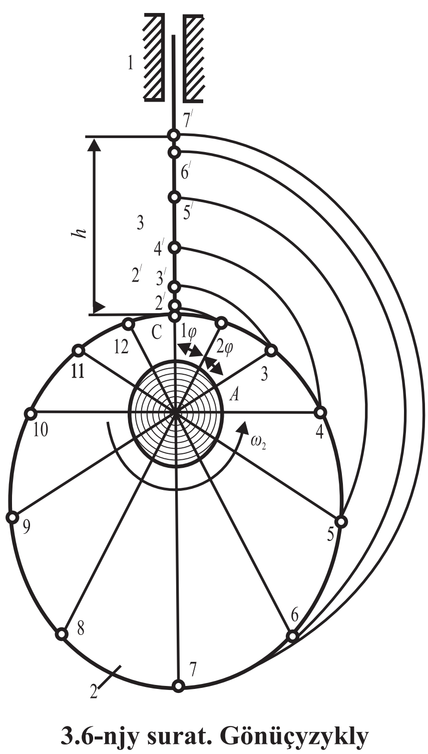
Eger tizlikleriň we tizlenmeleriň planlaryndan alnan kesimler gös-göni goýulýan bolsa, onda $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$, we $a_C = a_C(t)$ egri çyzygyň ordinatynyň masştaby hem tizlikleriň μ_υ we tizlenmeleriň μ_a masştablaryna deňdir. Bu diagrammalar hem $\upsilon_C = \upsilon_C(\varphi_2)$, we $a_C = a_C(\varphi_2)$ diagrammalar bolar.

Ýokarda garalan mysallarda barlanýan nokatlar gönüçyzykly hereket edýärler. Egriçyzykly hereket edýän nokatlaryň kinematiki diagrammalary gurlanda barlanýan nokatlaryň diňe bir tizliginiň we tizlenmesiniň absolýut bahalaryny bermän, eýsem olaryň tizlikleriniň we tizlenmeleriniň wektorlarynyň ugurlaryny görkezýär. Onuň üçin tizlikleriň we tizlenmeleriň planlaryndan alnan tizlikleriň we tizlenmeleriň wektorlaryny umumy P we n polýusdan olaryň hakyky ugurlary boýunça goýmaly. Mundan soň ähli wektorlaryň uçlaryny birleşdirip egri çyzyk alarys, bu alnan diagramma *tizlikleriň godografy* ýa-da degişlilikde *tizlenmeleriň godografy* diýilýär.

3.5. Mehanizmleriň diagrammalar usuly arkaly kinematiki barlagy

Kinematiki diagrammalar usuly mehanizmleriň kinematiki barlagy üçin ulanylyp bilner. Kinematiki diagrammalaryň usulynyň ulanylyşyny anyk mehanizmiň mysalynda görkezeliň. Mysal üçin 3.6-njy suratda görkezilen kulaçokly mehanizmde 3 itekleýjiniň *C* nokadynyň $S_C = S_C(t)$, $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ we $a_C = a_C(t)$ diagrammalaryny gurmak talap edilýär. Mehanizmde kulaçok ω_2 hemişelik burç tizlik bilen aýlanýar. *C* nokadyň aşaky ýagdaýyna (1 ýagdaýy) degişlilikde süýşýän aralyklaryny tapalyň. Onuň üçin 2 kulaçogyň aýlaw *A* merkezinden φ burça deň bolan A_1, A_2, A_3 şöhleleri geçirýäris. Eger *A* merkezden *AC* radius bilen 3 zwenonyň okunda bellik etsek, onda 2 kulaçok φ burça öwrülende 3 zwenonyň süýşmesi (1–2′) kesime deň bolar. Edil şonuň ýaly 2 kulaçok 2φ burça öwrülende birinji ýagdaýdan üçünji ýagdaýa, ýagny 3 zwenonyň süýşmesi (1–3′) kesime deň bolar we ş.m. (1–2′), (1–3′), (1–4′) süýşýän aralyklary kesgitläp, erkin saýlanyp alnan μ_φ we μ_s masştablarda $S_C = S_C(\varphi_2)$ (*3.7-nji surat*) diagrammany gurarys.

$S'_C = S'_C(\varphi_2)$ tizlige meňzeş diagrammany gurmak üçin şu baglanyşykdan peýdalanýarys:



3.6-njy surat. Gönüçyzykly itekleýjili – kulaçokly mehanizmiň shemasy

$$S'_c = \frac{dS_c}{d\varphi_2} = \frac{d\left[S_c(\varphi)\right]}{d\varphi_2}, \tag{3.13}$$

bu bolsa υ tizligi $S_C = S_C(\varphi)$ egri cyzygy grafiki differensirlemek arkaly kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Onuň üçin absissa okuny *H* mm deň bolan (01) kesimi çep tarapa dowam edýäris. Soňra $S_C = S_C(t)$ egri çyzygyň 1′, 2′, 3′, 4′, nokatlaryndan galtaşma çyzyklaryny geçirýäris, 0 nokatdan bolsa 01″, 02″, 03″, şöhleleri diagrammanyň nokatlaryndan geçirilen galtaşma çyzyklaryna parallel geçirýäris. 01″, 02″, 03″, şöhleleriň S_C oky kesen aralyklary (1–2″), (1–3″), (1–4″), proporsionallykda 1, 2, 3, 4, 5, ýagdaýlarda tizliklere meňzeş ululyklar bolar. Onda alarys:

$$S'_1 = \frac{dS_C}{d\varphi_2} = \frac{\mu_S}{\mu_\varphi}\,\mathrm{tg}\alpha. \tag{3.14}$$

bu ýerde α – $S_C = S_C(\varphi_2)$ egri çyzygyň degişli nokatlaryndan geçirilen ýapgytlyk burçy. Ýokarky aňlatmany *H* mm ululyga köpeldýäris we bölýäris.

$$S'_C = \frac{\mu_S}{\mu_\varphi \cdot H} \cdot H \cdot \mathrm{tg}\alpha. \tag{3.15}$$

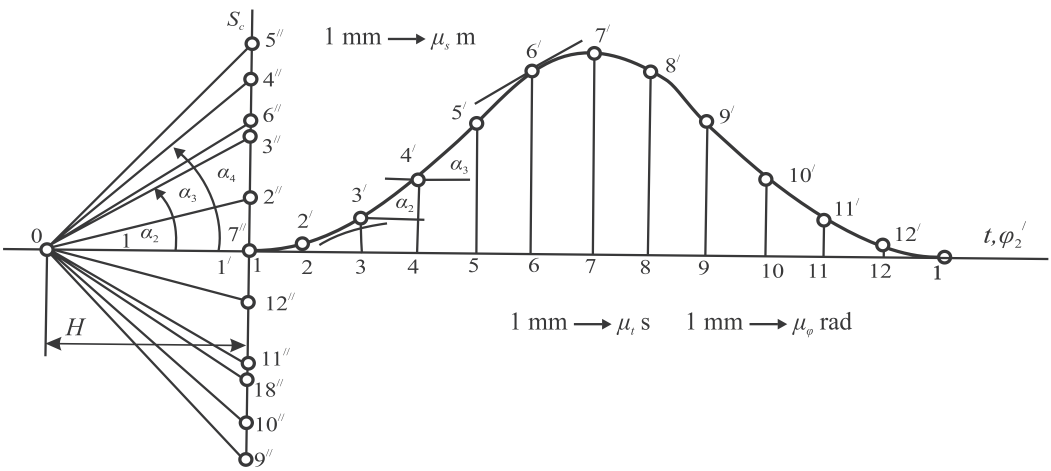
Emma $H{\cdot}\mathrm{tg}\alpha$ ululyk, dürli nokatlardan geçirilen galtaşmalar 02″, 03″, 04″, şöhleleriň S_c oky kesýän (1–2″), (1–3″), (1–4″) kesimlere deňdir. Şeýlelikde, S'_C tizlige meňzeş ululyk (1–2″), (1–3″), (1–4″) millimetrde ölçelip alynýan kesimlere proporsionaldyr. Ýokarky deňlemeden tizlige meňzeş ululygyň masştaby deňdir:

$$\mu_{S'} = \frac{\mu_S}{\mu_\phi \cdot H} \left[\frac{\mathrm{m} \cdot \mathrm{rad}^{-1}}{\mathrm{mm}}\right] \tag{3.16}$$

Alnan kesimleri proporsionallykda (*3.7-nji surat*) $S'_C = S'_C(\varphi_2)$ diagrammanyň degişli ordinatalaryndan alyp goýup, C nokadyň S'_C tizligine meňzeş ululygyň diagrammasyny gurarys (*3.7-nji surat*). C nokadyň tizligi şu aňlatma arkaly kesgitlenýär:

$$\upsilon_C = S'_C \cdot \omega_2.$$

3.7-nji suratdaky $S'_C = S'_C(\varphi_2)$ 2 zwenonyň ω_2 hemişelik burç tizligi bolan diagramma şol bir wagtda 2 kulaçogyň φ_2 aýlaw burçuna ýa-da t wagta baglylykdaky C nokadyň υ_C tizliginiň diagrammasy bolar. Tizligiň μ_υ we wagtyň μ_t masştablary şu aňlatmalar arkaly kesgitlenýär:



3.7-nji surat. 3.6-njy suratda görkezilen mehanizmiň itekleýjisiniň geçen ýolunyň grafigi

$$\mu_\upsilon = \mu_S \cdot \omega \left[\frac{\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}}{\mathrm{mm}}\right], \ \mu_t = \frac{\mu_\varphi}{\omega} \left[\frac{\mathrm{s}}{\mathrm{mm}}\right].$$

$S''_C = S''_C(\varphi_2)$ diagrammany gurmak üçin şu baglanyşykdan peýdalanýarys:

$$S''_C = \frac{dS''_C}{d\varphi_2} = \frac{d\left[S'_C(\varphi_2)\right]}{d\varphi_2}. \tag{3.17}$$

Şunuň esasynda $S'_C = S'_C(\varphi)$ egriçyzykly (*3.8-nji surat*) grafigi differensirläp, S''_C tizlenmä meňzeş ululygy kesgitlemek bolar. Onda şu aşakdakyny alarys:

$$S''_C = \frac{\mu_{S'}}{\mu_\varphi}\,\mathrm{tg}\beta = \frac{\mu_{S'}}{\mu_\varphi \cdot H'} \cdot H'\,\mathrm{tg}\beta. \qquad (3.18)$$

Bu ýerde β $S'_C = S'_C(\varphi_2)$ egriçyzygyň degişli nokatlaryndan geçirilen galtaşmanyň ýapgytlyk burçy.

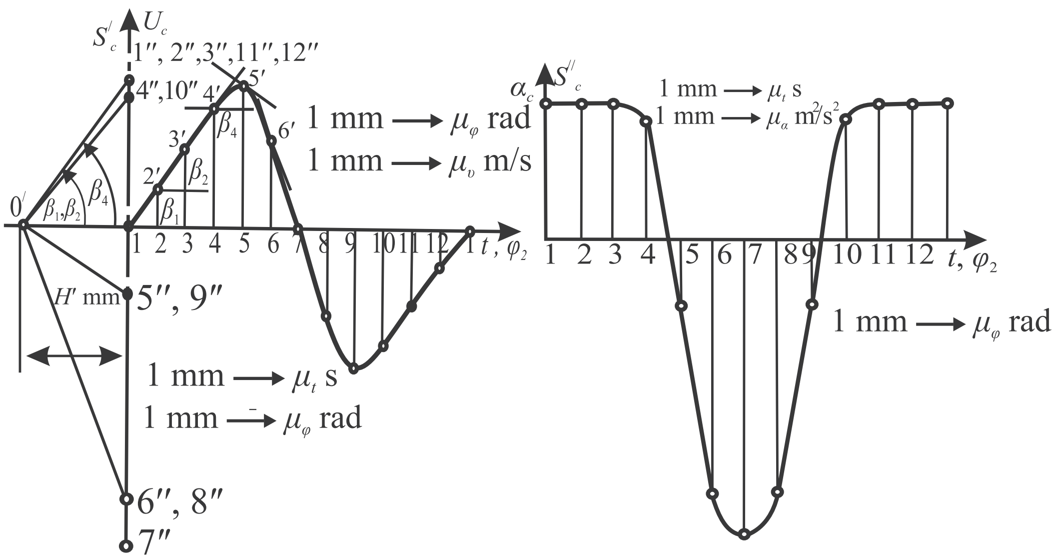
Ýöne dürli nokatlardan geçirilen galtaşmalar üçin $H{\cdot}\mathrm{tg}\,\beta$ ululyk, (1–2″), (1–3″), (1–4″), kesimlere deňdir. Onda ýokardaky aňlatma arkaly kesgitlenýän tizlenmä meňzeş ululyk, millimetrde ölçelip alnan (1–2″), (1–3″), (1–4″) we ş.m. kesimleri $\mu_{S''}$ masştaba köpeldilmegine deňdir:

$$\mu_{S''} = \frac{\mu_{S'}}{\mu_\varphi \cdot H'}\left[\frac{\mathrm{m}\cdot \mathrm{s}^{-2}}{\mathrm{mm}}\right]. \qquad (3.19)$$

Alnan kesimleri proporsionallykda C nokadyň S''_C tizlenmä meňzeş ululygyny $S''_C = S''_C(\varphi_2)$ diagrammanyň degişli ordinatalaryndan alyp goýýarys (*3.8-nji surat*).

C nokadyň a_C tizlenmesi şu aňlatma arkaly kesgitlenýär:

$$a_C = S''_C \cdot \omega_2.$$



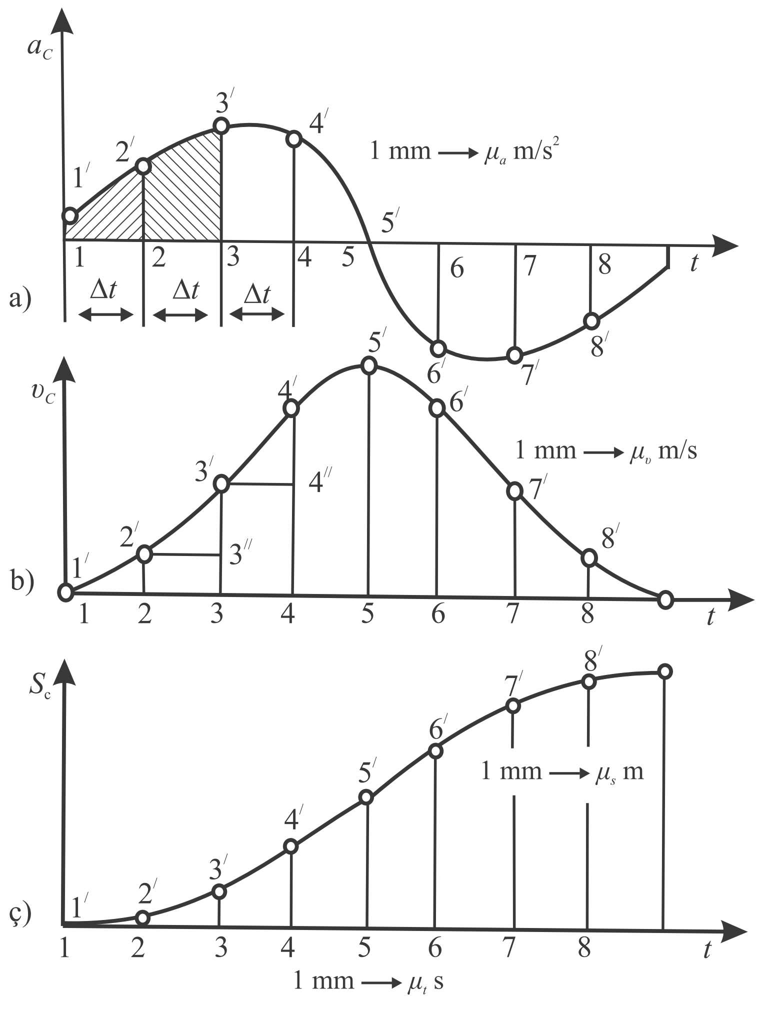
3.8-nji surat. 3.6-njy suratda görkezilen shemadaky mehanizmiň itekleýjisiniň tizlige, tizlenmä meňzeş ululyklarynyň grafikleri

2 zwenonyň ω_2 hemişelik burç tizlikli $S''_C = S''_C(\varphi_2)$ diagramma (*3.8-nji surat*) şol bir wagtda C nokadyň 2 zwenonyň aýlaw burçuna φ_2 ýa-da t wagta baglylykdaky a_C tizlenmäniň diagrammasydyr. Tizlenmäniň μ_a masştaby şu aňlatma arkaly kesgitlenýär:

$$\mu_a = \mu_{S''} \cdot \omega^2 \left[\frac{\text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{mm}} \right].$$

Grafiki differensirlemek usuly ýeterlik takyk netijeleri bermeýär. Ýöne ony tizlikler we tizlenmeler ýakynrak hasaplamalarda ulanmak bolar.

Gurluşyň dogrulygyny barlamak üçin şu şerti göz öňünde tutmaly, ýagny υ_C tizlik nola deň bolmaly (*3.8-nji surat, 7 ýagdaý*), haçan-da S_C süýşme aralyk (*3.6-njy surat*) iň ýokary (maksimal) baha eýe bolanda, edil şonuň ýaly-da υ_C tizlik iň ýokary (maksimal) baha eýe bolanda we ş.m. a_C tizlenme nola deň bolmaly.



3.9-njy surat. Grafikleri integrirlemäge degişli: *a – gönüçyzykly hereket edýän nokadyň tizlenmesiniň grafigi; b – onuň tizliginiň grafigi; ç – onuň geçen ýolunyň grafigi*

Seredilen mehanizmde tizligi we tizlenmäni kesgitlemek baradaky meselede süýşýän egriçyzykly grafigi differensirlemeli bolýar. Mehanizmleriň nazaryýetiniň käbir meselelerinde bolsa kinematiki diagrammalary integrirlemeli bolýar. Mysal üçin (*3.9-njy a suratda*) mehanizmiň haýsy-da bolsa bir nokadynyň a_C tizlenmesiniň gönüçyzykly hereket edýän t wagta baglylykdaky diagrammasy berlen $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ we $S_C = S_C(t)$ diagrammalary gurmaklyk talap edilýär. Absissa okuny deň aralyklara bölýäris (*3.9-njy a surat*) we 1, 2, 3, nokatlardan (1–1′), (2–2′), (3–3′) ordinatalary geçirýäris. υ_C tizligiň $\Delta t = t_2 - t_1$ wagt aralygynda ösmegi deňdir:

$$\upsilon_{C_2} - \upsilon_{C_1} = \int_{t_1}^{t_2} a_C dt . \qquad (3.20)$$

Baglanyşygyň sag tarapyndaky integral absissa oky bilen ordinatalar (1–1′), (2–2′) we $a_C = a_C(t)$ egriçyzyk bilen çäklendirilen [11′ 2′ 2] mm^2 meýdanyň üsti bilen aňladylýar, bu meýdany μ_a we μ_t masştablara köpeltmeli. Onda şu aňlatmany alarys:

$$\upsilon_{C_2} - \upsilon_{C_2} = \mu_a \cdot \mu_t \cdot [11'2'2] \text{ meýdan.} \qquad (3.21)$$

[11′2′2] meýdan ölçemek arkaly, $a_C = a_C(t)$ egriçyzyga millimetrli tor goýup ölçemek arkaly ýa-da egriçyzygy millimetrli kagyza çyzmak bilen, şeýle hem [11′2′ 2] meýdany deň beýikli üçburçlyk ýa-da trapesiýa bilen çalyşmak arkaly hasaplanyp bilner.

Millimetr kwadratda hasaplanyp alnan meýdanyň bahasyny (3.20) deňlemä goýup, $\Delta t = t_2 - t_1$ wagtda υ_C tizligiň ösüşini kesgitleýäris. Eger 1 ýagdaýda υ_{C_1} tizlik nola deň bolsa (*3.9-njy b surat*), onda 2 ýagdaýda υ_{C_2} tizlik deňdir:

$$\upsilon_{C_2} = \mu_a \cdot \mu_t \cdot [11'2'2] \text{ meýdan.}$$

Alnan υ_{C_2} tizligiň bahasyny 2 nokatdan geçirilen ordinatadan (*3.9-njy b surat*) (2–2′) mm kesim görnüşde alyp goýýarys. Onda:

$$\upsilon_C = \mu_\upsilon\,(2\text{–}2').$$

Soňra [22′ 3′ 3] meýdany kesgitleýäris (*3.9-njy a surat*).

Onda:

$$\upsilon_{C_3} - \upsilon_{C_2} = \int_{t_2}^{t_3} a_C dt = \mu_a \cdot \mu_t \; [2\,2'\,3'\,3] \text{ meýdan.}$$

$t_2 - t_3$ aralykda alnan υ_C tizligiň ösüşini (3″–3′) kesim görnüşde (2–2′) kesime goşmak arkaly 3 nokatdan geçirilen ordinatadan alyp goýmaly (*3.9-njy b surat*) . Indiki wagt aralyklarynda şular ýaly gurluşlary geçirip, $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ diagrammany alýarys. Hasaplamanyň ýokary takyklygy üçin meýdany hasaplamagy 1-nji ýagdaýdan başlamaly. Onda, υ_{C_3} tizlik (*3.9-njy b surat*) şu şertden kesgitlener:

$$\upsilon_{C_3} = \int_{t_1}^{t_3} a_C dt = \mu_a \cdot \mu_t \ [11'3'3] \text{ meýdan} = \mu_\upsilon (3\text{–}3'),$$

υ_{C_4} tizlik şu şertden kesgitlener:

$$\upsilon_{C_4} = \int_{t_1}^{t_4} a_C dt = \mu_a \cdot \mu_t \ [1\ 1'4'4] \text{ meýdan} = \mu_\upsilon (4 - 4')$$

we ş.m. (3–3′), (4–4′), degişli kesimleri 3, 4, nokatlaryň usti bilen geçirilen ordinatalardan alyp goýmaly (*3.9-njy b surat*).

Şuňa meňzeşlikde $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ diagrammany itegrirläp, $S_C = S_C(t)$ diagrammany gurmak bolar.

Δt wagt aralygynda aşakdakyny alarys:

$$S_{C_2} = \int_{t_1}^{t_2} \upsilon_C dt = \mu_\upsilon \cdot \mu_t \ [1\ 1'2'2] \text{ meýdan} = \mu_S (2 - 2'),$$

$$S_{C_3} = \int_{t_1}^{t_3} \upsilon_C dt = \mu_\upsilon \cdot \mu_t \ [1\ 1'3'3] \text{ meýdan} = \mu_S (3\text{–}3'),$$

Bu ýerde [11′ 2′ 2], [11′ 3′ 3], meýdanlar $\upsilon_C = \upsilon_C(t)$ (*3.9-njy b surat*) diagrammadan hasaplanýar, (2–2′), (3–3′), kesimler bolsa $S_C = S_C(t)$ (*3.9-njy ç surat*) diagrammanyň ordinatalaryndan μ_S masştabda alnyp goýulýar.

3.6. II synply toparyň tizliklerini we tizlenmelerini planlar gurmak arkaly kesgitlemek

Toparyň aýry-aýry nokatlarynyň tizliklerini we tizlenmelerini hem-de zwenolaryň burç tizliklerini we burç tizlenmelerini kesgitlemeli.

Iki zwenodan we üç kinematiki jübütlerden düzülen II synply birinji görnüşli topara seredip geçeliň.

Toparyň ýagdaýy baradaky meselä meňzeşlikde toparyň çetki *B* we *D* nokatlarynyň tizlikleriniň wektorlary, 2 we 3 zwenoly mehanizmiň esasy 1 we 4 zwenolary bilen kinematiki jübütlere girýärler, ýagny υ_B we υ_D tizlikleri *C* nokadyň υ_C tizliginiň wektoryny kesgitlemek talap edilýär.

C nokadyň hereketi gönüçyzykly ornuny üýtgediji *B* ýa-da *D* nokadyň tizlikleri bilen we *B* ýa-da *D* nokatlara degişlilikde aýlaw tizliklere dargadylýar. Onda *C* nokadyň υ_C tizligi üçin wektor deňleme şu görnüşe eýe bolar:

$$\upsilon_C = \upsilon_B + \upsilon_{CB}; \qquad \upsilon_C = \upsilon_D + \upsilon_{CD}. \tag{3.22}$$

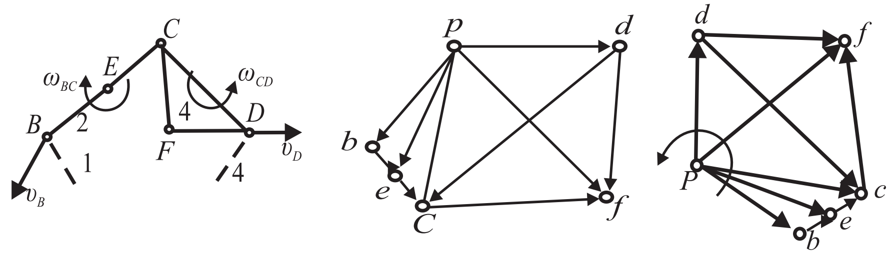
Bu ýerde υ_C, υ_B we υ_D – degişlilikde *C, B* we *D* nokatlaryň tizlikleriniň wektorlary, υ_{CB} we υ_{CD} – *C* nokadyň *B* we *D* nokatlara degişlilikde tizlikleriň wektorlary.

Ýokarky deňlemeden alýarys:

$$\upsilon_B + \upsilon_{CB} = \upsilon_D + \upsilon_{CD}\,. \qquad (3.23)$$

Deňlemede υ_B we υ_D tizlikleriň wektorlary ululygy we ugry boýunça belli. υ_{CB} we υ_{CD} tizlikleriň wektorlary bolsa diňe ugry boýunça belli. *C* nokadyň *B* nokada görä υ_{CB} tizliginiň wektory *BC* ugruna perpendikulýar ugrukdyrylan, *C* nokadyň *D* nokada görä υ_{CD} tizliginiň wektory *DC* ugruna perpendikulýar ugrukdyrylandyr.

Şeýlelikde, ýokarky deňlemedäki υ_{CB} we υ_{CD} tizlikleriň wektorlarynyň diňe ululyklary näbelli, olar bolsa tizlikleriň planlary gurlup kesgitlenýär (*3.10-njy surat*).



a) b) ç)

3.10-njy surat. Iki sally toparyň birinji görnüşi: *a – kinematiki shemasy; b – tizlikleriň plany; ç – tizlikleriň öwrülen plany*

Tizlikleriň planlarynyň polýusy hökmünde *P* nokady belleýäris we ondan erkin saýlanyp alnan μ_υ masştabda 1 mm → μ_υ m/s deň bolan *B* we *D* nokatlaryň υ_B we υ_D tizliklerini aňladýan (*Pb*) we (*Pd*) kesimleri alyp goýýarys. μ_υ masştabyň ululygy saýlananda tizlikleriň wektorlary gurlanda we hasaplananda amatly bolar ýaly alynýar.

B we *D* nokatlaryň tizlikleriniň hakyky ululygy kesgitlenende tizlikleriň planlaryndan ölçelip alnan (*Pb*) we (*Pd*) kesimleri saýlanyp alnan μ_υ masştaba köpeldilmegine deňdir:

$$\upsilon_B = \mu_\upsilon\,(Pb), \qquad \upsilon_D = \mu_\upsilon\,(Pd).$$

(*Pb*) we (*Pd*) kesimleri alyp goýýarys, *B* we *D* nokatlaryň üstünden *BC* we *DC* perpendikulýar υ_{CB} we υ_{CD} degişli tizlikleriň wektorlaryny geçirýäris (*3.10-njy a surat*). *C* nokat toparyň *C* nokadynyň υ_C absolýut tizligini kesgitlär. Ýokarky deňlemä laýyklykda, *P* nokady alnan *C* nokat bilen birleşdirmek arkaly υ_C tizligi (*Pc*) kesim aňladýar. Bu tizligiň ululygy deň bolar:

$$\upsilon_C = \mu_\upsilon\,(Pc).$$

(*bc*) we (*dc*) kesimler şol bir masştabda υ_{CB} we υ_{CD} degişli tizlikleri aňladýarlar, ýagny:

$$\upsilon_{CB} = \mu_\upsilon\,(bc), \qquad \upsilon_{CD} = \mu_\upsilon\,(dc).$$

Wektorlaryň ugurlaryny (*3.10-njy b surat*) ýokarky deňleme kanagatlanar ýaly ugrukdyrmaly.

Pbc we *Pdc* üçburçlyklar 2 we 3 zwenolaryň tizlikleriniň planlary diýip atlandyrylýar, *PbcdP* köpburçlyga (figura) bolsa *BCD* toparyň tizlikleriniň planlary diýilýär.

Amatly bolar ýaly, kähalatlarda, toparyň ähli zwenolarynyň tizlikleriniň planlaryny şol bir ugur boýunça 90° burça şertli öwrülen görnüşde gurulýar. Onda υ_{CB} we υ_{CD} degişli tizlikleriň wektorlary *BC* we *DC* zwenolaryň ugurlaryna parallel bolar. Şeýle tizlikleriň planlaryna 90° burça öwrulen tizlikleriň planlary diýilýär. (*3.10-njy ç suratda*) sagat diliniň tersine 90° burça öwrülen tizlikleriň planlary görkezilendir.

Tizlikleriň planlaryny ulanmak arkaly 2 we 3 zwenolaryň ω_2 we ω_3 burç tizliklerini kesgitlemek bolar.

Bu tizlikleriň ululyklary şu deňlemeler esasynda kesgitlenýär:

$$|\omega_2| = \frac{\upsilon_{CB}}{l_2}, \quad |\omega_3| = \frac{\upsilon_{CD}}{l_3}, \qquad (3.24)$$

bu ýerde l_2 we l_3 – 2 (*BC*) we 3 (*DC*) zwenolaryň hakyky uzynlyklary.

Goý, *BCD* topar käbir erkin kabul edilen μ_l masştabda gurulan diýeliň. Onda ýokarky deňlemede υ_{CB} we υ_{CD} tizlikleriň modullaryny tizlikleriň planlaryndan degişli kesimleriň üsti bilen we μ_υ masştabda aňladyp hem-de *BC* we *DC* zwenolaryň uzynlyklaryny μ_l masştabda aňladyp alarys:

$$|\omega_2| = \frac{\mu_\upsilon(bc)}{\mu_l(BC)}, \qquad |\omega_3| = \frac{\mu_\upsilon(dc)}{\mu_l(DC)}.$$

μ_υ / μ_l masştablaryň gatnaşyklary S^{-1} ölçege eýedir. $\omega_2$we ω_3 burç tizlikleriň ugurlaryny şeýle kesgitlemek bolar. Hyýalymyzda *C* nokada υ_{CB} we υ_{CD} wektorlary goýup, 2-nji zwenonyň burç tizligi sagat diliniň ugruna aýlanýandygyny görýäris, 3-nji zwenonyň burç tizligi sagat diliniň tersine aýlanýar (*3.10-njy a surat*).

BC zwenonyň okunda ýerleşen haýsy-da bolsa *E* nokadyň tizligini kesgitlemek üçin şu wektor deňlemäni düzýäris (*3.10-njy a surat*):

$$\upsilon_E = \upsilon_B + \upsilon_{EB}. \qquad (3.25)$$

Bu deňlemä laýyklykda, tizlikleriň planlaryndan *b* nokatdan *E* nokadyň *B* nokada görä degişli tizliginiň wektorynyň υ_{EB} ugruny geçirýäris. 2-nji zwenonyň *BC* okunda ýatýan islendik nokadyň degişli tizligi *BC* oka perpendikulýardyr we υ_{EB} tizligiň wektorynyň ugry υ_{CB} tizligiň wektorynyň ugry bilen gabat gelýär, ýagny tizlikleriň planlarynda υ_{EB} tizligi kesgitleýän (*be*) kesimiň ugry (*bc*) kesimiň ugry bilen gabat gelýär. υ_{EB} tizligi kesgitleýän kesimiň ugry şeýle tapylýar:

$$\upsilon_{CB} = \omega_2 \cdot l_{BC} \qquad (3.26)$$

we:

$$\upsilon_{EB} = \omega_2 \cdot l_{BE}. \tag{3.27}$$

Aşaky (3.26) deňligi ýokarky deňlige aýratynlykda bölüp alýarys:

$$\frac{\upsilon_{EB}}{\upsilon_{CB}} = \frac{l_{BE}}{l_{BC}}. \tag{3.28}$$

B nokada degişlillikde *E* we *C* nokatlaryň tizlikleri bu nokatlaryň *B* nokada çenli aralyklaryna göni proporsionaldygy (3.27) deňlemeden gelip çykýar. Tizlikleriň deregine tizlikleriň planlaryndan degişli kesimleri goýup alarys:

$$\frac{\mu_\upsilon (be)}{\mu_\upsilon (bc)} = \frac{l_{BE}}{l_{BC}},$$

bu ýerden:

$$(be) = (bc)\frac{l_{BE}}{l_{BC}}. \tag{3.29}$$

(3.28) deňleme esasynda, υ_{EB} degişli tizligi aňladýan kesimi tizlikleriň planlaryndan kesgitlemek üçin, tizlikleriň planlarynda υ_{CB} degişli tizligi aňladýan (*bc*) kesimi (*3.10-njy a surat*), toparyň shemasynda *E* nokat 2 zwenony nähili bölýän bolsa, planda hem şol gatnaşykda gelip çykýar. Kesgitlenen (*be*) kesimi tizlikleriň planlarynda goýup, bellenen nokady planyň *P* polýusy bilen birleşdirip, (*Pe*) kesimi μ_υ masştabda aňladýan *E* nokadyň υ_E doly tizligini hasaplaýarys:

$$\upsilon_E = \mu_\upsilon (Pe).$$

3-nji zweno degişli haýsy-da bolsa erkin *F* nokadynyň tizligini kesgitlemek üçin (*3.10-njy a surat*) indiki wektor deňlemeleri düzmeli:

$$\upsilon_F = \upsilon_D + \upsilon_{FD}, \qquad \upsilon_F = \upsilon_C + \upsilon_{FC}. \tag{3.30}$$

Ýokarky deňlemelerden alarys:

$$\upsilon_D + \upsilon_{FD} = \upsilon_C + \upsilon_{FC}.$$

D we *C* nokatlaryň υ_D we υ_C tizlikleriň wektorlary ululygy we ugurlary boýunça belli; υ_{FD} we υ_{FC} tizlikleriň wektorlary diňe ugurlary boýunça belli. υ_{FD} tizligiň wektory (*FD*) kesime perpendikulýar, υ_{FC} tizligiň wektory bolsa *FC* kesime perpendikulýar. Tizlikleriň planlaryny *d* nokadyndan *FD* ugruna perpendikulýar göni çyzyk geçirýäris, *c* – nokatdan bolsa *BC* ugruna perpendikulýar göni çyzyk geçirýäris. Iki geçirilen perpendikulýaryň kesişme nokady *f* (*3.10-njy b surat*) polýus bilen birleşip, *F* nokadyň, υ_F doly tizligini kesgitlär. Tizlikleriň planlaryndan (*Pf*) kesimi μ_υ masştaba köpeldip υ_F tizligi hasaplarys:

$$\upsilon_F = \mu_\upsilon (Pf),$$

tizlikleriň planlarynda (*3.10-njy b surat*) *cfd* üçburçlyk we zwenoda *CFD* (*3.10-njy a surat*) üçburçlygy deňeşdirip (*cf*), (*fd*) we (*dc*) kesimler degişlilikde (*CF*), (*FD*) we (*DC*) kesimlere perpendikulýardyr, ýagny:

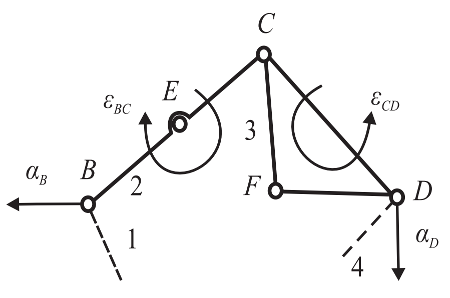
$$(cf) \perp (CF), \quad (fd) \perp (FD), \quad (dc) \perp (DC).$$

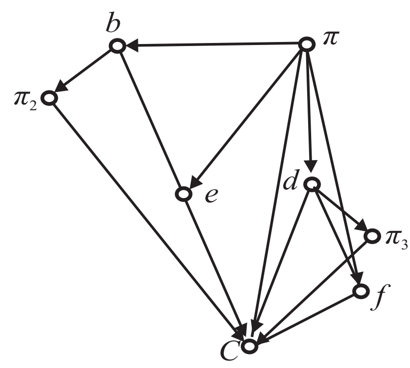
Şeýlelikde, tizlikleriň planlarynda υ_{FC} we υ_{CD} degişli tizlikleri aňladýan *cfd* üçburçlyk shemada toparyň *CFD* üçburçlygy bilen meňzeşdir, ýöne oňa degişlilikde 90° burça öwrülendir. Bu düşünje mehanizmiň shemasyndaky zwenolaryň figurasy bilen degişli tizlikleriň planlarynyň meňzeşligi zwenonyň islendik nokadynyň tizligini deňlemesiz meňzeş edip gurmak bilen grafiki kesgitlemek bolýar. Grafiki gurluşyň dogrulygyny barlamak gurulan figuranyň shemada we tizlikleriň planlarynda harplaryň yzygider ýerleşişi boýunça amala aşyrylýar. Eger shemadaky harplaryň yzygiderliligi sagat diliniň ugruna *C*, *D* we *F* bolsa, onda tizlikleriň planlarynda hem bu harplar şol yzygiderlilikde *c*, *d* we *f* bolmaly.

Zwenolaryň nokatlarynyň ähli doly tizlikleriniň wektorlarynyň başlanýan nokady tizlikleriň planlarynyň *P* nokadydyr, ähli degişli tizlikleriň wektorlary doly tizlikleriň uçlaryny birleşdirýär.

Öwrulen tizlikleriň planlary gurulanda meňzeş figuralaryň degişli taraplary biri-birine paralleldir (*3.10-njy ç surat*).

II synply birinji görnüşli toparyň tizlenmeleri kesgitlenende *B* we *D* nokatlaryň a_B we a_D tizlenmeleri belli (*3.11-nji a surat*). Bulardan başgada toparyň tizlikleriniň planlary gurulan, şeýle hem toparyň ähli zwenolarynyň tizlikleri belli diýip hasap edilýär. *C* nokadyň a_C tizlenmesi, edil *C* nokadyň υ_C tizliginiň kesgitlenişi ýaly, onuň hereketini çylşyrymly *B* we *D* nokatlaryň gönüçyzykly ornuny üýtgedýän tizliklerden we tizlenmelerden hem-de şol nokatlaryň töwereginde degişli aýlanýan tizliklerden we tizlenmelerden durýar:





3.11-nji surat. Iki sally toparyň birinji görnüşi:
a – kinematiki shemasy; b – tizlenmeleriň planlary

Onda C nokadyň a_C tizlenmesini kesgitleýän wektor deňlemeleri şeýle bolar:

$$a_C = a_B + a_{CB}^n + a_{CB}^\tau, \qquad a_C = a_D + a_{CD}^n + a_{CD}^\tau, \tag{3.31}$$

bu ýerde a_{CB}^n we a_{CD}^n – degişli hereketde adaty tizlenme, a_{CB}^τ we a_{CD}^τ – şol hereketde galtaşma tizlenme. (3.31) deňlemäni bilelikde işläp, alarys:

$$a_B + a_{CB}^n + a_{CB}^\tau = a_D + a_{CD}^n + a_{CD}^\tau, \tag{3.32}$$

(3.31) deňlemede B we D nokatlaryň a_B we a_D wektorlary ugry we ululygy boýunça belli. a_{CB}^n we a_{CD}^n adaty tizlenmeleriň wektorlary degişli hereketde kesgitlenip bilner. Bu tizlenmeleriň ululyklary deňdir:

$$a_{CB}^n = \frac{\upsilon_{CB}^2}{l_2} = \omega_2^2 \cdot l_2, \qquad a_{CD}^n = \frac{\upsilon_{CD}^2}{l_3} = \omega_3^2 \cdot l_3.$$

Tizlikleri hem-de ω_2 we ω_3 burç tizlikleri gurulan tizlikleriň planlary boýunça kesgitlenýär.2-nji we 3-nji zwenolaryň l_2 we l_3 uzynlyklary shemadan kesgitlenýär. Alnan deňliklere tizlikleriň planlaryndan μ_υ masştabda hem-de shemadan μ_l masştabda bahalary goýup, alarys:

$$a_{CB}^n = \frac{\mu_\upsilon^2 (bc)^2}{\mu_\ell (BC)} = \mu_a (bn_2), a_{CD}^n = \frac{\mu_\upsilon^2 (dc)^2}{\mu_\ell (DC)} = \mu_a (dn_3), \tag{3.33}$$

bu ýerde (bc) we (dc) kesimler tizlikleriň planlaryndan alynmaly, μ_a tizlenmeleriň planlarynyň masştaby, degişlilikde 1 mm → μ_a m/s^2.

Edil tizliklerdäki ýaly, tizlenmeleriň planlarynyň μ_a masştaby saýlananda hem grafiki gurluşy amatly bolar ýaly hasaplamaly. Şeýlelikde, eger haýsy-da bolsa bir tizlenmäniň hakyky ululygyny kesgitlemek zerurlygy ýüze çyksa, onda tizlenmeleriň planlaryndan millimetrde alnan μ_a masştaba köpeltmeli.

a_{CB}^n tizlenmäniň wektory BC ugruna parallel C nokatdan B nokada ugrukdyrylýar.

a_{CD}^n tizlenmäniň wektory CD ugruna parallel C nokatdan D nokada ugrukdyrylýar.

Şeýlelikde, a_{CB}^n we a_{CD}^n adaty tizlenmeler ugry we ululygy boýunça belli. Birinjisi, BC ugruna paralleldir, ikinjisi, CD ugruna paralleldir. Şeýlelikde, (3.32) deňlemede diňe a_{CB}^τ we a_{CD}^τ tizlenmeleriň wektorlarynyň ululyklary näbelli bolup galýar, olar bolsa grafik boýunça gurmak arkaly kesgitlenýär.

Tizlenmeleriň planlarynyň polýusy hökmünde π nokady saýlaýarys (*3.11-nji b surat*) we bu nokatdan μ_a masştabda B we D nokatlaryň tizlenmelerini aňladýan (πb) we (πd) kesimleri alyp goýýarys. Soňra (3.32) deňlemeden peýdalanyp, a_{CB}^n we a_{CD}^n tizlenmeleriň ululyklaryny kesgitleýäris we b we d nokatlardan μ_a masştabda bu tizlenmeleri aňladýan (bn_1) we (bn_2) kesimleri geçirýäris. Alnan n_2 we n_3

nokatlardan BC we CD ugurlaryna perpendikulýar a_{CB}^{τ} we a_{CD}^{τ} galtaşma tizlenmeleriň ugurlaryna göni çyzyk geçirýäris. Bu göni çyzyklaryň kesişme nokady C nokadyň a_C doly tizlenmesiniň wektorynyň netijesini berer, ýagny:

$$a_C = \mu_a\left(\pi c\right).$$

Gurulan $\pi b n_2 c$ we $\pi d n_3 c$ figuralara 2 we 3 zwenolaryň tizlenmeleriniň planlary diýilýär, $\pi b n_2 c n_3 d \pi$ köpburçlyga (figura) bolsa BCD toparyň tizlenmeleriniň planlary diýilýär.

b we d nokatlary c nokat bilen birleşdirip a_{CB} we a_{CD} doly degişli tizlenmeleriň wektorlaryny alarys. Onda:

$$a_{CB} = \mu_a\left(bc\right), \quad a_{CD} = \mu_a\left(dc\right).$$

BC we CD zwenolaryň ε_2 we ε_3 burç tizlenmeleriniň ululygy deň bolar:

$$\left|\varepsilon_2\right| = \frac{a_{CB}^{\tau}}{l_2}, \quad \left|\varepsilon_3\right| = \frac{a_{CD}^{\tau}}{l_3}. \tag{3.34}$$

(3.33) deňlemä tizlenmeleriň planlaryndan we shemadan alnan degişli kesimleri goýup hasaplarys:

$$\left|\varepsilon_2\right| = \frac{\mu_a\left(n_2 c\right)}{\mu_\ell\left(BC\right)}, \quad \left|\varepsilon_3\right| = \frac{\mu_a\left(n_3 c\right)}{\mu_\ell\left(DC\right)}.$$

μ_a / μ_l masştablaryň gatnaşygy s^{-2} ölçegde bolar. ε_2 we ε_3 burç tizlenmeleriň ugurlary şeýle kesgitlenip bilner. Hyýalymyzda a_{CB}^{τ} we a_{CD}^{τ} wektorlary C nokada goýup (*3.11-nji a surat*), ε_2 ugrunyň sagat diliniň ugry bilen gabat gelýändigini, ε_3 ugrunyň bolsa sagat diliniň tersine ugrukdyrylandygyny görýäris.

BC zwenonyň okunda ýatýan (*3.11-nji a surat*) haýsy-da bolsa E nokadynyň tizlenmesini kesgitlemek üçin şu deňlemeden peýdalanýarys:

$$a_E = a_B + a_{EB}. \tag{3.35}$$

Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, aýlanýan tekiz hereketde zwenonyň käbir nokadynyň töwereginde zwenonyň ähli nokatlarynyň tizlenmesi barlanýan nokadyň aýlaw merkezi bilen birleşdirýän, radius-wektora proporsionaldyr. Bu tizlenmeleriň ugry şu radius-wektorlary bilen hemişelik μ burç emele getirýär we şu deňleme esasynda kesgitlenýär:

$$\mathrm{tg}\mu = \frac{\varepsilon}{\omega^2}.$$

Bu ýerde ε – zwenonyň burç tizlenmesi; ω – zwenonyň burç tizligi.

2-nji zwenonyň degişli hereketi B nokadyň töwereginde aýlaw hereketdir, onda 2 zwenonyň ähli nokatlarynyň degişli tizlenmeleri *B* nokatdan çykýan radius-wektor bilen hemişelik μ burç şu gatnaşygy kanagatlandyrmaly:

$$\mathrm{tg}\mu = \frac{\varepsilon_{BC}}{\omega_{BC}^2}. \tag{3.36}$$

Tizlenmeleriň planlarynda a_{EB} wektoryň ugry a_{CB} wektoryň ugry bilen gabat gelmeli, ýagny (*bc*) kesimiň ugry bilen (*3.11-nji b surat*). Tizlenmeleriň planlaryndan a_{EB} tizlenmäni görkezýän (*be*) kesimiň ululygy radius wektorlaryň proporsionallyk şertinden kesgitlenýär, ýagny:

$$\frac{a_{EB}}{a_{CB}} = \frac{l_{EB}}{l_{CB}}. \tag{3.37}$$

(3.37) gatnaşyga tizlenmelriň planlaryndan degişli kesimleri goýup alarys:

$$\frac{\mu_a(be)}{\mu_a(bc)} = \frac{l_{EB}}{l_{CB}}, \tag{3.38}$$

bu ýerden:

$$(be) = (bc)\frac{l_{EB}}{l_{CB}}. \tag{3.39}$$

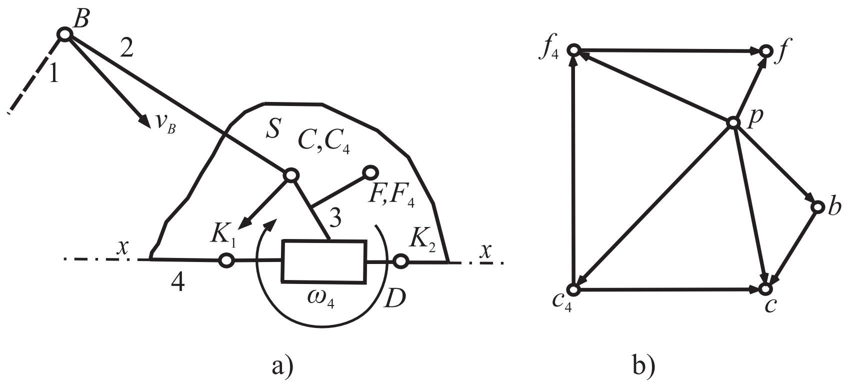
(3.38) deňlemedan gelip çykýar: a_{EB} degişli tizlenmäni aňladýan kesimi kesgitlemek üçin, a_{CB} degişli tizlenmäni görkezýän plandaky kesimi, shemadaky 2 zwenony *E* nokat nähili bolýan bolsa, şonuň ýaly gatnaşykda hem bolmaly. Tapylan (*be*) kesimi planda belläp, *e* nokady π nokat bilen birleşdirip (πe) kesimi alarys, bu bolsa *E* nokadyň μ_a masştabda doly tizlenmesi bolar, ýagny:

$$a_E = \mu_a(\pi e).$$

Zweno 3 jebis birleşen erkin *F* nokadyň tizlenmesini kesgitlemek üçin (*3.11-nji a surat*) hem ýokarda beýan edilen meňzeşlik düzgüninden peýdalanmak bolar. Onuň üçin (*cd*) kesimde tizlenmeleriň planlarynyň *cdf* üçburçlygyny gurýarys, shemadaky *CDF* üçburçlyga meňzeş, ýöne (3.38) deňlemedan kesgitlenýän μ burça öwrulen *cdf* üçburçlygynyň ähli taraplary, *CDF* üçburçlyga degişlilide μ hemişelik burça öwrülen, onda tizlenmeleriň planlarynda *DC*, *DF* we *CD*, *CF* goňşy taraplaryň aralygyndaky burç ölçäp meňzeş üçburçlyk gurmak amatly, *cdf* üçburçlygyň haýsy-da bolsa bir ugur boýunça harplaryň yzygiderligi, shemadaky *CDF* harplarynyň ugry bilen gabat gelmeli.

Tizlikler baradaky meselä meňzeş zwenolaryň ähli nokatlarynyň doly tizlenmeleriniň wektorlary özleriniň başlanýan nokadyny π tizlenmeleriň planlarynyň polýusy, ähli degişli tizlenmeleriniň wektorlary doly tizlenmeleriň wektorlarynyň uçlaryny birleşdirýärler.

Indi bolsa toparyň düzüminde gönüçyzykly jübüt bolanda tizlikleriň we tizlenmeleriň planlarynyň gurluşyna seredeliň. Mysal üçin, II synply ikinji görnüşli toparyň düzümine (*3.12-nji a surat*) bir gönüçyzykly *D* jübüt we iki sany yzygider ýerleşen aýlanýan *B* we *C* jübütler girýärler. 2-nji zweno *B* aýlanýan jübüt bilen esasy mehanizme degişli 1-nji zweno bilen birleşýär, 3-nji zweno bolsa *D* gönüçyzykly jübüt bilen esasy mehanizme degişli 4-nji zweno bilen birleşýär:



3.12-nji surat. Iki sally ikinji görnüşli topar:
a – kinematiki shemasy; b – tizlikleriň plany

B nokadyň tizliginiň wektory υ_B we 4-nji zweno degişli ähli nokatlaryň tizlikleriniň wektorlary belli. Şeýle hem 4-nji zwenonyň ω_4 burç tizligi belli. 3-nji zweno 4-nji zweno degişli *x–x* ugrukdyryjy oky boýunça süýşýär. 4-nji zweno *S* tekizlik görnüşinde diýeliň we *S* tekizlikde nokady belläliň. Bu nokat berlen ýagdaý üçin C_4 üsti bilen *C* nokat bilen gabatlaşýar. 4-nji zweno degişli bolan C_4 nokadyň tizliginiň wektory υ_{C4} belli. Onda *C* nokadyň tizliginiň wektoryny kesgitlemek üçin iki wektor deňlemäni bilelikde çözmek zerur:

$$\upsilon_C = \upsilon_B + \upsilon_{CB}, \quad \upsilon_C = \upsilon_{C_4} + \upsilon_{CC_4}, \tag{3.40}$$

bu ýerden:

$$\upsilon_B + \upsilon_{CB} = \upsilon_{C_4} + \upsilon_{CC_4}. \tag{3.41}$$

(3.40) we (3.41) deňlemelerde υ_{CC_4} – 4-nji zweno degişlilikde *C* nokadyň tizliginiň wektory, υ_{CB} – *B* nokada degişlilikde *C* nokadyň tizliginiň wektory.

(3.41) deňlemede *B* we C_4 nokatlaryň tizlikleriniň ugry we ululygy boýunça belli υ_{CB} we υ_{CC_4} degişli tizlikler diňe ugurlary boýunça belli υ_{CB} we υ_{CC_4} tizlikleriň hem-de *C* nokadyň υ_C tizliginiň ululygy gurulan tizlikleriň planlaryndan kesgitlenýär. Onuň üçin tizlikleriň planlarynyň polýusyny *P* erkin nokady belleýäris we ondan *B* we C_4 nokatlarynyň belli υ_B we υ_{C_4} tizlikleriniň wektorlaryny, saýlanyp alnan

μ_υ masştabda bu tizlikleri aňladýan (Pb) we (Pc_4) kesimler görnüşde geçirýäris. Soňra b nokadyň üsti bilen υ_{CB} tizligiň wektorynyň ugruna BC zweno perpendikulýar çyzyk geçirýäris (*3.12-nji a surat*) C_4 nokatdan bolsa υ_{CC_4} degişli tizligiň ugruna D gönüçyzykly jübütiň x-x okuna parallel göni çyzyk geçirýäris. Bu çyzyklaryň kesişen nokatlary C nokadyň υ_C tizliginiň wektorynyň ahyrky nokadyny berer. υ_C tizligiň ululygy şu deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$\upsilon_C = \mu_\upsilon(pc).$$

Zwenonyň beýleki nokatlarynyň tizlikleri öňki seredilen mysaldaky ýaly kesgitlenýär. 2-nji zwenonyň ω_2 burç tizligini hem öňki ýagdaýdaka meňzeş tapylýar. 3-nji zwenonyň burç tizligi 4-nji zweno bilen gönüçyzykly jübüte girýän ω_4 burç tizligi hem 4-nji zwenonyňky ýaly, ýagny:

$$\omega_3 = \omega_4.$$

3 zweno degişli haýsy-da bolsa erkin F nokadyň tizligini kesgitlemek üçin (*3.12-nji a surat*) şu wektor deňlemeden peýdalanmaly:

$$\upsilon_F = \upsilon_{F4} + \upsilon_{FF_4}. \quad (3.42)$$

S tekizlige degişli F_4 nokadyň tizliginiň wektory υ_{F_4}, ýagny 4-nji zweno degişli bize belli. υ_{FF_4} tizlik υ_{CC_4} tizlige deňdir, sebäbi 4-nji zweno degişlilikde 3-nji zweno gönüçyzykly hereket edýär. Şuňa görä 4-nji zweno degişlilikde 3-nji zwenonyň ähli nokatlarynyň tizlikleri öz aralarynda deňdir. Şonuň üçin (3.41) deňleme şu görnüşde ýazylýar:

$$\upsilon_F = \upsilon_{F_4} + \upsilon_{CC_4}. \quad (3.43)$$

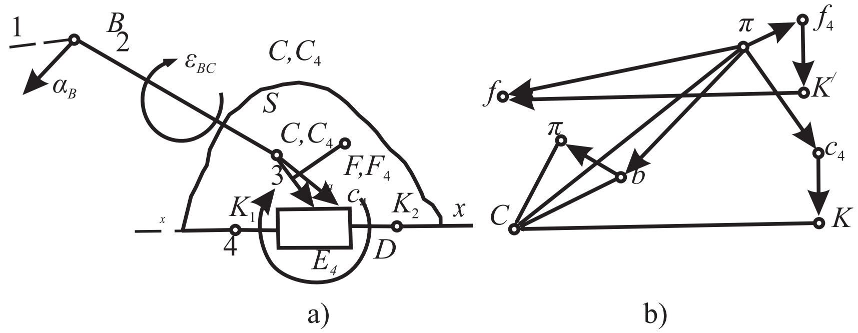
(3.42) deňlemä laýyklykda f_1 nokatdan (*3.12-nji b surat*) f_4f kesimi (C_4C) kesime deň we parallel alyp goýýarys. Netijeleýji (Pf) kesim μ_υ masştabda F nokadyň absolýut tizligi bolar, ýagny:

$$\upsilon_F = \mu_\upsilon(Pf).$$

II synply ikinji görnüşli toparyň tizlenmelerini kesgitlemek üçin, tizlikler baradaky meseläniň çözlüşine meňzeş garaýarys, ýagny B nokadyň a_B tizlenmesi (*3.13-nji a surat*) we 4-nji zwenonyň ähli nokatlarynyň tizlenmeleri hem-de onuň ε_4 burç tizlenmesi belli diýip kabul edýäris. 4-nji zweno bilen S tekizligi berkidýäris we bu tekizlikde şu ýagdaýda C nokat bilen gabat gelýän C_4 nokady tapýarys (*3.13-nji a surat*). B we C_4 nokatlaryň a_B we a_{C_4} tizlenmeleriniň wektorlary belli:

C nokadyň tizlenmesi şu deňleme esasynda kesgitlenýär:

$$a_C = a_B + a^n_{CB} + a^\tau_{CB}, \quad a_C = a_{C_4} + a^k_{CC_4} + a^r_{CC_4}. \quad (3.44)$$



3.13-nji surat. Iki sally ikinji görnüşli topar:
a – kinematiki shemasy; b – tizlenmeleriň plany

$a^r_{CC_4}$ degişli (relýatiw) tizlenme 4-nji zweno degişli S tekizlige degişli C nokadyň tizlenmesidir. *x-x* ugrukdyryjy ok *S* tekizlik bilen çylşyrymly aýlaw-gönüçyzykly hereketde, mundan başga-da $a^r_{CC_4}$ degişli tizlenme, (3.44) ikinji deňlemä $a^k_{CC_4}$ Koriolisiň tizlenmesi girmeli. (3.44) deňlemäni bilelikde alarys:

$$a_B + a^n_{CB} + a^\tau_{CB} = a_{C_4} + a^k_{CC_4} + a^r_{CC_4} \tag{3.45}$$

tizliginiň ululygy gurulan tizlikleriň planlaryndan kesgitlenýär. Onuň üçin tizlikleriň planlarynyň polýusyny erkin nokady belleýäris.

(3.45) deňlemede a_B we a_{C_4} tizlenmeleriň wektorlary belli. a^n_{CB} tizlenmäniň ululygy şu deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$a^n_{CB} = \frac{\upsilon^n_{CB}}{l_2} = \omega_2^2 \cdot l_2 = \frac{\mu_\upsilon (bc)^2}{\mu_l (BC)} = \mu_a (bn).$$

Bu ýerde (*bc*) we (*BC*) tizlikleriň planlaryndan we mehanizmiň shemasyndan alnan kesimler, μ_l, μ_υ we μ_a – uzynlygyň, tizligiň we tizlenmäniň masştablary. a^n_{CB} wektor *C* nokatdan *B* nokada tarap *BC* ugruna parallel ugrukdyrylýar.

Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, $a^k_{CC_4}$ Koriolisiň tizlenmesi deňdir:

$$a^k_{CC_4} = 2|\omega_4|\upsilon_{CC_4} = 2|\omega_4|\mu_\upsilon (C_4C). \tag{3.46}$$

Bu ýerde (C_4C) kesim tizlikleriň planlaryndan alynmaly (*3.12-nji b surat*). Koriolisiň tizlenmesiniň wektorynyň ugruny wektor algebrasynda berilýän ýollar bilen tapmaly:

$$a^k_{CC_4} = 2\omega_4 \cdot \upsilon_{CC_4}. \tag{3.47}$$

Onda (3.47) deňlikden gelip çykýar, $a^k_{CC_4}$ mehanizmiň hereketlenýän tekizliginde ýatýar we onuň ugruny kesgitlemek üçin *S* tekizlige degişlilikde *C* nokadyň tizliginiň wektoryny υ_{CC_4}, ω_4 burç tizligiň aýlanýan ugruna 90° burça öwrulmeli. Şeýlelikde, $a^k_{CC_4}$ wektor x–x ugrukdyryjy oka perpendikulýar, onuň ululygy bolsa (3.47) deňleme esasynda kesgitlener. Bu deňlemä berlen ω_4 burç tizligi we tizlikleriň planlaryndan belli bolan (C_4C) kesimi μ_υ masştabda görkezýän υ_{CC4} tizligiň bahalaryny goýmaly. (3.45) deňlemä girýän a^τ_{CB} we $a^r_{CC_4}$ tizlenmeleriň wektorlarynyň diňe ugurlary belli. Birinji wektor a^τ_{CB} BC ugruna perpendikulýar, ikinji wektor $a^r_{CC_4}$ gönüçyzykly D jübütiň ugrukdyryjysy x–x oka paralleldir. Şeýlelikde, (3.45) deňlemede a^τ_{CB} we $a^r_{CC_4}$ tizlenmeleriň ululyklary näbelli. Olary kesgitlemek üçin tizlenmeleriň planlaryny gurýarys. Onuň üçin (*3.13-nji b surat*) tizlenmeleriň planlarynyň polýusyny, erkin π nokady belleýäris we ondan B we C_4 nokatlaryň belli tizlenmelerini a_B we a_{C4} tizlenmeleri kabul edilen μ_a masştabda aňladýan (πb) we (πc_4) kesimleri geçirýäris. Soňra a^n_{CB} we $a^k_{CC_4}$ tizlenmeleri kesgitleýäris we olary μ_a masştabda (bn) we (c_4k) kesimler görnüşde geçirýäris. n we k nokatlardan a^τ_{CB} we $a^r_{CC_4}$ tizlenmeleriň ugruna gönüçyzyk geçirýäris. $a^r_{CC_4}$ tizlenme gönüçyzykly D jübütiň ugrukdyryjysyna x–x oka paralleldir, a^τ_{CB} tizlenme bolsa BC ugruna perpendikulýardyr. Bu iki ugurlaryň kesişme C nokady C nokadyň doly tizlenmesiniň a_C wektorynyň ahyrky nokadyny berer. C nokadyň doly tizlenmesi a_C deňdir:

$$a_C = \mu_a\left(\pi c\right).$$

2-nji zwenonyň burç tizlenmesiniň ε_2 ululygy deňdir:

$$\varepsilon_2 = \frac{a^\tau_{CB}}{l_2} = \frac{\mu_a\left(nc\right)}{\mu_l\left(BC\right)}.$$

Bu burç tizlenmäniň ugry hem öňki seredilen topardaky ýaly kesgitlenýär. 3-nji zwenonyň burç tizlenmesi $\varepsilon_3 = \varepsilon_4$, sebäbi 3-nji zweno 4-nji zweno bilen gönüçyzykly jübüde girýär.

2-nji zwenonyň BC çyzygynda ýatýan islendik nokadyň tizlenmesi öňki seredilen birinji görnüşli toparda kesgitlenilişine meňzeş, ýagny mehanizmiň shemasyndaky we tizlenmeleriň planyndaky figuralaryň meňzeşligi esasynda tapylýar.

3 zweno degişli erkin F nokadyň tizlenmesi şu deňleme esasynda kesgitlener:

$$a_F = a_{F_4} + a^k_{FF_4} + a^r_{FF_4}. \tag{3.48}$$

S tekizlige degişli F_4 nokadyň a_{F4} tizlenmesi belli bolup, şeýle-de 4-nji zwenonyň ähli nokatlarynyň tizlenmeleri berlendir. $a^k_{FF_4}$ tizlenme ululygy boýunça deňdir:

$$a^k_{FF_4} = 2\left|\omega_4\right|\upsilon_{FF_4} = 2\left|\omega_4\right|\upsilon_{CC_4} = a^k_{CC_4}.$$

$\upsilon_{FF_4} = \upsilon_{CC_4}$ bolanlygy sebäpli, $a^r_{FF_4}$ tizlenme hem $a^r_{FF_4} = a^r_{CC_4}$ deňdir, sebäbi 3-nji zwenonyň hereketi 4 zweno degişlilikde gönüçyzyklydyr. Onda (3.48) deňlemäni şeýle ýazarys:

$$a_F = a_{F_4} + a^k_{CC_4} + a^r_{CC_4}. \quad (3.49)$$

(3.49) deňlemäniň sag tarapyndaky wektorlar belli, şuňa laýyklykda a_F wektor olaryň geometriki jemi hökmünde kesgitlener. Bu wektory kesgitlemek üçin f_4 nokatdan (*3.13-nji b surat*) (c_4k) kesime deň we parallel bolan (f_4k') kesimi geçirýäris. Soňra k' nokatdan (kc) kesime deň we parallel bolan ($k'f$) kesimi alyp goýýarys. Netijeleýji (πf) kesim hem μ_a masştabda F nokadyň doly tizlenmesi bolar, ýagny:

$$a_F = \mu_a(\pi f).$$

Ýokarda seredilen meseleler II synply birinji we ikinji görnüşli toparlaryň tizlikleriniň we tizlenmeleriniň planlarynyň gurluşy görkezilendir. II synply beýleki görnüşli toparlar üçin hem deňlemeleriň düzülişi we tizlikleriň we tizlenmeleriň planlarynyň gurluşy şulara meňzeş geçirilýär.

4-nji BAP

TEKIZ RYÇAGLY MEHANIZMLERIŇ ANALITIKI USUL ARKALY KINEMATIKI BARLAGY

4.1. Dört zwenoly şarnirli mehanizm

Analitiki aňlatmalary düzmeklik üçin gerek bolan maglumatlar.

Berlen usulyň düýp manysy zwenolaryň burçlarynyň üýtgemeginiň tizliklerini we tizlenmelerini analitik aňlatmalar görnüşde kesgitlemekden ybaratdyr. Analitiki usullar islendik derejeli takyklykda barlag geçirilende grafiki usullara garanyňda has ýokary takyklygy berýär. Analitik usul bilen zwenolaryň ölçegleri kinematiki parametrler bilen baglanyşygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Bu bolsa mehanizmleri özara baglanyşykly proektirlemekde örän möhümdir. Analitiki aňlatmalary çözmeklik EHM-i ulanmasyz kynçylyk döredýär. Šonuň üçinde EHM-iň giň ýaýramagy maşynlaryň we mehanizmleriň nazaryýetinde analitik usullar bilen barlaglary geçirmeklige getirdi.

Analitiki aňlatmalary düzmeklik üçun ilkinji maglumatlar:

1. Mehanizmiň kinematiki shemasy onuň gurluşyny we zwenolarynyň ölçeglerini kesgitleýän.

2. Umumylaşdyrylan (jemlenen) koordinatyň wagta baglylygy 2-nji punkty ýerine ýetmezligi-de mümkin. Bu ýagdaý-da analitik aňlatmalar umumylaşdyrylan koordinatyň funksiýasy görnüşinde ýazylýar. Ýagny kinematiki geçiriji funksiýalary anyklamaklyga degişli bolýar.

Käbir mehanizmleriň kinematiki parametrlerini kesgitlemeklik üçin analitiki aňlatmalaryň düzülişine seredip geçeliň. Bir ýyllyk taslamanyň işinde nasosyň ryçagly mehanizmini barlag geçirmeklik hödürlenýär. Berlen**:**

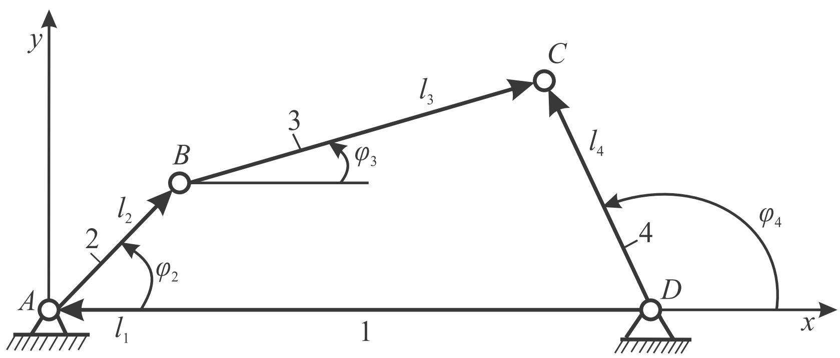
1. Nasosyň mehanizminiň kinematiki shemasy, onuň ähli zwenolaryň ölçegleri $W = 1$ ýagny umumylaşdyrylan koordinat ýeke φ_1 burçy.

2. Umumylaşdyrylan koordinatyň wagta baglylygy berlen ω_1 = const.

3. Analitiki aňlatmalary düzmek bilen zwenolaryň burçlarynyň burç tizlikleriniň we burç tizlenmeleriniň kesgitlenişi.

Wektoryň ýapyk konturyny alarys:

Berlen:		Tapmaly:
$l_{OA} = l_1$ m	φ_1	φ_2, φ_3
$l_{AB} = l_2$ m	ω_1 = const	ω_2, ω_3
$l_{BC} = l_3$ m	$\varepsilon_1 = 0$	$\varepsilon_2, \varepsilon_3$
$l_{OC} = l_4$ m		



4.1-nji surat. Dört zwenoly şarnirli mehanizmiň tizlikleriniň we tizlenmeleriniň kesgitlenişine degişli shema

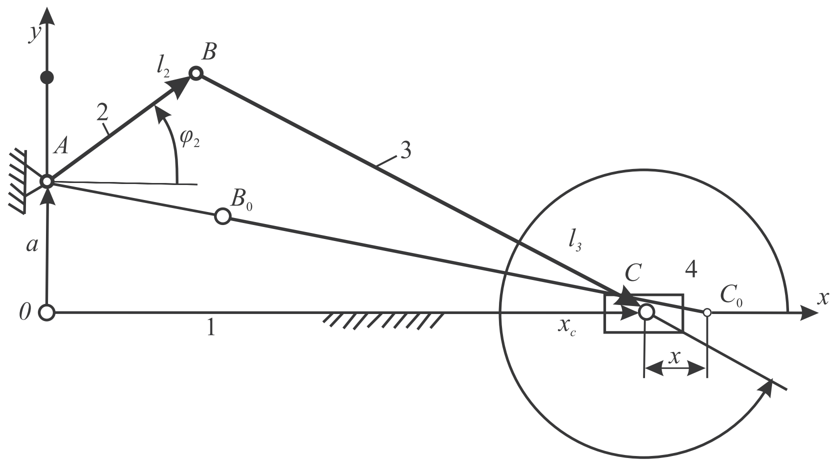
Wektorlaryň kontur usulyny ulanýarys:

$$\bar{l}_4 + \bar{l}_1 + \bar{l}_2 = \bar{l}_3. \qquad (4.1)$$

Gönüburçly koordinat oklaryna proýektirläp alarys:

$$-l_4 - l_1 \cos\varphi_1 - l_2 \cos\varphi_2 = l_3 \cos\varphi_3; \qquad (4.2)$$

$$-l_1 \sin\varphi_1 - l_2 \sin\varphi_2 = l_3 \sin\varphi_3. \qquad (4.3)$$



4.2-nji surat. Kriwoşipiň aýlanýan oky ugrukdyryjynyň okundan geçmeýan kriwoşipli-polzunly mehanizmiň shemasy

Alnan deňlemeler sistemalaryny çözüp φ_2 we φ_3 burçlaryny kesgitlemek bolar.

4.2-nji we 4.3-nji-deňlemeleri umumylaşdyrylan koordinat φ_1 boýunça differensirleýäris:

$$-l_1 \sin\varphi_1 - l_2 \sin\varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = l_3 \sin\varphi_3 \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}, \tag{4.4}$$

$$l_1 \cos\varphi_1 + l_2 \cos\varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = l_3 \cos\varphi_3 \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}. \tag{4.5}$$

Bu ýerde:

$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$ we $\frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}$ $-\omega_2$ we ω_3 – burç tizliklerine meňzeş ululyklary şeýle ýazyp bileris:

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{d\varphi_2}{dt} \cdot \frac{dt}{d\varphi_1} = \omega_2 \frac{1}{\omega_1}; \quad \frac{\omega_2}{\omega_1} = u_{21}.$$

Şuňa meňzeşlikde:

$$\frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} = \frac{\omega_3}{\omega_1} = u_{31}.$$

Şeýlelikde:

$$l_1 \sin\varphi_1 + l_2 \sin\varphi_2 \cdot u_{21} = l_3 \sin\varphi_3 \cdot u_{31};$$

$$l_1 \cos\varphi_1 + l_2 \cos\varphi_2 \cdot u_{21} = l_3 \cos\varphi_3 \cdot u_{31}. \tag{4.6}$$

(4.6) deňleme esasynda ähli burçlary φ_2 burça kemeldeliň. Yagny koordinat oklaryny φ_2 – burça öwrülen ýagdaýynda:

$$l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_2) \cdot u_{21} = l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u_{31}; \qquad (4.7)$$

$$\sin(\varphi_2 - \varphi_2) = 0,$$

onda:

$$l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) = l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u_{31}. \qquad (4.8)$$

Şu ýerden taparys:

$$u_{31} = \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}; \qquad (4.9)$$

$$\omega_3 = \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}, \qquad (4.10)$$

bu ýerde ω_2 – tapmak üçin (4.6) deňlemeden φ_3 – burçy aýyrmaly:

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \qquad (4.11)$$

Burç tizlenmäni kesgitlemek üçin (4.6) deňlemäni φ_1 boýunça differensirläp alarys:

$$-l_1 \cos\varphi_1 - l_2 \cos\varphi_2 \cdot u_{21}^2 + l_2 \sin\varphi_2 \cdot u'_{21} =$$

$$= l_3 \cos\varphi_3 \cdot u_{31}^2 - l_3 \sin\varphi_3 \cdot u'_{31}; \qquad (4.12)$$

$$u'_{21} = \frac{du_{21}}{d\varphi_1} \quad u'_{31} = \frac{du_{31}}{d\varphi_1}.$$

2-nji we 3-nji zwenolaryň burç tizlenmelerine meňzeş ululyklar:

$$l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_2) \cdot u_{21}^2 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_2) \cdot u'_{21} =$$

$$= l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u_{31}^2 - l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u'_{31};$$

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_2) = 1; \ \sin(\varphi_2 - \varphi_2) = 0;$$

$$l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + l_2 \cdot u_{21}^2 = l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u_{31}^2 - l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u'_{31}. \qquad (4.13)$$

$$u'_{31} = \frac{l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) u_{31}^2 - l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - l_2 u_{21}^2}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \qquad (4.14)$$

(4.12) deňlemeden φ_3 burçy aýryp alarys:

$$l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) \cdot u_{21}^2 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) \cdot u'_{21} =$$

$$= l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u_{31}^2 - l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot u'_{31};$$

$$l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) \cdot u_{21}^2 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) \cdot u'_{21} = l_3 \cdot u_{31}^2; \qquad (4.15)$$

$$u'_{21} = \frac{l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) u_{31}^2 + l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) u_{21}^2 - l_3 u_{31}^2}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \qquad (4.16)$$

Tizlenmä meňzeş ululuklar:

$$u'_{21} = \frac{du_{21}}{d\varphi_1} = \frac{d\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)}{d\varphi_1} = \frac{\omega_2 \frac{d\omega_1}{d\varphi_1} - \omega_1 \frac{d\omega_2}{d\varphi_1}}{\omega_1^2};$$

$$\frac{d\omega_2}{d\varphi_1} = \frac{d\omega_2}{dt} \cdot \frac{dt}{d\varphi_1} = \varepsilon_2 \frac{1}{\omega_1};$$

$$u'_{21} = \frac{\varepsilon_2 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \varepsilon_1}{\omega_1^2}.$$

Eger: ω_1 = const; $\varepsilon_1 = 0$.

$$u'_{21} = \frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2}.$$

$$\varepsilon_2 = u'_{21} \cdot \omega_1^2 = \omega_1^2 \frac{l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) u_{21}^2 - l_3 u_{31}^2}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \qquad (4.17)$$

Şuňa meňzeşlikde eger-de ω_1 hemişelik bolanda: – $\varepsilon_1 = 0$

$$u'_{31} = \frac{\varepsilon_3 - \frac{\omega_3}{\omega_1} \varepsilon_1}{\omega_1^2}. \qquad (4.18)$$

Diýmek, islendik mehanizmi analitiki usul bilen kinematiki barlamak bolar.

4.2. Kriwoşipli-polzunly mehanizm

Tehnikada giňden ýaýran, giňden ulanylýan dört zwenoly mehanizm kriwoşipli-polzunly mehanizmdir.

Dört zwenoly şarnirli mehanizm üçin bu mehanizme seredilende hem sagat diliniň ugruna *OABCDO* yzygiderlikde seredýäris.

Zwenolaryň tizliklerini we tizlenmelerini kesgitlemek üçin *OABCO* kontury wektorlaryň jemi hökmünde seredýäris:

$$a + l_2 + l_3 = x_c, \tag{4.19}$$

bu wektor deňlemäni O_x we O_y oklara proýektirläp alýarys:

$$l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \cos\varphi_3 = x_c; \quad a + l_2 \sin\varphi_2 + l_3 \sin\varphi_3 = 0. \tag{4.20}$$

(4.20) ikinji deňlemesinden:

$$\sin\varphi_3 = -\frac{l_2 \sin\varphi_2 + a}{l_3}. \tag{4.21}$$

l_3 wektoryň birinji ýa-da dördünji çärýeklerde bolýandygyna göz ýetirmek kyn däl, ýagny $\cos\varphi_3$ mydama položiteldir. (4.20) deňlemäniň birinjisinde x_c süýşmäniň ululygyny alýarys:

$$x_c = l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \sqrt{1 - \left(\frac{l_2 \sin\varphi_2 + a}{l_3}\right)^2}. \tag{4.22}$$

Käbir halatlarda 4 polzunyň süýşýän ululygyny mehanizmiň sag çetki ýagdaýynda, haçan-da C nokat C_0 ýagdaýa baranda ölçemek amatly.

Onda X süýşme aralygy deň bolar:

$$x = OC_0 - X_c = \sqrt{(l_2 - l_3)^2 - a^2} - l_2 \cos\varphi_2 - l_3 \sqrt{1 - \left(\frac{l_2 \sin\varphi_2 + a}{l_3}\right)^2}. \tag{4.23}$$

Burc tizligi we burç tizlenmäni kesgitlemek üçin (4.20) deňlemäni φ_2 umumylaşdyrylan koordinat boýunça differensirläp alýarys.

3 şatunyň ω_3 burç tizligini we 4 polzunyň v_C tizligini kesgitlemek üçin:

$$-l_2 \sin\varphi_2 - u_{32} l_2 \sin\varphi_2 = x_c^1 \;\; l_2 \cos\varphi_2 + u_{32} l_3 \cos\varphi_3 = 0. \tag{4.24}$$

Bu ýerde $u_{32} = d\varphi_3/d\varphi_2$ we $x'_c = dx_c/d\varphi_2$ – degişlilikde tizliklere meňzeş ululyklar. x'_c tizlige meňzeş ululyk (4.23) deňlemäniň birinjisi esasynda kesgitlenýär, eger oňa (4.23) deňlemäniň ikinjisinden 3 şatunyň u_{32} burç tizlenmesine meňzeş ululygyň bahasyny goýsak, alýarys:

$$u_{32} = -\frac{l_2 \cos\varphi_2}{l_3 \cos\varphi_3}; \quad x'_c = l_2 \frac{\sin(\varphi_3 - \varphi_2)}{\cos\varphi_3}. \quad (4.25)$$

3 şatunyň u_{32} burç tizlenmä meňzeş ululygyny we 4 polzunyň X''_C tizlenmä meňzeş ululygyny kesgitlemek üçin (4.24) deňlemäni φ_2 boýunça differensirleýäris:

$$l_2 \cos\varphi_2 - u_{32}^2 l_3 \cos\varphi_3 - u'_{32} l_3 \sin\varphi_3 = x''_C,$$

$$l_2 \sin\varphi_2 - u_{32}^2 l_3 \sin\varphi_3 + u'_{32} l_3 \cos\varphi_3 = 0, \quad (4.26)$$

bu ýerde $u'_{32} = \frac{du_{32}}{d\varphi_2}$ we $x''_C = \frac{d\upsilon_c}{d\varphi_2}$ – tizlenmä meňzeş ululyklar.

(4.25) ikinji deňlemesinden burç tizlenmä meňzeş ululyklary kesgitleýäris.

$$u'_{32} = \frac{l_2 \sin\varphi_2 + u_{32}^2 l_3 \sin\varphi_3}{l_3 \cos\varphi_3}. \quad (4.27)$$

Burç tizlenmä meňzeş ululygy u'_{32} kesgitläp, onuň bahasyny (4.26) deňlemäniň birinjisine goýup, x''_C tizlenmä meňzeş ululygy kesgitläp bolar:

$\upsilon_c \omega_3$ hakyky tizlikler we a_c, ε_3 hakyky tizlenmeler deňdirler.

$$\upsilon_c = \omega_2 x'_C, \; \omega_3 = \omega_2 u_{32}, \; a_c = \omega_2^2 x_c + \varepsilon_2 \upsilon_2, \; \varepsilon_3 = \omega_2^2 u'_{32} + \varepsilon_2 u_{32}.$$

Bu ýerde ω_2 we ε_2 – 2-nji zwenonyň berlen burç tizligi we burç tizlenmesi.

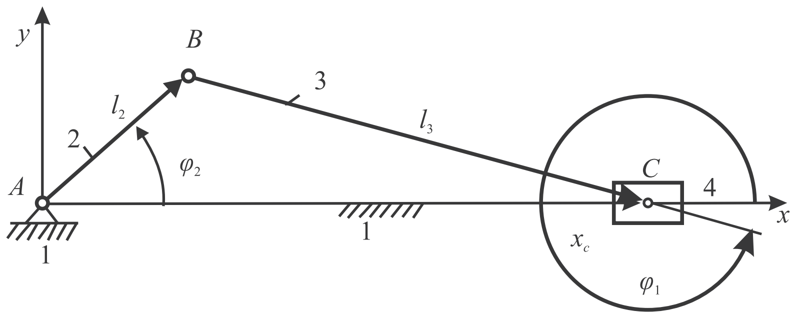
Eger 4 polzunyň ugrukdyryjysy A_x ok (*4.3-nji surat*) A nokadyň üstünden geçýän bolsa, onda (4.20) deňlemäniň ikinjisinden a ululyk nola deň bolýar we (4.21) deňleme şu görnüşi alýar:

$$\sin\varphi_3 = -\frac{l_2}{l_3} \sin\varphi_2. \quad (4.28)$$

(4.25)–(4.27) deňlemeler üýtgemän galýar.

$$x_c = l_2 \cos\varphi_2 + l_3 \sqrt{1 - \frac{l_2^2}{l_3^2} \sin^2\varphi_2}. \quad (4.29)$$

$$x = (l_2 + l_3) - l_2 \cos\varphi_2 - l_3 \sqrt{1 - \frac{l_2^2}{l_3^2} \sin^2\varphi_2}. \quad (4.30)$$



4.3-nji surat. Kriwoşipiň aýlanýan oky ugrukdyryjynyň okundan geçýan kriwoşipli-polzunly mehanizmiň shemasy

x_c we x süýşmeleri üçin degişlilikde alýarys.

Mehanizmiň tizliklerine we tizlenmelerine meňzeş ululyklary kesgitlemek üçin (4.24)....(4.27) deňlemeleri peýdalanmak bolar.

Käbir inženerçilik meselelerinde x, x_c' we x_c'' ululyklary kesgitlemek üçin takmynrak deňlemelerden peýdalanmak bolar. Adatça, takmynrak deňlemeler şu ýagdaýda, ýagny 3 şatunyň uzynlygy 2 kriwoşipiň uzynlygyndan kän uly (*4.3-nji surat*) $\lambda = \frac{l_2}{l_3} \le \frac{1}{3}$ bolanda ulanylýar. Takmynrak deňlemäni almak üçin x_c, x_c' we x_c''(4.20) deňlemä girýän radikaly Nýutonyň binomunyň deňlemesi boýunca hatar ýazylýar. Onda:

$$\left(1 - \frac{l_2^2}{l_3^2}\sin^2\varphi\right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 - \lambda^2\sin^2\varphi\right)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2}\lambda^2\sin^2\varphi_2 - \frac{1}{8}\lambda^2\sin^4\varphi_2 - \ldots \quad (4.31)$$

Eger (4.31) deňlemä girýän hataryň birinji iki ýazgysy bilen çäklenilse we $\sin^2\varphi_2 = \frac{1}{2}\left(1 - \cos 2\varphi\right)$ hasaba almak bilen x süýşmäni kesgitleýän deňleme şu görnüşi alar:

$$x = l_2\left[\left(1 + \frac{\lambda}{4}\right) - \left(\cos\varphi_2 + \frac{\lambda}{4}\cos 2\varphi_2\right)\right]. \quad (4.32)$$

Degişlilikde tizlige meňzeş x_c' we tizlenmä meňzeş x_c'' ululyklar şu deňlemeler boýunça kesgitlener:

$$x_c' = l_2\left(\sin\varphi_2 + \frac{\lambda}{2}\sin 2\varphi_2\right). \quad (4.33)$$

$$x_c'' = l_2\left(\cos\varphi_2 + \lambda\cos 2\varphi_2\right). \quad (4.34)$$

5-nji BAP
GEÇIRIJI MEHANIZMLERI KINEMATIKI BARLAMAK

5.1. Esasy kinematiki baglanyşyk

Dürli maşynlarda we abzallarda giňişlikde iki okuň aralygyna hemişleik geçirijilik gatnaşykly aýlaw hereketi geçirýän mehanizmler giňden ulanylýar. Şular ýaly mehanizmlere *aýlaw hereketi geçiriji mehanizmler* ýa-da gysgaça *geçiriji mehanizmler* diýilýär.

Geçiriji mehanizmleriň öňünde goýulýan esasy meselesi iki zwenonyň arasynda berlen hemişelik geçirjilik gatnaşygy amal etmekdir. Ol ýönekeý gaty zwenoly geçiriji mehanizm bolup, iki gozganýan zwenolary iki aýlanýan we bir ýokary jübütden durýan üç zwenoly mehanizmdir. Talap edilýän geçirijilik gatnaşygy amala aşyrmak üçin häzirki zaman maşynlarda we abzallarda çylşyrymly geçiriji mehanizmler ulanylýar, bularda başky we ahyrky zwenolardan başga-da aralykda öz okunyň daşynda aýlanýan birnäçe zwenolar bar. Çylşyrymly mehanizmleri ulanmaklygyň dürli sebäpleri bar. Mysal üçin, başky we ahyrky zwenolaryň oklary biri-birinden uzakda ýerleşýär, şeýle hem iki zweno arkaly aýlaw hereketi geçirmek üçin uly göwrümli zwenolary döretmeli bolýar. Eger geçiriji mehanizmleriň üsti bilen örän uly ýa-da örän kiçi geçirijilik gatnaşygyny üpjün etmeli bolsa, onda konstruksiýa boýunça başky we ahyrky zwenolaryň aralygynda goşmaça degişli zwenolar goýulýar we olar oklaryň töwereginde aýlanýarlar. Başky zwenodan aralykdaky zwenolara we olardan ahyrky zweno aýlawy geçirmek bilen, biz yzygider aýry basgançaklar arkaly geçirijilik gatnaşyklary üýtgedip, netijede başky we ahyrky zwenolaryň aralygyndaky talap edilýän geçirijilik gatnaşygyny alýarys.

Şeýlelikde, çylşyrymly geçirijili mehanizmi aýratyn bölümlere-basgançaklara bölmek bolýar, bularyň her biri bolsa ýokary jübüte girýän iki zwenodan durýar. Bulardan başga-da bu jübütiň zwenolary direg bilen pes jübüte girýär. Çylşyrymly mehanizmiň şular ýaly bölegine geçirijiniň basgançagy diýilýär. Görkezilenlere degişlilikde bir we köp basgançakly geçirijiler, esasan, iki we üç basgançakly bolýarlar.

Başky we ahyrky zwenolaryň oklarynyň dürli ýerleşişi boýunça birbasgançakly geçiriji mehanizmiň kinematiki baglanyşygyna seredeliň.

Bu zwenolaryň oklarynyň ýerleşişi şular ýaly bolup bilerler:

– parallel oklar;

– kesişýän oklar;

– atanaklaýyn oklar.

Gozganýanlyk derejesi bire deň bolan mehanizmde bir zwenonyň burç tizligi-niň beýleki zwenonyň burç tizligine bolan gatnaşygyna şertli geçirijilik gatnaşygy diýilýär we u harpy bilen bellenýär. Eger O_1 we O_2 aýlaw oklary parallel bolsa, 1 we 2 zwenolaryň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri hemişelik we berlen bolsa, onda u_{12} geçirijilik gatnaşygy deňdir (*5.1-nji surat*):

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{(O_2P_o)}{(O_1P_o)} = \text{const.} \tag{5.1}$$

Bu ýerde P_0 – 1 we 2 zwenolaryň degişli hereketinde pursat aýlaw merkezi.

Şeýle hem:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2}.$$

Bu ýerde φ_1 we φ_2 – 1-nji we 2-nji zwenolaryň aýlaw burçlary, onda u_{12} geçirij-lik gatnaşygy, şeýle hem başky 2 zwenonyň ω_1 burç tizligine meňzeş ululyk diýip seredilýär.

Biz geçirijini hemişelik geçirijilik gatnaşykly diýip seredýäris, onda zwenola-ryň degişli hereketinde sentroida bolup $r_1 = (O_1P_0)$ we $r_2 = (O_2P_0)$ radiusly tõwerek-ler gatnaşýarlar. Onda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = -\frac{r_2}{r_1}. \tag{5.2}$$

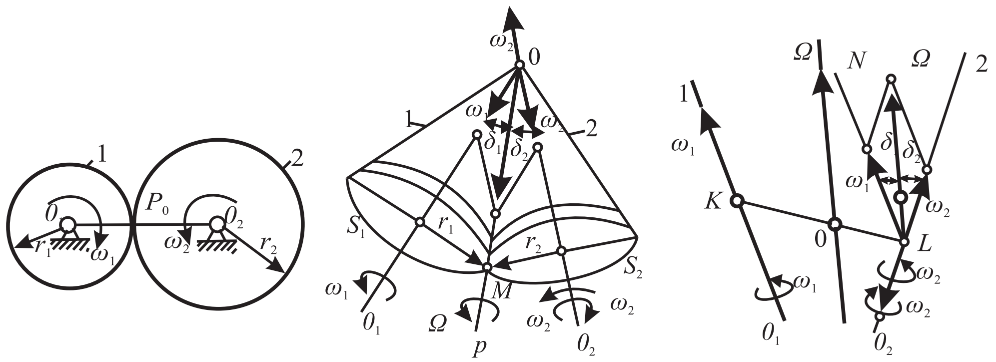
(5.1) we (5.2) deňlemelerde minus alamaty ω_1 we ω_2 burç tizlikleriň ugurlary-nyň tersligini görkezýär.

Şeýlelikde, hemişelik geçirijilik gatnaşykly parallel oklaryň aralygyna aýlaw herketini geçirmek togalak silindr tigirler bilen amala aşyrylýar.

1-nji we 2-nji zwenolaryň O_1 we O_2 aýlanýan oklary O nokatda kesişýän we 1-nji we 2-nji zwenolaryň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri hemişelik we berlen ýagdaýda (*5.1-nji b surat*) geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \text{const.} \tag{5.3}$$

Nazary mehanikadan belli bolşuna görä, ýagny bu ýagdaýda 1 zwena degiş-lilikde 2 zwenonyň hereketi *OP* pursat aýlaw merkeziň töwereginde geçýär. Onuň ýagdaýy bolsa şu garaýyş boýunça kesgitlenilýär.



5.1-nji surat. Bir basgançakly dişli geçirijileriň shemasy: *a – silindr tigirli geçirijiler; b – konus tigirli geçirijiler; ç – atanaklaýyn okly geçirijiler*

1 we 2 zwenolara – ω_2 umumy burç tizligi berýäris. Onda 2 zweno gozganmaz, 1 zweno bolsa O_2 okuň töwereginde – ω_2 burç tizlik bilen aýlanýar we O_1 okuň töwereginde ω_1 burç tizlik bilen aýlanýar. 1 zwenonyň 2 zweno degişlilikde pursat burç tizligi Ω deň bolar:

$$\Omega = \omega_1 + (-\omega_2). \qquad (5.4)$$

ω_1 we ω_2 wektorlary degişli ugurlary boýunça O_1 we O_2 oklardan alyp goýup, netijeleýji Ω wektory taparys. Bu wektoryň ugry 1 we 2 zwenolaryň hereketlerine degişlilikde *OP* pursat aýlaw okuny kesgitlär. ω_1 we ω_2 burç tizlikleriň ugurlary hemişelik diýip kabul edilýär, onda *OP* okuň ugry degişli hereketde 1 we 2 iki togalak konusa galtaşyp, umumy emele getirijisi bolar.

OP okda erkin *M* nokady saýlaýarys we aksoidany *M* nokatdan geçýän O_1 we O_2 oklara perpendikulýar tekizlik bilen kesýäris. Onda kesimde *M* nokatda galtaşýan S_1 we S_2 töwerekleri alarys. O_1 we O_2 okuň töwereginde 1 we 2 aksoidalar aýlananda S_1 we S_2 töwerekler biri-birine typman tigirlenýär.

M nokadyň υ_M tizligi deň bolar:

$$\upsilon_M = \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2. \qquad (5.5)$$

Bu ýerde r_1 we r_2 – S_1 we S_2 töwerekleriň radiuslary. (5.3) deňleme (5.5) deňligi hasaba almak bilen şu görnüşi alar:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}. \qquad (5.6)$$

Bu ýerde δ_1 we δ_2 – 1 we 2 konuslary emele getiriji ýarym burçlar.

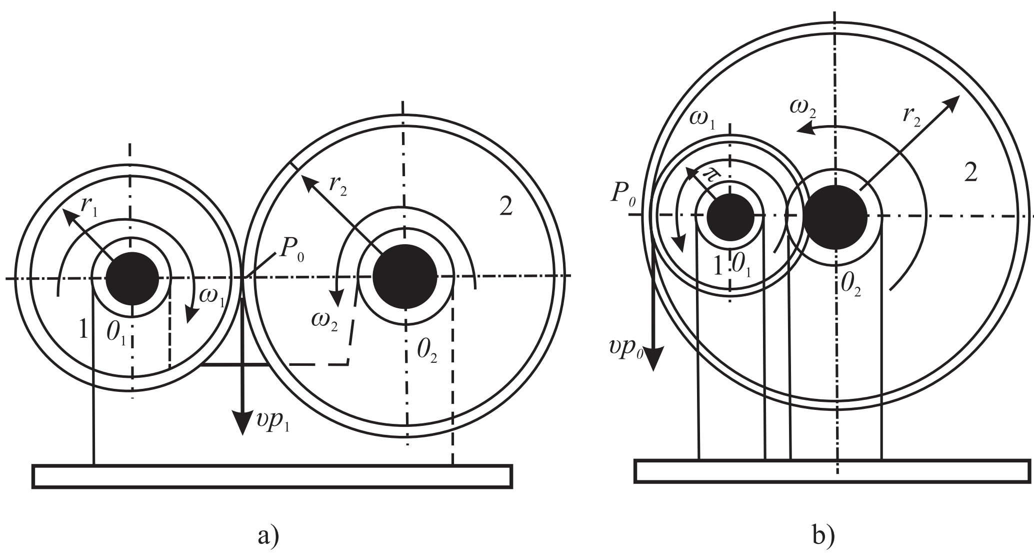
Şeýlelikde, kesişýän oklaryň aralygyna hereketi hemişelik geçirijilik gatnaşykly togalak konus tigirler bilen amala aşyrylýar.

5.2. Friksion geçiriji mehanizmler

Häzirkizaman tehnikalarda peýdalanylýan mehanizmleriň hatarynda zwenolary herekete getiriji güýç ýa-da olaryň hereketini togtadyjy güýç hökmünde sürtülme güýji ulanylýan mehanizmlere *friksion mehanizmler* diýilýär. 5.2-nji suratda togalak silindr tigirli friksion mehanizmler görkezilendir. 1-nji tigirden 2nji tigre hereket bir tigirden beýleki tigre käbir güýç bilen gysylyp döreýän tigirleriň aralygyndaky sürtülme güýjüni geçirýär.

Tigirler sentroidli jübüte girip, bir zweno beýleki zweno typman, arassa tigirlenýär, onda friksion mehanizmler hem sentroidli mehanizm diýilýäne degişlidir.

5.2-nji suratda görkezilen friksion mehanizmlere zwenolar hökmünde 1 we 2 togalak silindrli tigirler girýär, ol zwenolar degişli hereketlenende sentroida bolýar. Friksion tigirli bu mehanizmler hemişelik geçirijilik gatnaşykly hereketi geçirmegi üpjün edýärler. Degişli hereketde 1 we 2 tigirleriň galtaşýan P_0 nokady pursat aýlaw merkezi bolar. 5.2-nji *a* suratda görkezilen mehanizm daşyndan galtaşýan tigirli mehanizm bolup, 1 we 2 zwenolaryň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri ters belgilidir. 5.2-nji *b* suratda görkezilen mehanizm içinden galtaşýan tigirli mehanizm bolup, 1 we 2 zwenolaryň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri birmeňzeş belgilidir.



5.2-nji surat. Silindrik sentroidli mehanizmler: *a – daşyndan galtaşýan tigirli mehanizm; b – içinden galtaşýan tigirli mehanizm*

1 we 2 friksion tigirleriň radiuslaryny degişlilikde r_1 we r_2 bilen belleýäris. 1 we 2 tigirleriň galtaşýan P_0 nokadynda umumy tizlik υ_{P_O} deňdir:

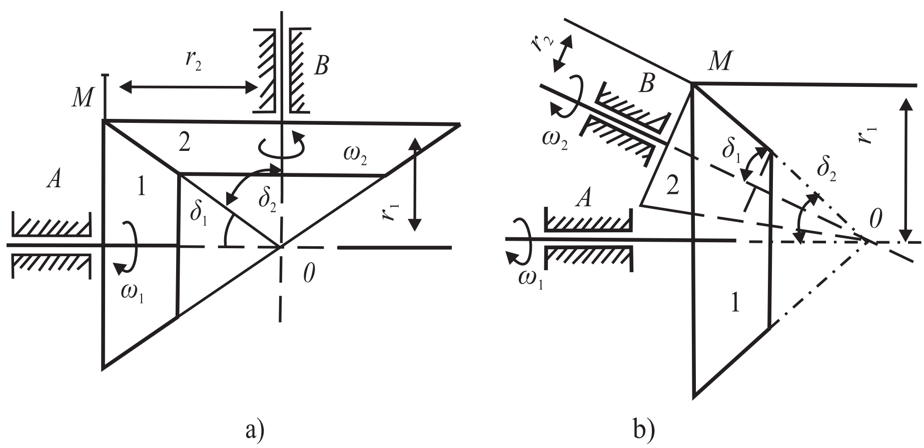
$$\upsilon_{P_o} = \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2. \tag{5.7}$$

Bu ýerde şeýle mehanizmleriň geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm\frac{r_2}{r_1}. \tag{5.8}$$

Bu ýerde n_1 we n_2 – 1 we 2 tigirleriň aýlaw ýygylygy; ýokarky belgi içki galtaşma degişli (*5.2-nji b surat*), aşaky bolsa – daşky galtaşma (*5.2-nji a surat*).

Friksion konus tigirler 1 we 2 (*5.3-nji surat*), adatça, göni kesik konus bolýarlar, 1 we 2 zwenolaryň degişli herekeketinde olar aksoida bolýar, olaryň *A* we *B* aýlaw oklary 0 nokatda kesişýärler. Tigirleriň galtaşmasy umumy konusy emele getiriji boýunça galtaşýarlar. Galtaşma nokadynda döreýän sürtülme güýjüniň kömegi bilen *A* we *B* oklaryň töwereginde ω_1 we ω_2 burç tizlikler bilen bu tigirler aýlanýarlar. 5.3-nji *a* suratda görkezilen friksion konus tigirli mehanizme daşky galtaşmaly friksion togalak konus tigirli mehanizm diýilýär. 5.3-nji *b* suratda içki galtaşmaly togalak konus tigirli friksion mehanizm görkezilendir.



5.3-nji surat. Konus sentroidli mehanizm: *a – daşyndan galtaşýan tigirli mehanizm; b – içinden galtaşýan tigirli mehanizm*

(5.6) deňlemä we 5.3-nji surata laýyklykda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}. \tag{5.9}$$

Bu ýerde n_1 we n_2 – 1 we 2 tigirleriň aýlaw ýygylygy.

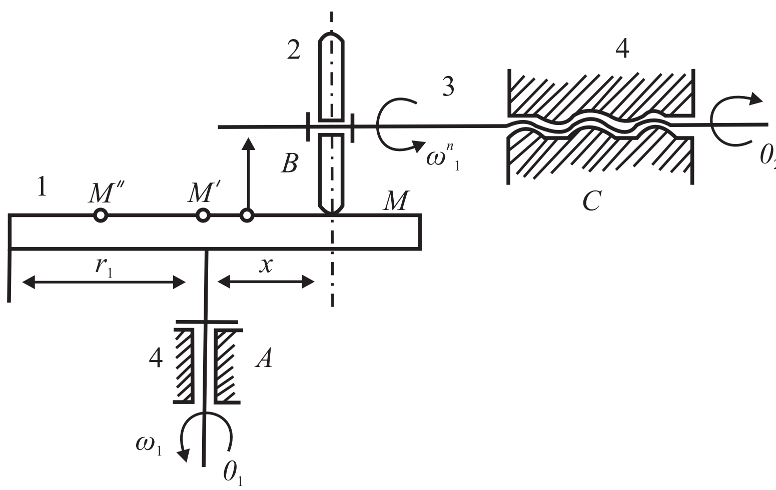
Eger 1 we 2 oklaryň aralygyndaky burç (*5.3-nji a surat*) $\delta = \delta_1 + \delta_2$ 90° deň bolsa, onda (5.9) deňleme şu görnüşi alar:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = \mathrm{tg}\delta_1 = \mathrm{ctg}\delta_2. \tag{5.10}$$

Içki galtaşmada δ elmydama 90° kiçidir.

Indi bolsa friksion geçiriji mehanizmleriň käbir beýleki görnüşlerine seredeliň. 5.4-nji suratda maňlaý friksion geçiriji mehanizmiň shemasy görkezilendir. Gozganmaýan A podşipnikde aýlanýan O_1 ok bilen 1 disk jebis birleşen. 1 disk 2 tigirçek bilen M ýokary kinematiki jübüte girýär, 2 tigirçek 3 zweno bilen B aýlanýan jübüte hem girýär. 2 tigirçegi C hyrly jübütiň kömegi bilen O_2 okuň boýuna süýşürmek bolýar. M degşirme nokat x aralyk bilen kesgitlenýän dürli ýagdaýlary eýeläp biler. Geçirijilik gatnaşygy u_{21} deňdir:

$$u_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm\frac{x}{r_2}. \tag{5.11}$$



5.4-nji surat. Maňlaý friksion geçiriji mehanizmiň shemasy

Degşirme M nokadyň M' nokada süýşende geçirijilik gatnaşygy u_{21} nola deňdir. $x = r_1$ deň bolanda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{21} = \pm\frac{r_2}{r_1}. \tag{5.12}$$

Degşirme M nokady M' nokatdan geçende, mysal M'' ýagdaýda 1 disk aýlanýan ugruny üýtgedýär. Şeýlelikde, geçirijilik gatnaşygy emaý bilen şu çäk aralykda bolup biler:

$$\frac{r_1}{r_2} \geq u_{21} \geq -\frac{r_1}{r_2}.$$

Geçirijilik gatnaşygy emaý bilen üýtgedýän mehanizme basganҫaksyz *geçiriji mehanizm* ýa-da *tizlikleriň wariatory* diýilýär.

5.5-nji suratda 1 we 5 iki diskaly we aralykda ýerleşen 2 tigirçekli basgançaksyz mehanizm görkezilendir. O_1 we O_2 parallel oklaryň aralygynda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{51} = \frac{\omega_5}{\omega_1} = \frac{x_1}{x_5}, \tag{5.13}$$

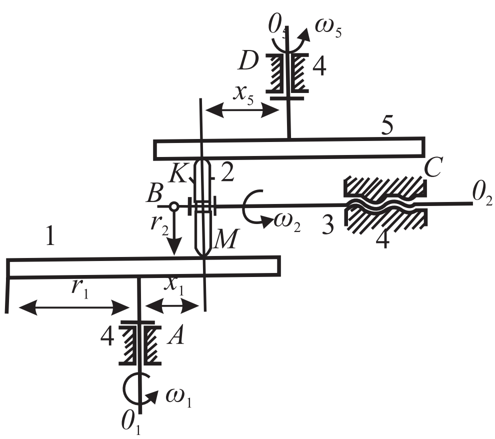
ýagny geçirijilik gatnaşygy 2 tigirçegiň radiusyna bagly däldir. O_1 we O_2 oklaryň aýlanýan ugurlary meňzeşdir. u_{51} geçirijilik gatnaşygy şu çäk aralygynda bolar:

$$\frac{x_{1\min}}{x_{5\max}} \le u_{51} \le \frac{x_{1\max}}{x_{5\min}}. \tag{5.14}$$

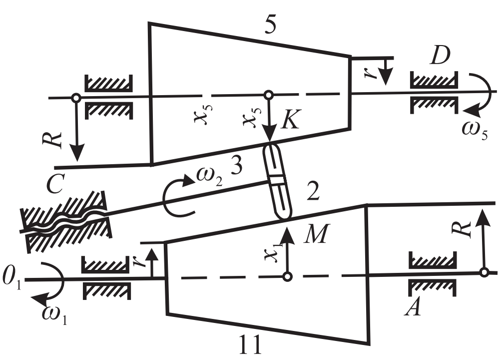
5.6-njy suratda deň konus emele getiriji burçlary bolan 1 we 5 konus barabanly basgançaksyz geçiriji mehanizm görkezilendir. u_{51} geçirijilik gatnaşygy (5.13) deňleme boýunça kesgitlenýär. u_{51} geçirijilik gatnaşygy aşakdaky çäk aralygynda üýtgäp biler:

$$\frac{r}{R} \le u_{51} \le \frac{R}{r}, \tag{5.15}$$

bu ýerde r we R – barabanlaryň kiçi we uly radiuslary.



5.5-nji surat. Iki maňlaý geçiriji friksion mehanizmiň shemasy



5.6-njy surat. Konus barabanly we aralykda tigirçekli friksion geçiriji mehanizmiň shemasy

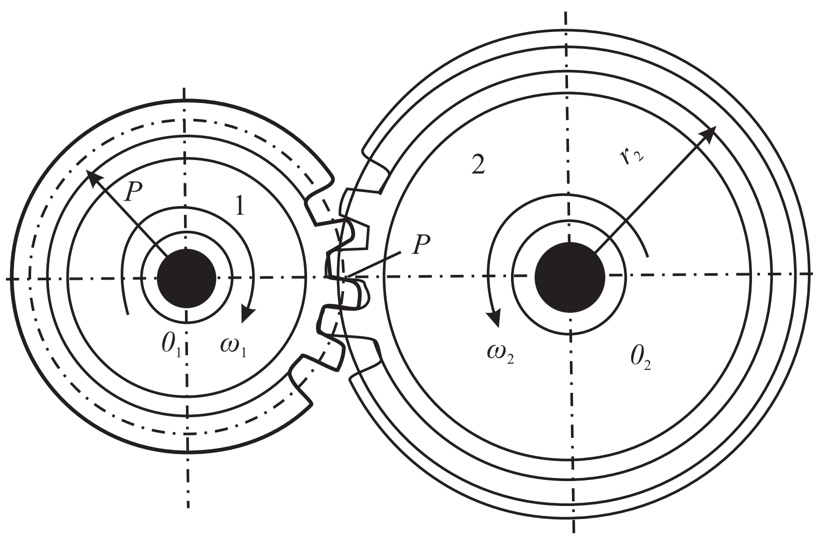
5.3. Gozganmaýan oklary bolan üç zwenoly dişli tigri bolan geçiriji mehanizmler

Maşynlarda we abzallarda öräň giňden peýdalanylýan dişli tigirli mehanizmdir. 5.7-nji suratda 1 we 2 togalak silindr dişli tigirlerden durýan üç zwenoly dişli tigirli mehanizm görkezilendir.

Tigirleriň her biri togalak silindr bolup, daşky üstünde bolsa dişler ýerleşendir. Iki dişli tigirler galtaşyp, öz dişleri bilen dişli ilişmäni emele getirýär. 5.7-nji suratda daşky ilişmeli dişli tigirli mehanizm görkezilendir. Bu mehanizmiň 1 we 2 tigirleriniň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri dürli tarapa ugrukdyrylandyr.

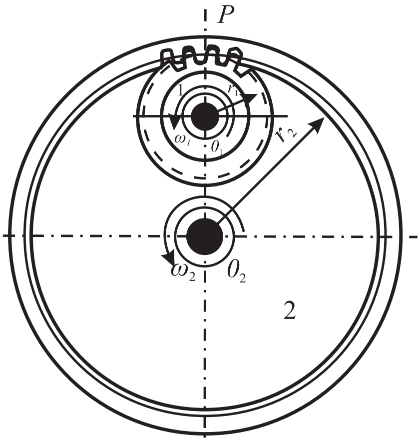
5.8-nji suratda içki ilişmeli dişli tigirli mehanizm görkezilendir. Bu mehanizmiň 1 we 2 tigirleriniň ω_1 we ω_2 burç tizlikleri bir tarapa ugrukdyrylandyr. 5.9-njy suratda 2-nji tigriň ýerine gönüçyzykly dişli reýka goýlan reýkaly ilişmeli mehanizm görkezilendir.

Ýönekeý dişli tigirli geçiriji mehanizm üç zwenoly mehanizmdir. 5.7-nji we 5.8-nji suratlarda togalak silindr tigirli mehanizmler görkezilendir. Bularda 1 we 2 zwenolaryň degişli hereketinde r_1 we r_2 radiuslar sentroidanyň radiuslarydyr we degişli hereketde P nokat bolsa pursat aýlaw merkezidir. Eger friksion geçiriji mehanizmlerde sentroida düzi togalak tigir bolýan bolsa, dişli geçiiriji mehanizmlerde hereketi geçirmek üçin tigirlerde dişler kesilýär.

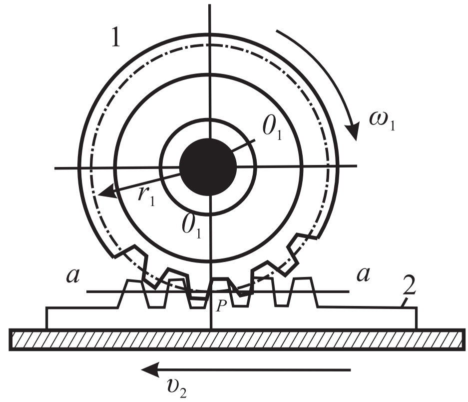


5.7-nji surat. Dişleri daşyndan ilişýän silindrik dişli tigirli geçiriji

5.7-nji we 5.8-nji suratlardan görnüşi ýaly, hereketi geçirmek mümkinçiligi üçin dişiň böleginiň profili r_1 we r_2 radiusly sentroidleriň daşynda ýerleşýär, beýleki bölegi bu sentroidleriň içinde ýerleşýär. Mehanizmleriň nazaryýetinde r_1 we r_2 radiusly töwereklere başlangyç töwerekler diýilýär. Dişleriň profilleri şu şertden saýlanýar, olaryň galtaşýan nokadyndan geçýän adaty, mydama 1 we 2 tigirleriň degişli hereketinde hemişelik *P* nokadyň – pursat aýlaw merkeziň üstünden geçmeli.



5.8-nji surat. Dişleri içinden ilişýän silindrik dişli tigirli geçiriji



5.9-njy surat. Dişli reýkaly ilişmeli dişli tigirli geçiriji

Şeýlelikde, eger başlangyç töwerekleriň radiuslary belli bolsa, onda olaryň geçirijilik gatnaşygyny şu deňleme boýunça kesgitlemeli:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{r_2}{r_1}. \tag{5.16}$$

Radiuslaryň gatnaşygyny, dişleriň sanlarynyň gatnaşygy bilen çalyşmak amatly. Dişli tigirleriň goňşy profilleriniň aralygy başlangyç töwerek boýunça birmeňzeş bolmaly, onda 2 tigriň z_2 dişleriniň sany 1 tigriň z_1 dişleriniň sanyna bolan gatnaşygy, 2 tigriň başlangyç töwereginiň uzynlygynyň 1 tigriň başlangyç töwereginiň uzynlygyna bolan gatnaşygyna deňdir, ýagny:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{2\pi r_2}{2\pi r_1} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Alnan aňlatmany (5.16) deňlemä goýup, şeýle ýazyp bileris:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm \frac{r_2}{r_1} = \pm \frac{z_2}{z_1}. \tag{5.17}$$

Bu ýerde n_1 we n_2 – 1 we 2 tigirleriň aýlaw ýygylygy.

Şeýlelikde, togalak dişli tigirleriň dişleriniň gatnaşygy bu tigirleriň burç tizlikleriniň ters gatnaşygyna deňdir.

Biz geçirijilik gatnaşygyň belgisini burç tizlikleriň ugurlaryna baglylykda ýazmagy şertlendirendigimizi ýatlalyň. Daşky ilişmede tigirleriň burç tizlikleriniň ugurlary dürli ugra aýlanýar (*5.7-nji surat*), onda daşky ilişmede geçirijilik gatnaşygy mydama otrisateldir. Tersine, içki ilişmede (*5.8-nji surat*) geçirijilik gatnaşygy mydama položiteldir. (5.17) deňleme iki ýagdaýy öz içine alýar, ýöne ω_1 we ω_2 burç tizlikleriň her birini öz belgileri bilen goýmagy ýatlamaly.

Üç zwenoly dişli mehanizmiň bir görnüşi hem reýkaly ilişmeli mehanizmdir (*5.9-njy surat*). 1 tigir O_1 okuň daşynda ω_1 burç tizlik bilen aýlanýar we 2 reýkany υ_2 tizlik bilen gönüçyzykly herekete getirýär. 1 tigirde r_1 radiusly başlangyç töwerek bolýar, 2 reýkada *a-a* başlangyç göni çyzyk bar. r_1 radiusly sentroida *a-a* göni çyzyk boýunça typman tigirlenýär. P nokat 1 we 2 zwenolaryň degişli herketinde pursat aýlaw merkez bolýar. ω_1 we υ_2 tizlikler şu şert bilen baglanyşykly:

$$\upsilon_2 = \omega_1(O_1P) = \omega_1 r_1 \tag{5.18}$$

ýa-da $\upsilon_2 = ds_2/dt$ we $\omega_2 = d\varphi_1/dt$, bu ýerde φ_1 – 1 tigriň aýlaw burçy, S_2 – 2 reýkanyň süýşmesi, onda:

$$\frac{dS_2}{dt} = \frac{d\varphi_1}{dt} r_1$$

ýa-da:

$$S_2' = \frac{dS_2}{d\varphi_1} = r_1. \tag{5.19}$$

Üç zwenoly giňişlikde hereketlenýän mehanizme konus dişli tigirli mehanizm degişlidir (*5.10-njy surat*). (5.2) deňlemede görkezilişi ýaly, bu mehanizmiň geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}. \tag{5.20}$$

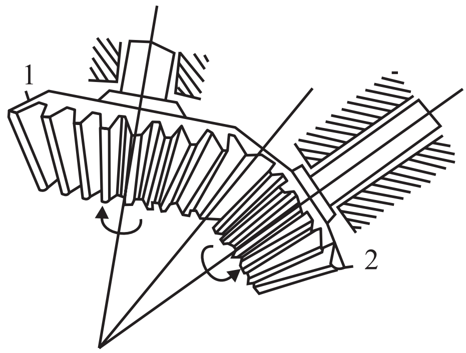
Bu ýerde n_1 we n_2 – 1 we 2 tigirleriň aýlaw ýygylygy. Eger 1 we 2 tigirleriň dişleriniň sanlary degişlilikde z_1 we z_2 deň bolsa (5.20) deňleme şu görnüşi alar:

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1}. \tag{5.21}$$

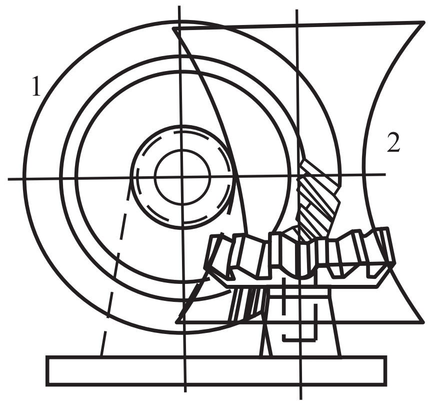
Giperboloidli tigirli mehanizm üçin (*5.11-nji surat*), 1 we 2 tigirleriň dişleriniň sanlary degişlilikde z_1 we z_2 deň bolanda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1} = \frac{r_2\cos\delta_2}{r_1\cos\delta_1} = \frac{z_2}{z_1}, \tag{5.22}$$

bu ýerde r_1 we r_2 – giperboloidalaryň bokurdak kesiginiň radiuslary aksoida bolup hyzmat edýär.



5.10-njy surat. Konus dişli tigirli geçiriji



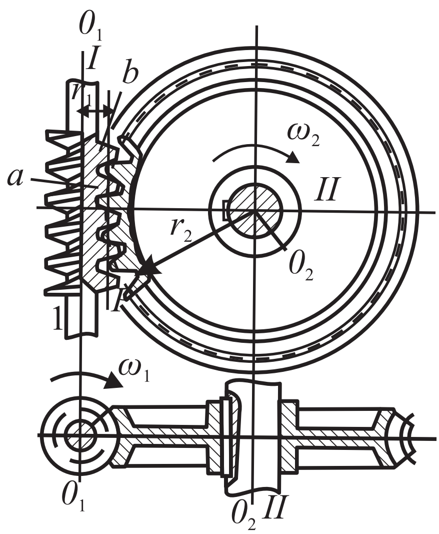
5.11-nji surat. Giperboloid dişli tigirli geçiriji

Haçan-da $\delta_1 + \delta_2 = 90°$ deň bolan ýagdaýynda, ýagny eger tigirler özara perpendikulýar bolanda u_{12} deňdir:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1} = \mathrm{tg}\delta_1. \tag{5.23}$$

Üç zwenoly giňişlikde hereketlenýän oklary 90° burç bilen atanaklaýyn ýerleşen dişli mehanizme burumly geçiriji mehanizm degişlidir (*5.12-nji surat*). 1 burum O_1 okuň daşynda ω_1 burç tizlik bilen aýlanýar we 2 burum tigrini O_2 okuň daşynda ω_2 burç tizlik bilen aýlaýar.

Eger burumly geçirijini burum tigriniň okuna perpendikulýar tekizlik bilen kessek, onda bu kesikde *a* reýkanyň 2 tekiz tigir bilen birleşýän ewolwentli profili alarys (*5.12-nji surat*). Bu tekizlige, tekizligiň esasy kesigi diýilýär. Burumly ilişme esasy kesikde, şeýle hem oňa parallel islendik kesikde tekiz reýkaly ilişme ýalydyr. 2 burum tigriniň ω_2 burç tizlik bilen aýlanmasy O_1 okuň boýuna a reýkany gönüçyzykly herketetlendirýär.



5.12-nji surat. Burumly geçiriji

a reýkadan burumy almak üçin reýkany O_1 okuň daşynda we boýuna hyrly hereket bilen süýşürmeli.

Eger a reýka 2π deň bolan burça öwrülse, reýkanyň b dişi O_1 okuň boýuna p ädime deň aralyga süýşýär, onda bir girelgeli burumy alýarys (*5.12-nji surat*). Eger a reýkanyň b dişi 2π burça öwrülende $2p$ deň bolan ululyga süýşse, onda biz iki girelgeli burumy alýarys we ş.m.

Burumly geçirijiniň esasy kinematiki baglanyşygyny giperboloidli geçiriji mehanizmlere degişli deňlemelerden alarys. Ýokarda görkezilişi ýaly, oklary 90° burç bilen kesişýän tigirler üçin (5.23) deňlemä esaslanyp geçirijilik gatnaşygy hasaplarys:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1} = \mathrm{tg}\delta_1, \tag{5.24}$$

bu ýerde ω_1 – 1 burumyň burç tizligi, ω_2 – 2 burum tigriniň burç tizligi, r_1 – burumyň başlangyç silindriniň radiusy, r_2 – burum tigriniň başlangyç silindriniň radiusy. Eger $z_1 = z_b$, $z_2 = z_t$, bu ýerde z_b – burumyň girelge sany, z_t – burum tigriniň dişleriniň sany, onda (5.24) deňleme şu görnüşi alar:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_t}{z_b} = \frac{r_2}{r_1} = \mathrm{tg}\delta_1. \tag{5.25}$$

(5.25) deňlemä görä gelip çykýar, ýagny bir girelgeli burumda geçirijilik gatnaşygy burumly tigriň dişleriniň sanyna deňdir, ýagny iki girelgeli burumda dişleriň sanynyň ikä bölünmegine, üç girelgeli burumda dişleriň sanyny üçe bölünmeigine we ş.m. deňdir. Şeýlellikde, bir girelgeli burumyň her bir aýlawynda tigir 1 dişe öwrülýär, 2 girelgelide – iki dişe, 3 girelgelide – 3 dişe we ş.m. Bu ýerden burumly geçiriji bilen uly geçirijilik gatnaşygy almak bolýar. Mysal üçin, eger tigriň dişleriniň sany 80 deň bolsa we bir girelgeli burum bolsa, onda geçirijilik gatnaşygy deňdir:

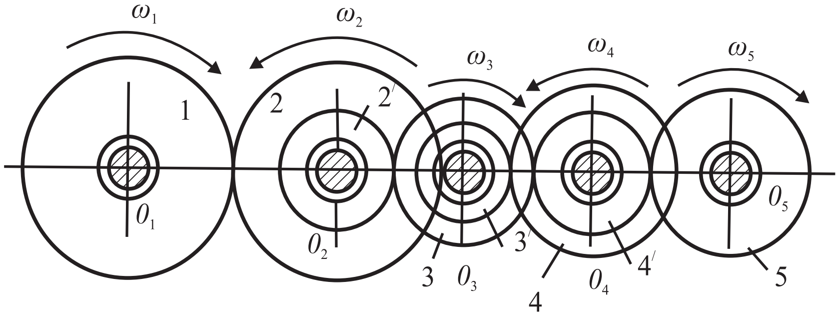
$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_t}{z_b} = \frac{80}{1} = 80.$$

5.4. Gozganmaýan oklary bolan köpbasgançakly dişli tigri bolan mehanizmler

Üç zwenoly dişli tigirli geçiriji mehanizmler (bir basgançakly geçirijiler) iki sany biri-birine bagly dişli tigirlerden durýar we dişli tigirli mehanizmiň ýönekeý görnüşini esaslandyrýar. Bir jübütli dişli tigirler bilen ýokary bolmadyk geçirijilik gatnaşygyny almak bolýar. Önümçilikde uly geçirijilik gatnaşygyny almak zerurlygy ýüze çykýar. Bular ýaly geçirijilik gatnaşygyny almak üçin başky we ahyrkydan başga-da aralykda birnäçe yzygider birikdirilen tigirleri, ýagny köpbasgançakly geçirijileri ulanmaly bolýar.

Şular ýaly çylşyrymly dişli tigirli mehanizmlere köpbasgançakly mehanizmler ýa-da reduktorlar diýilýär. Gozganmaýan, aýlanýan okly tigirler köpbasgançakly geçirijilere şeýle hem hatarlaýyn birikdirmeler diýilýär.

5.13-nji suratda görkezilen hatarlaýyn birleşmä seredeliň. Başky 1 dişli tigir 2 tigir bilen ilişýär. 2 tigriň O_2 okuna $2'$ tigir jebis oturdylan, ol bolsa 3 tigir bilen ilişýär. 3 tigriň O_3 okuna $3'$ tigir jebis oturdylan we ş.m. ahyrky tigir bolsa 5 tigirdir. Birinji tigriň burç tizligini ω_1 bilen belleýäris, 2 we $2'$ tigirleriň burç tizligini – ω_2 bilen, 3 we $3'$ tigirleriň burç tizligini – ω_3 bilen we ş.m.



5.13-nji surat. Dişli tigirleriň hatarlaýyn birleşmesi

Mehanizmiň umumy geçirijilik gatnaşygy $u_{15} = \omega_1/\omega_5$ deňdir.

Her bir jübüt tigirleriň geçirijilik gatnaşygyny kesgitleýäris:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2};\ u_{2'3} = \frac{\omega_2}{\omega_3};\ u_{3'4} = \frac{\omega_3}{\omega_4};\ u_{45} = \frac{\omega_4}{\omega_5}. \qquad (5.26)$$

Alnan geçirijilik gatnaşyklary köpeldip taparys:

$$u_{12} \cdot u_{2'3} \cdot u_{3'4} \cdot u_{45} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_4} \cdot \frac{\omega_4}{\omega_5} = \frac{\omega_1}{\omega_5},$$

ýagny: $\omega_1/\omega_5 = u_{15}$,
onda:

$$u_{15} = u_{12} \cdot u_{2'3} \cdot u_{3'4} \cdot u_{45}.$$

Şeýlelikde, çylşyrymly köpbasgançakly dişli tigirli geçirijileriň geçirijilik gatnaşygy onuň basgançaklarynyň geçirijilik gatnaşyklarynyň köpeltmek hasylyna deňdir.

Umumy ýagdaýda, haçan-da ilişmede n tigir bolsa, umumy geçrijilik gatnaşyk üçin u_{1n} deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$u_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = u_{12} \cdot u_{2'3} \cdot u_{3'4} \cdot \ldots \cdot u_{(n-1)'n}. \qquad (5.27)$$

Geçirijiniň her bir basgançagy üçin:

$$u_{12} = \pm\frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1};$$

$$u_{2'3} = \pm\frac{r_3}{r_{2'}} = \frac{z_3}{z_{2'}};$$

$$u_{(n-1)'n} = \pm\frac{r_n}{r_{(n-1)'}} = \frac{z_n}{z_{(n-1)'}},$$

bu ýerde: $r_1, r_2, r_3, ..., r_n$ – başlangyç töwerekleriň radiuslary;
$z_1, z_2, z_3, ..., z_n$ – dişleriň sanlary, ýokarky belgi içki ilişmede alynýar, aşaky – daşky ilişmede.

(5.27) deňlemä aýratyn basgançaklaryň geçirijilik gatnaşyklaryny goýup, alarys:

$$u_{1n} = (-1)^m = \frac{r_2 \cdot r_3 \cdot r_4 \cdot ... \cdot r_n}{r_1 \cdot r_{2'} \cdot r_{3'} \cdot ... \cdot r_{(n-1)'}} = (-1)^m = \frac{z_2 \cdot z_3 \cdot z_4 \cdot ... \cdot z_n}{z_1 \cdot z_{2'} \cdot z_{3'} \cdot ... \cdot z_{(n-1)'}}, \quad (5.28)$$

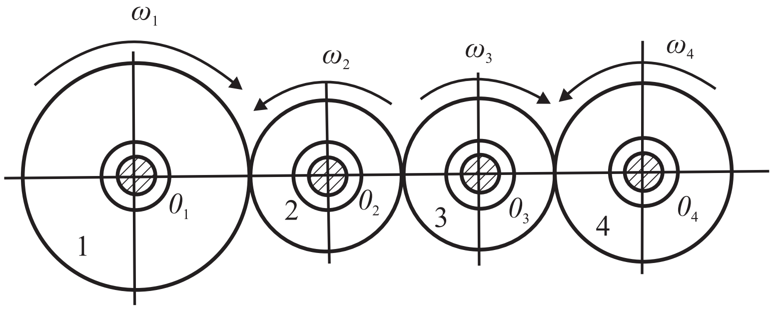
bu ýerde m – daşky ilişmeleriň sany.

$(-1)^m$ köpeldiji çylşyrymly dişli tigirli mehanizmiň geçirijilik gatnaşygynyň belgisini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Geçen 5.3 bapda görkezilişi ýaly, daşky ilişmeli tigirli jübütde aýyrmak belgi, içki ilişmede goşmak belgi bolýar. Eger bir hatarlaýyn birleşmede m sany daşky ilişme bar bolsa, onda bir waldan beýleki wala hereket geçirilende burç tizligiň belgisi m gezek üýtgeýär. Diýmek, hatarlaýyn birleşmede geçirijilik gatnaşygynyň belgisini kesgitlemek üçin, başlangyç töwerekleriň gatnaşyklaryny ýa-da dişleriniň sanlarynyň degişli bahalaryny $(-1)^m$ köpeldijä we daşky ilişmeleriň degişli sanyny derejä götermeli. Inženerçilik hasaplamalarynda şeýle hem şu deňleme esasynda kesgitlemek bolar:

$$u_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^m u_{12} \cdot u_{2'3} \cdot u_{(n-1)'n} \quad (5.29)$$

Biri-birinden uzak aralykda ýerleşýän ýa-da gerek bolanda kesgitli geçirijilik gatnaşygyň belgisini almak üçin wallaryň aralygyndaky hereketi geçirmekde hatarlaýyn yzygider birleşen tigirler ulanylýar, bularyň her biriniň öz aýlanýan oklary bolýar (*5.14-nji surat*). Şeýle hatarlaýyn birleşmelerde, seredilýän ýagdaýda dört tigirden durýan mehanizmiň geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{14} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = (-1)^m u_{12} \cdot u_{23} \cdot u_{34} = -u_{12} \cdot u_{23} \cdot u_{34} = -\frac{r_2 r_3 r_4}{r_1 r_2 r_3} = -\frac{r_4}{r_1} = -\frac{z_4}{z_1}.$$



5.14-nji surat. Dişli tigirleriň hatarlaýyn parazit tigirler bilen birleşmesi

Bu deňlemeden görnüşi ýaly, umumy geçirijilik gatnaşygy u_{14} aralykdaky dişli tigirlere bagly bolmaýar.

Tehnikada şular ýaly aralykdaky tigirlere *parazit tigirler* diýilýär. Hakykatdan bolsa bu tigirler esasy orny eýeleýär. Ahyrky walyň aýlanýan ugruny üpjün etmekde, şeýle hem şular ýaly tigirleriň girizilmegi geçirijilik gatnaşygynyň belgisine, şeýle-de uly ok aralyga hereket geçirilende ulanylýar.

Hatarlaýyn birleşen togalak konus dişli tigirleriň umumy geçirijilik gatnaşygy (5.27) deňleme boýunça kesgitlenilip bilner.

Bu ýagdaýda 1 tigirden n tigre geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = u_{12} \cdot u_{2'3} \cdot u_{3'4} \dots \cdot u_{(n-1)'n} = \frac{r_2 r_3 r_4 \dots r_n}{r_{1'} r_{2'} r_{3'} \dots r_{(n-1)'}} = \frac{z_2 z_3 z_4 \dots z_n}{z_{1'} z_{2'} z_{3'} \dots z_{(n-1)'}}.$$

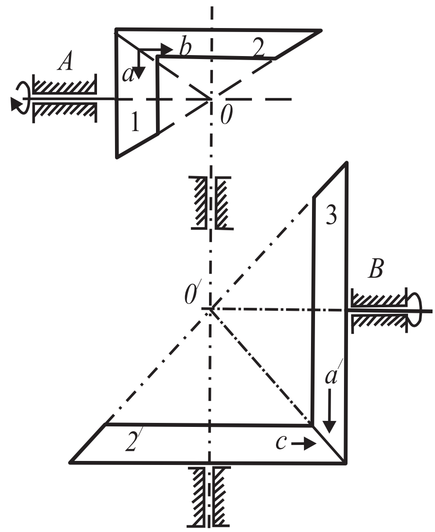
Eger ähli aralykdaky tigirler – parazit tigirler bolsa, geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{z_n}{z_1}.$$

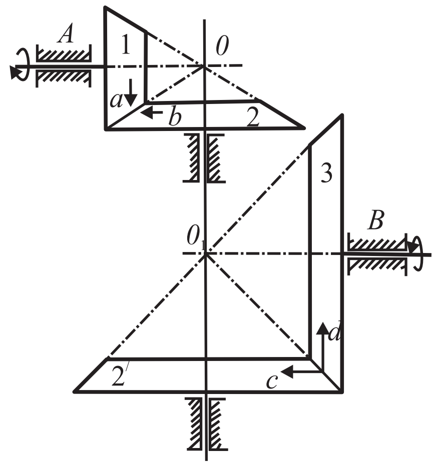
Hatarlaýyn birleşmede başky tigriň aýlanýan oky bilen ahyrky tigriň oky parallel ýa-da gabat gelende u_{1n} geçirijilik gatnaşygyň belgisini goýmak maksadalaýyk, eger başky we ahyrky tigirleriň burç tizlikleri gabat gelende has takygy, plýus belgi, eger bu ugurlar garşylyklaýyn bolanda minus belgi goýulýar. Bu belgini kesgitlemek şeýle geçirilýär. 1 we 2 tigirleriň galtaşýan ýerinde (*5.15-nji we 5.16-njy suratlar*). *a* we *b* strelkalary goýýarys. Eger *a* strelka galtaşýan ýerinden ugrukdyrylsa, onda *b* strelka hem galtaşýan ýerinden ýa-da galtaşýan ugura tarap (*5.16-njy surat*) ugrukdyrylmaly (*5.15-nji surat*) .

2 tigir bilen jebis birleşen 2′ tigirde, 3 tigir bilen galtaşýan ýerinde *C* strelkany şol ugur boýunça *b* strelkanyňky ýaly goýýarys. *d* strelka ýokarda görkezilendir. Şerte laýyklykda şu ugurlary alarlar: 3 tigir üçin 5.15-nji surat *a* strelka bilen gabat gelýär, 3 tigir üçin 5.16-njy surat *a* strelka bilen tersine. Eger başky we ahyrky tigirleriň ugurlary gabat gelse, (*5.15-nji surat*), onda geçirijilik gatnaşygynyň belgisini

položitel hasaplamaly. Eger-de bu strelkalaryň ugurlary garşylykly bolsa (*5.16-njy surat*), onda geçirijilik gatnaşygynyň belgisini otrisatel hasaplamaly.



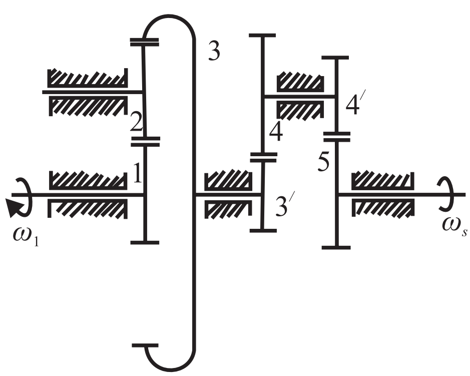
5.15-nji surat. Konus tigirli iki basgançakly geçirijiniň shemasy



5.16-njy surat. Konus tigirli iki basgançakly geçirijiniň shemasy

Mysal. 5.17-nji suratda görkezilen reduktoryň shemasyna seredeliň. Goý, onuň tigirleriniň dişleriniň sanlary $z_1 = 20$, $z_2 = 20$, $z_3 = 60$, $z_{3'} = 16$, $z_4 = 24$, $z_{4'} = 15$, $z_5 = 25$ deň bolsun. Reduktoryň umumy geçirijilik gatnaşygyny kesgitlemek talap edilýär.

Reduktoryň umumy geçirijilik gatnaşygy (5.28) we (5.29) deňlemelere laýyklykda, deňdir:



5.17-nji surat. Üç basgançakly dişli tigirli reduktoryň shemasy

$$u_{15} = (-1)^3 \cdot u_{12} \cdot u_{23} \cdot u_{3'4} \cdot u_{4'5} =$$

$$= -\frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_2 z_{3'} z_{4'}} = -\frac{z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{3'} z_{4'}}.$$

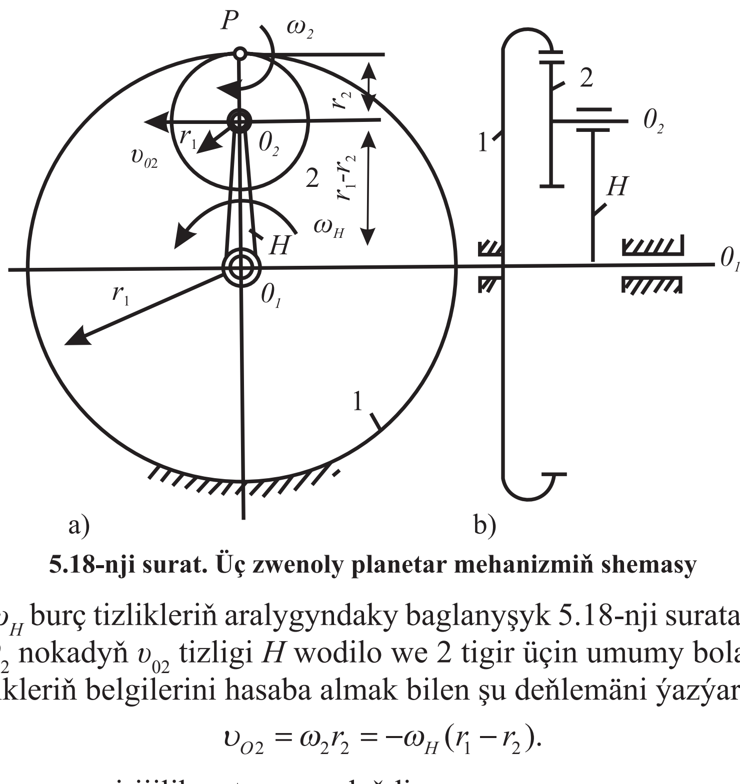
u_{15} geçirijilik gatnaşygy otrisatel bolýar, sebäbi daşky ilişmeleriň sany 3-e deň. 2 tigriň z_2 dişleriniň sanlary sanawja we maýdalawja girýändigi sebäpli gysgaltmak bolýar, 2 tigir bu ýerde parazit tigirdir. Berlen dişleriň sanlaryny deňlemä goýup hasaplaýarys:

$$u_{15} = -\frac{60 \cdot 24 \cdot 25}{20 \cdot 16 \cdot 15} = -7{,}5.$$

5.5. Gozganýan oklary bolan köpbasgançakly tigri bolan geçiriji mehanizmler

Käbir köpbasgançakly dişli tigirli geçrijilerde bir ýa-da birnäçe tigirleriň hereketlenýän oklary bolýar. Şular ýaly erkinlik derejesi bire deň bolan dişli tigirli mehanizme planetar mehanizm diýilýär, iki ýa-da ondan köp erkinlik derejeli mehanizme – *differensial mehanizm* ýa-da ýöne *differensial* diýilýär. Bu mehanizmlerde gozganýan aýlanýan okly tigirlere planetar tigirler ýa-da satellitler diýilýär, satellitleriň oklary ýerleşen zweno bolsa wodilo diýilýär. Shemalarda wodilo H harpy bilen bellenilýär. Gozganmaýan okly dişli tigre Gün şekiilli tigir ýa-da merkezi tigir diýilýär, gozganmaýan tigre bolsa direg tigri diýilýär.

5.18-nji *a* we *b* suratlarda ýönekeý üç zwenoly planetar mehanizmiň iki taraplaýyn görnüşi görkezilendir. Suratda 1 – direg tigri, 2 – satellit, H zweno bolsa wodilo. H zweno O_1 direg bilen we O_2 dişli tigir bilen aýlanýan jübütlere girýär. H zweno ω_H burç tizlik bilen aýlananda 2 tigir 1 gozganmaýan tigriň içinde aýlanyp çykmak bilen, P pursat aýlaw merkeziň töwereginde hem ω_H burç tizlik bilen aýlanýar.



5.18-nji surat. Üç zwenoly planetar mehanizmiň shemasy

ω_2 we ω_H burç tizlikleriň aralygyndaky baglanyşyk 5.18-nji surata garap amala aşyrylýar. O_2 nokadyň υ_{02} tizligi H wodilo we 2 tigir üçin umumy bolansoň, ω_2 we ω_H burç tizlikleriň belgilerini hasaba almak bilen şu deňlemäni ýazýarys:

$$\upsilon_{O2} = \omega_2 r_2 = -\omega_H (r_1 - r_2). \tag{5.30}$$

Diýmek, u_{2H} geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{2H} = \frac{\omega_2}{\omega_H} = \frac{r_2 - r_1}{r_2} = 1 - \frac{r_1}{r_2} = 1 - u_{21}. \tag{5.31}$$

(5.31) deňlemä ser salmak bilen, u_{2H} geçirijilik gatnaşygy 1 gozganmaýan tigirde geçirijilik gatnaşyk diýmekdir. u_{21} bolsa H wodilo gozganmaýan halatynda üç zwenoly dişli tigirli mehanizmiň geçirijilik gatnaşygy diýmekdir. Mundan beýläk haýsy gozganmaýan zwenoda şol ýa-da beýleki geçirijilik gatnaşygy kesgitleýändigimizi bilmek üçin ýaýyň içinde gozganmaýan diýip kabul edilen zwenonyň belgisini goýmaly. Onda (5.31) deňlemäni şeýle ýazarys:

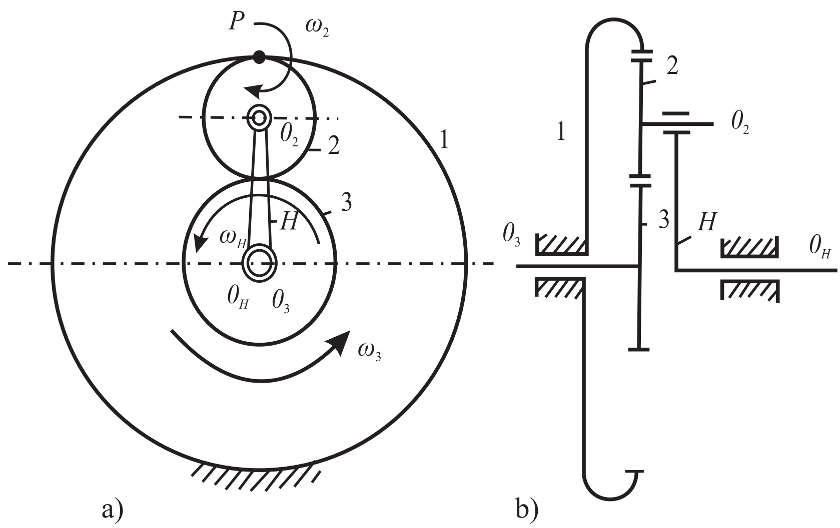
$$u_{2H}^{(1)} = 1 - u_{21}^{(H)}. \qquad (5.32)$$

(5.32) deňlemäni şeýle hem ýazmak bolar:

$$u_{2H}^{(1)} + u_{21}^{(H)} = 1. \qquad (5.33)$$

Ýagny dürli saklanylýan zwenoly togalak tigirli planetar mehanizmler üçin geçirijilik gatnaşyklarynyň jemi elmydama bire deňdir.

5.18-nji suratda görkezilen planetar mehanizm, adatça, 2 tigir bilen berkidilen maşynyň iş guralynyň çylşyrymly hereketini amala aşyrmakda ulanylýar. Mysal üçin, garyjy guralyň perini aýlamak üçin, pagta ýygyjy maşynyň şpindeline hereket geçirmek üçin we ş.m. Reduktoryň başky we ahyrky wallarynyň aralaryndaky gerek bolan geçirijilik gatnaşygy almak üçin niýetlenen planetar reduktorlarda, dişli tigirli planetar mehanizmler has giňden peýdalanylýar. 5.18-nji suratda görkezilen mehanizme (2) satellit bilen ilişma O_3 okly (3) tigir girizilse, ýönekeý dört zwenodan durýan reduktory alyp bolar (*5.19-njy surat*).



5.19-njy surat. Dört zwenoly Jemsiň planetar mehanizminiň shemasy

Bu reduktoryň O_3 waldan O_H wala geçirijilik gatnaşygyny kesgitlemek üçin (5.32) deňlemeden peýdalanýarys:

$$u_{3H}^{(1)} = 1 - u_{31}^{(H)}. \qquad (5.34)$$

(5.29) deňlige esaslanyp:

$$u_{31}^{(H)} = (-1)u_{32}^{(H)}u_{21}^{(H)} = -u_{32}^{(H)}u_{21}^{(H)}$$

Onda:

$$u_{3H}^{(1)} = \frac{\omega_3}{\omega_H} = 1 + u_{32}^{(H)}u_{21}^{(H)}. \tag{5.35}$$

Eger (5.28) şerte esaslanyp, (5.35) deňlemä r_1, r_2, r_3 başlangyç töwerekleriň radiuslaryny ýa-da z_1, z_2, z_3 dişleriniň sanlaryny girizsek, (5.35) deňleme şu görnüşi alar:

$$u_{3H}^{(1)} = \frac{\omega_3}{\omega_H} = 1 + \frac{r_2 r_1}{r_3 r_2} = 1 + \frac{r_1}{r_3} \tag{5.36}$$

ýa-da:

$$u_{3H}^{(1)} = \frac{\omega_3}{\omega_H} = 1 + \frac{z_2 z_1}{z_3 z_2} = 1 + \frac{z_1}{z_3} = \frac{z_1 + z_3}{z_3}. \tag{5.37}$$

(5.36) we (5.37) denlemelerde 2-nji tigriň radiusy r_2 we onuň dişleriniň sanlary z_2 gysgalýar, ýagny bu tigir parazit tigir bolýar.

5.19-njy suratda görkezilen reduktoryň H wodilodan 3 tigre geçirijilik gatnaşygy şu deňleme esasynda kesgitlenilip bilner:

$$u_{H3}^{(1)} = \frac{\omega_H}{\omega_3} = \frac{1}{u_{3H}^{(1)}} = \frac{1}{1 - u_{31}^{(H)}} \tag{5.38}$$

ýa-da:

$$u_{H3}^{(1)} = \frac{1}{1 + z_1 / z_3} = \frac{z_3}{z_1 + z_3}. \tag{5.39}$$

(5.37) we (5.39) deňliklere esaslanyp, $u_{3H}^{(1)}$ we $u_{H3}^{(1)}$ geçirijilik gatnaşyklary plýus belgini alarlar. Bu, diýmek, ω_3, ω_4 burç tizlikleriň şol bir belgini almagyna ýa-da şol bir tarapa aýlanmagyna esas berýär. Eger iki satellitiň ω_2 burç tizligini H wodilonyň ω_H burç tizligi funksiýasy görnüşinde kesgitleme talap edilýän bolsa, onda (5.31) deňlige esaslanyp, şeýle ýazmak bolar:

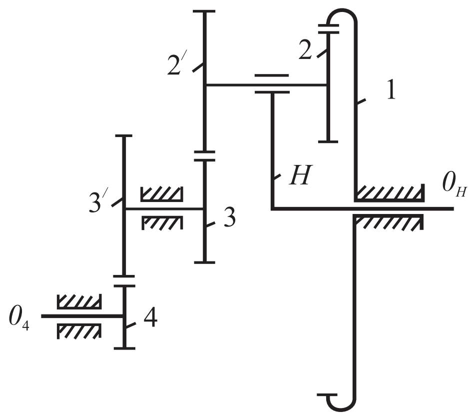
$$\omega_2 = \omega_H u_{2H} = \omega_H (1 - u_{21}). \tag{5.40}$$

5.19-njy suratda seredilen planetar reduktora Jemsiň reduktory diýilýär.

Mysal. 5.20-nji suratda çylşyrymly reduktor görkezilendir. Bu reduktorda 1, 2, $2'$ tigirler planetar reduktory emele getirýär. 4 we $3'$ – gozganmaýan okly bir basgançakly geçirijidir. $u_{4H}^{(1)}$ umumy geçirijilik gatnaşygy deň bolar:

$$u_{4H}^{(1)} = u_{43'} u_{3H}^{(1)}$$

we $u_{43'}$ geçrijilik gatnaşygy deňdir:



5.20-njy surat. Bäş zwenoly planetar mehanizmiň shemasy

$$u_{43'} = (-1)\frac{z_{3'}}{z_4} = -\frac{z_{3'}}{z_4}.$$

Bu ýerde $z_{3'}$ we z_4 – $3'$ we 4 tigirleriň dişleriniň sany (5.34) deňlemä laýyklykda $u_{3H}^{(1)}$ geçirijilik gatnaşygy deň bolar:

$$u_{3H}^{(1)} = 1 - u_{31}^{(H)} = 1 - (-1)\frac{z_{2'} z_1}{z_3 z_2} = 1 + \frac{z_{2'} z_1}{z_3 z_2},$$

bu ýerde z_1, z_2, $z_{2'}$ we z_3 – degişlilikde 1,2, $2'$ we 3 tigirleriň dişleriniň sanlary.

Eger mysal üçin, $z_1 = 90$, $z_2 = 30$, $z_{2'} = 40$, $z_3 = 20$, $z_{3'} = 50$, $z_4 = 25$ bolanda, $u_{43'}$ geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{43'} = -\frac{z_3}{z_4} = -\frac{50}{25} = -2.$$

$u_{3H}^{(1)}$ geçirijilik gatnaşygy deň bolar:

$$u_{3H}^{(1)} = 1 + \frac{z_{2'} z_1}{z_3 z_2} = 1 + \frac{90 \cdot 40}{20 \cdot 30} = 7.$$

Diýmek, 5.20-nji suratdaky reduktoryň $u_{4H}^{(1)}$ umumy geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{4H}^{(1)} = \frac{\omega_1}{\omega_H} u_{43'} u_{3H}^{(1)} = (-2) \cdot 7 = -14.$$

$u_{4H}^{(1)}$ geçirijilik gatnaşykdaky minus belgi O_4 we O_H wallaryň ters tarapa aýlanýandygyny görkezýär.

Indi bolsa erkinlik derejesi ikä deň bolan 5.21-nji suratda görkezilen differensial mehanizmiň kinematikasyna seredeliň. Bu mehanizmde 1, 2 tigirleriň hem-de H wodilonyň oklary bir okda ýerleşýär. 1, 2 tigirler we H wodilo $\omega_1 \omega_2$ we ω_H burç tizlikler bilen aýlanýarlar. Bu mehanizmiň W erkinlik derejesiniň sany ikä deňdir.

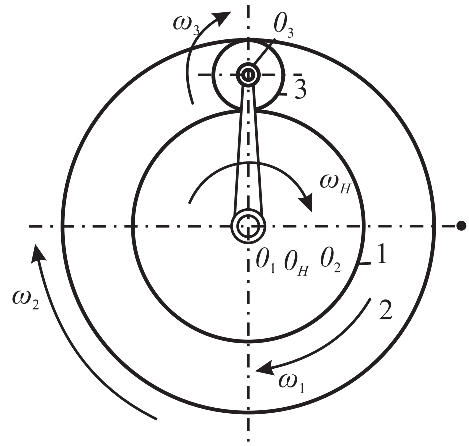
Mehanizmde gozganýan zwenolaryň sany $n = 4$, V synply kinematiki jübütleriň sany $P_5 = 4$. Bular O_1O_2 we O_H jübütler 1, 2 we H zwenolar direg bilen birleşýärler we 3 zweno H wodilo girip, O_3 jübüti emele getirýär. IV synply jübütleriň sany $P_4 = 2$. Bular 1, 3 we 3, 2 tigirleriň ilişmesi. Diýmek, mehanizmiň erkinlik derejesi W gurnalyşynyň deňlemesi boýunça deň bolar:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2.$$

Şeýlelikde, mehanizmiň kesgitli hereketi üçin iki zwenonyň herketiniň kanuny berlen bolmaly, ýagny iki umumylaşdyrylan koordinatasy bolmaly. Umuman aýdanyňda, bu iki zweno erkin saýlanyp alnyp bilner. Mysal üçin, biz 2 we H zwenolaryň hereketleriniň kanunyny, ýagny $2H$ zwenolaryň φ_2 φ_H öwrülýän burçlarynyň üýtgeýän kanunyny berip bileris. Onda 1 zwenonyň φ_1 burça öwrülmesi:

$$\varphi_1 = \varphi_1(k_2, \varphi_H). \qquad (5.41)$$

Çylşyrymly funksiýalary differensirlemegiň düzgüni boýunça (5.41) alarys:



5.21-nji surat. Silindrik tigirli differensial mehanizmiň shemasy

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2}\frac{d\varphi_2}{dt} + \frac{d\varphi_1}{d\varphi_H}\frac{d\varphi_H}{dt}, \qquad (5.42)$$

ýa-da $d\varphi_1/dt = \omega_1$, $d\varphi_2/dt = \omega_2$ we $d\varphi_H/dt = \omega_H$, onda, diýmek:

$$\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2}\omega_2 + \frac{d\varphi_1}{d\varphi_H}\omega_H. \qquad (5.43)$$

(5.43) deňleme 1, 2 we H zwenolaryň burç tizliklerini baglanyşdyrýar. 3 zwenonyň ω_3 burç tizligi (5.43) deňlemä girmeýär, sebäbi 3 parazit tigir bolýar. φ_1 burçdan φ_2 we φ_H burçlar boýunça önüm alynsa, 2 we H zwenolaryň gozganmanynda geçirijilik gatnaşyklary bolýar. Onda:

$$\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = u_{12}^{(H)} \text{ we } \frac{d\varphi_1}{d\varphi_H} = u_{1H}^{(2)}.$$

Indi (5.43) deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$\omega_1 = u_{12}^{(H)}\omega_2 + u_{1H}^{(2)}\omega_H. \qquad (5.44)$$

Ýokarda (5.32) görkezişimiz ýaly, $u_{1H}^{(2)}$ geçirijilik gatnaşygyny şu görnüşde ýazmak bolar:

$$u_{1H}^{(2)} = 1 - u_{12}^{(H)}. \qquad (5.45)$$

$u_{1H}^{(2)}$ aňlatma üçin (5.45) deňlemeden (5.44) deňlemä goýup, alarys:

$$\omega_1 = u_{12}^{(H)}\omega_2 + (1 - u_{12}^{(H)})\omega_H.$$

Bu ýerden alarys:

$$\omega_1 = \omega_H + u_{12}^{(H)}(\omega_2 - \omega_H)$$

ýa-da:

$$\omega_{12}^{(H)} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = \frac{n_1 - n_H}{n_2 - n_H}. \qquad (5.46)$$

Bu ýerde n_1, n_2 we n_H – 1, 2 we H zwenolaryň aýlaw ýygylygy.

(5.46) deňleme differensiallar üçin Willisiň deňlemesi diýilýär. Willisiň deňlemesi şeýle hem hereketi aýlanmak usuly diýilýäni ulanmak arkaly alnyp bilner. Ol şu aşakdakydan ybarat.

Goý, mehanizmiň direg bilen kinematiki jübütlere girýän zwenolary ω_1, ω_2 we ω_H burç tizlikleri bilen hereketlenýär diýeliň. Mehanizm üç ähli zwenolaryna haýsy-da bolsa goşmaça burç tizlik berilse, zwenolaryň degişli hereketleri üýtgemez. Mehanizmiň ähli zwenolaryna O_H okuň töwereginde aýlanýan – ω_H tizligine ululygy boýunça deň, emma ugry boýunça ters tizligi berýär. Onda mehanizmiň burç tizlikleri 3-nji tablisa boýunça kesgitlenýär.

3-nji tablisa

Mehanizmiň zwenolary	**Zwenonyň burç tizligi**	**Zwenonyň goşmaça aýlawly hereket berlenden soňky burç tizligi**
1	ω_1	$\omega_1 - \omega_H = \omega_1^{(H)}$
2	ω_2	$\omega_2 - \omega_H = \omega_2^{(H)}$
H	ω_H	$\omega_H - \omega_H = 0$

Diýmek, mehanizmiň zwenolaryna – ω_H burç tizlik bilen goşmaça aýlansa, H zweno gozganmaz we differensial O_1 we O_3 gozganmaýan okly adaty mehanizme öwrüler. Şeýle mehanizmiň geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$\omega_{12}^{(H)} = \frac{\omega_1^H}{\omega_2^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = \frac{n_1 - n_H}{n_2 - n_H}, \qquad (5.47)$$

bu ýerde $n_1, n_2,$ we n_H – 1, 2 tigirleriň we H zwenonyň aýlaw ýygylyklary.

Şeýlelikde, biz (5.46) Willisiň deňlemesini aldyk.

Willisiň deňlemesini umumylaşdyryp, differensialyň tigirleriniň sanyny islendik k çenli köpeldip alarys:

$$\omega_{1k}^{(H)} = \frac{\omega_1}{\omega_k} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_k - \omega_H} = \frac{n_1 - n_H}{n_k - n_H}. \qquad (5.48)$$

(5.48) deňlige 3 zwenonyň ω_3 burç tizligi girmeýär, sebäbi 3 tigir parazit tigirdir.

(5.46) we (5.48) deňlemeleri öz aralarynda 1, 2 tigirleriň we H wodilonyň burç tizlikleri baglanyşdyrýar. Olaryň haýsy-da bolsa ikisini belli diýip alynsa, onda mydama üçünjisini kesgitlemek bolar.

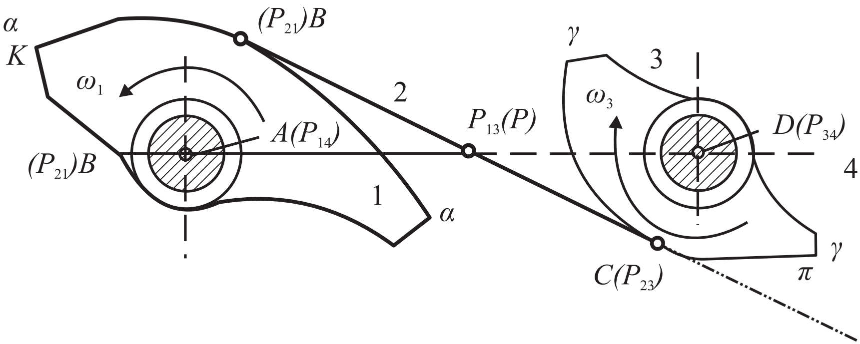
(5.44) deňlemäni $u_{12}^{(H)}$ we $u_{1H}^{(2)}$ geçirijilik gatnaşyklary hemişelik diýip integrirlense, togalak tigirli differensiallar üçin alarys:

$$\varphi_1 = u_{12}^{(H)}\varphi_2 - u_{1H}^{(2)}\varphi_H, \qquad (5.49)$$

Bu ýerde φ_1, φ_2 we φ_H – 1, 2 we H zwenolaryň öwrülýän burçlar. Differensial mehanizmler awtmobillerde, hasaplaýjy maşynlarda, oba hojalyk maşynlarynda we beýlekilerde giňden ulanylýar.

5.6. Çeýe zwenoly geçiriji mehanizmler

Çeýe zwenoly geçiriji mehanizmler tehnikanyň käbir pudaklarynda giňden ulanylýar. Çeýe zwenoly geçirijilere çekili, tanaply, zynjyrly we ş.m. degişlidir.



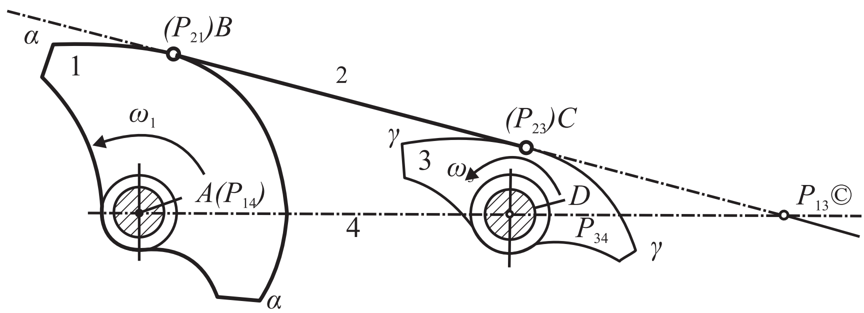
5.22-nji surat. Otrisatel geçirijilik gatnaşykly we maýyşgak dartylmaýan zwenoly geçirijiniň shemasy

Çeýe zwenoly hereketi geçirijilerde esasy orny tutýan kinematiki baglanyşyklara seredeliň. Goý, 1 we 3 iki zweno (*5.22-nji surat*) käbir α–α we γ–γ egri çyzykly profili bar diýeliň. Çeýe dartylmaýan 2 zweno özüniň uçlaryny profiliň k we n nokatlarynda berkidilen we α–α we γ–γ profilde B_k we C_n aralyklary eýeleýär. Eger 1 zwenony suratda görkezilen ugur boýunça aýlasaň, 2 çeýe zweno α–α profile saralýar we γ–γ profilden söklenýär we şeýlelik bilen, 3 zwenony aýlaýar. 1 we 3 zwenolaryň ω_1 we ω_3 burç tizlikleriniň aralygyndaky baglanyşygy tapalyň. Onuň üçin pursat aýlaw merkezleriň usulyndan peýdalanýarys. P_{14} (4 zweno-direg) pursat merkez A nokatda ýerleşýär. P_{34} pursat merkez D nokatda ýerleşýär. P_{21} pursat merkez B nokat bilen gabat gelýär. Hakykatdan hem, eger hyýalymyzda bir zwenony saklasak, onda 2 zweno 1 zwenonyň α-α profili boýunça typman togalanyp başlar. Edil şonuň ýaly P_{23} pursat aýlaw merkezi C nokat bilen gabat gelýär. P_{13} pursat aýlaw merkezi 1 zweno degişlilikde 3 zweno hereketlenende bir wagtda P_{14}, P_{34} we P_{21}, P_{23} pursat merkezleri birleşdirýän göni çyzykda ýatmaly, şuňa degişlilikde ol AD we BC gönüçyzyklaryň kesişme nokadynda ýerleşýär. Diýmek, u_{13} geçirijilik gatnaşygy deň bolar:

$$u_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = -\frac{(P_{34}P_{13})}{(P_{14}P_{13})} = \frac{(DP)}{(AP)}. \tag{5.50}$$

Şeýlelikde, çeýe zwenonyň ugry 1 we 3 zwenolaryň aýlaw merkezlerine birleşdirýän çyzygy burç tizliklerine ters proporsionallykda bolýar.

Çeýe zweno içki görnüşli ýerleşip, (*5.22-nji surat*) AD çyzygy bölende geçirijilik gatnaşygy otrisatel bolýar, daşky görnüşli ýerleşip bölende geçirijilik gatnaşygy položitel bolýar (*5.23-nji surat*).



5.23-nji surat. Položitel geçirijilik gatnaşykly we dartylmaýan maýyşgak zwenoly geçirijiniň shemasy

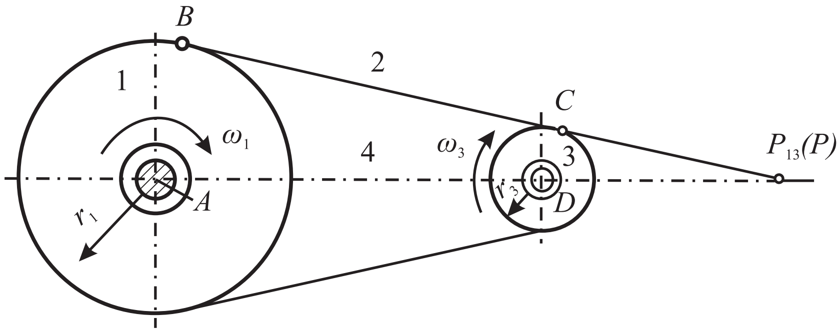
Çeýe zweno hereketi togalak şkiwler bilen geçirende (*5.24-nji surat*) geçirijilik gatnaşygy deňdir:

$$u_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{(DP)}{(AP)} = \frac{r_3}{r_1}. \tag{5.51}$$

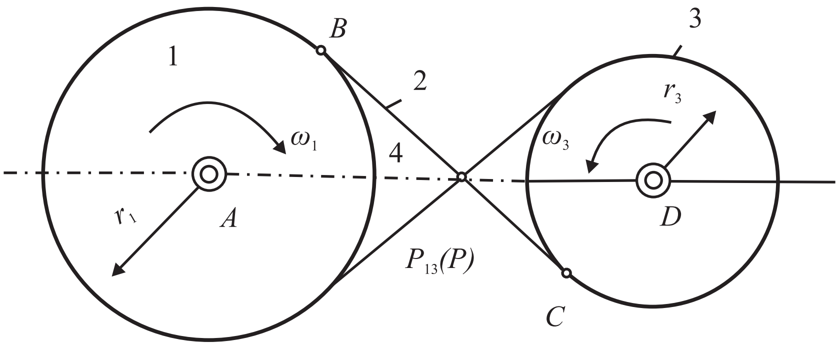
ýagny geçirijilik gatnaşygy 1 we 3 şkiwleriň r_1 we r_3 radiuslaryň ters gatnaşygyna deňdir.

5.24-nji suratda görkezilen çeýe zwenoly geçiriji mehanizme *açyk geçiriji* diýilýär. 5.25-nji suratda görkezilen mehanizme *atanaklaýyn geçiriji* diýilýär. Atanaklaýyn geçirijiniň geçirijilik gatnaşygy:

$$u_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = -\frac{(DP)}{(AP)} = -\frac{r_3}{r_1}. \tag{5.52}$$



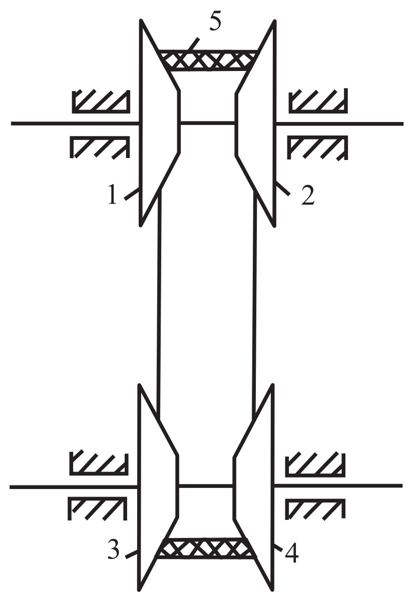
5.24-nji surat. Togalak şkiwli we çeýe dartylmaýan zwenoly açyk geçirijiniň shemasy



5.25-nji surat. Togalak şkiwli we dartylmaýan çeýe zwenoly atanaklaýyn geçirijiniň shemasy

5.26-njy suratda görkezilen shema 5 çeýe zwenoly basgançaksyz tizligiň wariatorydyr. 1 we 2, 3 we 4 konuslary shemada görkezilmedik ýörite mehanizmiň kömegi bilen süýşürip, konuslaryň aralygyny açmak we gysmak bolýar. Şunlukda, 5 çeýe zwenonyň uzynlygynyň hemişelik şertini berjaý etmeli. Şeýlelikde, iki şkiwiň kömegi bilen radiuslary we geçirijilik gatnaşygyny emaý bilen üýtgetmek bolýar.

Çeýe zwenoly geçirijiler zynjyrly geçiriji görnüşde hem giňden ulanylýar, bularda degişli çarhlar zynjyryň zwenolary bilen ilişýärler. Şular ýaly mehanizmler oba hojalyk maşynlarynda, transportýorlarda, dag maşynlarynda we beýlekilerde ulanylýar.



5.26-njy surat. Konus şkiwli we dartylmaýan çeýe zwenoly basgançaksyz tizlikli wariatoryň shemasy

II BÖLÜM

MEHANIZMLERIŇ WE MAŞYNLARYŇ DINAMIKI SELJERILIŞI

6-njy BAP

MEHANIZMLERIŇ GÜÝÇLERINIŇ SELJERILIŞI

6.1. Dinamiki seljermäniň meseleleri

Mehanizmiň kinematiki seljermesiniň soraglaryna seredilip geçilende, biz hemişe ilkinji zwenolaryň hereketleri berlen diýip kabul edýäris. Ahyrky zwenolaryň hereketleri başlangyç zwenolaryň berlen hereketlerine baglylykda öwrenilýär. Şonuň bilen birlikde mehanizmiň zwenolaryna täsir edýän güýçler hem-de ol hereketlenende ýüze çykýan güýçleri biz öwrenmeýäris. Şeýlelikde, mehanizmleriň kinematiki derňewi barlananda diňe mehanizimleriň gurluşyny we olaryň zwenolarynyň ölçegleriniň aralygyndaky geometriki gatnaşyklary hasaba almak bilen geçirilýär.

Mehanizimleriň dinamiki analiziniň meseleleri:

Mehanizmiň zwenolaryna, zwenolarynyň elementlerine, kinematiki jübütlere we gozganmaýan direglere täsir edýän daşky güýçleri, zwenolaryň agyrlyk güýçlerini, sürtülme güýçlerini we massa güýçleri (inersiýa güýçleri) öwrenmekden hem-de mehanizm hereketlenende ýüze çykýan dinamiki ýükleri azaltmagyň ýollaryny ýüze çykarmakdan ybarat.

Täsir edýän güýçleriň netijesinde mehanizmiň hereketiniň işini öwrenmekden hem-de mehanizmiň hereketiniň berlen işini üpjün etmegiň ýollaryny gözlemekden ybaratdyr.

Birinji mesele mehanizmiň güýçleriniň seljermesi diýip atlandyrylýar, ikinji meselä – mehanizimleriň dinamiki seljermesine başga-da wajyp tehniki ähmiýetli birnäçe meseleleri goşmak bolar, ýagny mehanizmlerdäki sarsgynlyk teoriýasyny, mehanizmleriň zwenolaryna urgular hakyndaky meseleleri we başgalary. Emma bu meseleler ýörite kurslarda öwrenilýär. Sebäbi olar çözülende maýyşgaklyk teoriýa usullaryny ulanmaklyk zerur. Maşynlaryň we mehanizmleriň teoriýasynda bolsa meseleler çözülende, adatça, mehanizmleriň zwenolary absolýut jebis diýlip kabul edilýär.

Birnäçe güýçler mehanizmiň hereketi netijesinde döreýär. Bu güýçlere mysal üçin: zwenolar hereketlenende döreýän sürtülme güýçleri, garşylyk güýçleri we ş.m. degişlidir. Birnäçe güýçler, meselem, kinematiki jübütlerdäki dinamiki reaksiýalar mehanizm hereketlenende zwenolaryň inersiýasy netijesinde döreýär.

Güýçleriň tebigatyny öwrenmeklik diňe bir nazary däl, eýsem tejribede şynalyp barlanylýar. Häzirki zaman ölçeg enjamlarynyň kömegi bilen mehanizmleriň aýry-aýry zwenolaryna täsir edýän güýçleri örän takyk kesgitlemek bolýar we olaryň aýratyn görkezijilere baglydygyny ýüze çykarmak bolýar.

Eger mehanizmiň zwenolaryna täsir edýän güýçler we onuň ähli zwenolarynyň hereketleriniň kanunlary belli bolsa, onda mehanikada beýan edilýän usullar bilen sürtülme güýçleri, kinematiki jübütlerine gaýtawul bilen garşylyk güýçlerini, zwenolaryň inersiýa güýçlerini, mehanizm hereketlenende ýüze çykýan beýleki güýçleri kesgitlemek bolar, ýagny mehanizmiň güýç hasaplanyşygy diýilýäni geçirmek bolar.

Mehanizmleriň dinamiki seljermesiniň birinji meselesine şeýle hem zwenolaryň massalaryny saýlamak bilen mehanizmiň diregine inersiýa güýçlerinden goşmaça dinamiki ýüklerini aýyrmaklyk meselesi-de degişlidir. Bu sorag mehanizmlerde massalaryny deňagramlaşdyrmak nazaryýetinde seredilýär.

Ikinji meseläniň maksady maşynyň ýa-da mehanizmiň berlen hereketini ýerine ýetirmek üçin zerur bolan kuwwaty kesgitlemek we mehanizmi işi ýerine ýetirmek üçin aýratyn güýçleriň täsirine baglylykda bu kuwwadyň ýaýradylyşynyň kanunyny öwrenmeklik, şeýle hem maşynyň ýa-da mehanizmiň peýdaly işi üçin harçlanýan umumy energiýanyň peýdalanylyşynyň derejesini häsiýetlendirýän mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýentiniň kömegi bilen deňeşdirip baha bermek meselesini hem çözmekdir. Şu meselä mehanizmlere goýulan güýçleriň astynda onuň hakyky hereketini kesgitlemeklik, ýagny önuň hereketiniň işi baradaky meselesi-de degişlidir. Şeýle hem maşynlaryň ýa-da mehanizmleriň zwenolarynyň ölçeglerini we massalaryny, güýçleriň arasyndaky baglanyşygy saýlamak baradaky meselä maşynyň ýa-da mehanizmiň hereketine gerek bolan örän ýakyn iş prosessiniň şertine bagly mesele hem degişlidir.

Bu meselä, adatça, berlen güýçleriň täsiri astynda mehanizmiň ýa-da maşynyň hereketiniň nazaryýeti diýip atlandyrylýar.

6.2. Mehanizmleriň zwenolaryna täsir edýän güýçler we olaryň kesgitlenilişi

Mehanizm işlände onuň zwenolaryna daşky berlen güýçler has dogrusy hereketlendirji güýçler, peýdaly garşylyk güýçleri, agyrlyk güýçleri we başgalar täsir edýärler. Bulardan başga-da mehanizmler hereketlenende reaksia baglanyşygy netijesinde

7. Sargyt № 1284

kinematiki jübütlerde sürtülme güýçleri döreýär. Bulara şol reaksialaryň düzümi hökmünde seretmek bolar. Kinematiki jübütlerde reaksialar hem, edil sürtülme güýçleri ýaly, mehanizme garanyňda, daşky güýçlerdir. Kinematiki jübütlerde reaksialar diňe bir mehanizmiň zwenolaryna täsir edýän daşky güýçleriň esasynda döremän, eýsem mehanizmiň aýry-aýry massalarynyň hereketleriniň tizlenmeleri esasynda ýüze çykýar. Zwenolaryň hereketleriniň tizlenmeleri netijesinde döreýän reaksiýalaryň düzüjilerini kinematiki jübütlerdäki goşmaça dinamiki basyşlar hökmünde garamak bolar. Ýokarda bellenişi ýaly, eger-de berlen güýçleri baglanyşyk reaksialarynyň üstüne inersia güýclerini goşmak bilen bu goşmaça dinamiki basyşlary güýçleriň deňagramlyk deňlemelerinden kesgitlemek bolar.

Mehanizmiň hereketlerini batlandyrmaga ymtylýan güýçlere mehanizmde hereketlendirji güýçler diýip aýdylýar. Başgaça, mehanizmiň zwenolaryna goýlan güýçler položitel işi ýerine ýetirse, olara hereketlendirji güýçler diýilýär.

Mehanizmiň hereketini togtatmaga ymtylýan güýçlere mehanizmde garşylyk güýçleri diýip aýdylýar. Mehanizme goýlan güýçler otrisatel işi ýerine ýetirse, olara garşylyk güýçleri diýilýär. Gerek bolan tehnologik işleri ýerine ýetirmek üçin zerur bolan garşylyk güýçlerine önümçilik garşylyk güýçleri ýa-da peýdaly garşylyk güýçleri diýip aýdylýar. Önümçülik däl garşylyk güýçleri ýa-da zyýanly garşylyk güýçleri diýip peýdaly garşylygyň hötdesinden gelmäge zerur bolan, goşmaça işi ýeňip geçmäge harçlanýan güýçlere aýdylýar. Mysal üçin içinden ýandyrylýan dwigatelde hereketlendiriji güýç diýip ýaýraýan gazyň porşene basyşyna aýdylýar. Garşylyk güýçleri silindirdäki we podşipnikdäki sürtülme güýçleri, howanyň garşylygy, dwigatel tarapyndan herekete getirilýän iş maşynynyň garşylygy önümçilik garşylygy bolar, emma sürtülme güýçleri, howanyň garşylygy we beýlekiler önümçlik däl garşylyklardyr. Hereketlendiriji we garşylyk güýçlere bölünende käbir şertleşigi zerur bellemeli. Mysal üçin, zwenolaryň agyrlyk güýçleri, olaryň agyrlyk merkezleri galdyrylanda garşylyk güýçleri bolýar. Çekili geçirijide çeki bilen şkiwiň aralygyndaky gurşalan nokatlarynda döreýän sürtülme güýçleri hereketlendiriji güýçlerdir.

Kä halatlarda hereketlendiriji güýçleriň işlerine harçlanan işler, önümçilik garşylyk güýçleriň işine – peýdaly iş we önümçilik däl garşylyklaryň işine zyýanly iş diýilýär.

6.3. Güýçleriň, işiň we kuwwadyň diagrammalary

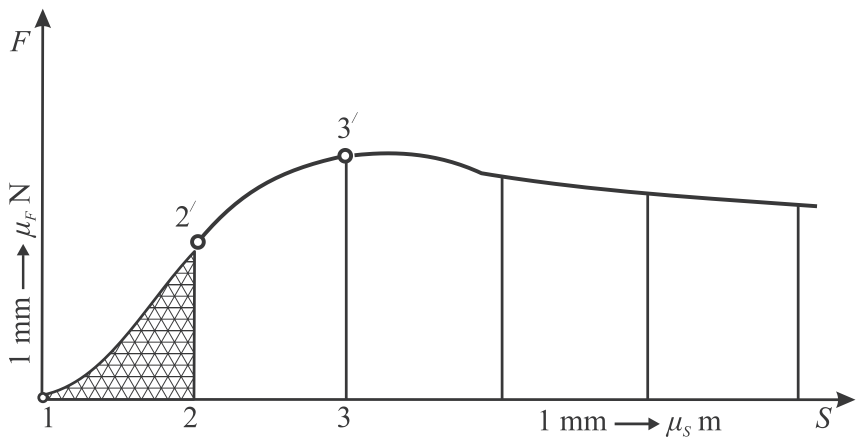
Hereketlendiriji güýç we önümçilik garşylyk güýçleri olaryň fiziki we tehnologiki häsiýetnamalaryna baglylykda dürli kinematiki parametrlere süýşme, tizlik, tizlenme we wagt funksiýalary bolup biler. Mehanizmleriň nazaryýetinde biz bu güýçleri, adatça, belli we analitiki ýa-da grafiki görnüşde berlen diýip çak edýäris. Güýçeleriň, işiň ýa-da kuwwadyň grafiki görnüşde aňladylyşyna diagrammalar diýilýär.

Bu diagrammalaryň öz aralarynda baglanyşygy barada seredip geçeliň.

6.1-nji suratda uçar ýokary galanda, onuň ýöreýiş mehanizminiň ýygnaýjy böleginiň eýerdiji zwenosyna täsir edýän F güýjüň diagrammasy getirilendir. *F* güýç onuň goýlan nokadynyň *S* ýolunyň funksiýasy görnüşinde berlen. $F = F(S)$ (*6.1-nji surat*) diagramma bar bolsa $A = A(S)$ diagrammany gurmak bolýar (*6.2-nji surat*). Hakykatdan-da, A_{1K} iş ýoluň başlangyç 1-nji ýagdaýyndan islendik *K* ýagdaýa çenli aralykda deňdir:

$$A_{1K} = \int_{S_1}^{S_K} F ds, \qquad (6.1)$$

bu ýerde S_1we S_K – degişlilikde 1 we *K* ýagdaýlarda ýoluň ululygy.



6.1-nji surat. Güýjüň goýlan nokadynyň onuň geçen ýoluna baglylykdaky diagrammasy

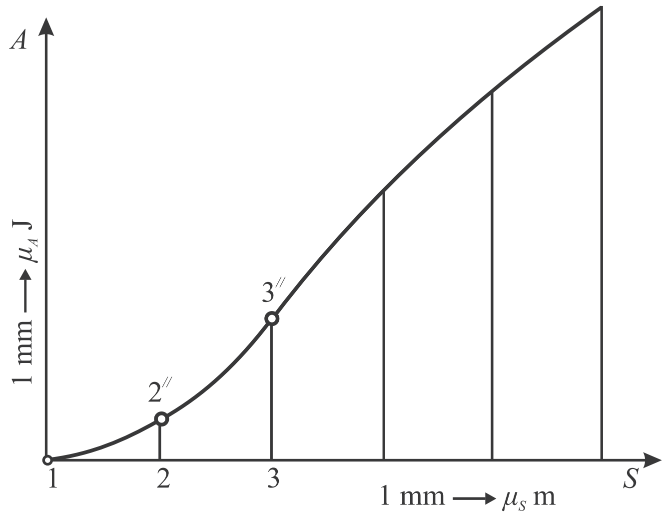
Diýmek, $A = A(S)$ diagrammany (*6.2-nji surat*) gurmak $F = F(S)$ (*6.1-nji surat*) funksiýany integrirlemeklige getirýär. Grafik boýunça integrirlemek usulyna 3-nji bapda seretdik. S_1-den S_2 aralyga çenli A_{12} iş deňdir:

$$A_{12} = \int_{S_1}^{S_2} F ds = \mu_F \mu_S [12'2] \text{ meýdan} = \mu_A (2 - 2').$$

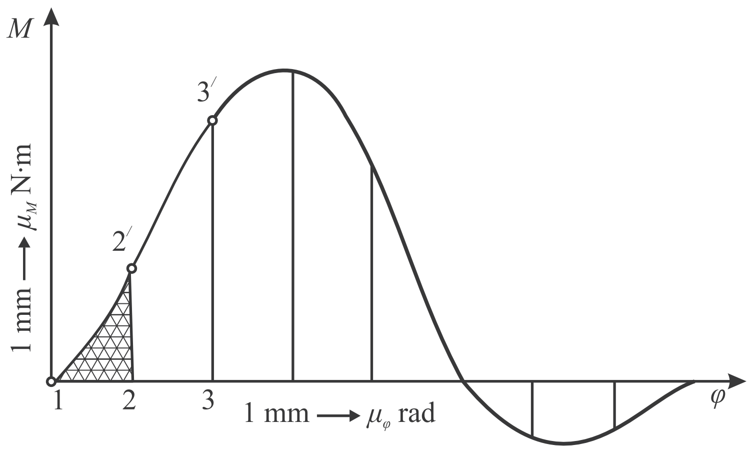
Bu ýerde $[12'2]$ – 1, $2'$ egri çyzyk bilen we 1, 2 we 2, $2'$ göni çyzyk bilen çäklenen meýdan, kwadrat millimetrde ölçelendir. (*6.1-nji suratda*) ştrihlenen meýdan, μ_F we μ_S güýjüň we ýoluň masştablary. Alnan A_{12} bahasyny μ_A masştabda 2 nokatdan (2–2″) kesim görnüşde $A = A(S)$ (*6.2-nji surat*) alyp goýmaly.

S_1 we S_2 aralykda A_{12} iş deňdir:

$$A_{12} = \int_{S_1}^{S_2} F ds = \mu_F \cdot \mu_S [12'3'3] \text{ meýdan} = \mu_A (3 - 3'').$$



6.2-nji surat. 6.1-nji suratda görkezilen diagrammany itegrirläp gurlan güýjüň işiniň geçen ýoluna baglylykdaky diagramma



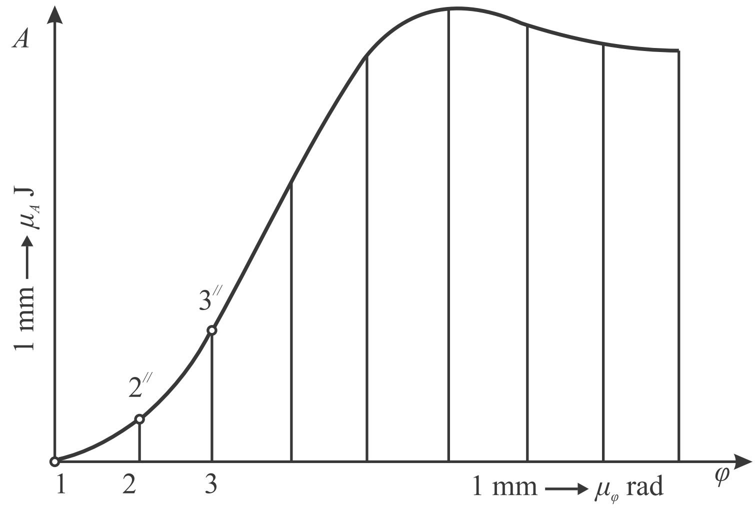
6.3-nji surat. Porşenli dwigatel walynyň momentiniň onuň öwrülme burçuna baglylykdaky diagrammasy

6.3-nji suratda içinden ýandyrylýan dwigateliň walynyň öndürýän M momentiniň, dwigateliň walynyň φ öwrülme burçuna baglylykdaky diagramma berlendir. $M = M(\varphi)$ diagrammadan. $A = A(\varphi)$ işiň diagrammasyny gurmak üçin şu deňlemeden peýdalanmaly:

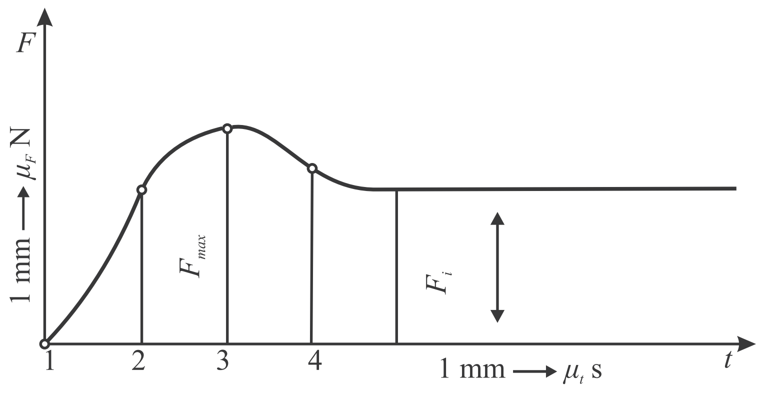
$$A_{1K} = \int_{\varphi_k}^{\varphi_1} M \cdot d\varphi. \tag{6.2}$$

Şeýlelikde, mesele $M = M(\varphi)$ grafigi integrirlemeklige getirýär (*6.3-nji surat*). 6.4-nji suratda $A = A(\varphi)$ baglanyşygyň diagrammasy berlendir.

Seredilen mysallarda *F* güýç we *M* moment eýerdiji zwenolaryň *S* we *φ* süýşme grafikleri görnüşinde berlendir.



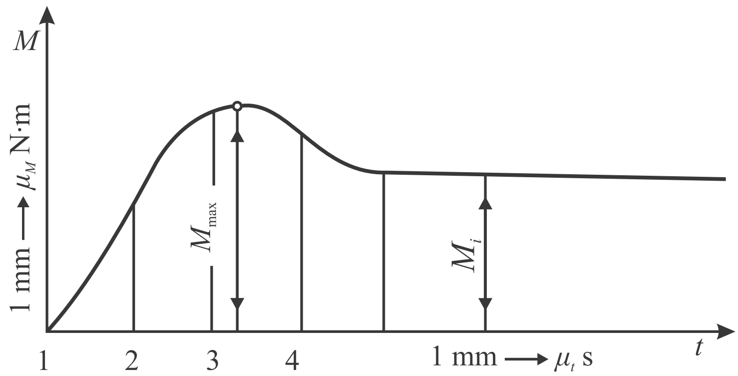
6.4-nji surat. Porşenli dwigatel walynyň işiniň onuň öwrülme burçuna baglylykdaky 6.3 suratda görkezilen diagrammanyň itegrirlenip gurlan diagrammasy



6.5-nji surat Güýjüň wagta baglylykdaky diagrammasy

Käbir ýagdaýlarda bu güýç ýa-da moment *t* wagt funksiýada bellenip bilner. 6.5-nji suratda köp iş maşynlaryna mahsus $F = F(t)$ diagramma görkezilendir. Mysal üçin, köp oba hojalyk maşynlarynyň dartyş güýji, takmynan, şol kanun esasynda üýtgeýär. Eger maşynyň ornundan gozganýan pursatyndan, ýagny meýdanda maşynyň ýöräp başlan pursatyndan soňky ýagdaýa seretsek, onda dartyş güýji başda käbir *F*max bahasyna çenli çalt ösýär (*6.5-nji surat*), soňra bolsa maşynyň hereketiniň degişli iş wagtynyň käbir hemişelik $F_{iş}$ bahasyna çenli peselýär.

6.6-njy suratda bolsa ýokarka meňzeş $M = M(t)$, t wagta baglylykda sentrifuganyň M momentiniň diagrammasy görkezilendir.



6.6-njy surat.Güýjüň momentiniň wagta baglylykdaky diagrammasy

$F = F(t)$ we $M = M(t)$ diagrammalar boýunça, işiň diagrammasyny gurmak üçin, goşmaça S süýşmäniň wagta ýa-da φ öwrüm burçunyň wagta baglylygyny, ýagny $S = S(t)$ ýa-da $\varphi = \varphi(t)$ baglanyşygy bilmek zerur. Bu baglanyşyklar, mysal üçin tejribe ýoly bilen, bir wagtda F güýjüň we M momentiň t wagtyna görä kesgitlenip bilner.

$F = F(t)$ we $S = S(t)$ diagrammalar bolsa olardan t wagty ýok etmek arkaly $F = F(s)$ diagrammany gurmak bolar, ondan soňra $A = A(s)$ diagrammanyň gurluşy ýokarda görkezilişi ýaly geçirilýär.

Meňzeşlikde, $M = M(t)$ we $\varphi = \varphi(t)$ diagrammalardan $M = M(\varphi)$ we bu esasda $A = A(\varphi)$ diagrammalary gurmak bolar.

Maşynlar synag edilende, käbir ýagdaýlarda, maşynyň gerek bolan P kuwwatynyň t wagta baglylykdaky, ýagny $P = P(t)$ diagrammasy ýazylýar. Şunuň ýaly diagrammany biz iş maşynyny herekete getirende elektrodwigatel gerekli kuwwaty özi ýazýan wattmetriň kömegi bilen ýazgysyny alýarys. $P = P(t)$ diagramma boýunça A işiň t wagta baglylykdaky $A = A(t)$ diagrammasyny gurmak bolýar, sebäbi A_{1k} iş t_1 wagta t_k çenli aralykda deňdir:

$$A_{1k} = \int_{t_1}^{t_k} P dt. \tag{6.3}$$

Şeýlelikde, $A = A(t)$ diagrammany gurmak $P = P(t)$ diagrammany wagt esasynda integrirlemeklige getirýär. Eger goşmaça $S = S(t)$ ýa-da $\varphi = \varphi(t)$ diagrammalar gurulsa, onda $A = A(t)$ we $S = S(t)$ ýa-da $A = A(t)$ $\varphi = \varphi(t)$ diagrammalardan t wagty ýok edip $A = A(s)$ ýa-da $A = A(\varphi)$ diagrammalary alarys. $F = F(s)$ ýa-da $M = M(\varphi)$ diagrammalar $A = A(s)$ we $A = A(\varphi)$ diagrammalary S ýol boýunça ýa-da φ burç boýunça differensirläp alarys:

$$F = \frac{dA}{dS} \text{ we } M = \frac{dA}{d\varphi}. \tag{6.4}$$

6.4. Maşynlaryň mehaniki häsiýetleri

Maşynlar dinamiki barlananda we hasaplananda kuwwat baradaky sorag uly ähmiýete eýedir. Bu bolsa maşyn-dwigateller tarapyndan eýeriji walyň ýa-da kuwwaty barada dürli tizlikleri ösdürmäge, şeýle hem iş maşynynyň eýeriji walynyň dürli tizlikli herekete getirmäge kömek edýär. Köp maşynlarda waldaky moment wal dürli tizlikli aýlananda hemişelik bolmaýar. Ähli maşynlarda aýlanýan tizlik üýtgände kinematiki jübütlerde dinamiki basyş hem üýtgeýär, diýmek, olarda sürtülme güýçleri üýtgeýärler. Iş maşynynda eýerdiji walyň aýlanýan tizligi üýtgände önümçilik garşylyklary, howanyň garşylygy we ş.m. üýtgeýärler. Maşyn-dwigatelleriň eýeriji walyna goýlan ýa-da iş maşynyň eýerdiji walyna goýlan M momentiň bu wallaryň burç tizligine baglylygyna maşynyň mehaniki häsiýetnamasy diýilýär.

Şeýlelikde, mehaniki häsiýetleri $M = M(\omega)$ ýa-da $M = M(n)$ baglanyşyk görnüşde bolýar, bu ýerde n-aýlaw ýygylygy, maşynyň walynyň minutdaky aýlaw sany bilen ölçelýär, $n = \dfrac{30\omega}{\pi}$ deňdir.

Ýöne P kuwwat, M moment we ω burç tizlik şu gatnaşyk bilen baglanyşýar:

$$P = M\omega, \tag{6.5}$$

onda $M = M(\omega)$ baglanyşygy bilseň, $P = P(\omega)$ baglanyşygy kesgitlemek bolar. $P = P(\omega)$ baglanyşyga hem maşynyň mehaniki häsiýetleri diýmek bolar.

Indi bosa käbir maşyn-dwigatelleriň we iş maşynlarynyň mehaniki häsiýetlerine seredeliň.

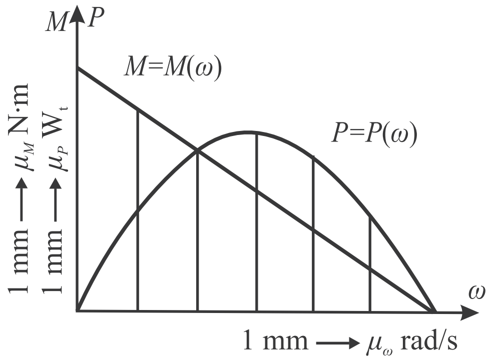
Maşyn-dwigateller üçin ω burç tizliginiň ýokarlanmagy bilen aýlanýan M momentiniň kemelmegi häsiýetli görkezijidir.

6.7-nji we 6.8-nji suratlarda hemişelik tokly elektrodwigateliň mehaniki häsiýetleri görkezilendir. 6.7-nji suratda $M = M(\omega)$ çyzyk boýunça, 6.8-nji suratda bolsa has çylşyrymly kanun boýunça üýtgeýär. $P = P(\omega)$ egri çyzyklar parabola görnüşli bolýar. 6.9-njy suratda suw turbinasynyň mehaniki häsiýetleri görkezilendir.

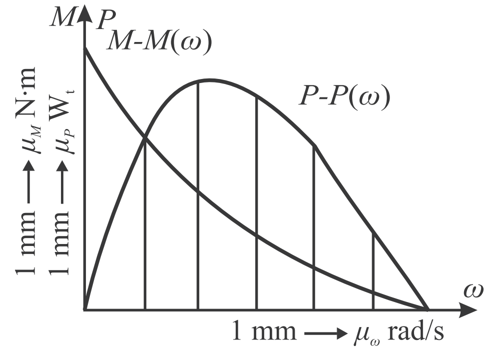
6.7–6.9-njy suratlarda görkezilen maşyn-dwigateller üçin $M = M(\omega)$ görnüşli ähli mehaniki häsiýetleri peselýän egri çyzyklardyr.

6.10-njy suratda üç fazaly asinhron elektrodwigateliň mehaniki häsiýetleri görkezilendir. Bu häsiýetlerde egri çyzyklar pese düşýär, şeýle hem ýokary galýar.

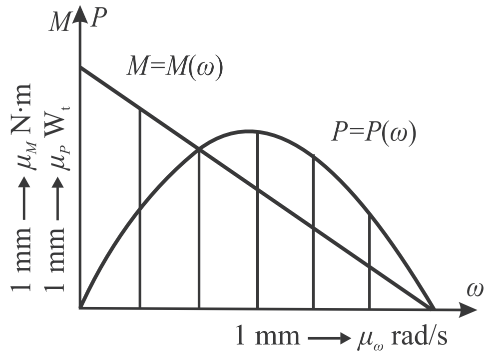
$P = P(\omega)$ görnüşli mehaniki häsiýetleri boýunça dwigateliň iň ýokary P kuwwata çenli ösýän burç tizligini kesgitlemek bolýar.



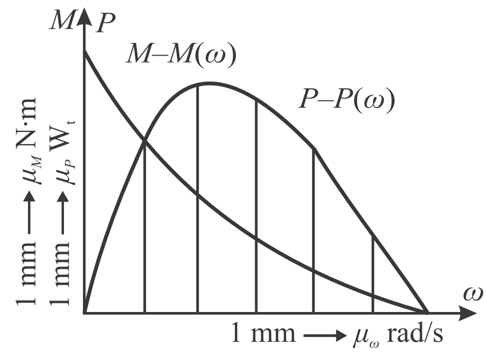
6.7-nji surat. Parallel oýadýan hemişelik tokly elektrodwigateliň mehaniki häsiýetleri



6.8-nji surat. Yzygider oýadýan hemişelik tokly elektrodwigateliň mehaniki häsiýetleri



6.9-njy surat. Suw turbinasynyň walyndaky pursatyň we kuwwadyň walyň burç tizligine baglylykdaky mehaniki häsiýetleri



6.10-njy surat. Üç fazaly asinhron elektrodwigateliň rotorynda pursatynyň we kuwwadyň rotoryň burç tizligine baglylykdaky mehaniki häsiýetleri

7-nji BAP
MEHANIZMLERDÄKI SÜRTÜLMELER

7.1. Sürtülmeleriň görnüşleri

Sürtülmeleriň tebigaty baradaky mesele şu wagta çenli doly öwrenilmedi. Tejribe synaglarynyň barlaglarynyň görkezişi ýaly, sürtülme mehaniki, fiziki we himiki hadysalaryň çylşyrymly toplumly bolmagynda galýar. Sürtülme ýagdaýy bolup geçýän şertlere baglylykda şol ýa-da beýleki hadysalar köp orun tutýar. Kinematiki jübütleriň elementleriniň degişli hereketlerine baglylykda sürtülmeleriň birnäçe görnüşlerini tapawutlandyrmak zerur.

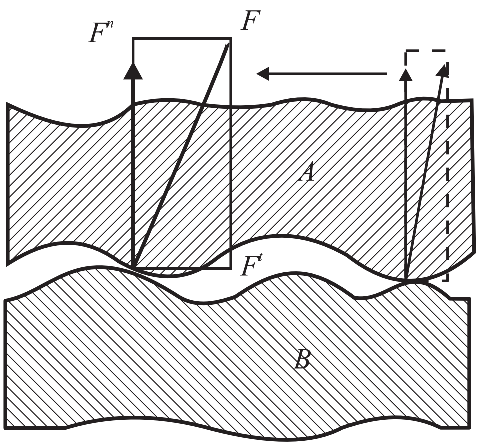
Adatça, sürtülmeler iki esasy görnüşe bölünýärler:

Gury sürtülme (ýa-da ýaglanmadyk üstleriň sürtülmesi) we sowuk sürtülme (ýa-da ýaglanan üstleriň sürtülmesi). Bulardan başgada ýarym gury sürtülme we ýarym suwuk sürtülmeler bolýarlar.

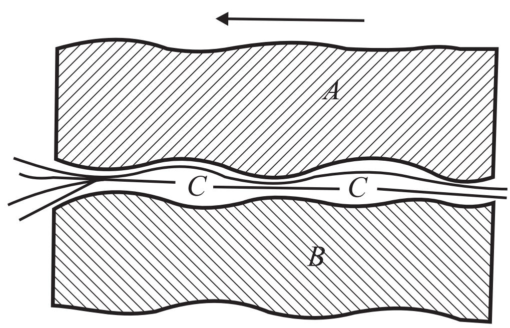
Gury sürtülme hadysasyny şeýle düşündirmek bolar.

Sürtülýän üstleri birnäçe esse ulaltmak arkaly, bu üstleriň absolýut ýylmanak däl-de, büdür-südürligine we beýikli-peslidigine göz ýetirýäris. 7.1-nji suratda *A* we *B* sürtülýän üstler görkezilendir. Eger bu üstleri biri-birine degişlilikde süýşürseň, onda bir üstiň çykydy beýleki üstüň çykydy bilen çakyşar. Çykytlar deformirlenýärler. Sürtülýän üstlere goýlan ýüküň ululygyna baglylykda degişli hereketiň tizligine sürtülýän jisimleriň dürli fiziki häsýetlerine (ýaýjyklyk üstleriň häsýeti we ş.m) baglylykda bu deformasiýalar ýaýjykly we ýaýjyksyz bolýarlar.

Eger galtaşma nokatlara *F* direg gaýtawul güýji ujypsyz galtaşýan meýdança adaty boýunça ugrukdyrylsa (*7.1-nji surat*) we olary düzijilere dargadylsa, onda F^n adaty düzüji berlen adaty ýüki deňagramlaşdyrar, F^t galtaşma düzüjiniň jemi *A* we *B* üstleriň degişli süýşmesinde käbir garşylyk güýji döreder. Bu garşylyk güýje sürtülme güýji diýilýär.



7.1-nji surat. Iki galtaşyp sürtülýän üstleriň ulaldylyp görkezilişi



7.2-nji surat. Ýag gatlagy bilen bölünýän iki galtaşyp sürtülýän üstleriň ulaldylyp görkezilişi

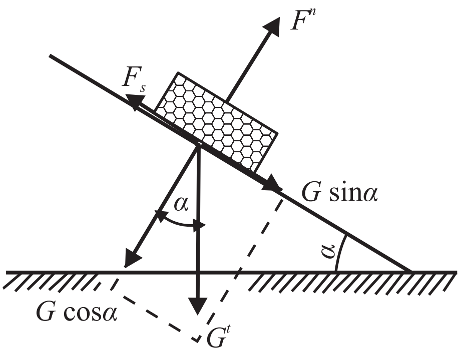
Eger *A* we *B* üstleriň büdür-südürliginiň çykytlary biri-biri bilen galtaşsalar, onuň ýaly sürtülmä gury sürtülme diýilýär. Eger-de *A* we *B* üstleriň aralygynda ýag gatlagy bolsa (*7.2-nji surat*) we *A* we *B* üstler gös-göni galtaşmaýan bolsa, olar ýaly sürtülmäniň görnüşine suwuk sürtülme diýilýär. Şonuň üçin suwuk sürtülmede sürtülme güýji, ýagly gatlagy süýşürýän garşylyk güýjüdir. Suwuk sürtülmede bolup geçýän käbir hadysalar gury sürtülmede bolmaýar we tersine sürtülýän üstleriň büdür-südürlikleriniň çykytlary, ýag bilen örtülmän gös-göni galtaşsalar, onda onuň ýaly sürtülmä ýarym gury sürtülme diýilýär. Ýarym gury we ýarym suwuk sürtülmeleriň aralygyndaky tapawut şeýle anyklanylýar, ýagny sürtülmäniň haýsy görnüşi agdyklyk etse, şol boýunça hem sürtülmäniň görnüşi kesgitlenilýär.

Gury we suwuk sürtülmeleriň hadysasy öz tebigaty boýunça düýpgöter üýtgeşikdir. Şonuň üçin mehanizmlerde sürtülme güýjüni hasaba almak hem meňzeş däl. Friksion çekili we beýleki geçirijilerde gury sürtülme ýüze çykýar, ýaglanan podşipniklerde suwuk sürtülme kä halatlarda ýarym gury ýa-da gury sürtülmä (maşyn işläp başlanda) geçýär. Şonuň üçin sürtülmäniň iki görnüşini hem öwrenmeli.

Degişli hereketiň görnüşi boýunça tapawutlandyrylýar:

– typma sürtülme-galtaşýan jisimler degişli typanda daşky sürtülme we tigirlenme sürtülme (tigirlenende garşylyk) – galtaşýan jisimleriň degişli tigirlenende daşky sürtülme.

7.2. Ýaglanmadyk jisimlerde typma sürtülme



7.3-nji surat. Ýapgyt tekizlikde sürtülme

Ýaglanmadyk jisimlerde typma sürtülme hadysasyny häsýetlendirýän esasy kanuna laýyklyga seredeliň. Goý, G deň bolan agramly jisim α ýapgytlyk burçy bilen ýapgyt tekizlikde dynç ýagdaýda dur diýeliň. Eger ýapgyt tekizlige adaty gaýtawul güýji F^n bilen bellesek, sürtülme netijesinde ýüze çykýan we tekizlige parallel ugrukdyrylan – F_s bilen onda jisimiň deňagramlygy üçin (agdaryjy momentiň täsirini hasaba almanymyzda) şu deňlemeleriň kanagatlanmagy gerek (*7.3-nji surat*):

$$F_s = G \sin\alpha;\ \ F^n = G \cos\alpha,$$

bu deňlemelerden gelip çykýar:

$$\frac{F_s}{F^n} = \mathrm{tg}\alpha. \qquad (7.1)$$

Haçan-da α burç käbir çäkli bahadan köp bolmasa, şu deňdällikde deňagramlylygyň mümkindigini gözegçilik görkezýär:

$$\mathrm{tg}\alpha \le \mathrm{tg}\varphi_d.$$

Eger tgφ_d, f_d bilen bellesek, onda şeýle ýazyp bileris:

$$\mathrm{tg}\alpha \le f_d,$$

bu ýerde f_d sana dynçlyk sürtülmäniň koeffisiýenti diýilýär; φ_d – dynçlyk sürtülmäniň burçy diýilýär.

(7.1) deňlikden gelip çykýar, F_s güýjüniň ululygy şu deňsizlik kanagatlandyrýar:

$$F_s \leq f_d F^n. \tag{7.2}$$

Degişli dynçlykda galtaşýan jisimleriň sürtülmesine dynçlyk sürtülmesi ýa-da statiki sürtülme diýilýär. (7.2) deňsizligiň fiziki manysyny şeýle düşündirmek bolar. Jisime süýşüriji güýç täsir edende onuň ululygy nol bahadan ýuwaş-ýuwaşdan köpeldilýär, onda bu güýç sürtülýän üstlerde ýuwaş-ýuwaşdan ulalýan süýşýän deformasiýany döredýär, emma jisim hereketlenmeýär. Haçan-da süýşüriji güýçleriň ululygy $f_d F^n$ ululyga deň bolanda, ondan soň jisimler biri-birine degişlilikde hereketlenip başlaýar.

Dynçlyk sürtülme güýji şeýle ululyga deň bolýar, ýagny bir jisimiň beýleki jisime degişlilikde typmagyna ýol bermezlik üçin, şeýle hem käbir çäklendirlen bahadan ýokary bolmaly däldigi (7.2) deňsizlikden gelip çykýar.

Eger galtaşýan jisimler degişli hereketde bolsa, onda dynçlyk sürtülme bolmaýar-da, hereket sürtülmesi ýa-da kinetiki sürtülme bolýar.

Dynçlyk sürtülme güýjünden tapawutlylykda, hereketde sürtülme güýji kesgitli işi ýerine ýetirýär. XVII asyryň ahyrynda fransuz alymy Kulon tarapyndan düzme neşir edilen, onda bolsa ol şahsy gözegçiliginiň we beýleki alymlaryň (esasan, Amontonyň) barlaglarynyň netijesinde esasy şu aşakdakylary kesgitleýär:

1) typmada sürtülme güýji adaty basyşa proporsionaldyr;

2) sürtülme materiýala we sürtülýän üstleriň ýagdaýyna bagly;

3) sürtülme sürtülýän jisimleriň degişli tizlikleriniň ululygyna bagly däl diýen ýaly;

4) sürtülme sürtülýän jisimleriň galtaşýan üstleriniň ululygyna bagly däl;

5) dynçlyk sürtülme hereketdäki sürtülmeden uly;

6) sürtülýän üstleriň ilkinji gatnaşyklarynyň wagtynyň ýokarlanmagy bilen sürtülme ösýär.

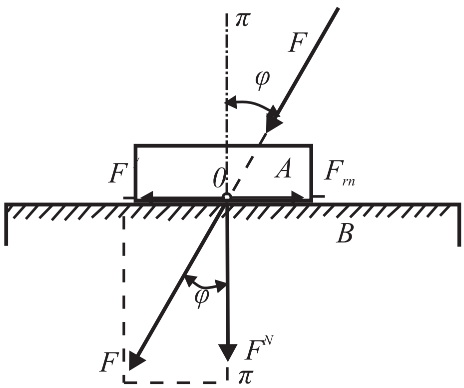
Amonton we Kulon tarapyndan hödürlenen netijeleri seljermek we soňraky alymlaryň barlaglary esasynda, kesgitli sürtülýän materiýallar ulanylanda we diňe käbir çäklerde tizlikleriň we ýüküň üýtgemeginde aýdylanlar dogry bolýar. Mesele: birnäçe synaglaryň netijesinde sürtrülme güýji bilen adaty basyşyň baglanyşygy şular ýaly deňlik bilen aňladylýar:

$$F_s = A + fF^n. \tag{7.3}$$

Bu deňlikde F_s – sürtülme güýji, f – hereketde sürtülme koffisiýenti, seredilýän jisimler üçin hemişeik diýip kabul edilýär. F^n – adaty basyş, A – sürtülmede käbir hemişelik, basyşa bagly däl, sürtülýän üstleriň hereket edýän başarnygyna bagly. Şeýlelikde, sürtülme güýji bilen adaty basyşyň aralygyndaky baglanyşyk gönüçyzyklydyr, ýone ol koordinatanyň başlanýan nokadyndan geçmeýär.

7.3. Gönüçyzykly kinematiki jübütlerde sürtülmeler

Aýdalyň: A polzun käbir F güýç bilen ýüklenen (*7.4-nji surat*), bu güýç polzuna täsir edýän ähli güýçleriň netijeleýjisidir, şeýle hem degişlilikde f_d dynçlyk we f typma sürtülme koeffisiýentleridir deňdir. A polzun B gozganmaýan ugrukdyryjy boýunça haçan süýşüp başlar. Onyň düsündirmek üçin F güýjüniň goýlan nokadyny O nokada geçirýäris we bu güýji F' we F'' düzüjilere dargydýarys. Olaryň birinjisi gatnaşýan üste parallel, ikinjisi olara perpendikulýar. Eger F güýjüniň n–n adaty bilen aralygyndaky burçy φ bilen bellesek, onda F' we F'' düzüjileriň ululygy degişlilikde deň bolar:



7.4-nji surat Gönüçyzykly jübütde sürtülme baradaky meselä degişli

$$F' = F\sin\varphi \text{ we } F'' = F\cos\varphi.$$

F' güýjüniň täsiri astynda galtaşýan üstler biri-birine ýakynlaşýar, F'' güýjüniň täsiri bilen A polzun B ugrukdyryja degişlilikde süýşmäge ymtylýar. F_s sürtülme güýji Amonton-Kulonuň kanuny boýunca deňdir:

$$F_{ds} = F''f_d = Ff_d\cos\varphi.$$

Haçan-da F' F_{ds} bahasyna ýetende polzun ýerinden süýşýär we şu deňligi alarys:

$$F' = F_{ds}.$$

F' ornuna F_{ds} bahasyny goýup şeýle ýazarys:

$$F\cdot\sin\varphi = Ff_d\cos\varphi,$$

bu ýerde:

$$f_d = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \mathrm{tg}\varphi.$$

Bu deňleme boýunça A polzun dynçlyk ýagdaýyndan çykýar. Haçan-da φ burçuň tangensi f_d dynçlyk sürtülme koeffisiýentine deň bolanda: $\varphi = \varphi_d$.

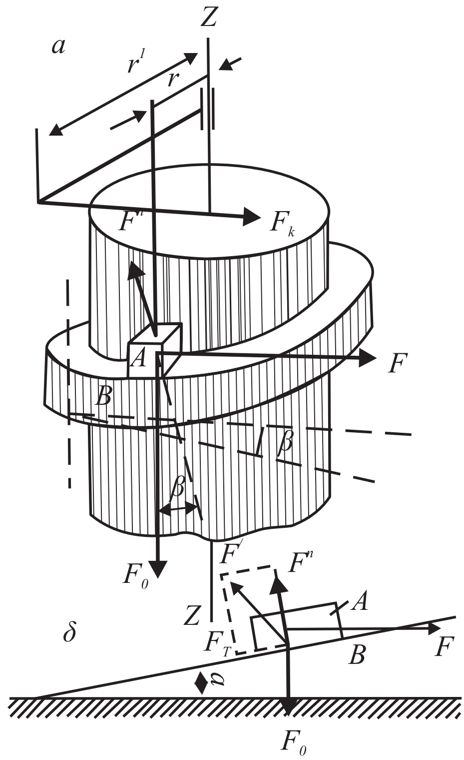
Ýokarda görkezilişi ýaly, φ_d – dynçlyk sürtülme koeffisiýenti diýilýär.

Hereketde F_s sürtülme güýjüniň ululygy dynçlyk F_{ds} sürtülme güýjüniň ululygyndan kiçidir. Diýmek, hereketde φ sürtülme burçy hem dynçlykda φ_d sürtülme burçundan kiçidir, ýagny:

$$\varphi < \varphi_d.$$

φ burç şu deňlikden kesgitlenip biler: $f = \mathrm{tg}\varphi$.

7.4. Hyrly kinematiki jübütde sürtülme



7.5-nji surat. Nurbatly jübütiň giňişlikdäki shemasy

Hyrly kinematiki jübütde sürtülmelere seredilende, adatça, birnäçe rugsat etmelere ýol berilýär. Birinjiden, hyr boýunça basyşyň ýaýraýyş kanuny näbelli, onda gaýkanyň winte basyş güýji ýa-da tersine şertli hasaplanýar we hyryň orta çyzygy boýunça goýulýar. Hyryň orta çyzygy wintiň okundan r aralykda ýerleşýär (*7.5-nji surat*). Ikinjiden, nurbatly jübüte täsir edýän güýje ýapgyt tekizlikde ýerleşen polzuna täsir edýän güýç ýaly garalýar. Tekizlikde nurbatyň hyryny orta çyzygyndan ýazsak, giňişlikdäki meselä tekizlikdäki ýaly seretmek bolar.

A gaýka käbir F güýç täsir edýär we nurbatyň okuna perpendikulýar tekizlikde käbir jübüt güýç täsir edýär. Bu jübütiň M momentini $z–z$ okdan r' aralykda goýlan F_k güýjüniň momenti görnüşinde, ýagny $M = F_k r'$ ýazmak bolýar. Gaýka $z–z$ okuň boýuna F_0 güýjüniň ugrunyň tersine deňölçegli süýşende M moment F güýjüniň $z–z$ oka degişlilikde momentine deň bolmaly. Onda:

$$F_k r' = Fr.$$

Bu gatnaşykda F güýç A jisimiň (gaýkanyň) B ýapgyt tekizlik boýunça deňölçegli süýşmegi üçin zerur (*7.6-njy a surat*) ýokary galyş α burçy bolsa nurbatyň hyrynyň β ýokary galyş burçuna deňdir. (*7.5-nji surat*) A gaýka täsir edýän güýçleriň deňagramlylyk deňlemesine esaslanyp güýçleriň planyny gurýarys.

$$F_0 + F + F^n + F_s = 0.$$

Güýçleriň planyndan (*7.6-njy b surat*) gelip çykýar. F güýjüniň ululygy deňdir.

$$F = F_0 \text{tg}(\beta + \varphi)$$

diýmek:

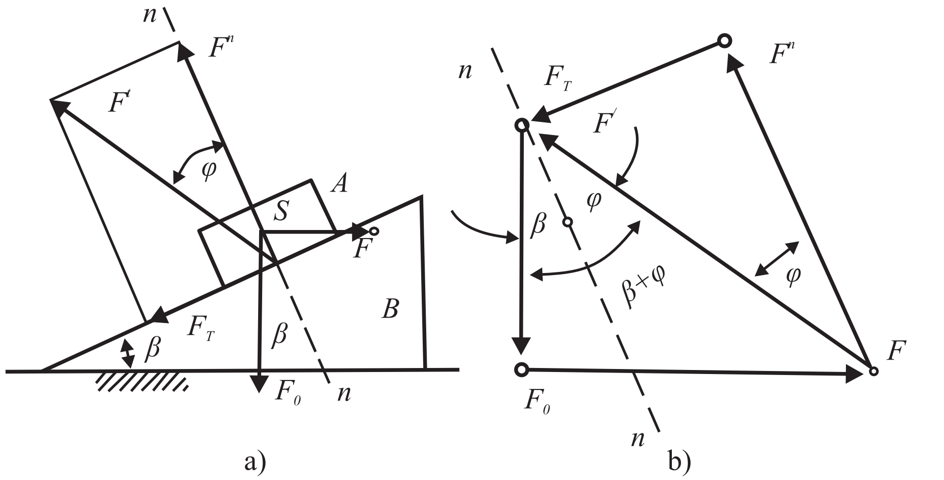
$$F_k r^1 = F_0 r \text{tg}(\beta + \varphi)$$

ýa-da

$$F_k = F_0 \frac{r}{r'} \operatorname{tg}(\beta + \varphi). \qquad (7.4)$$

(7.4) deňleme F_0 güýjüniň ululygyny nurbatly jübütiň parametrlerini we φ sürtülme burçuny baglanyşdyrýar. Gaýkanyň hereketi F_0 güýjüniň ugruna gabat bolanda (7.4) kesgitleme şu görnüşi alar:

$$F_k = F_0 \frac{r}{r'} \operatorname{tg}(\beta + \varphi). \qquad (7.5)$$



7.6-njy surat. Nurbatly jübütiň güýç hasaplamasy:
a – güýçleriň görkezilişi; b – güýçleriň planlary

Nurbatdan we gaýkadan durýan iki zwenoly mehanizmde haçan-da $\beta < \varphi$ bolanda hereket özi togtaýar, ýagny F_0 güýjüniň täsiri astynda (*7.5-nji surat*) gaýna aýlanmaz we *z–z* okuň boýuna typar.

(*7.6-nji b surat*) güýçleriň planlary esasynda F_s sürtülme güýji deňdir.

$$F_s = F \sin\varphi. \qquad (7.6)$$

$F' = \dfrac{F}{\sin(\beta + \varphi)}$ onda F' bahany (7.6) deňlige goýup alarys:

$$F_s = F \frac{\sin\varphi}{\sin(\beta + \varphi)} = F \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin\beta + \cos\beta + \operatorname{tg}\varphi} = F \frac{1}{\sin\beta + f\cos\beta}, \qquad (7.7)$$

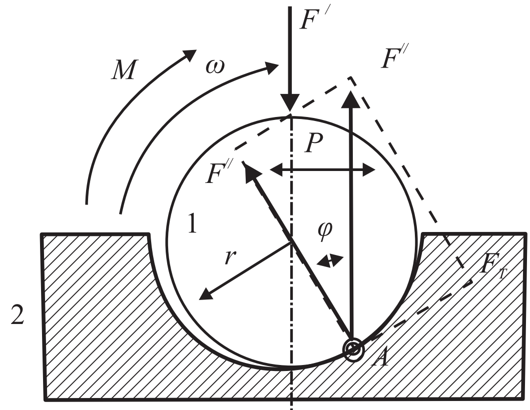
bu ýerde sürtülme koeffisiýenti $f = \operatorname{tg}\varphi$.

7.5. Aýlanýan kinematiki jübütlerde sürtülme

Ýonekeý çaklanmalara görä 2 podşipnikde ýerleşen 1 wal, M daşky momentiň we F' radial güýjüniň täsiri astynda, ω hemişelik burç tizlik bilen aýlanýar (*7.7-nji surat*).

1 wal bilen 2 podşipnigiň aralygynda radial yş bar.

Onda wal ugur boýunça aýlananda, wal bilen podşipnigiň aralygyndaky sürtülme netijesinde onuň sapfasy podşipnigiň “çalt aýlanyp ýokary çykjak” ýaly bolýandygyny görkezýär. Sapfanyň podşipnige “çalt aýlanyp ýokary çykmagy” netijesinde kinematiki jübütiň galtaşýan elementi A nokatda bolýar. Bu ýerde F'' gaýtawul güýji F' güýje parallel bolýar. Öňki ýagdaýlarda seredilişiniň esasynda F'' doly gaýtawul güýji adatydan φ sürtülme burça gyşarmaly we F_s sürütlme güýjüniň ululygy şuňa deňlenip alynýar:



7.7-nji surat. Podşipnikde wal

$$F_s = fF'' = fF'' \cos\varphi = fF' \cos\varphi \qquad (7.8)$$

sapfanyň deňagramlylygy:

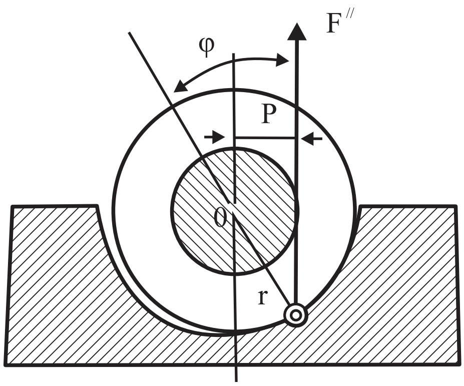
$$F'' = F'.$$

Sapfa goýulan moment M, sürtülme momenti M_s bilen deňagramlaşmaly.

$$M_s = F \cdot r = fF'r\cos\varphi = F'r\sin\varphi = F'\rho, \qquad (7.9)$$

bu ýerde: $\rho = r\ \sin\varphi$.

Eger walyň O merkezinden ρ radius bilen töwerek çyzylsa (*7.8-nji surat*), onda doly gaýtawul güýç F'' bu töwerege galtaşma boýunça ugrukdyrylar. ρ radiusly togalaga sürtülme burça we konusa meňzeşligi boýunça sürtülme togalagy diýilýär.



7.8-nji surat. Sürtülme togalagy

Sürtülme burçunyň ujypsyzlygy sebäpli, $\sin\varphi \approx \text{tg}\,\varphi$ deň diýip almak bolar. Şunuň esasynda ρ sürtülme togalagynyň radiusy, takmynan, $\rho = rf$ deňdir. Aýlanýan jübütde M sürtülme momenti, adatça, şu deňleme boýunça kesgitlenýär.

$$M_s = F'rf', \tag{7.10}$$

bu ýerde r – jübütiň silindrik elementiniň radiusy, f' – aýlanýan jübütde sürtüllme koeffisiýenti, F' – sapfa täsir edýän netijeleýji güýç.

f' sürtülme koeffisiýenti aýlanýan jübütleriň dürli iş şertleri üçin tejiribe synaglarynyň netijesinde kesgitlenýär we sürtülýän üstleriň ýagdaýyna olaryň iş şertlerine, materýalyna we ş.m baglylykda esli çäkler aralygynda üýtgeýär. Gury sürtülmede işlemedik sapfalar üçin, adatça, $f' = \frac{3}{2}f$ deň alynýar, işlenen üçin $f' = \frac{4}{3}f$, bu ýerde f – tekiz galtaşýan üstleriň şol materiýallar üçin sürtülme koeffisiýenti.

7.6. Ýokary jübütlerde tigirlenme we typma sürtülmeler

Ýokary jübüte girýän zwenolaryň elementleriniň degişli hereketlerine seredilende biz diňe bir elementiň beýlekä degişlilikde typmasy däl-de, elementleriň biri birine tigirlenmegine hem duş gelýäris. Şu ýagdaýda, haçan-da zwenolaryň elementleri sentroida ýa-da aksoida bolanda elementler typmasyz arassa tigirlenýär. Haçan-da elementler biri-birine aýlanyp egri çyzyk ýa-da üst boýunça birleşse, tigirlenme we typma ýüze çykýar. Goý, *a* we *b* tekiz mehanizmiň ýokary kinematiki jübüti (*7.9-njy surat*) biri-birine aýlanyp egri çyzyk bilen birleşýär diýeliň, *a* we *b* profillere *n–n* adaty çyzyk geçirýäris. Bu adaty profiller galtaşýan *C* nokatdan geçýär we *A* hem-de *B* aýlaw merkezleri birleşdirýän *AB* çyzygy kesýär. *P* nokat – *B* zwenonyň *A* zweno degişlilikde hereketinde pursat aýlaw merkezidir. υ_{21} tizlik 2 zwenonyň 1-nji zweno degişlilikde typma tizligi bolar, *t–t* galtaşma çyzygynyň boýuna ugrukdyrylandyr we deňdir:

$$\upsilon_{21} = |\Omega|(P_0C),$$

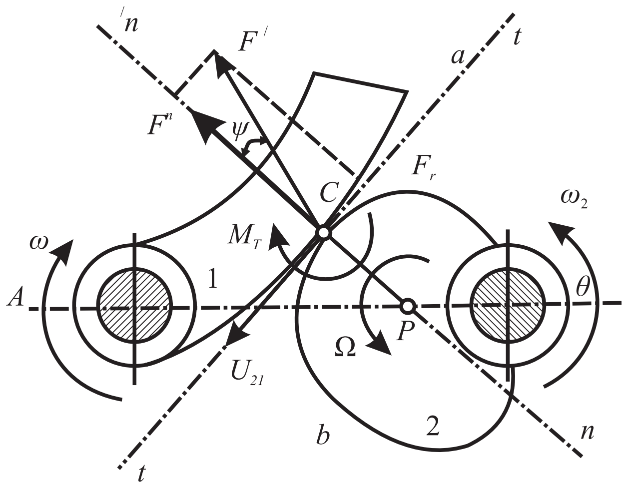
bu ýerde Ω – degişli hereketde pursat burç tizlik, onuň absolýut ululygy deňdir:

$$|\Omega| = |\omega_1| + |\omega_2|.$$

Öňki seredilen meselelerdäki ýaly, 2 zwenonyň 1 zweno doly gaýtargy güýji F' zwenolaryň *C* galtaşýan nokadyna goýlan we umumy adatynyň ugrundan υ_{21} degişli typma tizligiň wektorynyň ters tarapyna, umumy adatynyň ugrundan φ sürtülme burçuna gyşarýar. 1-nji zweno goýlan F_s sürtülme güýjüniň ululygy şu deňleme boýunça kesgitlenýär.

$$F_S = fF^n,$$

bu ýerde f – typma sürtülme koeffisiýenti.



7.9-njy surat. Biri-birine sürtenip egri çyzyk bilen birleşýän ýokary jübütde sürtülme

Jübütleriň elementleriniň biri-birine Ω burç tizlik bilen togalanmagynda ýüze çykýan garşylygy Ω burç tizliginiň ters tarapyna ugrykdyrylan M_s tigirlenme sürtülme momentini girizmek arkaly hasaba almak bolar (*7.9-njy surat*).

Tigirlenmede M_s sürtülme momentiniň kesgitlenişi baradaky meselä seredeliň. Tigirlenme sürtülmede ýüze çykýan fiziki hadysalar az öwrenilendir. Tehniki hasaplamalarda ýer demikdirýän (katok) tigirler, tigirçekler, şarlar podşipniklerde we ş.m tejribe synagynda alnan maglumatlardan peýdalanylýar. Towlanmada garşylyk galtaşýan jisimleriň materiýalynyň maýyşgaklyk häsiýetine, galtaşýan üstleriň egriligine we gysýan güýjüniň ululygyna baglydygyny tejribe görkezýär. Jisimleriň towlanmagyndaky garşylygy ýeňip geçmäge iş sarp edilýär. Bu iş sürtülýän üstleriň deformasiýasyna harçlanýar.

Goý, mysal üçin tekizlikde ýatan gozganmaýan silindir *F* güýç bilen ýüklenen diýeliň (*7.10-njy surat*).

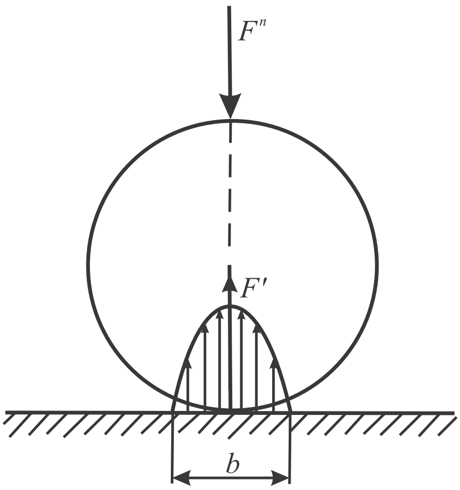
Silindriň tekizlik bilen galtaşýan zolagynda *b* inli meýdançada ýerli gysyş degişme deformasiýasy ýüze çykýar. Maýyşgaklyk nazaryýetine laýyklykda dartgynlyk takmynan, elliptik kanun boýunça ýaýraýar diýip kabul edilýär. Şonlukda dartgynlygyň egri çyzykly ýaýraýşy simmetriki, diýmek, bu dartgynlygyň *F* deň täsir edijiniň täsir edýän çyzygy *F* güýjüniň täsir edýän çyzygy bilen gabat gelýär.

Silindri togalap başlaýarys (*7.11-nji surat*). Onda görnüşi, gysylyp degişýän meýdançanyň *ac* böleginde deformasiýa ösýär, zolagyň *ae* böleginde deformasiýa ýok bolýar. Içki sürtülme sebäpli materiýalda ýük köpelende we ýük peselende egri çyzyk gabat gelmeýär. Şonuň üçin, dartgynlygyň egri çyzygynda ösýän deformasiýa, ýok bolýan deformasiýa seredeniňde ýokary. Diýmek, *b* meýdançada dartgynlylygyň ýaýraýşy simmetriki bolman, onuň ýokary bahasy hereketiň ugruna görä süýşýär. *F'* deň täsir edijiniň dartgynlylygy *a* nokatdan saga *k* ululyga süýşýär. *k*

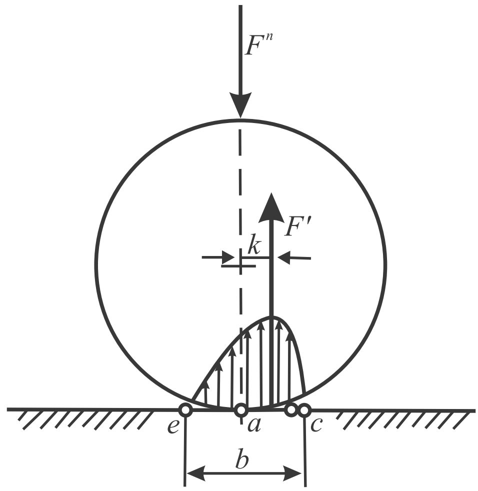
8. Sargyt № 1284

ululyga tigirlenme sürtülme güýjüniň egni diýilýär. Tigirlenende käbir M_s momenti ýeňip geçýäne tigirlenme sürtülme momenti diýilýär, onuň ululygy deňdir:

$$M_s = Fk. \tag{7.11}$$



7.10-nji surat Silindriň deformirlenen meýdançasynda gysyş degişme dartgynlylygyň epýury



7.11-nji surat Silindr togalanan gysylmak arkaly degişmek dartgynlygynyň epýurynyň ýaýylan görnüşi

Bu ýerde proporsionallyk koeffisiýenti bolup tigirlenme sürtülme momentiniň egni k şol bir wagtda tigirlenme sürtülmäniň koeffisiýentidir.

(7.11) deňleme boýunça, tigirlenme sürtülme koeffisiýenti uzynlyk ölçegindedir. Goý, O nokada goýlan F' güýjüniň täsiri astynda A silindr B tekizlik boýunça typman deňölçegli togalanýar diýeliň. Silindriň deňölçegli togalanmagy F' we F_0 jübüt güýjüniň täsiri astynda bolup geçýär, bu ýerde F_0 – C nokada goýlan, ululygy boýunça F' güýje deň typma sürtülme güýjüdir. F_0 güýç ululygy boýunça $F_0 \le Ff_d$, dynçlyk sürtülme güýjüdir, bu ýerde f_d – dynçlyk sürtülme koeffisiýentidir ýa-da ol bu ýagdaýda silindr bilen tekizligiň tirkeme koeffisiýentidir. A silindr jübüt güýjüniň täsiri astynda tekizlik boýunça togalanýar we $M = F''r$ momente eýe bolýar. Bu ýerde r – silindriň radiusy. Silindr deň ölçegli tigirlenende M moment absolýut ululygy boýunça togalanma garşylyk momentine deňdir, ýagny, tigirlenme sürtülme momenti:

$$F''r = M_s = Fk, \tag{7.12}$$

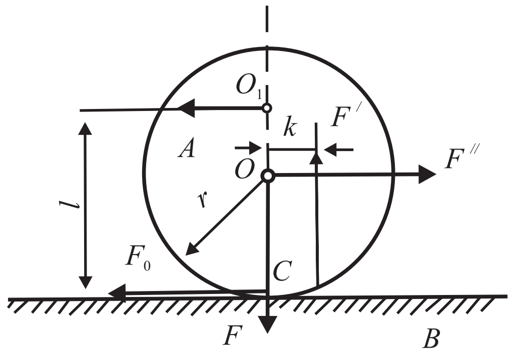
bu ýerden:

$$F'' = k\frac{F}{r}. \tag{7.13}$$

(7.13) deňlik boýunça, F'' güýjüniň ululygy tigirlenme sürtülme koeffisiýentine göni proporsionaldyr we silindriň radiusyna ters proporsionaldyr.

Tigirlenme sürtülme koeffisiýenti, adatça, millimetrde ýa-da santimetrde ölçelýär. Bu koeffisiýentiň tablisasy inženerçilik gollanmalarynda getirilýär.

F'' güýjüniň täsiri astynda (*7.12-njy surat*) silindr bir ýagdaýda togalanýar, beýleki ýagdaýda typýar. Haýsy şertde tigirlenme-sürtülmaniň we haýsy şertde typma-sürtülmäniň ýüze çykýanlygyna gözegçilik edeliň. Goý, silindr A, B tekizlige parallel (*7.12-njy surat*) we O merkeze goýlan F'' güýjüniň täsiri astynda B tekizlik boýunça deňölçegli süýşýär diýeliň.



7.12–nji surat. Togalanýan silindre täsir edýän güýçleriň ýaýraýşy

Eger C galtaşýan nokatda adaty basyş güýji F deň bolanda, onda typma sürtülme garşylygy F_0 deňdir:

$$F_0 = f_d F.$$

Diýmek, silindriň tekizlik boýunça deňölçegli typmagy üçin F'' güýjüniň ululygy deň bolmaly:

$$F'' = f_d F.$$

Deňölçegli tigirlenme şerti şu deňlik esasynda kesgitlenýär:

$$F''r = kF.$$

Silindriň tekizlik boýunça diňe typmagy üçin $F'' = f_d F$ şertden başgada, ýene şu şert kanagatlanmaly:

$$F''r < kF\ ,$$

bu ýerden:

$$Ff_d r < kF\ , \text{ ýa-da } f_d < \frac{k}{r}.$$

Şeýlelikde, arassa tigirlenme bolmak üçin tirkeme koeffisiýenti *k/r* gatnaşykdan uly bolmaly.

Eger F'' güýç silindiriň O nokadyna däl-de, başga bir nokada goýulsa, mysal üçin, tekizlikden berlen l aralykda O_1 nokatda goýulsa, ähli çykarylan baglanyşyklarda r ululygy l ululyk bilen çalyşmaly. Tejribede togalanmagyň garşylyk işi mydama diýen ýaly typma sürtülmäniň işinden kiçidir. Onda tehnikada katoklarda, şarikli we rolikli podşipniklerde we başgalarda tigirlenme sürtülme giňden ulanylýar.

8-nji BAP

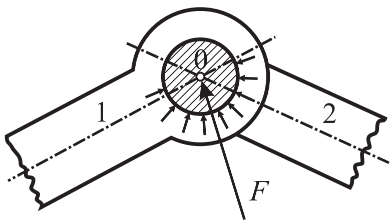
TEKIZLIKDE HEREKETLENÝÄN MEHANIZMLERIŇ KINETOSTATIKI TAÝDAN HASAPLANYLYSY

8.1. Kinematiki zynjyrlary statiki kesgitlemegiň şertleri

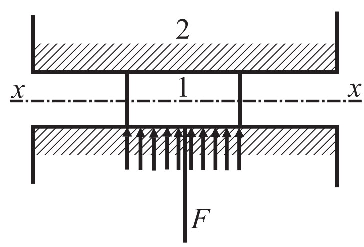
Mehanizmleriň güýç hasaplanyşygynyň meseleleri çözülende eýerdiji zwenonyň hereketiniň kanuny berlen diýip kabul edilýär, edil şonuň ýaly-da mehanizmiň zwenolarynyň massalary we inersiýa momentleri belli diýip alynýar. Şeýlelikde, deňagramlyk deňlemeleriniň kömegi bilen güýç hasaplanyşygynyň meselelerini çözmek üçin elmydama inersiýa güýçlerini kesgitlemek bolar.

Mehanizmleriň güýç hasaplanyşygy baradaky soraga seredilende, kinematiki jübütlerindäki gaýtawul güýçleri kesgitlemek baradaky meselä garalýar.

Haçan-da hasaplamada berlen güýçleriň sanawyna zwenolaryň inersiýa güýçleri girmeýän bolsa, onda beýle hasaplama statiki hasaplama diýilýär. Eger berlen güýçleriň sanawyna hasaplamada zwenolaryň inersiýa güýçleri hem girýän bolsa, oňa kinetostatiki hasaplama diýilýär. Iki ýagdaý üçin hem hasaplamalaryň usuly umumy, onda gelejekde berlen güýçleriň sanawyna inersiýa güýji hem onuň goýlan nokady, ugry we ululygy boýunça bize belli diýip kabul edýäris. Birinji ýakynlaşmada sürtülme güýji hasaba alman hasaplamalary geçirmeli.



8.1-nji surat. Aýlanýan kinematiki jübütde gaýtawul güýjüniň görkezilişi



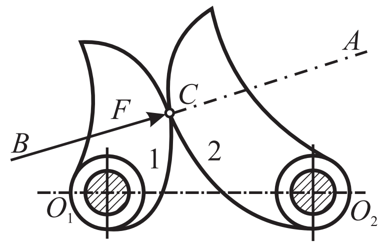
8.2-nji surat.Gönüçyzykly kinematiki jübütde gaýtawul güýç

Tekizlikde hereketlenýän mehanizmleriň dürli kinematiki jübütlerinde gaýtawul güýçleriň ugrukdyrylyşyna seredeliň. V synply aýlanýan jübütlerde netijeleýji F gaýtawul güýç şarniriň merkeziniň üstünden geçýär (*8.1-nji surat*). Bu gaýtargynyň ululygy we ugry näbelli, olar jübütiň zwenolaryna goýlan berlen güýçleriň ululygyna we ugruna bagly bolýar. V synply gönüçyzykly jübütde (*8.2-nji surat*) gaýtawul güýç bu jübütiň x–x hereketiniň okuna perpendikulýardyr. Ol ugry boýunça belli, emma onuň goýlan nokady we ululygy näbelli. IV synply ýokary jübütde gaýtawul F güýç 1 we 2 zwenolaryň galtaşýan C nokadyna goýlan we C nokatdan 1 we 2 zwenolaryň profillerine galtaşyp geçýän *n–n* umumy adaty boýunça ugrukdyrylandyr, ýagny IV synply ýokary jübüt üçin bize gaýtawul güýjüň ugry we onuň goýlan nokady belli.

Şeýlelikde, gaýtawul güýji kesgitlemek üçin her bir V synply pes jübütde iki näbellini tapmak zerur, IV synply ýokary jübütde diňe bir ululygy näbelli.

Tekizlikde hereketlenýän kinematiki zynjyrlaryň gozganýan zwenolarynyň sanyny n bilen belleýäris, V synply kinematiki jübütleriň sanyny – P_5, IV synply jübütleriň sanyny P_4 bilen belläliň.

Indi tekiz kinematiki zynjyrlaryň statiki kesgitlemesiniň şertini düzeliň. Her bir tekiz parallel hereket edýän zweno üçin üç deňagramlyk deňlemäni ýazyp bileris, n zwenolar üçin $3n$ deňleme bolar. Näbellileriň sany V synply jübütler üçin $2P_5$, IV synply jübütler üçin – P_4. Diýmek, eger şü şert kanagatlandyrylsa, kinematiki zynjyr statiki kesgitlenip biler:



8.3-nji surat. Ýokary kinematiki jübütde gaýtawul güýjüniň görkezilişi

$$3n = 2P_5 + P_4. \qquad (8.1)$$

Ýokarda belllenişi ýaly, islendik mehanizm IV we V synply diňe V synply jübütli mehanizm bilen çalşylýar. Şonuň üçin, umumy ýagdaýa seretmek üçin diňe V synply jübütler girýän zwenoly topara seretmek bilen çäklenmeli.

IV synply jübütli topary V synply jübütli topara getirmeli we şol usul bilen hasaplamaly. Onda (8.1) deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$3n = 2P_5, \qquad (8.2)$$

bu ýerden:

$$P_5 = \frac{3}{2}n.$$

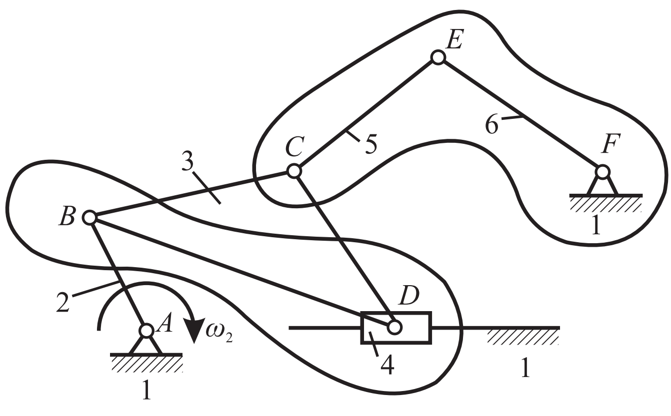
Şeýlelikde, zwenolaryň sany we jübütler öz aralarynda (8.2) baglanyşyk bilen baglydyr. n we P_S sanlary bitin bolmaly, şonuň üçin kinematiki jübütleriň we zwenolaryň sanlary indiki hatary kanagatlandyrmaly (*4-nji tablisa*).

4-nji tablisa

№ t/b	n	P_5
1	2	3
2	4	6
3	6	9
4	8	12
.	.	.
.	.	.

Bize eýýäm belli bolşy ýaly, zwenolar bilen jübütleriň birinji baglaşmany, ýagny iki zweno we üç jübüt II synply topary emele getirýär; ikinji baglaşma dört zwenodan alty jübütden durýar. III synply üçünji görnişli ýa-da IV synply ikinji görnişli we ş.m. Şeýlelikde, statiki kesgitlenilýän kinematiki zynjyra ýokarda atlandyrylan toparlar degişli. Şonuň üçin, has oňaýly topar bolup ýokarda seredilen kinematiki jübütli toparlarda gaýtawul güýçlerini kesgitlemek mümkin.

Ýokarda görkezilişi ýaly, mehanizmler kinematiki barlananda, barlagyň yzygiderliligi toparlaryň birleşişleriniň yzygiderligi bilen gabat gelýär, ýagny ilki bilen başlangyç zweno ýa-da başlangyç zwenolara we direge birleşýän topara seredilýär. Soňra indiki topara seredilýär we ş.m. Güýç hasaplanyşygynyň yzygiderliligi kinematiki barlagyň tersine, ýagny güýç hasaplanysygy (başlangyç zwenodan başlap) iň soňky birleşen topardan başlanýar we başlangyç zwenonyň güýç hasaplanysygy bilen gutarýar. Mysal üçin, 8.4-nji suratda görkezilen alty zwenoly mehanizmiň güýç hasaplanyşygyny geçirmeli. Başlangyç zweno we 1 direge birleşdirilen 3 we 4 zwenolardan durýan II synply birinji topar. Soňra 3 zweno we 1 direge birleşdirilen 5 we 6 zwenolardan durýan II synply ikinji topar. Güýç hasaplanyşygyny iň soňky birleşdirilen topardan, ýagny 5 we 6 zwenolardan durýan topardan, soňra 3-nji we 4-nji zwenolardan durýan topara geçmeli we iň soňunda 2 başlangyç zwenonyň güýç hasaplanysygyna geçmeli.



8.4-nji surat. II synply iki topardan emele getirilen alty zwenoly ryçagly mehanizmiň shemasy

8.2. Zwenolaryň inersiýa güýçleriniň kesgitlenişi

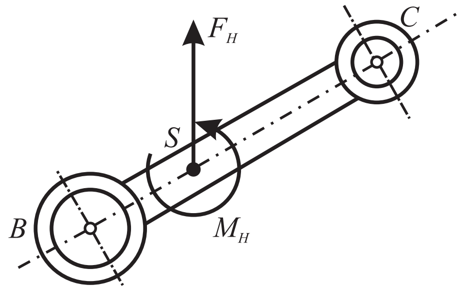
Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, umumy ýagdaýda *BC* zwenonyň ähli inersiýa güýçleri (*8.5-nji surat*) tekiz parallel hereket edýän we hereketiň tekizlige parallel simmetriýa tekizlikli, zwenonyň *S* massa merkezine goýlan F_i inersiýa güýjine we inersiýa güýjüniň jübüt M_i momentine deň momenti hökmünde kabul edilýär.

F_i güýç şu deňleme boýunça kesgitlenip bilner:

$$F_i = -ma_S. \tag{8.3}$$

(8.3) deňlemede F_i BC zwenonyň inersiýa güýjüniň wektory, m – zwenonyň massasy, kilogramda ölçelýär, a_s zwenoň S massa merkeziniň doly tizlenmesiniň wektory, m/s^2 ölçelýär.

Şeýlelikde, tekiz mehanizmiň zwenosynyň F_i inersiýa güýjüni kesgitlemek üçin onuň massasyny m bilmeli we onuň S massa merkeziniň a_s doly tizlenmesiniň wektorynyň ýa-da bu wektoryň koordinat oklaryna proýeksiýasy belli bolmaly. (8.3) deňlemäniň esasynda gelip çykýar, F_i inersiýa güýji kg·m/s^2 ölçelýär.



8.5-nji surat. Zwenonyň material nokadyna goýlan esasy inersiýa güýjüniň we inersiýa güýjüniň esasy momentiniň shemasy

Mehanizmiň massa merkeziniň doly tizlenmesiniň wektoryny kinematikadan belli meňzeşlik häsiýetini ulanyp, gurulan tizlenmeleriň planlaryndan kesgitlemek amatly. Mysal üçin BC zweno berlen we onuň B we C nokatlarynyň a_B we a_C tizlenmeleri belli bolsa (*8.6-nji surat*), bu tizlenmeleri μ_a masştabda gurulan planda (πb) we (πc) kesimler görkezýär. Zwenonyň S massa merkeziniň doly tizlenmesini kesgitlemek üçin, b we c nokatlary göni çyzyk bilen birleşdirýäris we S nokat BC kesimi nähili bölýan bolsa, bc kesimi hem şol gatnaşykda bölýäris. Tizlenmeleriň planynda alnan S nokady π nokat bilen birleşdirip, S nokadyň a_s doly tizlenmesiniň ululygyny alarys:

$$a_S = \mu_a(\pi s).$$

Zwenonyň F_i inersiýa güýji S nokadyň a_s doly tizlenmesiniň ululygy boýunça deň ugry boýunça garşylyklydyr:

$$F_i = -ma_S.$$

Jübüt inersiýa güýjüniň momenti M_i, ε burç tizlenmäniň ters tarapyna ugrukdyrylan we şu deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$M_i = -I_S\varepsilon. \tag{8.4}$$

(8.4) deňlemede I_s – zwenonyň hereketiniň tekizligine perpendikulýar we zwenonyň S massa merkezinden geçýän oka degişlilikde inersiýa momenti, ε – zwenonyň burç tizlenmesi.

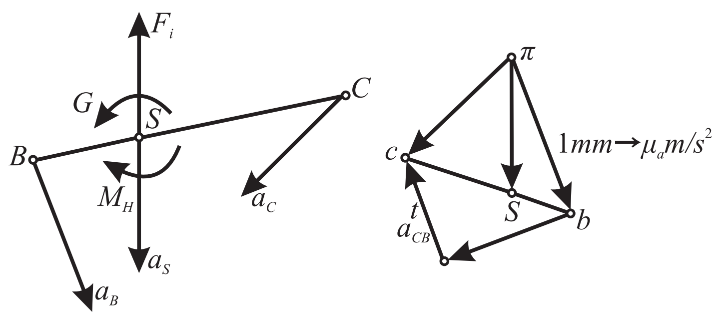
Şeýlelikde, tekiz mehanizmiň zwenosynyň jübüt inersiýa güýjüniň M_i momentini kesgitlemek üçin, onuň I_s inersiýa momentiniň ululygyny, şeýle hem bu zwenonyň ε burç tizlenmesiniň ululygyny we ugruny bilmeli.

I_s inersiýa momentiniň ölçegi kg·m^2. ε burç tizlenmäniň ölçegi rad/s^2. Diýmek, jübüt inersiýa güýjüniň momentiniň ölçegi kg·m/s^2 = N·m, kg·m/s^2 nýutona deňdir. (8.4) deňlemä girýän ε burç tizlenmäniň ululygy şu deňlikden kesgitlenýär:

$$\left|\varepsilon\right| = \frac{a_{CB}^{\tau}}{l_{BC}}, \tag{8.5}$$

bu ýerde a_{CB}^{τ} – zwenonyň degişli hereketinde (*8.6-njy b surat*) galtaşma tizlenme we l_{BC} – BC zwenonyň uzynlygy.

Şeýlelikde, zwenolaryň ähli inersiýa güýçleri umumy ýagdaýda zwenonyň S massa merkezine goýlan F_i inersiýa güýjüniň esasy wektoryna, we inersiýa güýjüniň M_i esasy momentine goýulýar (*8.6-nji a surat*).



8.6-njy surat. Tizlenmeleriň planlary bilen zwenonyň shemasy:
a – esasy inersiýa güýjüniň we esasy inersiýa güýjüniň momenti görkezilen shema;
b – tizlenmeleriň planlary

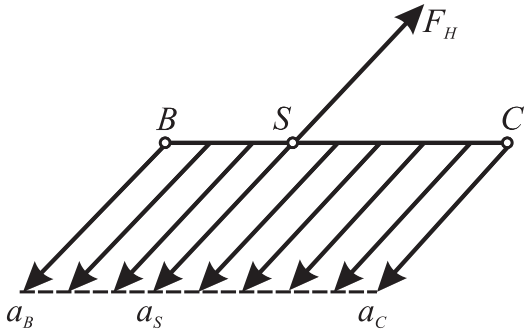
Indi bolsa mehanizmiň zwenolarynyň hereketleriniň käbir ýagdaýlaryna serediliň. Eger zweno käbir tizlenmeli gönüçyzykly hereket etse, onda onuň F_i inersiýa güýji deňdir:

$$F_i = -ma_S, \tag{8.6}$$

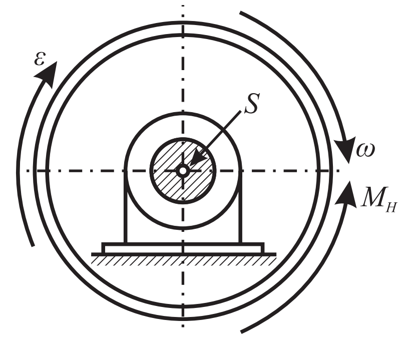
bu ýerde m zwenonyň massasy, a_s – onuň S massa merkeziniň tizlenmesi. Zwenonyň ε burç tizlenmesi bu ýagdaýda nola deň, onda jübüt inersiýa güýjüniň momenti hem nola deň, ähli inersiýa güýçler zwenonyň S massa merkezine goýlan F_i bir netijeleýji güýje getirýär, ol bolsa a_s tizlenmäniň garşysyna ugrukdyrylýar (*8.7-nji surat*).

Eger zweno özüniň massa merkezinden geçýän okunyň töwereginde diňe aýlaw hereket edýän bolsa, onda bu zwenonyň S massa merkeziniň tizlenmesi a_s nola deň we F_i inersiýa güýji hem nola deň

$$F_i = 0.$$



8.7-nji surat. Gönüçyzykly hereketlenýän zwenoda aýratyn nokatlaryň tizlenmeleriniň görkezilişi we material nokatda inersiýa güýjüniň esasy wektorynyň görkezilişi



8.8-nji surat. Massa merkezi aýlaw okunda ýerleşen zwenonyň shemasy

Şunlukda, bu zwenonyň burç tizlenmesi nola deň däl, onda jübüt inersiýa güýjüniň momenti M_i deňdir:

$$M_i = -I_S\varepsilon. \tag{8.7}$$

Şeýle ýagdaý gabat gelýär, mysal üçin, deňölçegsiz aýlanýan şaýlarda (şkiwler, barabanlar, rotorlar we ş.m.) S massa merkezi onuň aýlaw merkezinde ýerleşýär (*8.8-nji surat*). Bu şaýlar deňölçegli aýlananda (tekiz meselelerde) netijeleýji inersiýa güýji we inersiýa güýjüniň momenti nola deňdir.

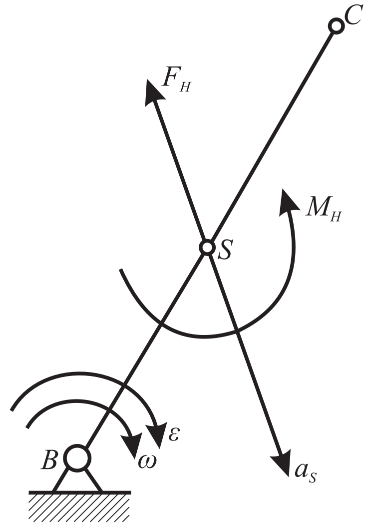
BC käbir okunyň töwereginde aýlaw hereketinde mysal üçin *B* oky *S* massa merkezinden geçmeýän ýagdaýynda onuň inersiýa güýji onuň *S* massa merkezinde goýlan we a_s tizlenmä garşylyklaýyn ugrukdyrylan F_i güýje deňdir (*8.9-njy surat*):

$$F_i = ma_s \tag{8.8}$$

we jübüt inersiýa güýjüniň M_i momentine deňdir:

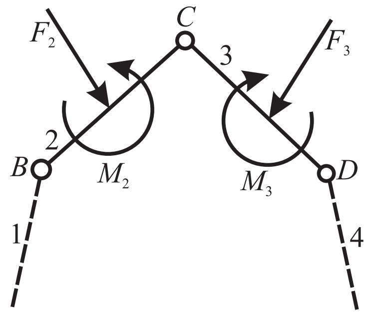
$$M_i = -I_S\varepsilon\ , \tag{8.9}$$

bu ýerde I_s – *S* massa merkezden geçýän oka degişlilikde inersiýa momenti.



8.9-njy surat. Okuň töwereginde aýlanýan zwenonyň massa merkeziniň ýerleşen oky bilen gabat gelmeýän shema

8.3. Toparyň kinematiki jübütlerindäki gaýtawul güýçleriň kesgitlenişi



8.10-njy surat.
Birinji görnüşli iki zwenoly toparyň kinematiki shemasy

II synply birinji görnüşli *BCD* toparyň kinematiki jübütlerinde gaýtawul güýçleriň kesgitlenişi baradaky meselä seredip geçeliň (*8.10-njy surat*).

Şular ýaly belgilenilişi girizýäris: *BC* zweno birleşýän zwenony 1 belgi bilen belleýäris, *BC* zwenony 2 belgi bilen, *CD* zwenony – 3 belgi we *CD* zweno birleşýän zwenony 4 belgi bilen belleýäris. l belgili zweno k belgili zweno tarapdan täsir edýän güýji F_{lk} üsti bilen belleýäris, A nokada degişlilikde F_k güýjüniň momentini – $M_A(F_k)$, haýsy-da bolsa A we B nokatlaryň aralygyny AB zwenonyň – l_{AB} we k belgili zweno täsir edýän jübütiň momentini – M_k bilen.

Goý, seredilýän II synply topar (*8.10-njy surat*), F_2 we F_3 güýçler hem-de M_2 we M_3 momentler bilen ýüklenen bolsun. Kinematiki jübütlerde gaýtawul güýçleri kesgitlemek talap edilýär. Bu mesele güýçleriň planlar usuly bilen çözülýär. B we D nokatlara entäk näbelli F_{21} we F_{34} gaýtawullary goýýarys we *BCD* toparyň deňagramlyk deňlemesini düzüp (*8.11-nji a surat*), topara täsir edýän ähli güýçleriň jemini nola deňleýäris. Onda:

$$F_{21} + F_2 + F_3 + F_{34} = 0. \qquad (8.10)$$

Bu deňlemede F_2 we F_3 güýçler ululygy boýunça, ugry we goýlan nokatlary boýunça bize belli: F_{21} we F_{34} gaýtawullar bize diňe goýlan nokatlary boýunça belli: Bu gaýtawullaryň ululyklaryny kesgitlemek üçin olaryň her birini iki sany düzüjilere: biri zwenonyň oky boýunça, beýlekisi bolsa zwenonyň okuna perpendikulýar ugrukdyrylýar. Birinji düzüjini n indeks bilen belläris, ikinjisini bolsa t indeks bilen. Onda alarys:

$$F_{21} = F_{21}^n + F_{21}^t,\ F_{34} = F_{34}^n + F_{34}^t. \qquad (8.11)$$

F_{21}^t we F_{34}^t ululyklary 2 we 3 zwenolaryň her biri üçin ýazylan deňagramlyk deňlemelerinden tapylýar. Onuň üçin ilki bilen 2 zwenonyň deňagramlygyna seredýäris. 2 zweno şu güýçleriň we jübütleriň astynda bolýar: F_2 güýç, F_{21} gaýtawulyň düzüjileri F_{21}^n we F_{21}^t, F_{32} gaýtawul we jübüt güýjüniň M_2 momenti: C nokada degişlilikde ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesini düzýäris. F_{21}^t güýjüniň belgisi näbelli, onda momentleriň deňlemeleri düzülende bu güýjüň momentiniň belgisini erkin berlen diýip hasaplaýarys. Eger bu güýç kesgitlenenden soň ol otrisatel bolsa, onda onuň hakyky ugry garşylyklaýyn bolmaly.

Ýazýarys:

$$M_C\left(F_2\right) + M_C\left(F_{21}^t\right) + M_2 = 0.$$

Bu deňlemä F_{21}^{n} we F_{32} güýçleriň momentleri girmeýär, sebäbi bu güýçleriň täsir edýän çyzygy *C* nokatdan geçýär, ýagny:

$$M_C\left(F_{21}^{n}\right)=0 \text{ we } M_C\left(F_{32}\right)=0.$$

Soňra $M_C\left(F_{21}^{t}\right)=F_{21}^{t}\cdot l_{BC}$ bolanlygy üçin, ýokardaky düzülen momentleriň deňlemesi şu görnüşi alar:

$$M_C\left(F_2\right)+F_{21}^{t}\cdot l_{BC}+M_2=0,$$

bu ýerden F_{21}^{t} güýjüniň ululygyny kesgitläris:

$$F_{21}^{t}=-\left[\frac{M_C\left(F_2\right)}{l_{BC}}+\frac{M_2}{l_{BC}}\right]. \tag{8.12}$$

Ýokarda görkezilişi ýaly, F_{21}^{t} güýjüniň alamaty, (8.12) deňlemäniň sag tarapynyň alamaty bilen kesgitlener. Şüňa meňzeşlikde 3 zwenonyň deňagramlyk şertinden (momentleriň deňlemelerinden) alarys:

$$M_C\left(F_3\right)+M_C\left(F_{34}^{t}\right)+M_3=0,$$

ýagny $M_C\left(F_{43}^{n}\right)=0$ we $M_C\left(F_{32}\right)=0$. F_{34}^{t} güýjüniň ululygyny ýazyp bileris:

$$F_{34}^{t}=-\left[\frac{M_C\left(F_3\right)}{l_{DC}}+\frac{M_3}{l_{DC}}\right]. \tag{8.13}$$

F_{34}^{t} güýjüniň alamaty (8.13) deňlemäniň sag tarapynyň alamaty bilen kesgitlenýär. F_{12}^{t} we F_{43}^{t} güýçler üçin alnan aňlatmalary (8.10) deňlemä goýýarys:

$$F_{21}^{n}+F_{21}^{t}+F_2+F_3+F_{34}^{t}+F_{34}^{n}=0.$$

Bu deňlemede bize diňe F_{21} we F_{34} gaýtawullaryň *BC* we *DC* zwenolaryň oklary boýunça ugrukdyrylan F_{21}^{n} we F_{34}^{n} düzüjileri näbelli. Bu düzüjileriň ululyklary güýçleriň planlaryny gurmak bilen kesgitlener. Onuň üçin erkin *a* nokatdan (*8.11-nji b surat*) erkin μ_F masştabda F_2 güýji alyp goýýarys we oňa F_3 güýji goşýarys.

Bu güýçlere şol bir masştabda (8.12) we (8.13) deňlemeler esasynda kesgitlenen F_{21}^{t} we F_{34}^{t} güýçleri goşýarys.

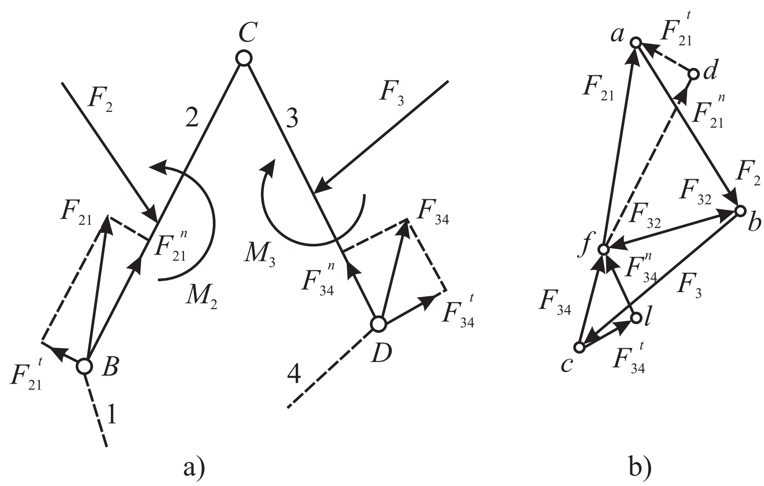
Bu güýçler *BC* we *CD* zwenolaryň oklaryna perpendikulýardyr. Soňra *d* nokatdan *BC* oka parallel çyzyk geçirýäris, *e* nokatdan bolsa *DC* zwenonyň okuna parallel çyzyk geçirýäris. Bu iki göni çyzygyň kesişen f nokady F_{21}^{n} we F_{34}^{n} düzüjileriň ululygyny kesgitlär.

F_{21} we F_{34} doly gaýtawul güýçler (8.11) deňlemäniň esasynda netijeleýji güýç hökmünde tapylýar. Birinjisi gaýtawul güýçleriň planynda *f* we *a* nokatlar birleşdirilip alynar, ikinjisi *c* we *f* nokatlar birleşdirip tapylýar. 2-nji zwenonyň 3-nji zweno täsir edýän gaýtawul güýjüni kesgitlemek üçin, 3-nji zweno täsir edýän güýçleriň deňagramlyk deňlemesini ýazýarys:

$$F_{34} + F_3 + F_{32} = 0.$$

Bu deňlemede ýeke-täk ugry we ululygy boýunça näbelli güýç F_{32}. Onuň ululygyny deňleme boýunça güýçleriň üçburçlugyny gurmak arkaly alynýar. Onuň üçin 8.11-nji *b* suratda, güýçleriň planynda *f* we *b* nokatlary birleşdirmek ýeterlik. F_{23} we F_{32} gaýtawul güýçler ululygy boýunça deňdirler, emma ugurlary boýunça garşylyklydyr, bu gaýtawul 2-nji zwenonyň deňagramlyk deňlemesi esasynda kesgitlener:

$$F_{21} + F_2 + F_{23} = 0.$$



8.11-nji surat. Birinji görnüşli iki zwenoly topar:
a – güýçler we jübüt güýçleriň momentleri görkezilen kinematiki shemasy;
b – güýçleriň planlary

Güýçleriň planynda F_{23} wektor güýji (*ef*) kesim aňladýar, edil F_{32} gaýtawul güýç ýalydyr, emma ugry garşylyklaýyndyr.

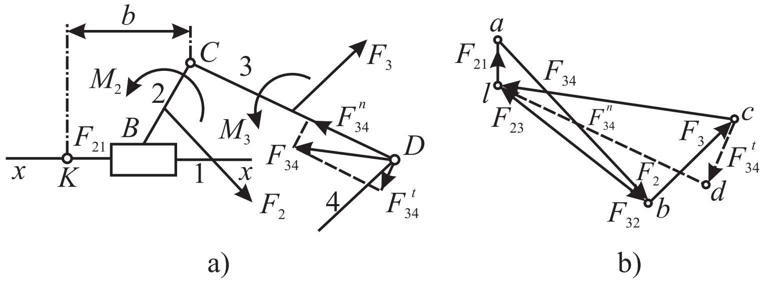
II synply ikinji görnüşli topara seredeliň (*8.12-nji surat*). Bu toparda *x–x* okda *B* gönüçyzykly jübüt bar. Topara daşky F_2 we F_3 güýçler we M_2 we M_3 momentler täsir edýär. Kinematiki jübütlerde gaýtawul güýçler planlar usuly bilen kesgitlenip bilner. Topara täsir edýän ähli güýçleriň deňagramlyk wektor deňlemesi şu görnüşde bolar (*8.12-nji a surat*):

$$F_{21} + F_2 + F_3 + F_{34} = 0. \qquad (8.14)$$

F_{21} gaýtawul güýç ugry boýunça belli: ol x–x ugrukdyryjy oka perpendikulýardyr. Bu gaýtawul güýjüniň goýlan nokady we onuň ululygy näbelli, F_{34} gaýtawul güýjüniň goýlan nokady belli, emma onuň ululygy we ugry näbelli.

F_{34} gaýtawul güýji iki düzüjä dargadýarys: biri F_{34}^{n} DC zwenonyň oky boýunça ugrukdyrylan we ikinjisi F_{34}^{t} bu oka perpendikulýardyr. Alýarys:

$$F_{34} = F_{34}^{n} + F_{34}^{t}.$$



8.12-nji surat. Iki zwenoly ikinji görnüşli topar:
a – güýçler we jübüt güýçleriň momentleri görkezilen kinematiki shema;
b – güýçleriň planlary

F_{34}^{t} güýjüniň ululygy C nokada degişlilikde 3 zweno täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemelerinden kesgitlenýär.

Onda ýazyp bileris:

$$M_C\left(F_3\right) + M_C\left(F_{34}^{t}\right) + M_3 = 0,$$

ýagny $M_C\left(F_{32}\right) = 0$ we $M_C\left(F_{34}^{n}\right) = 0$ moment $M_C\left(F_{34}^{t}\right)$ deňdir:

$$M_C\left(F_{34}^{t}\right) = F_{34} \cdot l_{DC}.$$

Diýmek:

$$F_{34}^{t} = -\left[\frac{M_C\left(F_3\right)}{l_{DC}} + \frac{M_3}{l_{DC}}\right].$$

F_{34}^{t} güýjüň alamaty $M_C\left(F_3\right)$ we M_3 momentleriň jemi F_{34} alamaty bilen kesgitlenýär. Alnan aňlatmany (8.14) deňlemä goýup alarys:

$$F_{21} + F_2 + F_3 + F_{34}^{t} + F_{34}^{n} = 0.$$

Bu deňlemede diňe F_{21} we F_{34}^{n} güýçleriň ululygy näbelli. Bu güýçleriň ululygy güýçleriň planlaryny gurup kesgitlenýär. Erkin saýlanyp alnan *a* nokatdan (*8.12-nji b surat*) μ_F masştabda F_2 güýji alyp goýýarys. Şol masştabda oňa F_3 güýji goşýarys, *c* nokatdan F_{34}^{t} belli güýji DC zwenonyň okuna perpendikulýar geçirýäris, *d* nokatdan bolsa *DC* zwenonyň okuna parallel F_{34}^{n} güýjüň ugruna göni çyzyk geçirýäris. Soňra *a* nokatdan F_{21} güýjüň ugruna *x–x* oka perpendikulýar çyzyk geçirýäris. Bu çyzyklaryň kesişen *e* nokady F_{34} we F_{21} gaýtawul güýçleriň ululygyny kesgitlär. F_{34} gaýtawul güýji *ce* kesim μ_F masştabda aňladar F_{21} gaýtawul güýji – *ea* kesim. 2-nji we 3-nji zwenolaryň deňagramlyk deňlemelerinden:

$$F_{21} + F_2 + F_{23} = 0\,,\; F_{34} + F_3 + F_{32} = 0\,.$$

F_{23} we F_{32} gaýtawul güýçleri kesgitläris. F_{32} gaýtawul güýç ýa-da oňa ululygy boýunça deň bolan ω ugry boýunça garşylyklaýyn bolan F_{23} gaýtawul güýji *be* kesim aňladar.

Ýene-de *x–x* ugrukdyryjy okda *k* nokada goýlan F_{21} güýji kesgitlemek galýar (*8.12-nji a surat*). Onuň üçin *C* nokada degişlilikde 2-nji zweno täsir edýän güýçleriň momentleriniň deňlemesini düzýäris:

$$M_C\left(F_2\right) + M_C\left(F_{21}\right) + M_2 = 0,$$

ýagny $M_C\,(F_{23}) = 0$.

Bu deňlemede diňe F_{21} güýjüň *h* egni näbelli (*8.12-nji a surat*), ol bolsa şeýle kesgitlenip biler:

$$h = -\left[\frac{M_C\left(F_2\right)}{F_{21}} + \frac{M_2}{F_{21}}\right]. \tag{8.15}$$

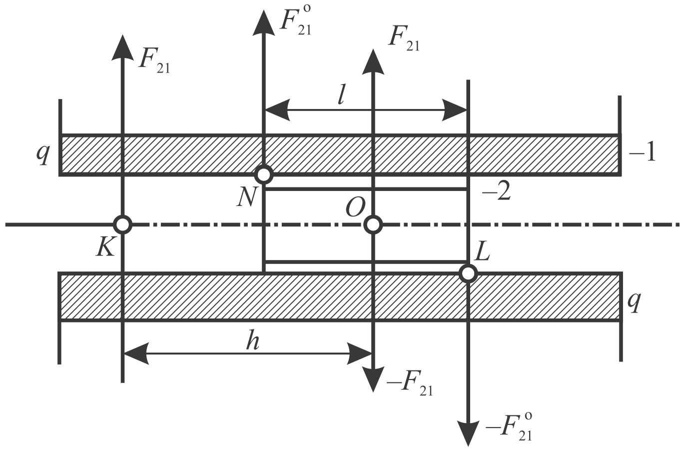
C nokada degişlilikde *h* egniň ýagdaýy (8.15) deňlemäniň sag tarapynyň alamaty boýunça kesgitlenýär.

8.12-nji *a* suratda *B* polzun shemada görkezilendir, onda F_{21} güýjüniň goýlan *k* nokady polzunyň daşynda ýatýar. Hakykatda bolsa, F_{21} güýç 1 we 2 zwenolaryň degişýän zolagyna goýlandyr. Eger, polzunyň konstruksiýasy parallelopiped görnüşde ýerine ýetirilen bolsa, onuň uzynlygy *l q–q* ugrukdyryjyda typýan bolsa (*8.13-nji surat*), onda F_{21} güýjüniň goýlan nokadyny polzunyň *o* merkezine geçirmek bolar. (*8.13-nji surat*). Onda polzuna F_{21} güýç we jübüt güýjüniň momenti M_1 täsir eder, bu moment ululygy boýunça deňdir:

$$M = F_{21} \cdot h',$$

bu ýerde h' – *K* nokatdan *O* nokada çenli aralyk. Jübüt güýjüň *M* momentli F_{21}° we $-F_{21}^{\circ}$ iki güýç görnüşde polzunyň *N* we *L* çetki nokatlaryna goýlandyr (*8.13-nji surat*). F_{21}° güýjüň ululygy deňdir:

$$F_{21}^{\circ} = \frac{M}{l} = F_{21}\,\frac{h'}{l}.$$

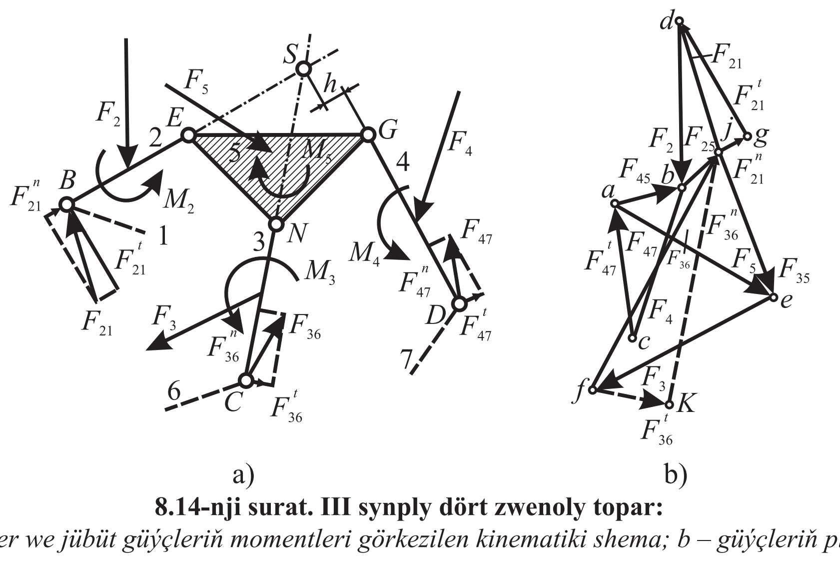


8.13-nji surat. Gönüçyzykly jübütiň ugrukdyryjysynda gaýtawul güýçleriň ýaýraýşy

Şeýlelikde, polzun O nokatda goýlan F_{21} güýjüň we N we L nokatlarda goýlan F°_{21} we $-F^{\circ}_{21}$ jübüt M momenti döredýän güýçleriň täsiri astynda bolar. Ýokarda biz II synply birinji we ikinji görnüşli toparlaryň kinematiki jübütlerinde gaýtawul güýçleriň kesgitlenişi baradaky meselä düşnükli seredip geçdik. Bu meseläniň II synply toparlaryň beýleki görnüşleri üçin çözlüşi meňzeş bolar.

III synply toparyň kinematiki jübütlerinde gaýtawul güýçleri kesgitlemek üçin aýratyn nokatlary ulanmak bilen güýçleriň planlaryny gurmak usulyndan peýdalanmak has amatly.

Goý, III synply dört zwenoly *BCDENG* topar berlen (*8.14-nji a surat*) topara berlen güýçler F_2, F_3, F_4 we F_5 hem-de jübüt güýçleriň momentleri M_2, M_3, M_4 we M_5 täsir edýärler. *B*, *C*, *D*, *E*, *N*, *G* kinematiki jübütlerde gaýtawul güýçleri kesgitlemek talap edilýär.



8.14-nji surat. III synply dört zwenoly topar:

a – güýçler we jübüt güýçleriň momentleri görkezilen kinematiki shema; b – güýçleriň planlary.

F_{21}, F_{36} we F_{46} gaýtawul güýçleri iki düzüjilere degişli zwenonyň okunyň boýuna we olara perpendikulýar dargadýarys. Öňümizde durýan mesele bu düzüjileri kesgitlemekden ybaratdyr. Şeýle ýazýarys:

$$F_{21} = F_{21}^{n} + F_{21}^{t},\ \ F_{36} = F_{36}^{n} + F_{36}^{t},\ \ F_{47} = F_{47}^{n} + F_{47}^{t}. \tag{8.16}$$

E nokada degişlilikde 2-nji zweno täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesini ýazýarys:

$$M_2 + M_E\left(F_{21}^{t}\right) + M_E\left(F_2\right) = 0. \tag{8.17}$$

(8.17) deňlemeden F_{21}^{t} gaýtawul güýji kesgitleýäris:

$$F_{21}^{t} = -\frac{M_E\left(F_2\right) + M_2}{l_{BE}}.$$

Soňra *N* nokada degişlilikde 3-nji zweno täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesinden F_{36}^{t} gaýtawul güýjüň ululygyny kesgitleýäris

$$M_3 + M_N\left(F_{36}^{t}\right) + M_N\left(F_3\right) = 0, \tag{8.18}$$

bu ýerden:

$$F_{36}^{t} = -\frac{M_N\left(F_3\right) + M_3}{l_{GN}}.$$

G nokada degişlilikde 4-nji zweno täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesinden F_{47}^{t} gaýtawul güýjüň ululygyny kesgitleýäris:

$$M_4 + M_G\left(F_{47}^{t}\right) + M_G\left(F_4\right) = 0, \tag{8.19}$$

bu ýerden:

$$F_{47}^{t} = -\frac{M_G\left(F_4\right) + M_4}{l_{DG}}.$$

Soňra haýsy-da – bolsa iki zwenonyň oklarynyň kesişen nokadyny aýratyn *S* bilen belläp, şu nokada degişlilikde topara täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesini düzýäris:

$$M_S\left(F_2\right) + M_S\left(F_3\right) + M_S\left(F_4\right) + M_S\left(F_5\right) + M_S\left(F_{21}^{t}\right) + M_S\left(F_{36}^{t}\right) +$$

$$+ M_S\left(F_{47}^{t}\right) + M_S\left(F_{47}^{n}\right) + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = 0. \tag{8.20}$$

Bu deňlemede S nokada degişlilikde F_{21}^{n} we F_{36}^{n} güýçleriň momentleri nola deňdir. F_{21}^{t}, F_{36}^{t} we F_{47}^{t} gaýtawul güýçleri biz eýýäm kesgitledik. (8.20) deňlemä girýän diňe bir näbelli F_{47}^{n} gaýtawul güýçdür, onuň S nokada degişlilikde momenti deňdir $M_S\left(F_{47}^{n}\right) = F_{47}^{n} \cdot h$ (8.20) deňlemeden F_{47}^{n} gaýtawul güýjüň ululygyny kesgitleýäris.

F_{47}^{n} adaty düzüji gaýtawul güýji kesgitläp, F_{47} doly gaýtawul güýji bize belli iki düzüjileriň geometriki jemi boýunça tapýarys:

$$F_{47} = F_{47}^{n} + F_{47}^{t}. \tag{8.21}$$

Soňra topara täsir edýän ähli güýçleriň geometriki jemini nola deňläp alarys:

$$F_{21}^{n} + F_{21}^{t} + F_{2} + F_{4} + F_{47} + F_{5} + F_{3} + F_{36}^{t} + F_{36}^{n} = 0. \tag{8.22}$$

Bu deňlemede diňe F_{21}^{n} we F_{36}^{n} düzüjileriň ululyklary näbelli, olar bolsa saýlanyp alnan masştabda (8.22) deňleme boýunça gurulan güýçleriň planlary esasynda kesgitlenip bilner (*8.14-nji b surat*).

Erkin a nokatda F_2 güýji ab kesim görnüşde alyp goýýarys. Onuň b nokadyna bc kesim görnüşde F_4 güýji goýýarys, c nokada bolsa cd kesim görnüşde F_{47} güýji goýýarys. Soňra d nokada de kesim görnüşde F_5 güýji goýýarys. e nokada bolsa ef kesim görnüşde F_3 güýji goýýarys. a we f nokatlara öň kesgitlenen F_{21}^{t} we F_{36}^{t} güýçleri ag we fk kesimler görnüşde goýýarys we alnan g we k nokatlaryň üstünden F_{21}^{n} we F_{36}^{n} güýçlere parallel çyzyklary geçirýäris. Bu gönüçyzyklaryň kesişen nokadyny l bilen belleýäris. Güýçleriň planynda a we l nokatlary birleşdirip, μ_F masştabda la kesim görnüşde F_{21} doly gaýtawul güýji tapýarys. f we l nokatlary birleşdirip, şol masştabda fl kesim görnüşde F_{36} doly gaýtawul güýji alarys.

F_{25}, F_{35} we F_{45} gaýtawul güýçleri, 2, 3-nji we 4-nji zwenolaryň aýratyn alnan deňagramlyk şertini aňladýan deňlemelerden kesgitleýäris:

$$F_{21} + F_{2} + F_{25} = 0, \;\; F_{36} + F_{3} + F_{35} = 0, \;\; F_{47} + F_{4} + F_{45} = 0.$$

Bu deňlemeleriň birinjisinde F_{25} gaýtawul güýç näbelli, ikinji deňlemesinde F_{35} gaýtawul güýç näbelli, üçünji deňlemede – F_{45} gaýtawul güýç. Bu gaýtawul güýçler goşmaça güýçleriň üçburçlygyny gurmak bilen kesgitlenýär. Birinji gaýtawul güýç güýçleriň planynda b we l nokatlary birleşdirip kesgitlenýär; ikinji gaýtawul güýç l we e nokatlary birleşdirip kesgitlenýär, üçünji gaýtawul güýç – b we d nokatlary birleşdirip tapylýar. bl kesim μ_F masştabda F_{25} gaýtawul güýji aňladýar; şol masştabda le kesim – F_{35} gaýtawul güýji we bd kesim – F_{45} gaýtawul güýçdür. Dört zwenoly toparyň ähli kinematiki jübütlerinde gaýtawul güýçler şeýle kesgitlenýär.

Bu usul III synply islendik toparlarynda aýratyn nokatlaryny tapyp kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

9. Sargyt № 1284

8.4. Toparlaryň kinematiki jübütlerindäki sürtülme güýçleri hasaba alyp, gaýtawul güýçleriň kesgitlenişi

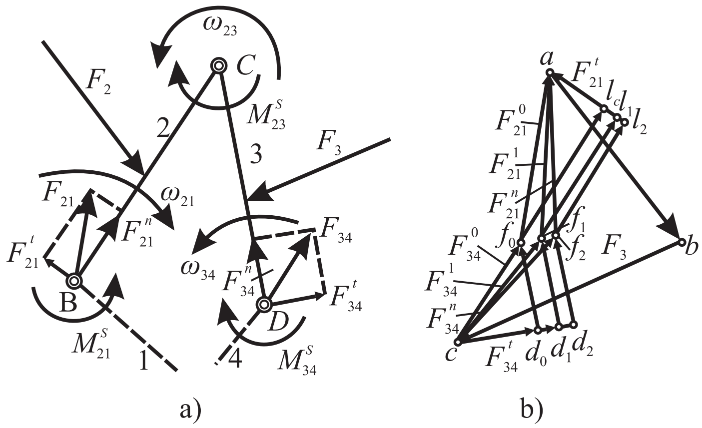
(8.3) kinematiki jübütlerde gaýtawul güýçler kesgitlenende, jübütlerde sürtülme güýji täsir etmeýär diýip hasaplanýar.

Indi bolsa kinematiki jübütlerde ýüze çykýan sürtülme güýçler hasaba alnanda hasaplamalaryň beýanynyň usulyna nähili uýtgetmeler girizilýändigine seredip geçeliň.

Mysal hökmünde II synply birinji görnüşli topara seredeliň (*8.15-nji a surat*), topar F_2 we F_3 güýçler bilen ýüklenen. Toparyň düzümine üç aýlanýan kinematiki jübütler girýär, bu jübütlerde sürtülme güýçlerinden $M_{21}^S, M_{32}^S, M_{23}^S$ we M_{34}^S momentler ýüze çykýar. Bu momentleriň ululyklary deňdir:

$$M_{21}^S = F_{21} f_B' r_B,\ \ M_{32}^S = -M_{23}^S = F_{32} f_C' r_C,\ \ M_{34}^S = F_{34} f_D' r_D, \qquad (8.23)$$

bu ýerde $F_{21}, F_{32}\, F_{34} - B, C, D$ jübütlerde gaýtawul güýçleriň ululyklary; f_B', f_C', f_D' – aýlanýan jübütlerde sürtülme koeffisiýentleri; r_B, $r_C\ r_D$ – bu jübütleriň silindrik elementleriniň radiuslary. Bu momentleiň ugurlary toparyň zwenolarynyň degişli hereketinde degişli bürç tizlikleriň ugurlaryna bagly. Eger 1-nji zweno degişlilikde 2-nji zwenonyň burç tizligi ω_{21} sagat dili boýunça ugrukdyrylan bolsa (*8.15-nji a surat*), onda 2-nji zwenonyň deňagramlygyna seredilende M_{21}^S moment sagat diliniň tersine ugrukdyrylmaly.



8.15-nji surat. Birinji görnüşli iki zwenoly topar:
a – güýçler we jübüt güýçleriň momentleri görkezilen kinematiki shema;
b – güýçleriň planlary

Eger 3-nji zweno degişlilikde 2-nji zwenonyň burç tizligi ω_{23} sagat diliniň aýlanýan ugrunyň tersine ugrukdyrylan bolsa, onda 2-nji zwenonyň deňagramlygyna seredilende M_{23}^S moment sagat diliniň ugruna bolmaly we ş.m. 3-nji zwenonyň deňagramlygyna seredilende M_{32}^{S} momentiň belgisi 2-nji zwenonyň deňagramlygyna seredilendäki momentiň tersine bolmaly, ýagny:

$$\omega_{23} = -\omega_{32} \text{ we } M_{32}^{S} = -M_{23}^{S}.$$

Topara täsir edýän güýçleriň wektorlarynyň deňagramlyk deňlemesi şeýle görnüşde bolar:

$$F_{21}^{n} + F_{21}^{t} + F_{2} + F_{3} + F_{34}^{t} + F_{34}^{n} = 0,$$

bu ýerde $F_{21}^{n}, F_{21}^{t}, F_{34}^{n}$ we F_{34}^{t} – degişlilikde F_{21} we F_{34} gaýtawul güýçleriň düzüjileri (*8.15-nji a surat*). F_{21}^{t} we F_{34}^{t} düzüjileriň ululyklaryny kesgitlemek üçin, 2-nji we 3-nji zwenolara täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemelerini düzýäris:

$$M_{C}\left(F_{21}^{t}\right) + M_{C}\left(F_{2}\right) + M_{21}^{S} + M_{23}^{S} = 0; \tag{8.24}$$

$$M_{C}\left(F_{34}^{t}\right) + M_{C}\left(F_{3}\right) + M_{34}^{S} + M_{32}^{S} = 0. \tag{8.25}$$

(8.24) we (8.25) deňlemelere sürtülme momentleri girýärler, olar bolsa (8.23) deňleme esasynda kesgitlenýär, emma F_{21}, F_{32} we F_{34} gaýtawul güýçler näbelli we kesgitlenmäge mätäç, emma (8.24) we (8.25) deňlemelerden F_{21}^{t} we F_{34}^{t} düzüjileri hem gös-göni kesgitlemek mümkin däl. Şeýlelikde, mesele alty deňagramlyk deňlemäni bilelikde çözmäge getirýär, bu deňlemeler umumy ýagdaýda 2 we 3 zwenolar üçin düzülýär. Şular ýaly deňlemeleriň bilelikde çözülmegi adatdan daşary uly hasaplamalara getirýär, şonuň üçin praktiki hasaplamalarda gowusy yzygiderli ýakynlaşma usulyny ulanmaly.

Aýdalyň ilkinji ýakynlaşmada, sürtülme güýçleriň momentleri nola deň diýeliň $M_{21}^{S} = 0$, $M_{32}^{S} = -M_{23}^{S} = 0$ we $M_{34}^{S} = 0$. Onda (8.23) seredilen ýagdaýa getirýär, ýagny kinematiki jübütlerde sürtülme güýji hasaba alman işlenýär. Şol ýerde görkezilen usul bilen F_{21}^{t} we F_{34}^{t} düzüjileri tapýarys we güýçleriň planlaryny gurýarys (*8.15-nji b surat*). Güýçleriň bu planynda *B*, *C* we *D* jübütlerde alnan gaýtawul güýçler degişlilikde $F_{21}^{\circ}, F_{32}^{\circ}$ we F_{34}° deňdir, 8.15-nji *b* suratda F_{32}° gaýtawul güýji, çyzgyny kän bir çylşyrymlaşdyrmazlyk üçin görkezilmedi. $F_{21}^{\circ}, F_{32}^{\circ}$ we F_{34}° gaýtawul güýçleriň bahalaryny (8.23) deňlemä goýup alarys:

$$\left(M_{21}^{S}\right) = F_{21}^{\circ} f_{B}' r_{B}\,,\ \left(M_{32}^{S}\right) = -\left(M_{23}^{S}\right) = F_{32}^{\circ} f_{C}' r_{C}\,,\ \left(M_{34}^{S}\right) = F_{34}^{\circ} f_{D}' r_{D}\,.$$

Sürtülme momentleriň bu täze bahalaryny (8.24) we (8.25) deňlemelere goýup, olardan $\left(F_{21}^{t}\right)'$ we $\left(F_{34}^{t}\right)'$ düzüjileriň ululyklarynyň täze bahalaryny kesgitläris. Bu düzüjileriň täzeden alnan ululyklary öňki sürtülme momentleri nola deň diýip kesgitlenenden tapawutly bolar. Şonuň üçin, eger birinji ýagdaýda F_{34}^{t} wektor güýç d_0 nokatda bolsa, onda ol käbir başga d_1 nokatda bolar. Edil şonuň ýaly F_{21}^{t} wektor güýjüniň başlanýan nokady e_0 däl-de e_1 nokatda. $\left(F_{21}^{n}\right)$ we $\left(F_{34}^{n}\right)$ düzüjileriň ugurlaryna göni çyzyk geçirmek bilen, F_{34}' wektor güýjüniň ahyryny taparys, F_{21}' wektor güýjüniň başlangyjy we F_{32}' wektor güýjüniň başlangyjy f_0 nokatda däl-de f_1 nokatda bolar. Şeýlelik bilen, güýçleriň planlarynyň ikinjisi gurulýar we onda B,C we D jübütlerde F_{21}', F_{32}' we F_{34}' gaýtawul güýçleriň täze bahalary kesgitlener.

Jübütlerde gaýtawul güýçleriň ululyklaryny has ýokary derejede anyklamak üçin geçirilen hasaplamany täzeden gaýtalamaly, onuň üçin F_{21}', F_{32}' we F_{34}' san bahalaryny ýene täzeden (8.23) deňlemä goýmaly we $\left(M_{21}^{S}\right)', \left(M_{32}^{S}\right)', \left(M_{23}^{S}\right)'$ we $\left(M_{34}^{S}\right)'$ sürtülme momentleriň täze bahalaryny kesgitlemeli we öz gezeginde bahalaryny (8.24) we (8.25) deňlemelere goýmaly. Şonda $\left(F_{21}\right)''$ we $\left(F_{34}\right)''$ düzüjileriň täze bahalary kesgitlener we güýçleriň täze planlary gurlar (*8.15-nji b surat*). Olarda biz degişlilikde d_2, e_2,f_2 we degişlilikde F_{21}'', F_{32}'' we F_{34}'' gaýtawul güýçleriň täze bahalaryny kesgitleýäris. Görkezilen usuly ýene-de dowam etmek bolar, emma tejribede, iki sapar ýakynlaşma esasynda hasaplanan güýçler ýeterlik diýip hasap edilýär.

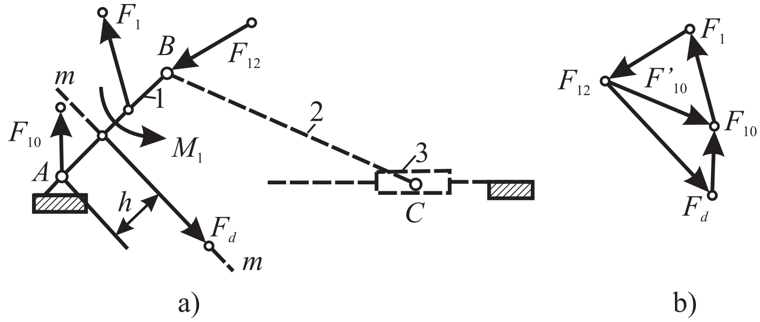
8.5. Mehanizmiň başlangyç zwenosynyň kinetostatiki taýdan hasaplanylyşy

Indi bolsa umumy ýagdaýda başlangyç zweno direg bilen birleşende kinematiki jübütde gaýtawul güýjüň kesgitlenilişine seredeliň. Bu zweno, adatça, direg bilen birleşip, V synply gönüçyzykly jübüt ýa-da V synply aýlanýan jübüti emele getirýär. Şonuň üçin bu iki ýagadýda hem aýratynlykda seredeliň. Erkin goýlan güýjüň, şol sanda inersiýa güýjüniň täsiri astynda başlangyç zweno umumy ýagdaýda deňagramlyk ýagdaýda bolmaýar, sebäbi gozganýan zwenolaryň sany bire deň V synply jübütleriň sany hem bire deň, deňagramlyk deňlemeleriň sany näbellileriň sanyndan bir san az, ýagny:

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

Deňagramlyk bolar ýaly başlangyç zweno goşmaça güýç ýa-da jübüt güýç goýmaly, olar bolsa ähli güýçleri deňagramlaşdyrmaly. Bu güýç we moment deňagramlaşdyryjy güýç we deňagramlaşdyryjy moment diýip atlandyrylýar. Şeýlelikde, başlangyç zweno goýlan we onuň berlen hereketiniň kanunyny üpjün edýän güýçleriň momentine deňagramlaşdyryjy moment diýilýär. Şuňa meňzeşlikde deňagramlaşdyryjy güýç kesgitlenýär. Deňagramlaşdyryjy güýji F_d we deňagramlaşdyryjy momenti M_d bilen bellemegi şertleşýäris. Maşynlarda haýsy güýçler we momentler deňagramlaşdyryjy bolýanlygyna seredip geçeliň.

Haýsy-da bolsa iş maşynyny herekete getirýän bir silindrli porşenli dwigateliň kriwoşipli-polzunly mehanizminiň güýç hasaplanysygy baradaky meselä seredeliň. Eger başlangyç zweno hökmünde dwigateliň 1 kriwoşip saýlanan bolsa (*8.16-njy a surat*), onda birleşdirilýän topar II synply 2 şatundan we 3 porşenden durýar. Bu toparyň güýç hasaplanysygynyň esasynda 2 şatunyň 1 kriwoşipe bolan F_{12} gaýtawul güýji kesgitlener.



8.16-njy surat. Kriwoşipli polzunly mehanizm:
a – başlangyç zweno goýlan güýçleriň shemasy; b – güýçleriň plany

Bulardan başga kriwoşip daşky ýükleriň we inersiýa güýjüniň netijeleýjisi bolýan F_1 güýjüň we M_1 jübüt güýjüň momentiniň täsiri astynda bolýar. Kriwoşip umumy ýagdaýda bu güýçleriň we F_{10} diregiň kriwoşipe gaýtawul güýjüniň täsiri astynda deňagramlykda bolmaz. Deňagramlyk üçin F_d deňagramlaşdyryjy güýji ýa-da M_d deňagramlaşdyryjy momenti goýmak zerur. Bu deňagramlaşdyryjy güýç we deňagramlaşdyryjy moment seredilýän dwigatelden herekete getirilýän iş maşynynyň reaktiw güýji ýa-da momenti bolýar. Eger dwigateliň tirsekli waly we iş maşynynyň esasy waly muftanyň kömegi bilen birleşdirilen bolsa, onda biz dwigateliň walyna goýlan deňagramlaşdyryjy moment hökmünde dwigateliň walyna goýlan iş maşynyň garşylyk güýjüniň reaktiw momentini alýarys. Eger dwigateliň tirsekli waly iş maşynyň esasy waly bilen dişli geçiriji bilen birleşen bolsa, onda biz deňagramlaşdyryjy güýç hökmünde, dwigateliň walyna oturdylan dişli tigre goýlan iş maşynyň reaktiw güýjüni kabul edýäris. Eger dişleriň biri-birine bagly ilişýän profillerinde ýüze çykýan sürtülmäni hasaba almasaň, bu reaktiw güýç dişli geşirijiniň biri-birine bagly dişleriniň profiline adat boýunça ugrukdyrylandyr. Şeýlelikde, deňagramlaşdyryjy güýjüň täsir edýän çyzygy maşyndan geçiriji mehanizmiň konstruksiýasyna bagly (dwigatelden reaktiw güýç ýa-da moment deňagramlaşdyryjy güýç ýa-da moment bolar) doly kesgitlenýär.

Goý, 1 başlangyç zweno (*8.16-njy a surat*) gozganmaýan zweno bilen A aýlanýan jübüte girýär we bu zweno 2 zwenodan 1 zweno täsir edýän F_{12} gaýtawul güýç berlen F_1 güýç we jübüt güýjüň M_1 moment täsir edýär diýeliň. Goý, F_d deňagramlaşdyryjy güýjüň täsir edýän göni çyzygy $m–m$ bolsun. Onda deňagramlaşdyryjy güýjüň momentiniň $M_A(F_d)$ ululygy A nokada degişlilikde zweno täsir edýän ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesi esasynda tapylýar:

$$M_A(F_d) + M_A(F_1) + M_A(F_{12}) + M_1 = 0,$$

bu ýerden $M_A(F_d)$ momentiň bahasyny tapýarys:

$$M_A(F_d) = -\left[M_A(F_1) + M_A(F_{12}) + M_1\right]. \tag{8.26}$$

Momentiň alamaty $M_A(F_1)$, $M_A(F_{12})$ we M_1 momentleriň ululyklary we alamatlary boýunça kesgitlener. Eger inersiýa güýçleri kesgitlenende başlangyç zweno deňölçegli hereket edýär diýip alnan bolsa, onda $M_d = M_A(F_d)$ deňagramlaşdyryjy moment bolar. Başlangyç zwenonyň deňölçegsiz hereketinde inersiýa güýjüniň momentini aýyrmaly ýa-da goşmaly. Deňagramlaşdyryjy güýjüň F_d ululygy şu şert esasynda kesgitlenýär:

$$F_d h = M_A(F_d),$$

bu ýerde h – F_d deňagramlaşdyryjy güýjüň belli egni (*8.16-njy a surat*).

Onda:

$$F_d = -\frac{\left[M_A(F_1) + M_A(F_{12}) + M_1\right]}{h}.$$

Indi F_d güýjüň ululygy we ugry bize belli, onda A kinematiki jübütde F_{10} gaýtawul güýji şü wektor deňleme esasynda kesgitläris:

$$F_d + F_{10} + F_1 + F_{12} = 0. \tag{8.27}$$

Bu deňlemäniň grafiki çözülişi 8.16-njy b suratda görkezilendir. Eger deňagramlaşdyryjy güýç bolman, jübüt güýç bolsa, onda M_d deňagramlaşdyryjy güýjüň momenti (8.26) deňlemä meňzeş deňleme esasynda kesgitlener:

$$M_d = -\left[M_A(F_1) + M_A(F_{12}) + M_1\right].$$

A kinematiki jübütde F_{10} gaýtawul güýç şu wektor deňleme boýunça kesgitlener:

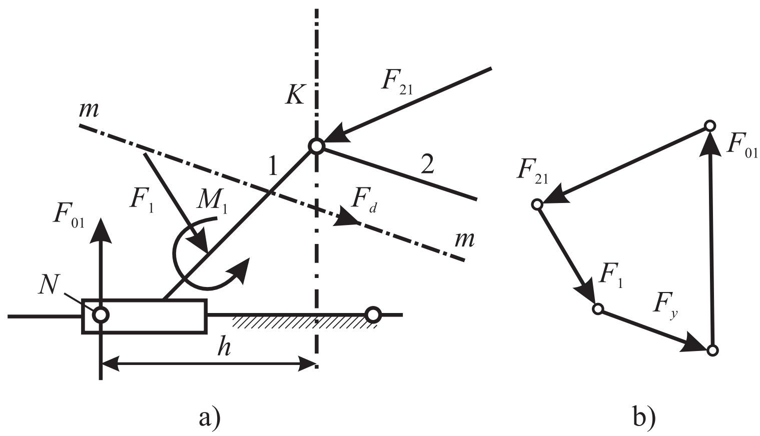
$$F_1 + F_{12} + F_{10} = 0. \tag{8.28}$$

F_{10} gaýtawul güýji kesgitlemek üçin güýçleriň planynda 8.16-nji b suratda görkezilendir.

Indi bolsa deňölçegli hereket edýän 1 başlangyç zweno gozganmaýan zweno bilen gönüçyzykly N jübüte girýär diýeliň (*8.17-nji a surat*).

Onda N jübütde F_{10} gaýtawul güýç bu gönüçyzykly jübütiň hereket edýän okuna perpendikulýar ugrukdyrylandyr. Goý, F_d deňagramlaşdyryjy güýç m–m çyzyk boýunça ugrukdyrylan bolsun.

F_d güýjüň ululygy (8.27) deňleme esasynda kesgitlener. Bu deňlemede F_1 we F_{12} güýçler berlen, F_{10} we F_d güýçler ugurlary boýunça belli. Bu deňlemäniň grafiki çözlüşi 8.17-nji b suratda görkezilendir.



8.17-nji surat. Başlangyç zweno direg bilen gönüçyzykly jübüte girýär:
a – güýçler görkezilen kinematiki shema; b – güýçleriň plany.

F_{10} gaýtawul güýjüň goýlan N nokadyny kesgitlemek üçin F_{12} güýjüň k nokadyna degişlilikde ähli güýçleriň momentleriniň deňlemesini düzmeli:

$$M_K\left(F_d\right)+M_K\left(F_1\right)+M_K\left(F_{10}\right)+M_1=0. \tag{8.29}$$

Bu deňlemede F_{10} güýjüň diňe h egni näbelli, ol bolsa şeýle kesgitlener:

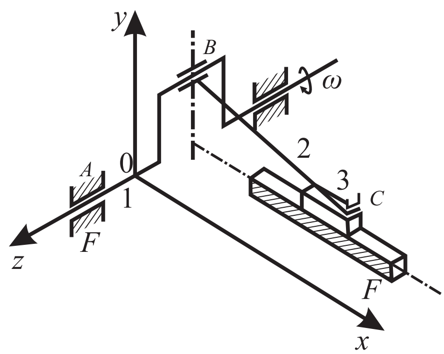
$$h=-\frac{\left[M_K\left(F_1\right)+M_K\left(F_d\right)+M_1\right]}{F_{10}}. \tag{8.30}$$

h kesimiň ugruny haýsy tarapa almalydygy M_1, $M_K(F_d)$ we $M_K(F_1)$ momentleriň ululygyna we alamatlaryna bagly.

8.6. Düýp esasda oturdylan mehanizmiň zwenolarynyň massalaryny deňagramlaşdyrmak

Mehanizmiň zwenolary hereketlenende kinematiki jübütlerde zwenolaryň inersiya gýüçlerinden goşmaça dinamiki güýçler ýüze çykýar. Her bir mehanizmde bolsa gozganmaýan zweno bar, direg (daýanç) – onda mehanizmiň diregi hem belli bir kesgitli dinamiki ýüki synamaklygy üstüne alýar. Mehanizm hereketlenende ýüze çykýan goşmaça dinamiki ýükler kinematiki jübütlerde goşmaça sürtülme güýçleriň mehanizmin oturdylan esasyna we zwenolaryň sarsmagyna mehanizmiň aýratyn zwenolarynda goşmaça dartgynlygyň, sesiň we beýleki zatlaryň ýüze çykmagynyň sebäpleriniň ceşmesi bolýar.

Şonuň üçin-de mehanizm taslananda mehanizmiň zwenolarynyň massalarynyň oňaýly nusgasyny saýlamak meselesine, gorkezilen dinamiki ýükleri doly ýada kem-käsleýin azaltmaklygy üpjün etmeklik zerur. Zwenolaryň inersiýa güýçlerini deňagramlaşdyrmak meselesini 2 sany özbaşdak meseleä bölmek bolýar. Mehanizmin oturdylan esasyna dinamiki ýükleri deňagramlaşdyrmak meselesini we kinematiki jübütlerdäki dinamiki ýükleri deňagramlaşdyrmak baradaky mesele.



8.18-nji surat. Düýp esasda kriwoşipli-polzunly mehanizm

Mehanizmiň oturdylan esasyny we direginde dinamiki ýükleri deňagramlaşdyrmak baradaky meselä seredeliň. Belli bolşy ýaly, gaty jisime goýlan islendik güýçleriň toplumy erkin saylanan nokada goýlan 1 güýje getirilýär, bu netileleýji güýjüň wektory berlen güýçler toplumynyň esasy wektoryna deňdir, jübüt güýjüň momenti bolsa saýlanyp getirilen merkeze degişlilikde berlen güýçleriň toplumynyň esasy momentine deňdir. Goý, *A*, *B*, *C* mehanizm düýp esasda oturdylan diýeliň (*8.18-nji surata seredeliň*).

Mehanizmiň ähli zwenolaryna inersiýa güýçlerini bir güýje we jübüt güýçlere getireliň. Munuň üçin mehanizmiň getirilen merkezi diýip koordinata oklaryň başlangyç *O* – nokadyny saýlaýarys.

Şeýle nokady 1-nji zwenonyň aýlanýan okunyň ugrunda almaklyk amatly. *O* – nokatda bir-birine perpendikulýar bolan *OX*, *OY*, *OZ* oklaryny geçirýäris. Mehanizmiň ähli inersiýa güýçlerini esasy wektorynyň koordinat oklaryna proýeksiýalary şeýle aňladylýar:

$$F_{ix} = -\sum m_i \ddot{x}_i; \quad F_{iy} = -\sum m_i \ddot{y}_i; \quad F_{iz} = -\sum m_i \ddot{z}_i. \qquad (8.31)$$

Bu deňlemelerde m_i – zwenonyň, *i* – nokadyň massasy, $\ddot{x}_i, \ddot{y}_i$ we $\ddot{z}_i$ – *i* nokadyň *x*, *y*, *z* – oklaryna tizlenmeleriň proýeksiýalary, degişli koordinatlaryň wagta baglylykda 2-nji proýizwodnysyna deňdir.

Ähli inersiýa güýçleriniň esasy momenti *x*, *y* we *z* oklaryna proýeksiýasy, koordinatanyň başlangyjyna degişlilikde şeýle aňladylyar:

$$M_{ix} = \sum\left(y_i F_{izi} - z_i F_{iyi}\right) = -\sum m_i\left(y_i \ddot{z}_i - z_i \ddot{y}_i\right);$$

$$M_{iy} = \sum\left(z_i F_{ix_i} - x_i F_{iz_i}\right) = -\sum m_i (z_i \ddot{x}_i - x_i \ddot{z}_i); \qquad (8.32)$$

$$M_{iz} = \sum\left(x_i F_{iz_i} - y_i F_{ix_i}\right) = -\sum m_i\left(x_i \ddot{y}_i - y_i \ddot{x}_i\right).$$

Tekiz mehanizimler üçin oklaryň birini mysal *OZ* – oky tekizlige perpendikulýar edip almaklyk amatly. Mehanizimiň hereketi şoňa parallellikde geçýär (*8.18-nji syratda*) *OX* we *OY* oklary şu tekizlikde ýerleşendir. Onda tekiz mehanizimler üçin alarys:

$$F_{iz} = 0 \qquad (8.33)$$

we inersiýa güýçleriniň esasy wektoryny we esasy momentiniň koordinat oklaryna proýeksiýalary kesgitleýän deňlemeler şeýle görnüşi alarlar:

$$F_{ix} = -\sum m_i \ddot{x}_i; \; F_{iy} = -\sum m_i \ddot{y}_i; \; F_{iz} = 0;$$

$$M_{ix} = -\sum\left(z_i F_{ix_i}\right) = \sum m_i z_i \ddot{y}_i;$$

$$M_{iy} = -\sum\left(z_i F_{ix_i}\right) = \sum m_i z_i \ddot{x}_i; \qquad (8.34)$$

$$M_{iz} = -\sum m_i (x_i \ddot{y}_i - y_i \ddot{x}_i).$$

Tekiz mehanizmiň inersiýa güýçlerini doly deňagramlaşdyrmak üçin koordinata oklaryna degişlilikde inersiýa güýçleriniň netijeleýji we inersiýa güýçleriň esasy momentiniň proýeksiýalary nola deň bolmaly. Ýagny şeýle şerti kanagatlandyrmaly:

$$F_{ix} = 0; F_{iy} = 0; M_{ix} = 0; M_{iy} = 0.$$

Tekiz mehanizimiň zwenolarynyň inersiýa güýçlerini deňagramlaşdyrmak üçin şeýle şertleriň ýerine ýetirilişi zerur:

$$x_s = \text{const};\ y_s = \text{const};\ I_{xz} = \text{const};\ I_{yz} = \text{const}, \qquad (8.35)$$

bu ýerde x_s, y_s – agyrlyk merkeziniň koordinatalary; I_{xz}, we I_{yz} – *XZ* we *YZ* – tekizliklere otnositillikde merkezden daşlaşýan inersiýa momentleri.

(8.35) – deňlemeleri seljermek bilen şu netijä gelýäris, tekiz mehanizmiň zwenolarynyň inersiýa güýçleriniň wektorlaryny deňagramlaşdyrmak üçin, mehanizmiň ähli zwenolarynyň umumy massalarynyň merkezi gozganman galar ýaly bu mehanizmiň massasyny zerur we ýeterlik saýlamaly. *X* we *Y* oklaryna degişlilikde esasy momentleri deňagramlaşdyrmak üçin mehanizmiň massasyny zerur we ýeterlik saýlamaly, ýagny *XZ* we *YZ* tekizliklerine degişlilikde mehanizmiň ähli zwenolarynyň massalarnyň merkezden daşlaşýan momentleri hemişelik bolmaly.

8.7. Mehanizmiň zwenolarynyň inersiýa güýçlerini deňagramlaşdyrmak

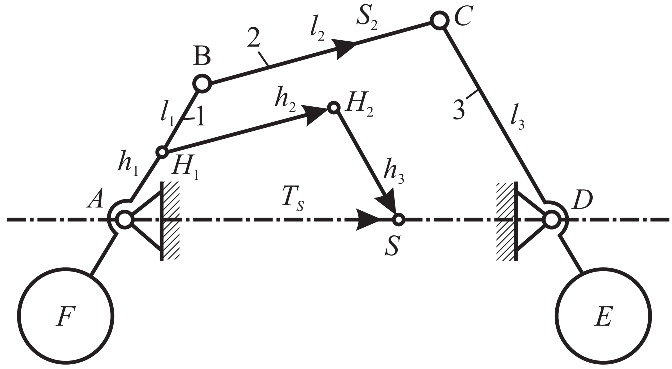
Tekiz mehanizmiň diňe inersiýa güýjüniň wektoryny (inersiýa güýçleriň momentlerini) deňagramlaşdyrmak üçin, ýokarda görkezilişi ýaly, mehanizmiň ähli zwenolarynyň *S* massa merkezi gozganman durmaly we şu şert kanagatlanmaly:

$$x_S = \text{const we } y_S = \text{const}. \tag{8.36}$$

(8.36) iki deňlik bir wektor deňlik bilen çalşylýar:

$$r_S = \text{const}. \tag{8.37}$$

Bu ýerde r_S – mehanizmiň zwenolarynyň umumy massa merkezini kesgitleýän wektor.



8.19-njy surat. 1 we 3 zwenolarda garşylyk agramly dört zwenoly şarnirli mehanizmiň shemasy

Mehanizmiň zwenolarynyň massa merkeziniň r_S radius wektory zwenolaryň aýratyn nokatlarynyň esasy wektorlaryny aňladýan kesimleriň geometriki jemi bilen kesgitlenýär. Dört zwenoly *ABCD* şarnirli mehanizm üçin (*8.19-njy surat*), eger 1, 2-nji we 3-nji zwenolaryň massalary degişlilikde m_1, m_2 we m_3, bu zwenolaryň *A*, *B* we *C* nokatlardan S_1, S_2 we S_3 agyrlyk merkezlerine çenli aralygy – a_1, a_2 we a_3, zwenolaryň uzynlyklaryny l_1, l_2 we l_3 bilen bellesek, onda onuň zwenolarynyň radius-wektory r_S esasy nokatlarynyň wektorlarynyň geometriki jemine deňdir:

$$r_S = h_1 + h_2 + h_3,$$

bu ýerde h_1, h_2 we h_3 wektorlaryň moduly, bular bolsa şu deňlemeler esasynda kesgitlenýär:

$$h_1 = \frac{m_1 a_1 + (m_2 + m_3) l_1}{m}; \tag{8.38}$$

$$h_2 = \frac{m_2 a_2 + m_3 l_2}{m}; \tag{8.39}$$

$$h_3 = \frac{m_3 a_3}{m}. \tag{8.40}$$

(8.37) şerti kanagatlandyrmak üçin aşakdaky şertiň ýerine ýetmegi zerur:

$$h_1 + h_2 + h_3 = \text{const.} \tag{8.41}$$

Eger h_1, h_2 we h_3 wektorlaryň moduly saýlanyp, olardan gurlan wektorlaryň köpburçlygy, zwenolaryň oklaryndan emele gelen *ABCD* köpbürçlyga meňzeş bolsa (*8.19-njy surat*) bu şert kanagatlandyrylýar:

h_1, h_2 we h_3 modullar şeýle saýlananda şu gatnaşyk kanagatlanmaly:

$$\frac{h_1}{l_1} = \frac{h_2}{l_2} = \frac{h_3}{l_3}. \tag{8.42}$$

h_1, h_2 we h_3 wektorlaryň degişlilikde *AB*, *BC* we *CD* taraplaryna paralleldikleri sebäpli, olaryň wektor köpburçlygy AH_1H_2S esasy dört zwenoly şarnirli mehanizme meňzeş bolýar, diýmek, AH_1H_2S figuranyň ähli nokatlary berlen mehanizmiň zwenolarynyň degişli nokatlarynyň çyzýan yzy ýaly yz galdyrýarlar. Bu ýagdaýda *ABCD* mehanizmiň zwenolarynyň umumy *S* massa merkezi *AD* çyzykda ýatýar we mehanizmiň hereket edýän wagty gozganman durýar, şunlukda, (8.36) şert ýa-da (8.37) kanagatlandyrylýar. Diýmek, şarnirli dörtzwenoly mehanizmiň zwenolarynyň inersiýa güýçleri deňagramlaşdyrylýar.

Mehanizm *A* we *D* nokatlaryň aralygynda *AD* çyzykda ondan saga ýa-da çepe *S* nokadyň islendik ýagdaýynda deňagramlaşýar.

(8.42) gatnaşyga (8.38), (8.39) we (8.40) deňlemeler esasynda h_1, h_2 we h_3 bahalaryny goýup, berlen l_1, l_2 we l_3 ölçegler üçin indiki iki deňlemäni alarys:

$$m_1 a_1 = -m_2 \frac{l_1}{l_2}(l_2 - a_2); \tag{8.43}$$

$$m_2 a_2 = -m_3 \frac{l_3}{l_2}(l_3 - a_3). \tag{8.44}$$

Bu deňlemeler esasynda mehanizmiň massalaryny saýlamak baradaky meselede ony deňagramlaşdyrmagyň şertini kanagatlandyrýan köp sanly çözlüşleri almak bolýar, sebäbi bu iki deňlemä m_1, m_2, m_3, a_1, a_2 we a_3 alty näbelliler girýär, olardan dördüsi erkin saýlanandyr.

(8.43) we (8.44) deňlemeler esasynda gelip çykýar, eger a_1, a_2 we a_3 aralyklardan biri berilse we şarnirleriň aralygyndaky zwenolaryň okunda ýerleşse, galan iki aralyk agyrlyk merkezine çenli massa merkeziniň ýerleşişi şarnirden daşda bolsa garşylyk ýük (goşmaça massa) goýulýar. Şeýlelikde, dörtzwenoly şarnirli mehanizmiň zwenolarynyň netijeleýji inersiýa güýjüni deňagramlaşdyrmak onuň iki zwenosyna garşylyk agram goýmak arkaly amala aşyrylýar.

8.8. Aýlanýan zwenolary deňagramlaşdyrmak

Deňagramlaşdyrmak baradaky meseleler çözülende zwenolaryň inersiýa güýçlerinden mehanizmiň kinematiki jübütlerinde dinamiki ýükler umumy görnüşde örän uly praktiki kynçylyklary döredýär. Bu meseläniň çözlüşi zwenolaryň massalarynyň ýaýraýşyna baglylykda dinamiki ýükler doly ýa-da kem-käsleýin aýrylýar. Şunlukda, massalar saýlananda zwenolaryň görnüşleri we agramlary köp halatlarda az konstruksiýaly bolýar, şunuň ýaly usul esasanda aýlanýan şaýlarda haçan-da olaryň massalary has uly we uly burç tizlikli bolanda ulanylýar. Bular dwigatelleriň çalt işleýän wallaryny, sentrifuganyň barabanlaryny, turbinalary, dinamo-maşynlaryň ýakorlaryny, giroskoplaryň rotorlaryny we ş.m. goşmak bolar. Bu şaýlaryň käbiriniň aýlaw ýygylygy 20000...50000 aýl/min we ondan hem ýokary bolýar. Bu iş şertlerinde adatdan daşary wajyp sorag şaýlaryň aýlanýan oklaryna degişlilikde massalaryň örän dogry paýlanylmagydyr.

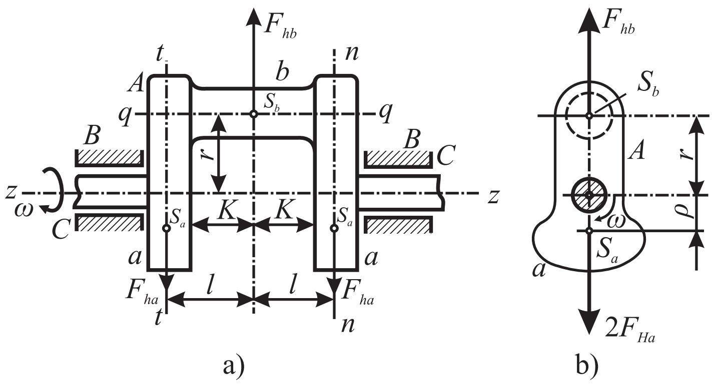
Mysal üçin $z–z$ gozganmaýan okuň töwereginde ω burç tizlik bilen aýlanýan A tirsekli waly alalyň (*8.20-nji surat*). Walyň B podşipnigi onuň massasyndan döreýän inersiýa güýçden goşmaça dinamiki basyşy synamasyn, walyň material nokadynyň massasyndan inersiýa güýjüniň esasy wektorynyň nola deňdiginiň şerti zerur we ýeterlik bolýar. Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, bu şert elmydama kanagatlandyrylýar, ýagny zwenonyň aýlanýan massa merkezi onuň aýlanýan okunda ýatanda, şeýle hem bu ok onuň esasy inersiýa oky bolmaly. Eger walyň konstruksiýasy şu şerti kanagatlandyrýan bolsa (*8.20-nji surat*), onda wal deňagramlaşan hasaplanýar. Deňagramlaşýan şaýyň degişli görnüşini saýlamak arkaly taslanýar. Mysal üçin, tirsekli wal (*8.20-nji surat*) figuraly bölegi a, korennoý boýunjygy c we şatunyň boýunjygy b. Walyň bu elementlerini aýratynlykda seretmek bilen, biz korennoý boýunjygyň material nokadynyň massa merkezi walyň $z–z$ aýlaw okunda ýerleşýändigini görýäris. Şatun boýunjygyň S_b massa merkeziniň nokady boýunjykdan a deň aralykda onuň $q–q$ geometrik okunda ýerleşýär. b boýunjygyň merkezden daşlaşýan F_{ab} inersiýa güýji ululygy boýunça deňdir:

$$F_{ib} = m_b \omega^2 r. \tag{8.45}$$

Bu ýerde m_b – şatun boýunjygyň umumy massasy.

F_{ab} inersiýa güýji degişli m_a şekanyň massasyny we olaryň massa merkezlerini saýlamak arkaly doly deňagramlaşdyryp bolar (*8.20-nji surat*). Onuň üçin S_a massa merkezi S nokada degişlilikde simmetriki ýerleşen $t–t$ we $n–n$ tekizliklerde walyň $z–z$ okundan ρ aralykda ýatmaly we şu şert ýerine ýetmeli:

$$2m_a\rho = m_b r. \tag{8.46}$$



8.20-nji surat. Dwigateliň tirsekli waly

Deňligiň sag we çep taraplaryny ω^2 köpeldip alarys:

$$2m_a\omega^2\rho = m_b\omega^2 r$$

ýa-da, (8.45) deňlemäniň esasynda:

$$2F_{ia} = F_{ib}.$$

Şeýlelikde, a çeki $2F_{ia}$ inersiýa güýjüniň jemi şatun boýunjygyň F_{ib} inersiýa güýjüni doly deňagramlaşdyrýar. S nokada degişlilikde ähli inersiýa güýçleriň momentleriniň deňlemelerinden gelip çykýar, walyň massasynyň ähli inersiýa güýçleriniň momentleri hem nola deňdir. Şeýlelikde, biz esasy inersiýa güýçleriň wektorlarynyň şeýle hem walyň inersiýa güýçlerinden esasy momentiň wektorlarynyň nola deňdigini bilýäris, ýagny bu wal doly deňagramlaşýar.

Şunlukda, wal ε burç tizlenme bilen aýlananda we zwenonyň massasy sebäpli ýüze çykýan inersiýa güýjünden dinamiki ýük nola deň bolar.

Has umumy ýagdaýda aýlanýan zwenonyň deňagramlaşdyrylyşyna seredeliň. Haçan-da wal bilen aýlanýan A podşipnige berlen m_1, m_2 we m_3 massalar jebis birleşdirilendir (*8.21-nji surat*). m_1, m_2 we m_3 massa merkezleri $z–z$ aýlaw okuna perpendikulýar T_1, T_2 we T_3 üç tekizlikde ρ_1, ρ_2 we ρ_3 aralyklarda ýerleşendir. Bu massalardan ýüze çykýan merkezden daşlaşýan inersiýa güýçleriň ululyklary deňdirler:

$$F_{i1} = m_1\omega^2\rho_1; \quad F_{i2} = m_2\omega^2\rho_2; \quad F_{i3} = m_3\omega^2\rho_3.$$

Bu güýçleriň hemmesini $z–z$ oka perpendikulýar, walyň erkin 0 nokadynyň üsti bilen geçirilen haýsy-da bolsa T_0 tekizlige geçireliň. Onuň üçin 0 nokatda her gezek iki deň ýöne garşylykly ugrukdyrylan güýçleri, ululygy boýunça F_{i_1}, F_{i_2} we F_{i_3} deň bolan güýçleri goýýarys. Soňra ähli geçirilen güýçleri goşýarys, onuň üçin güýçleriň köpburçlygyny gurýarys (*8.21-nji b surat*). F_{i_1}, F_{i_2} we F_{i_3} güýçleriň ululyklary m massanyň degişli ρ aralyklaryna köpeldilmegine proporsionaldyr. Onda F_{i1}, F_{i2} we F_{i3} güýçleriň ornuna, güýçleriň köpburçlygynda aýlaw oka degişlilikde massanyň statiki momenti bolýan $m_1\rho_1$, $m_2\rho_2$ we $m_3\rho_3$ köpeltmegi alyp goýarys. $m\rho$ wektor deňagramlaşdyryjy güýjüň ululygyny kesgitleýär:

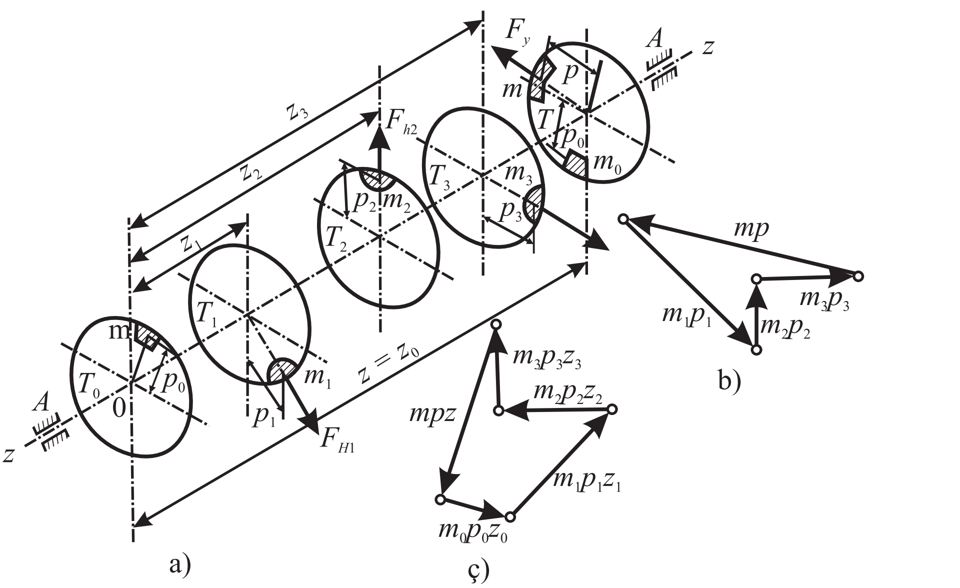
$$F_d = m\omega^2\rho. \tag{8.47}$$

m deňagramlaşdyryjy massa walyň boýuna islendik nokatda we onuň aýlaw okundan islendik ρ aralykda goýlup bilner, $m\rho$ wektoryň ugry boýunça (*8.21-nji a surat*). 8.21-nji *b* suratda gurulan güýçleriň planynda $m\rho$ köpeldilmegi şol şerti kanagatlandyrmaly.

Seredilýän mysalda m massa merkezi T tekizlikde ýerleşendir.

Garşylyk agram goýmak bilen (8.47) deňlemäni kanagatlandyrýan, *A* podşipnikde netijeleýji inersiýa güýçden statiki ýük deňagramlaşdyrylýar. Dinamiki ýükleri deňagramlaşdyrmak üçin inersiýa güýçleriň momentlerinden 0 nokada degişlilikde bu güýçlerden M_{i1}, M_{i2} we M_{i3} momentlerini tapýarys.

$$M_{i1} = m_1\omega^2\rho_1 z_1,\ M_{i2} = m_2\omega^2\rho_2 z_2,\ M_{i3} = m_3\omega^2\rho_3 z_3, M_i = m\omega^2\rho z. \tag{8.48}$$



8.21-nji surat. Walda jebis goýlan birnäçe massalaryň deňagramlaşdyrylyşy

Momentiň köpburçlygyny gurýarys (*8.21-nji ç surat*). Ähli jübütleriň täsir edýän tekizligi *z–z* okda bolanlygy sebäpli, momentleriň köpburçlygy *z–z* oka perpendikulýar tekizlikde ýatýar. Momentleriň wektorlarynyň ugurlaryny şeýle saýlaýarys: wektoryň boýuna seredeniňde bolup geçýän aýlawyň sagat diliniň tersinedigini (8.48) deňlikde ω^2 ululygy hemişelik köpeldiji görnüşde girýär, onda netijeleýji momentiň ululygyny bu köpeldijini girizmezden hasaplap bolýar.

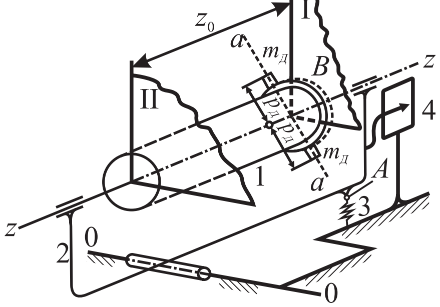
Momentleriň köpburçlygynda ýapýan wektor $m_0 \rho_0 z_0$ (*8.21-nji ç surat*), momentiň ululygyny we deňagramlaşdyryjy jübütiň täsir edýän tekizligini kesgitlär. Bu momenti M_0 bilen belleýäris. Onda alarys:

$$M_{i0} = m_0 \omega^2 \rho_0 z_0. \tag{8.49}$$

Deňagramlaşdyryjy jübütiň täsir edýän tekizligi köpburçlygy ýapýan $m_0 \rho_0 z_0$ wektor kesgitlär. Ol bu wektora perpendikulýar we *z–z* okda bolýar. m_0 deňagramlaşdyryjy massa bu tekizlikde walyň islendik nokadynda goýlup bilner. Deňagramlaşdyryjy m_0 massaly ýüki *z–z* ok boýunça T_0 we T tekizlikde goýmaly. Onda berlen z_0 aralykda bu tekizlikleriň aralygynda m_0 massany saýlap, *z–z* okdan ρ_0 massa merkezi (8.49) deňlik kanagatlanar ýaly goýmak zerur. Bu massalaryň birini onuň massa merkezi T_0 tekizlikde ýatar ýaly, beýleki massa bolsa onuň massa merkezi T_0 tekizlikde ýatar ýaly goýulýar. Bu jübütiň momentiniň belgisi momentleriň köpburçlygynyň wektorlaryny ýapýan wektor kesgitlär (*8.21-nji ç surat*).

Şeýlelikde, iki garşylyk agram biri m_0 massaly we beýlekisi m massaly goýmak arkaly wala berkidilen ähli massalaryň doly deňagramlaşmagyna ýetilýär. Bir m_0 massaly garşylyk agram T tekizlikde goýlan (*8.21-nji a surat*). m massaly garşylyk agram ýaly, onda m_0 we m massalary bir massa bilen çalyşmak bolar. Diýmek, walda berkidilen massalary doly deňagramlaşdyrmak massa merkezleri iki erkin saýlanyp alnan tekizlikde ýatýan iki garşylykly agram goýmak arkaly amala aşyrylýar.

Doly deňagramlaşmaklyk dogry taslanan şaý, käbir deňagramlaşmazlygy döreýän materialyň birmeňzeş bolmaýandygy sebäpli, ýasalanda işlenilişiniň nätakyklygy we ş.m. ýagdaýlarda ýüze çykýar. Şonuň üçin çalt aýlanýan şaýlar ýörite maşynlarda tejribede barlanylýar, olara balansirowka edýän maşynlar diýilýär. Balansirowka edýän maşynlaryň konstruksiýasy örän dürlüdir, emma olaryň köpüsi synalýan şaýlary maýyşgak esasa goýmak bilen (maýyşgak esasdaky podşipnikler, pružinler we ş.m.) we bu şaýlara rezonans ýagdaýa ýakyn tizlik berilýär. Onda deňagramlaşmadyk güýçler uly amplitudaly yrgyldylary döredýär. Olar bolsa ýörite abzallaryň

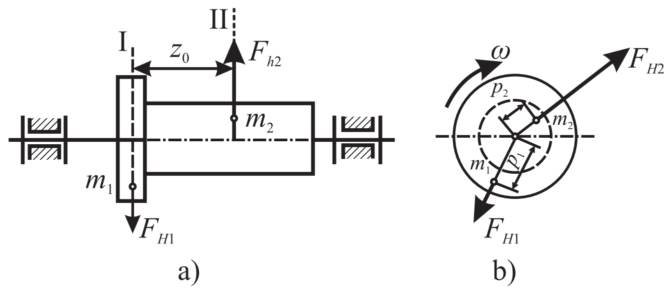


8.22-nji surat. Şitikowyň balansirleýän stanogynyň shemasy

kömegi bilen görkezilýär, deňagramlaşdyryjy massalary goýmaly ýerini kesgitleýär ýa-da artykmaç materialyň aýrylmalydygyny görkezýär.

W.W.Şitikowyň stanogynda 8.22-nji suratda görkezilen shema boýunça dinamiki balansirowkanyň geçirilişine seredeliň. Balansirowka edilýän 1 şaý, seredilýän ýagdaýda *B* flanesli rotor lýulkanyň 2 podşipnigine goýulýar. Ol bolsa 0–0 okuň töwereginde erkin aýlanýar. Lýulkanyň ikinji ujy *A* nokatda pružin bilen berkidilen, ol bolsa waly *z–z* ok boýunça gorizontal ýagdaýyny sazlamaga mümkinçilik berýär. 0–0 okuň töwereginde lýulkanyň yrgyldysynyň amplitudasyny *D* indikator ýazýar.

Ýokarda görkezilişi ýaly, ähli aýlanýan jisimiň aýratyn bölekleriniň merkezden daşlaşýan güýçleri erkin saýlanyp alnan iki tekizlikde I we II ýatýan iki güýjüniň F_{i1} we F_{i2} ekwiwalent sistema getirilýär (*8.23-nji surat*).



8.23-nji surat. Balansirlenýän rotoryň shemasy

Bu güýçleri I we II tekizlikde aýlaw okundan ρ_1 we ρ_2 aralykda ýerleşýän m_1 we m_2 iki nokatlaryň massalaryndan ýüze çykýan merkezden daşlaşýan güýçler hökmünde seretmek bolar. F_{i1} we F_{i2} güýçler ululygy boýunça deňdirler:

$$F_{i1} = m_1\omega^2\rho_1, \qquad F_{i2} = m_2\omega^2\rho_2.$$

Ýokarda görkezilişi ýaly, ω^2 burç tizlik aňlatmada güýçler üçin hemişelik köpeldiji bolup girýär. Şonuň üçin F_{i1} we F_{i2} güýçleriň ululygyny $m_1\rho_1$ we $m_2\rho_2$ statiki momentiň massalary diýip häsiýetlendirmek bolar.

Eger I we II tekizliklerde m_{I} we m_{II} massalar r_{I} we r_{II} aralyklarda goýulsa, şu şert kanagatlandyrmaly:

$$m_1\rho_1 = -m_{\mathrm{I}}r_{\mathrm{I}} \tag{8.50}$$

we

$$m_2\rho_2 = -m_{\mathrm{II}}r_{\mathrm{II}}, \tag{8.51}$$

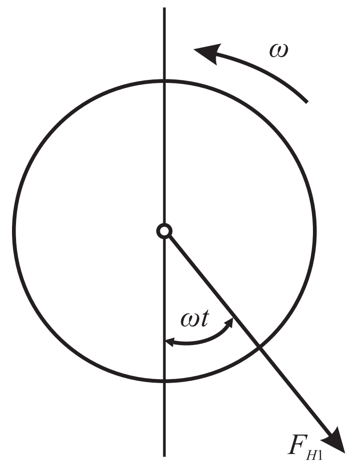
onda rotoryň inersiýa güýji doly deňagramlaşýar.

Eger rotor bilen rama deňagramlykdan çykarylsa (mysal üçin, podşipnikleriň birine basyp, soňra ony goýberseň), onda rama yrgyldyly herekete geler, ol bolsa howanyň garşylygy we 0–0 okda sürtülme sebäpli peseler we ýok bolar.

Bu yrgyldynyň ýygylygy k şu stanok üçin hemişelik; ol 0-0 oka degişlilikde yrgyldaýan sistemanyň inersiýa momentine bagly, pružiniň maýyşgaklygyna we az derejede howanyň garşylygyna bagly we yrgyldy sistemanyň hususy (erkin) ýygylygy diýilýär.

Rotory podşipniklerde şeýle goýýarys, II tekizlik (ol umumy aýdanyňda, erkin saýlanyp bilner) 0–0 aýlaw okunyň üstünden geçmeli. Rotory çalt aýlamaga başlaýarys. Merkezden daşlaşýan güýjüň F_{i1} dik düzüjisi $F_{i1}\cdot\cos\omega t$ deňdir (*8.24-nji surat*). F_{i2} güýç II tekizlikde 0–0 okda ýerleşýär, şonuň üçin şu okuň töwereginde onuň momenti nola deňdir.

Garmoniki kanun boýunça üýtgeýän M_{i1} moment rotoryň burç tizligine deň ω ýygylykly lýulkanyň kesilmeýän yrgyldysyny mejbury ýagdaýda döredýär.



8.24-nji surat. Rotoryň deňagramlaşmadyk massasynyň merkezden daşlaşýan güýjüniň wektory

Rotoryň ω burç tizliginiň peselmegi bilen M_i momentiň üýtgeýän ýygylygy hem aşaklaýar. Haçan-da bu ýygylyk sistemanyň k yrgyldynyň ýygylygyna ýakynlaşanda rezonans ýagdaý ýüze çykýar; bu wagtda lýulkanyň yrgyldysynyň amplitudasy ýokary ýagdaýda bolar. Yrgyldynyň nazaryýetin rezonansda mejbury yrgyldynyň A amplitudasy gyjyndyryjy faktoryň amplitudasyna proporsional diýip hasap edilýär:

$$A = \mu F_{i1}, \tag{8.52}$$

bu ýerde μ – proporsionallyk koeffisiýenti, stanogyň hemişelik parametrlerine bagly.

Eger berlen stanok üçin μ hemişeligi kesgitlense, onda D indikatoryň görkezişi bilen A amplituda boýunça, F_{i1} güýjüň ululygyny kesgitläp bolar, ol bolsa I tekizlige degişli disbalansy kesgitleýär. Bu bolsa $m_I r_I$ gözlenýän bahasyny kesgitlemäge mümkinçilik berer.

Şeýlelikde, synagy gaýtalamak bilen, emma rotory II tekizligiň ýerine I tekizlige goýup, $m_{II} r_{II}$ bahasyny kesgitlemek bolar.

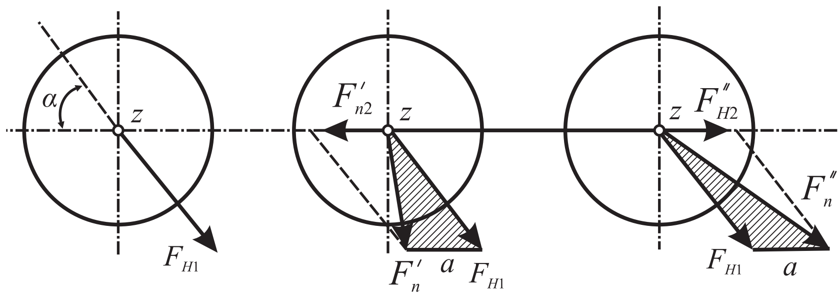
F_{i1} we F_{i2} güýçleriň täsir edýän çyzygy, ýagny I we II tekizliklerde ugruny gözlemek we m_I we m_{II} nokatly massalary garşylykly agramy nirä berkitmelidigi baradaky sorag hem çözülmän galýar.

μ proporsionallyk koeffisiýenti kesgitlemek üçin we m_I, m_{II} massalary goýmak üçin balansirlenýän şaýa emeli m_g goşmaça massa berkidilýär, ol şaýyň aýlanýan okundan käbir ρ_g aralykda durýar.

Adatça, şolar ýaly massanyň ýerine boljak m_g massaly plastilin alynýar we bu bölek balansirlenýän üste berkidilýär. 8.22-nji suratda bu massanyň bölegi B flanesiň üstüne goýlandyr. m_g massa korrektirleýji massa diýilýär.

Rotory çalt aýlanýança işledýäris, soňra herekete getiriji mehanizmi aýyrýarys, rotory peselýän režime goýýarys we D indikatora maksimal amplitudanyň ululygyny ölçeýäris. Bu amplituda A_1(mm) deň bolsun. Korrektirleýji $m_g$massany (*8.22-nji* *surat*) I tekizlikde flanesiň daşky radiusyna deň *z–z* okdan ρ_g aralykda goýýarys we täzeden indikatorda iň uly amplitudany ölçeýäris. Goý, bu amplituda A_2 deň bolsun. Soňunda bolsa korrektirleýji massany m_g şol bir ρ_g aralykda *B* flansyň merkezinden, emma ondan başga tarapda we rotory aýlap başlaýarys we ýene-de iň uly amplitudany ölçeýäris. Goý, bu amplituda A_3 deňdir. A_1, A_2 we A_3 alnan amplitudalar boýunça (*8.52 deňleme seret*) $m_I r_I$ ululygyny kesgitleýäris. 8.25-nji *a* suratda güýjüň birinji synagda döredýän mejbury yrgyldy görkezilendir. 8.25-nji *b* suratda ikinji synagda korrektirleýji m_g massa goýlanda alnan F_i' güýç görkezilendir. Alarys:

$$F_i' = F_{i1} + F_{i2} = \overline{m_1 r_1} + \overline{m_g \rho_g}.$$



8.25-nji surat. Rotor deňagramlaşdyrylanda korrektirleýji massanyň ýagdaýyny kesgitlemäge degişli: *a – birinji synagda merkezden daşlaşýan güýçleriň wektorynyň ýagdaýy; b – enjama korrektirleýji massa goýlanda soňky täsir edýän güýçleriň diagrammasy; ç – korrektirleýji massaly üçünji synagda täsir edýän güýçleriň diagrammasy*

8.25-nji ç suratda üçünji synagda korrektirleýji massa goýlanda F_i'' güýç alnandyr. Alarys:

$$F_i'' = F_{i1} + F_{i2} = F_{i1} - F_{i2}' = \overline{m_1 r_1} + \overline{m_g \rho_g}$$

ýöne:

$$F_{i2} = -F_{i2}'.$$

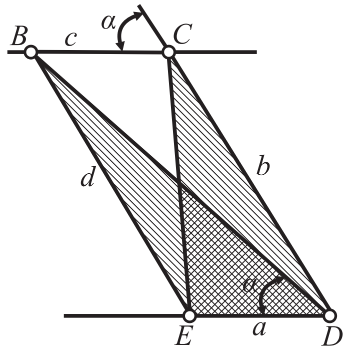
8.25-nji *b* we *ç* suratlarda ştrihlenen üçburçlyklary birleşdirýäris, olaryň deň taraplary *a* gabat gelmeli (*8.26-njy surat*). Onda *BCDE* parallelogram alýarys, olaryň *a*, *b*, *c* we *d* we diagonaly şu şert bilen bagly:

$$2c^2 + 2d^2 = (BD)^2 + (CE)^2$$

ýa-da:

$$c = \sqrt{\frac{(BD)^2 + (CE)^2 - 2d^2}{2}}. \qquad (8.53)$$

(8.52) deňlemä esaslanyp, $A_1 = \mu F_{i1}$, $A_2 = \mu F_i'$, $A_3 = \mu F_i''$ we $A_g = \mu F_{i2}' = \mu F_{i2}''$, bu ýerde μ – umumy proporsionallyk koeffisiýenti, stanogyň parametrlerine bagly, onda (8.53) deňlikdäkini çalşyp, c, d, BD we CE kesimleri olaryň bahalary bilen, alarys:



8.26-njy surat. Rotor deňagramlaşdyrylanda garşylyk agramyň statiki momentini kesgitlemek üçin diagramma

$$c = F_{i2}' = F_{i2}'' = \frac{A_g}{\mu}, \quad d = F_{i1} = \frac{A_1}{\mu},$$

$$(BD) = F_i'' = \frac{A_2}{\mu}, \quad (CE) = F_i' = \frac{A_2}{\mu},$$

alýarys:

$$A_g = \sqrt{\frac{A_3^2 + A_2^2 - 2A_1^2}{2}}. \qquad (8.54)$$

A_1, A_2 we A_3 amplitudalary biz ölçäp bilýäris, onda (8.54) deňleme esasynda A_g amplitudany kesgitläp bolar. (8.52) şerte esaslanyp:

$$A_g = \mu F_{i2}' = \mu F_{i2}'' = \mu m_g \rho_g.$$

Soňky deňlikden μ proporsionallyk koeffisiýenti kesgitleýäris:

$$\mu = \frac{A_g}{m_g \cdot \rho_g}.$$

Statiki momentiň $m_I r_I$ ululygy garşylykly agram deňagramlaşdyrylanda şu deňleme esasynda tapylýar:

$$m_I r_I = F_{i1} = \frac{A_1}{A_g} m_g \rho_g. \qquad (8.55)$$

α burç (*8.25-nji a surat*) garşylykly agramyň m_1 goýlan ugry bilen we korrektirleýji massanyň m_g goýlan ugrunyň aralygyndaky burçy, 8.26-nji surata esaslanyp şu gatnaşykdan kesgitlenýär:

$$\alpha_{1,2} = \arccos \frac{A_1^2 + A_g^2 - A_3^2}{2A_1 A_g}. \qquad (8.56)$$

Soňky gatnaşykdan α burçuň iki bahasy alynýar.

Şol ýa-da beýleki bahalaryň ýaramlylygy stanokda synagyň netijesinde çözülýär: garşylyk agram m_I saýlanyp alnan r_I aralykda α_1 burç bilen goýulýar, soňra α_2 burç bilen; ýaramly diýip hasap edilýär. Enjamda sandyrama ýok wagty, ýagny iň çykgynsyz, ýagny rezonans burç tizlikli ýagdaýda.

I we II tekizlikleriň ýerlerini çalyşyp, ýagny rotory stanokda goýup, deňagramlaşdyryjy garşylyk onuň okuny başlangyç ýagdaýa degişlilikde 180° öwürmeli, agramy, m_{II} II tekizlige goýmak bilen. $m_{II}r_{II}$ statiki momenti tapýarys. Praktikada deňagramlaşmagy aýyrmak üçin şaýyň massasynyň bölegini aýyrmak bilen ýa-da goşmaça massa berkitmek bilen amala aşyrmaly.

Şeýlelikde, I we II tekizliklerde garşylyk agramlary m_I we m_I goýmak bilen biz rotoryň inersiýa güýjüni doly deňagramlaşdyrýarys.

9-njy BAP

MAŞYNLARYŇ WE MEHANIZMLERIŇ HEREKETLERINIŇ SELJERILIŞI

9.1. Mehanizmleriň hereketleriniň düzgüni

Mehanizimiň hereketiniň başlanýan pursatyndan onuň hereketiniň gutarýan pursady wagt aralygyna mehanizimiň hereketiniň doly wagty diýilýär. Çünki mehanizmiň ähli zwenolarynyň hereketleriniň kanuny başlangyç zwenonyň hereketiniň kanuny bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin mehanizmiň hereketiniň doly wagty diýip başlangyç zwenonyň hereketiniň başlanýan pursatyndan onuň hereketiniň gutarýan pursatyna çenli wagt aralygyna aýdylýar.

Mehanizimiň hereketiniň doly wagty 3 bölümden durýar:

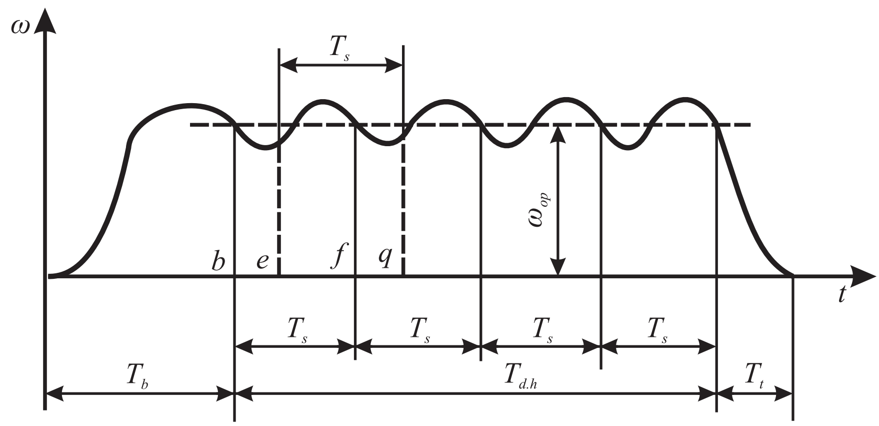
1. Bat alma wagty.
2. Durnukly hereketiň wagty.
3. Togtama wagty.

Başlangyç zwenonyň tizliginiň nol bahasyndan onuň orta bahasyna çenli ösmegine mehanizmiň başlangyç zwenosynyň adaty iş tizligine gabat gelmegini häsiýetlendirilmegine bat alma wagty diýilýär.

Durnuklly hereketiň wagtynda mehanizmiň başlangyç zwenosynyň tizligi orta tizligiň bahasynyň töwereginde yrgyldaýar. Bu bolsa mehanizmiň başlangyç zwenosynyň adaty iş tizligine gabat gelýär. Şeýlelikde, ol periodiki gaýtalanýar. Başlangyç zwenonyň tizliginiň orta bahasyndan mehanizmiň adaty iş tizliginiň onuň nol bahasyna çenli peselmegini häsiýetlendirýän wagta togtama wagty diýilýär.

9.1-nji suratda $\omega = \omega(t)$ burç tizliginiň başlangyç zwenonyň wagtyna baglylygy görkezilendir. Mehanizmiň hereketiniň doly wagty T, bat alma wagtyndan T_b, durnukly hereketiň wagtyndan $T_{d.h}$ hem-de togtama wagtyndan T_t durýar:

$$T = T_b + T_{d.h} + T_t. \qquad (9.1)$$



9.1-nji surat. Mehanizimiň tahogrammasy

9.1-nji suratdan görnüşi ýaly, tizligiň $\omega = \omega(t)$ egri çyzygyň durnukly hereketiniň wagtynyň içinde orta tizligiň bahasynyň töwereginde başlangyç zwenonyň adaty iş tizligine laýyklykda birnäçe periodiki yrgyldylar bar. Wagt aralygynda onuň üýtgemegi bilen başlangyç zwenonyň ýagdaýynyň tizliginiň we tizlenmesiniň ilkinji bahasyna gaýdyp gelmegine mehanizmiň başlangyç zwenosynyň hereketiniň sikli diýip aýdylýar.

9.1-nji suratda mehanizmiň durnukly hereketiniň wagty 4 siklden durýar. Her bir sikl hereketiň T_s wagty degişlidir. Şeýlelikde, umumy durnukly hereketiň wagty:

$$T_{d.h} = kT_s, \qquad (9.2)$$

bu ýerde k – sikllerin sany; T_s – sikliň wagty.

Batlanma wagtynyň togtama wagtynyň hem-de her bir sikliň wagtynyň dowamlylygy mehanizme täsir edýän güýçleriň aralygyndaky gatnaşyklaryň massalarynyň kinematiki parametrlerine bagly. Eger-de bu gatnaşyklar belli we ýeterlik bolsa, onda elmydama batlanma wagty, togtama wagty we hereketiň 1 sikliniň wagtyny kesgitlemek bolar.

Köp maşynlarda olaryň mehanizmleriniň hereketleri anyk serhetleşen bolmaýandygyny belläp geçmek zerurdyr.

Mysal. Ýük göteriji kranlarda, ekskowatorlarda we beýleki transport maşynlarynda mehanizmiň hereketiniň doly wagty bat alma we togtama wagtyndan durmagy-da mümkin. Bu mehanizmlerde hereketiň durnukly wagty bolmaýar. Mehanizmiň periodiki hereketi diýip mehanizmiň belli bir wagtyň dowamynda hereketiň hemişelik siklini jemlemegine aýdylýar. Her bir sikliň dowamynda hereket şol bir kanun esasynda bolup geçýär. Mysal üçin, 9.1-nji suratda mehanizm durnukly hereketiň wagtynda periodiki hereketine eýedir. Mehanizmiň periodiki hereketi şeýle hem T_s wagt aralygynda islendik süýşmäniň başlangyjy wagt aralygynda hemişelik bolýar. Sikl eýerdiji walyň bir ýa-da birnäçe aýlaw sanyna deň bolup biler.

Mysal. Kriwoşipli polzunly nasos mehanizmiň eýerdiji waly sikl wagtynda 1 gezek aýlanyar. Dört taktly içinden ýandyrylýan dwigatelde eýerdiji wal 2 aýlaw edýär. Birnäçe mehanizmlerde 1 sikl eýerdiji walyň içindede köp aýlaw sanyna deň bolup biler.

Dinamiki nukdaýnazardan batlanma, durnukly herekete we togtama häsiýetlendirilişine seredip geçeliň. Munuň üçin kinetik energiýanyň deňlemesini ýazýarys.

Bu deňlemäni mehanizme degişli şeýle ýazmak bolar:

$$A_h - A_g = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}, \tag{9.3}$$

bu ýerde A_h – ähli hereketlendiriji güýçleriň işi; A_g – ähli garşylyk güýçleriň işi; $\sum \frac{m\upsilon^2}{2}$ – mehanizimiň kinetik energiýasy; υ_0 we υ – seredilýän aralykdaky başlangyç we ahyrky tizlikleri.

Mehanizmiň batlanma wagty üçin zerur şert:

$$\upsilon_0 > \upsilon,$$

şeýle bolsa şu wagt aralygynda herketlendiriji güýjüň işi, garşylyk güýçleriň işlerinden uly bolmaly:

$$A_h > A_g.$$

Durnukly hereketiň wagtynda her bir siklde υ – tizligiň ululygy υ_0 – tizlige deň bolar:

$$\upsilon = \upsilon_0.$$

Şeýlelikde, her bir siklde hereketlendiriji güýjüň işi garşylyk güýjüň işine deňdir:

$$A_h = A_g.$$

Togtama wagt üçin:

$$\upsilon < \upsilon_0 \qquad A_h < A_g.$$

Görkezilenlere degişlilikde (9.3) deňlemäniň sag tarapy yzygiderlilikde şu bahalara eýe bolar:

$$\sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2} > 0. \tag{9.4}$$

Durnukly hereketiň wagtynda sikliň doly sany üçin:

$$\sum\frac{m\upsilon^2}{2}-\sum\frac{m\upsilon_0^2}{2}=0. \qquad (9.5)$$

Togtama wagt üçin:

$$\sum\frac{m\upsilon^2}{2}-\sum\frac{m\upsilon_0^2}{2}<0. \qquad (9.6)$$

Alnan deňlemelerden görnüşine görä, mehanizmiň bat alma wagty, onuň kinetik energiýasynyň artmagy bolup geçýär. Durnukly hereketiň wagtynda bu artma mehanizmiň hereketiniň bütin siklinde nola deňdir. Mehanizmiň togtama wagtynda, onuň batlanma wagtynda toplanan ähli kinetik energiyany bermeklik bolup geçýär.

9.2. Mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti

Aýratyn durnukly herekete seredeliň. Bu hereketiň her bir sikli üçin mehanizmiň hereketiniň artmagy nola deňdir:

$$\sum\frac{m\upsilon^2}{2}-\sum\frac{m\upsilon_0^2}{2}=0.$$

Diýmek, durnukly hereket üçin deňleme şu görnüşi alar:

$$A_h=A_{p.g}+A_z\,. \qquad (9.7)$$

Şeýlelikde, durnukly hereketiň doly hereketiň siklinde ähli hereketlendiriji güýçleriň işi ähli önümçilik garşylyk güýçleriniň absolýut ululygynyň ähli hereketlendiriji güýçleriň işine bolan gatnaşygyna mehanizmleriň P.T.K.-sy – diýilýär:

$$\eta=\frac{A_{p.g}}{A_h}. \qquad (9.8)$$

Ýa-da (9.7) deňlemäni göz öňüne almak bilen:

$$A_{p.g}=A_h-A_z$$

Onda (9.8) deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$\eta=\frac{A_h-A_z}{A_h}=1-\frac{A_z}{A_h}. \qquad (9.9)$$

Önümçilik däl garşylyk güýçleriniň işiniň hereketlendiriji güýçleriniň işine bolan gatnaşygyny – ψ belgileýäris:

$$\psi=\frac{A_z}{A_h}.$$

ψ mehanizmde ýitgi koeffisiýentidir. Şuňa laýyklykda (9.9) – deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

$$\eta = 1 - \psi. \qquad (9.10)$$

Mehanizmde önümçilik däl garşylyk güýçleri näçe az boldugyça, şonça-da ýitgi koeffisiýenti azdyr we mehaniki P.T.K. köpdür.

(9.9) deňleme esasynda her bir mehanizmde garşylyk güýçleriniň işi A_z belgi bilen berilýär. Mysal üçin: sürtülme güýçleri praktiki nola deň bolmaýar, onda mehaniki P.T.K. hemişe 1-den kiçidir we şu aralykda üýtgäp biler:

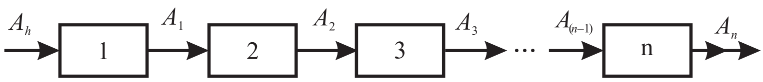
$$0 \le \eta < 1. \qquad (9.11)$$

(9.10) deňleme görnüşine görä ýitgi koeffisiýenti şu ölçegde üýtgäp biler:

$$0 \le \psi < 1.$$

9.3. Mehanizmler yzygider birikdirilende mehaniki P.T.K.

Goý, n – mehanizm özaralarynda yzygider birikdirilen bolsun:



9.2-nji surat. Mehanizmleriň yzygider birikdirilişi

1 mehanizimi A_h – hereketlendiriji güýçleriň işinden herekete getirilýär. Her bir geçen mehanizimiň peýdaly işi her bir geljekki mehanizm üçin hereketlendiriji güýçleriň işi bolup durýar. Degişlilikde her bir mehanizmiň p.t.k. – $\eta_1, \eta_2, \eta_3, ..., \eta_n$ bilen belläp şeýle ýazmak bolar:

$$A_1 = A_h \cdot \eta_1$$
$$A_2 = A_1 \cdot \eta_2 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$$
$$A_3 = A_2 \cdot \eta_3 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$
$$A_4 = A_3 \cdot \eta_4 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$
$$A_5 = A_4 \cdot \eta_5 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5$$
$$A_6 = A_5 \cdot \eta_6 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6$$
$$A_7 = A_6 \cdot \eta_7 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7$$
$$A_8 = A_7 \cdot \eta_8 = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \cdot \eta_8$$

....

$$A_n = A_{(n-1)} \cdot \eta_n = A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot ... \cdot \eta_n$$

$$\eta = \frac{A_{p.g}}{A_h};$$

$$\eta = \frac{A_{p.g}}{A_h} = \frac{A_h \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot ... \eta_n}{A_h};$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot ... \cdot \eta_n. \qquad (9.12)$$

Şeýlelikde, yzygider birikdirilen mehanizmleriň umumy P.T.K. berlen agregaty düzýän her bir aýratyn mehanizmleriň mehaniki P.T.K. köpeldilmegine deňdir. Mundan gelip çykýar: özara birikdirilen mehanizmleriň sany näçe köp boldugyça, ähli zynjyryň P.T.K. şonça-da pes bolýar.

Şonuň üçin her bir maşyn mümkin boldugyça ýönekeý we köp bolmadyk mehanizmlerden durmaly. Eger-de maşynyň düzümüne diňe bir pes P.T.K. mehanizm girýän bolsa, onda umumy P.T.K. ýene ondan hem pes bolar. Şeýlelikde, ýokary P.T.K. mehanizmleriň zynjyryna pes P.T.K. bir mehanizmi hem goşmaly däl.

9.4. Mehanizmler parallel birikdirilende mehaniki P.T.K.

Ähli mehanizmler A_h – işi döredýän dwigatelden herekete getirilýär. Her bir mehanizmi herekete getirmek üçin her bir mehanizmiň peýdaly işlerini $A'_1, A'_2, ..., A'_n$ bilen belleýäris. Onda agregatyň P.T.K.-sy:

$$A'_1 = A_1 \cdot \eta_1; \; \eta = \frac{A_{p.g}}{A_h} = \frac{A'_1 + A'_2 + ... + A'_n}{A_1 + A_2 + ... + A_n},$$

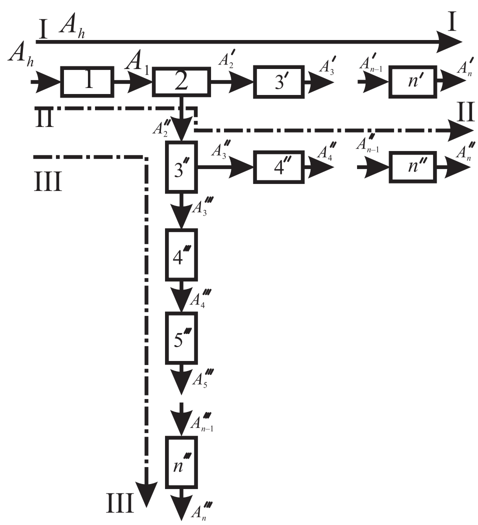
$$A'_2 = A_2 \cdot \eta_2,$$

$$\eta = \frac{A_1 \cdot \eta_1 + A_2 \cdot \eta_2 + ... + A_n \cdot \eta_n}{A_1 + A_2 + ... + A_n}, \qquad (9.13)$$

eger $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = ... = A_n$ bolanda:

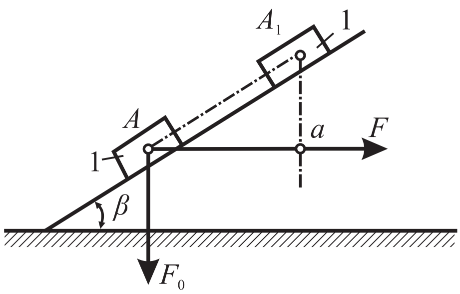
$$A'_n = A_n \cdot \eta_n; \; \eta = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + ... + \eta_n}{n}. \qquad (9.14)$$

Mehanizmler parallel birikdirilende berlen agregatyň mehanizmleriniň P.T.K. olaryň ortaça P.T.K. bahasyna deňdir. Bu ýerden mehanizmler parallel birikdirilende agregatyň p.t.k. diňe bir aýratyn mehanizmleriň P.T.K. bagly bolman, eýsem aýratyn mehanizmler boýunça harçlanýan işleriň ýaýramagynyň häsiýetine-de baglydygy gelip çykýar.



9.3-nji surat. Mehanizmleriň yzygider we parallel birikdirilişi

9.5. Ýapgyt tekizligiň we hyrly mehanizmleriň P.T.K.



9.4-nji surat. Ýapgyt tekizlikde peýdaly täsir koeffisiýenti kesgitlemäge degişli

Hyrly mehanizmleriň P.T.K., takmynan, ýapgyt tekizlik üçin P.T.K. görnüşi boýunça kesgutlenýär:

F_0 – polzunyň agramy, önümçilik garşylyk güýji; F – kese hereketlendiriji güýç; F – A_1a polzuny A_1a beýiklige göterip durýar.

$A_{p.g} = F_0(A_1a)$ hereketlendiriji F – güýjüň işi deňdir:

$$A_h = F(Aa).$$

Diýmek P.T.K. deň bolar:

$$\eta = \frac{A_{p.g}}{A_h} = \frac{F_0(A_1a)}{F(Aa)} = \frac{F_0}{F}\text{tg}\beta.$$

Hyrly jübütde F we F_0 güýçler şeýle şert bilen baglydyr:

$$F = F_0\text{tg}(\beta + \varphi).$$

Bu ýerde φ sürtülme burçy:

$$\eta = \frac{F_0\text{tg}\beta}{F_0\text{tg}(\beta+\varphi)} = \frac{\text{tg}\beta}{\text{tg}(\beta+\varphi)}. \tag{9.15}$$

F_0 güýjüň täsiri astynda ýük ýokardan aşak düşende P.T.K. deňdir:

$$\eta = \frac{\text{tg}(\beta-\varphi)}{\text{tg}\beta}; \tag{9.16}$$

$$F = F_0\text{tg}(\beta - \varphi).$$

Ýapgyt tekizligiň P.T.K. ýük ýokary göterilende $\beta = 0$:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \varphi,$$

bu ýerde β – şu burçdan uly bolsa otrisatel bolýar:

$$\beta > \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

Soňky ýagdaý polzunyň hereketi F güýjüň täsiri bilen kesgitlenýär.

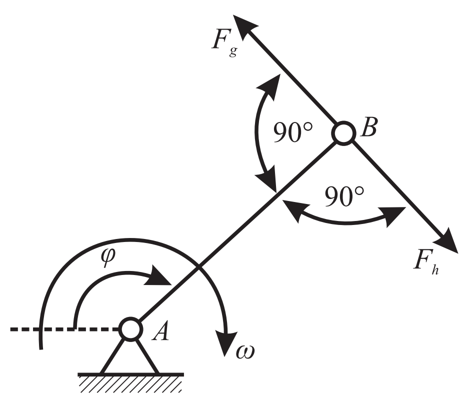
10-njy BAP

MEHANIZMLERDE GETIRILEN GÜÝÇLER WE MASSALAR

10.1. Getirilen güýçler we momentler

Berlen güýçleriň täsiri astynda mehanizmiň hereketi barlananda zwenolara täsir edýän ähli güýçleri mehanizmiň bir zwenosyna goýlan güýç bilen çalyşmak amatly. Şunlukda, mümkin bolan süýşmede iş ýa-da çalşylan güýjüň döredýän kuwwaty degişlilikde barlanýan mehanizmiň zwenolaryna goýlan güýçleriň döredýän işleriniň ýa-da kuwwatynyň jemine deň bolmaly. Bu şerti kanagatlandyrýan çalşylan güýçlere getirilen güýçler diýilýär. Mehanizmiň getirilen güýçleriň goýlan zwenosyna getirilen zweno diýilýär, getirilen güýjüň goýlan nokadyna bolsa getirilen nokat diýilýär. Eger seredilýän mehanizmiň erkinlik derejesi bire deň bolsa, onda onuň hereketini öwrenmek üçin onuň zwenolarynyň biriniň hereketiniň kanunyny bilmek ýeterlikdir (umumylaşdyrylan koordinatyň kanunynyň üýtgemegi).

Adatça, getirilen zweno diýip barlag geçirilýän mehanizmiň umumylaşdyrylan koordinaty berlen zweno, saýlanylýar. Onda mehanizmiň ähli zwenolar toparlaryna seretmän, diňe bir zweno mysal üçin *AB* kriwoşip (*10.1-njy surat*) onuň umumylaşdyrylan koordinaty φ burçy bolar. Bu zwenonyň *B* nokadyna kriwoşipiň okuna perpendikulýar iki getirilen güýçler goýulýar: F_h – getirilen hereketlendiriji güýç we F_g – getirilen garşylyk güýji. Şunlukda, F_h güýç ähli hereketlendiriji güýjüniň işine deň bolan A_h işi ýerine ýetirmeli ol bolsa öz gezeginde ähli hereketlendiriji güýçleriň kuwwatyna deň bolan P_h kuwwaty döretmeli, F_g – güýç ähli garşylyk güýçleriň işine deň bolan A_g işi öndürmeli ýa-da başgaça ähli garşylyk güýçleriň işine deň bolan P_g kuwwaty döretmeli.



10.1-nji surat. Getirilen zwenonyň shemasy

Getirilen güýji ýa-da momenti kesgitlemek üçin şu deňlik ulanylyp bilner:

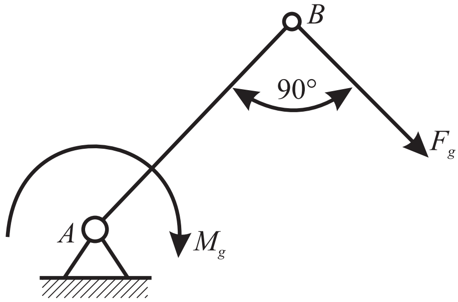
$$P_g = \sum_{1}^{k} P_i \,. \tag{10.1}$$

Bu deňlikde P_g – getirilen güýjüň ýa-da momentiň döredýän kuwwaty, P_i – zweno goýlan güýjüň ýa-da momentiň döredýän kuwwaty.

P_g kuwwat şeýle hasaplanýar:

$$P_g = F_g \cdot \upsilon_B = M_g \cdot \omega, \qquad (10.2)$$

bu ýerde F_g – getirilen zwenonyň B nokadyna goýlan getirilen güýjüniň ululygy (*10.2-nji surat*), bu güýç getirilen hereketlendiriji F_h güýç ýa-da getirilen garşylyk güýji F_g hem bolup biler (*10.1-njy surat*); υ_B – getirilen B nokadyň tizligi, M_g – jübüt güýjüň getirilen momenti, ol hem hereketlendiriji güýjüň getirilen momenti M_h ýa-da garşylyk güýjüň getirilen momenti M_g bolup biler, ω – getirilen zwenonyň burç tizligi.



10.2-nji surat. Getirilen zwenoda getirilen güýç we jübüt güýjüň getirilen momenti görkezilen shemasy

Getirilen güýjüň F_g we getirilen momentiň M_g ululyklaryny şu görnüşde aňlatmak bolar:

$$F_g = \frac{\sum_1^k M_i}{\upsilon_B}; \qquad (10.3)$$

$$M_g = \frac{\sum_1^k M_i}{\omega}. \qquad (10.4)$$

$\sum_1^k M_i$ jemi açyk ýazgyn görnüşde şeýle aňladylar:

$$\sum_1^k M_i = \sum_1^k F_i \upsilon_i \cos\alpha_i + \sum_1^k M_i \omega_i, \qquad (10.5)$$

bu ýerde: F_i we M_i – i zweno goýlan güýç we moment; υ_i – F_i güýjüň goýlan nokadynyň tizligi; ω_i – i zwenonyň burç tizligi we α_i – F_i güýç bilen υ_i tizligiň wektorynyň aralygyndaky burç.

$\sum_1^k M_i$ aňlatma üçin (10.5) deňleme esasynda (10.3) we (10.4) deňlemelere goýup, alarys:

$$F_g = \sum_1^k F_i \frac{\upsilon_i \cos\alpha_i}{\upsilon_B} + \sum_1^k M_i \frac{\omega_i}{\upsilon_B}; \qquad (10.6)$$

$$M_g = \sum_1^k F_i \frac{\upsilon_i \cos\alpha_i}{\omega} + \sum_1^k M_i \frac{\omega_i}{\omega}. \qquad (10.7)$$

(10.6) we (10.7) deňlemelere görä mehanizmiň her bir ýagdaýy üçin onuň zwenolaryna goýlan güýçler we momentler belli bolsa, onda getirilen güýç F_g we getirilen moment M_g diňe tizlikleriň gatnaşyklaryna bagly bolar. Ol bolsa mehanizmiň kinematikasynda görkezilişi ýaly, onuň zwenolarynyň diňe ýagdaýlaryna bagly bolar, ýagny umumylaşdyrylan koordinata baglydyr.

(10.6) we (10.7) deňlemelere görä F_i güýçler we M_i momentler berlende getirilen F_g güýji we M_g momenti kesgitlemek üçin uly kynçylyk döretmeýär. Barlanýan mehanizmiň her bir ýagdaýy üçin tizlikleriň planlary gurulýar we (10.6) we (10.7) deňlemelerden tizlikleriň gatnaşyklary tizlikleriň planlaryndan degişli kesimleriň üsti bilen aňladylar.

10.2. Žukowskiniň ryçagy

Eger-de mümkin bolan süýşme düzgüninden güýç hasaplanyşygy we mehanizmleri dinamiki barlamagy mydama geçirip bolýar. Eger haýsy-da bolsa mehaniki sistema güýçler täsir edende, onda berlen güýçleriň üstüne inersiýa güýji hem goşsak we ähli sistema berlen ýagdaýy üçin mümkin bolan süýşme berilse, onda ujypsyz işiň hataryny alarys. Olaryň jemi nola deň bolmaly. Bu analitiki şeýle edilýär: sistema $F_1, F_2, F_3 ..., F_n$ güýçler goýlan diýeliň, şu güýçleriň hataryna inersiýa güýçleri hem girýär. Berlen pursatda süýşme $F_1, F_2, F_3 ..., F_n$ güýçleriň ugruna mümkin bolan proýeksiýalary $\delta_{P_1}, \delta_{P_2}, \delta_{P_3}, ..., \delta_{P_n}$ üsti bilen belläliň. Onda mümkin bolan süýşme düzgüniniň esasynda mehanizmiň zwenolarynyň käbirine goýlan ähli baglanyşyk boşamadyk, onda şuny ýazarys:

$$\sum_1^n F_i \delta_{P_i} = 0, \qquad (10.8)$$

ýa-da:

$$F_1\delta_{P_1} + F_2\delta_{P_2} + F_3\delta_{P_3} + ... + F_n\delta_{P_n} = 0. \qquad (10.9)$$

Mehanizm mejbur edilýän hereketli kinematiki zynjyrdyr, ýagny başlangyç zwenonyň berlen hereketi ähli zwenolaryň belli kesgitli hereketi bolup, ýagny mehanizmde baglanyşygy biz wagta bagly däl diýip alýarys, onda mehanizmde hakyky süýşme mümkin bolan sanda durýar we (10.8) deňlemäni şeýle ýazyp bolar:

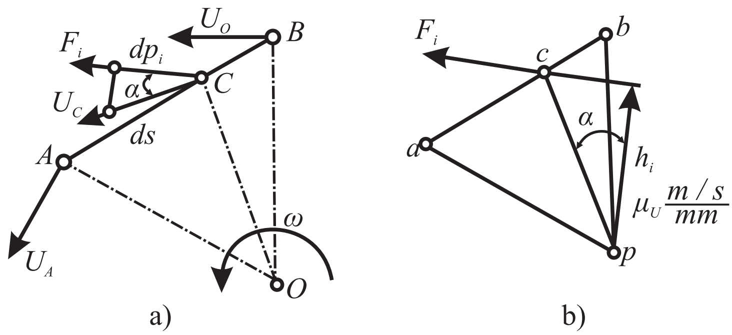
$$\sum_1^n F_i d_{P_i} = 0\,, \qquad (10.10)$$

ýa-da:

$$F_1 d_{P_1} + F_2 d_{P_2} + F_3 d_{P_3} + ... + F_n d_{P_n} = 0\,, \qquad (10.11)$$

$d_{P_1}, d_{P_2}, d_{P_3}, ..., d_{P_n}$ – goýlan güýçleriň ugruna hakyky süýşmäniň proýeksiýasy.

(10.10) deňlemä girýän F_i güýjüň haýsy-da bolsa ujypsyz işi nähili bolýanlygyna seredeliň. *AB* zwenonyň *C* nokadyna F_i güýç täsir etse, *A* we *B* nokatlaryň tizlikleri bize belli bolýar (*10.3-nji a surat*). *C* nokadyň hakyky ujypsyz süýşmesi υ_c tizligiň ugruna bolýar. υ_c tizligiň ugry *A* we *B* nokatlardan bu nokatlaryň tizliklerine geçirilen perpendikulýarlaryň kesişmesinde tapylýan O pursat aýlaw merkez gurlandan soň kesgitlenýär. C nokady O nokat bilen birleşdirip we C nokadyň üstünden OC perpendikulýar göni çyzyk geçirip, υ_c tizligiň ugruny alarys. υ_c tizligiň wektorynyň ugry ω pursat burç tizligiň belgisi bilen kesgitlenýär. C nokadyň hakyky süýşmesiniň ugry dS bu nokadyň υ_c tizliginiň ugry bilen gabat gelýär. F_i güýjüň ujypsyz işi deňdir:



10.3-nji surat. N.Ý.Žukowskiniň teoremasyna subutnamasyna:
a – güýçler görkezilen zwenonyň shemasy; b – öwrülen tizlikleriň planlary

$$dA_i = F_i dP_i. \qquad (10.12)$$

(10.12) deňlemä girýän dP_i süýşme şeýle tapylýar:

$$dP_i = dS\cos\alpha,$$

bu ýerde $\alpha - \upsilon_C$ tizligiň we F_i güýjüniň aralygyndaky burç. dP_i bu bahasyny (10.12) deňlemä goýup, alarys:

$$dA_i = F_i dS\cos\alpha\ ,$$

ýa-da $dS = \upsilon_C dt$, onda:

$$dA_i = F_i \upsilon_C \cos\alpha\, dt. \qquad (10.13)$$

υ_c tizligiň ululygyny AB zwenonyň tizliginiň planyny gurmak arkaly kesgitlenýär. Onuň üçin erkin masştabda AB zwenonyň öwrülen tizlikleriň planlaryny gurýarys (*10.3-nji b surat*). Tizlikleriň planlarynda C nokadyň υ_c tizligini pc kesim aňladýar, ol tizlikleriň planlarynyň P polýusyndan μ_υ masştabda C nokadyň υ_c tizligine perpendikulýar ugrukdyrylýar, ýagny:

$$\upsilon_C = \mu_\upsilon\left(pc\right).$$

υ_c tizlik üçin alnan aňlatmany (10.13) deňlige goýup, alarys:

$$dA_i = F_i \mu_\upsilon\left(pc\right)\cos\alpha\, dt. \qquad (10.14)$$

Soňra F_1 güýji shemadan tizlikleriň planlarynyň C nokadyna geçirýäris we p nokatdan bu güýjüň ugruna h_i perpendikulýar inderýäris. Şunlukda, F_1 güýç geçirilende güýjüň ululygyny we ugruny üýtgetmeýäris. pc kesim bilen h_i perpendikulýaryň aralygyndaky burç α burça deň, ýagny pc kesim υ_C tizligiň ugruna perpendikulýar, h_i kesim F_1 güýjüň ugruna perpendikulýar. Alarys:

$$h_i = (pc)\cos\alpha.$$

Alnan aňlatmany (10.14) deňlemä goýup, ýazyp bileris:

$$dA_i = F_i h_i \mu_\upsilon dt. \tag{10.15}$$

F_1 güýjüň ululygyny h_i egne köpeldilmegi $M_P(F_i)$ tizlikleriň planlarynyň polýusyna P nokada degişlilikde momentiň ululygyny aňladýar. Ýagny planda ähli tizlikler bir tarapa öwrülen, onda momentiň belgisi ähli güýçler üçin güýjüň ujypsyz işiniň belgisi bilen gabat gelýär, diýmek:

$$\mu_\upsilon dt \sum_1^n M_P(F_i) = 0 \tag{10.16}$$

ýa-da:

$$M_P(F_1) + M_P(F_2) + \ldots + M_P(F_n) = 0. \tag{10.17}$$

ýagny bu deňlemelere umumy köpeldiji nola deň bolmadyk $\mu_\upsilon dt$ girýär.

(10.17) deňleme şeýle hem ýazylyp bilner:

$$\sum_1^n M_P(F_i) = 0. \tag{10.18}$$

(10.17) ýa-da (10.18) deňlemeleri geometriki taýdan şular ýaly aňlatmak bolar. Ähli berlen güýçleri, mehanizmiň zwenolaryna täsir edýän güýçleri, şol sanda inersiýa güýçlerini tizlikleriň öwrülen planlarynyň adybir nokatlaryna bu güýçleriň ugurlaryny we ululyklaryny üýtgetmän geçirýäris, ähli geçirilen güýçleriň tizlikleriň planlarynyň polýusyna degişlilikde momentleriň deňlemelerini düzýäris, ýagny tizlikleriň planlary polýusynda direg bolan ryçag hökmünde seredilýär.

Meňzeş geometriki mümkin bolan süýşme düzgüni mehanizmleriň dinamikasynyň köp meseleleri çözülende uly amatlyklary döredýär. Bu usul Žukowskiniň usuly adyny aldy. Alymyň ady bilen bagly, ol tarapyndan hödürlenen bu usulda ulanylýan ryçaga bolsa Žukowskiniň ryçagy diýilýär.

(10.17) deňlemä girýän güýçlerden haýsy-da bolsa bir näbelli güýjüň ululygyny tapmak üçin, eger bu güýjüniň goýlan nokady we ugry berlen bolsa, şeýle hem beýleki ähli güýçleriň goýlan nokatlary, ugry we ululygy belli bolanda Žukowskiniň usuly ulanylyp bilner.

Bu ýagdaýda (10.17) deňlemede diňe bir gözlenýän güýjüň ululygy näbelli, ol bolsa deňleme esasynda kesgitlener.

Netijede, F_1, F_2, ..., F_n güýçlerden başgada mehanizmiň zwenolaryna ýene jübüt güýjüň momentleri M_1, M_2, ..., M_n täsir edýän bolsa, onda (10.11) deňleme şu görnüşi alar:

$$F_1 d_{P_1} + F_2 d_{P_2} + F_3 d_{P_3} + ... + F_n d_{P_n} + M_1 d\varphi_1 + M_2 d\varphi_2 + M_3 d\varphi_3 + ... + M_n d\varphi_n = 0. \quad (10.19)$$

bu ýerde $d\varphi_1$, $d\varphi_2$, $d\varphi_3$, ..., $d\varphi_n$ – M_1, M_2, ..., M_n momentler goýlan zwenolaryň öwrülme burçlary.

M_1, M_2, ..., M_n momentler şeýle hem mehanizmiň zwenolarynyň tizlikleriuň planynda degişli kesimlerine hem goýlup bilner, emma M_i^o goýulýan momentiň örän ululygy şu şerti kanagatlandyrmaly:

$$M_i^0 = M_i \frac{l_i^0}{l_i},$$

bu ýerde l_i^0 – kesim, tizlikleriň planynda shemadaky l kesime degişli.

Eger l_i^0 kesimiň ugry (harplaryň yzygiderliligi) l_1 kesimiň ugry bilen gabat gelse, M_i^0 momentiň belgisi saklanýar we eger ugurlary gabat gelmese tersine bolýar.

10.3. Žukowskiniň usuly bilen getirilen we deňagramlaşdyryjy güýji kesgitlemek

Žukowskiniň usuly getirilen we deňagramlaşdyryjy güýji (ýa-da getirilen we deňagramlaşdyryjy momentleri) tapmak üçin mehanizme F_1, F_2, ..., F_n güýçler täsir edýärler hem getirilen güýji kesgitlemek talap edilýär diýeliň. Eger getirilen güýji F_g bilen bellesek, güýjüň ugruna proýeksiýasyny bu güýjüň goýlan nokadynyň ujypsyz süýşmesini dP_g bilen bellesek, onda F_g güýjüň ujypsyz işi şeýle aňladylýar:

$$F_g dP_g = \sum_1^n F_i dP_i. \quad (10.20)$$

Eger getirilen güýji F_g we F_1, F_2, ..., F_n güýçleri tizlikleriň planlarynyň degişli nokatlaryna geçirsek we Žukowskiniň usulyny ulansak, onda (10.20) deňlemäni şu deňleme bilen çalyşmak bolar:

$$M_P(F_g) = \sum_1^n M_P(F_i), \quad (10.21)$$

ýagny F_g getirilen güýjüň tizlikleriň planlarynyň polýusyna P degişlilikde momenti – şol nokada degişlilikde ähli berlen güýçleriň momentleriniň jemine deňdir.

Žukowskiniň usuly bilen, şeýle hem F_d deňagramlaşdyryjy güýji ýa-da M_d deňagramlaşdyryjy momenti kesgitlemek bolar.

Onuň üçin F_g getirilen güýji ýa-da getirilen M_g momenti tapmaly, aýdalyň, olary şol bir zweno F_d güýç we M_d moment goýlan zweno diýip hasap etmeli. Şunlukda, mehanizme täsir edýän ähli güýçler hasaba alynmaly, şol sanda inersiýa güýçleri, F_d güýjüň täsir edýän çyzygy F_g güýjüň täsir edýän çyzygy bilen gabat gelmeli. Onda F_g we F_d güýçler zwenonyň şol bir umumy nokadyna goýlar, düzgün bolşy ýaly, eýerdiji zweno hem-de olar biri-biriniň tersine ugrukdyrylar, ýagny şu şert bilen:

$$F_d = -F_g \tag{10.22}$$

we

$$M_d = -M_g. \tag{10.23}$$

(10.22) şertden gelip çykýar:

$$F_d dP_d = -F_g dP_g = -\sum_1^n F_i dP_i \tag{10.24}$$

Ýokarda görkezilişi ýaly, eger mehanizmiň zwenolaryna F_1, F_2, ..., F_n güýçler toplumy goýlan bolsa, olara inersiýa güýçleri hem girýär, onda mehanizmiň deňagramlaşmagy üçin F_d deňagramlaşdyryjy güýji goýmak zerur.

Mehanizmiň deňagramlyk deňlemesini (10.24) deňlemäni hasaba almak bilen şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$F_d dP_d + \sum_1^n F_i dP_i = 0. \tag{10.25}$$

Žukowskiniň ryçagy ulanylanda bu deňlemäni indiki deňleme bilen çalyşmak bolar (10.18 deňlemä seret).

$$M_P\left(F_d\right) + \sum_1^n M_P\left(F_i\right) = 0. \tag{10.26}$$

Şeýlelikde, eger mehanizmiň zwenolaryna F_1, F_2, ..., F_n güýçler täsir edýän bolsa, olaryň täsiri astynda mehanizm deňagramly bolmasa, onda tizlikleriň planlarynyň polýusyna degişlilikde bu güýçleriň momentleriniň deňlemesinden elmydama berlen güýçleri deňagramlaşdyrýan F_d güýjüniň ululygyny kesgitläp bolar.

Şuňa meňzeşlikde deňagramlaşdyryjy momenti alarys:

$$M_d + \sum_1^n M_P\left(F_i\right) = 0. \tag{10.27}$$

10.4-nji *a* suratda görkezilen mehanizmiň deňagramlaşdyryjy güýjüniň kesgitlenişi baradaky soraga seredeliň. Goý, mehanizmiň zwenolaryna daşky F_2, F_3, F_4 we F_5 güýçler, şol sanda inersiýa güýçler täsir edýär diýeliň.

11. Sargyt № 1284

Umumy ýagdaýda bu güýçleriň täsiri astynda mehanizm, erkinlik derejesi bire deň toplum ýaly deňagramlykda bolmaz. Mehanizmi deňagramlaşýan ýagdaýa getirmek üçin mehanizmiň haýsy-da bolsa bir nokadyna F_d deňagramlaşdyryjy güýji goýmaly.

Şol nokat hökmünde 1 zwenoda T nokady saýlaýarys. F_d deňagramlaşdyryjy güýjüň täsir edýän ugruny $q–q$ belleýäris. Deňagramlaşdyryjy güýjüň ululygyny kesgitlemek üçin Žukowskiniň usulyndan peýdalanýarys. Erkin masştabda mehanizmiň tizlikleriniň öwrülen planlaryny gurýarys (*10.4-nji b surat*) we mehanizme täsir edýän ähli güýçleri, şol sanda F_d deňagramlaşdyryjy güýji planlaryň bir atly nokatlaryna geçirýäris. Soňra tizlikleriň planlarynyň polýusyna degişlilikde ähli geçirilen güýçleriň momentleriniň deňlemesini düzýäris. Onda alarys:

$$M_P(F_2)+M_P(F_3)+M_P(F_4)+M_P(F_5)+M_P(F_d)=0.$$

F_2, F_3, F_4, F_5 we F_d güýçleriň tizlikleriň planlarynyň polýusyna degişlilikde eginlerini degişlilikde h_2, h_3, h_4, h_5 we h_d belläp, alarys:

$$F_2h_2-F_3h_3-F_4h_4+F_5h_5-F_dh_d=0.$$

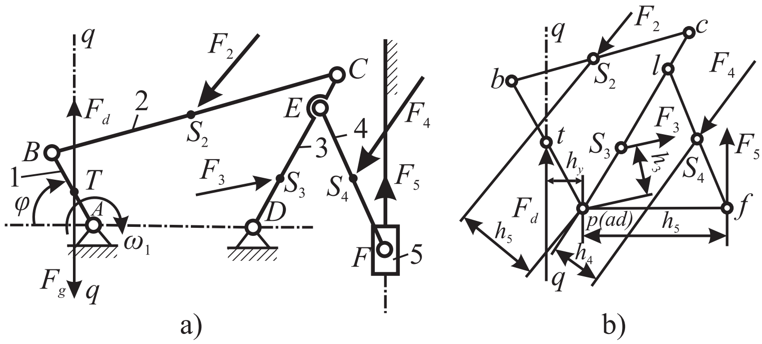
F_2, F_3, F_4 we F_5 güýçleriň momentleriniň belgisini P polýüsyň töweregin-de aýlanýan ugurlaryna baglylykda saýlanýar. Soňky deňlemeden gözlenýän F_d deňagramlaşdyryjy güýjüň ululygyny kesgitleýäris:

$$F_d=\frac{1}{h_1}\left(F_2h_2-F_3h_3-F_4h_4+F_5h_5\right). \qquad (10.28)$$

F_d wektor güýjüň ugry (10.28) deňligiň sag tarapynyň san bahasy hasaplanandan soň kesgitlenýär. Eger deňlemäniň sag bölegi položitel bolsa, onda bu F_d güýjüň ugrunyň dogrulygyny görkezýär. Sag bölegi otrisatel bolsa, F_d güýji ters tarapyna üýtgetmeli. (10.28) deňlemäniň sag tarapyny aýratynlykda h_d bölüp alarys:

$$F_d=F_2\frac{h_2}{h_d}-F_3\frac{h_3}{h_d}-F_4\frac{h_4}{h_d}+F_5\frac{h_5}{h_d}. \qquad (10.29)$$

Şeýlelikde, deňagramlaşdyryjy güýjüň ululygy mehanizme täsir edýän güýçleriň algebraik jemi tizlikleriň planlaryndan alnan degişli kesimleriniň $\frac{h_2}{h_d}$, $\frac{h_3}{h_d}$, $\frac{h_4}{h_d}$ we $\frac{h_5}{h_d}$ köpeldilmegine deňdir. Beýan edilen usul islendik synply mehanizm üçin umumydyr.



10.4-nji surat. Mehanizmiň diagrammalaşdyryjy güýjüniň kesgitlenişine degişli:
a – mehanizmiň shemasy; b – tizlikleriň öwrülen planlary

Getirilen güýji kesgitlemek baradaky meseleler hem şuňa meňzeşlikde çözülýär. Mysal üçin 10.4-nji *a* suratda görkezilen mehanizmiň zwenolaryna F_2, F_3, F_4, F_5 güýçler täsir etsin. 1 zweno täsir edýän F_g getirilen güýji kesgitlemek talap edilýär, getirilen güýjüň goýlan nokady T we onuň täsir edýän çyzygy $q - q$ berlendir.

F_g getirilen güýjüň ululygy deň bolar:

$$F_g = -F_2 \frac{h_2}{h_d} + F_3 \frac{h_3}{h_d} + F_4 \frac{h_4}{h_d} - F_5 \frac{h_5}{h_d} \tag{10.30}$$

Žukowskiniň ryçagy ulanylanda gözlenýän güýji diňe bir deňlemäniň kömegi bilen tizlikleriň planlarynyň polýusyna degişlilikde mehanizme täsir edýän ähli güýçleriniň momentleriniň deňlemesi bilen kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Güýçleriň planlar usuly ulanylan ýagdaýda jübütlerde ähli basyşlary yzygider kesgitlemeli bolýar, ýagny mehanizmiň doly güýç hasaplanyşygyny geçirmeli bolýar. Žukowskiniň ryçagy ulanylanda, adatça, tizlikleriň öwrulen planalary gurulýar. Tizlikleriň öwrülmedik planlaryndan hem peýdalanmak bolýar. Bu ýagdaýda tizlikleriň planlaryna geçirilende ähli güýçleri bir tarapa 90° burça öwürmeli.

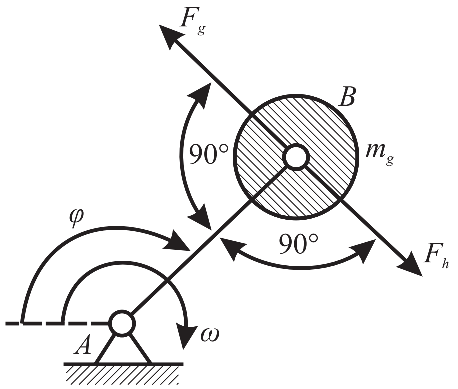
10.4. Mehanizmiň kinetik energiýasy

Mehanizme degişli kinetik energiýanyň deňlemesi şu görnüşde ýazylýar:

$$A_h - A_g = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}. \tag{10.31}$$

Ýokarda görkezilenlere salgylanyp, ähli hereketlendiriji güýçleri bir F_g^h getirilen güýç bilen çalşyp bolýar, ol hem saýlanyp alnan AB getirilen zwenonyň B nokadyna goýulýar (*10.5-nji surat*).

Edil şonuň ýaly, ähli garşylyk güýçleri hem bir getirilen F_g^g güýç bilen çalşylýar, ol güýç hem AB zwenonyň B nokadyna goýulýar.



10.5-nji surat. Getirilen massaly getirilen zwenonyň shemasy

Hereketlendiriji we garşylyk güýçleriň M_h we M_g momentleri hem A wala getirilen moment bilen çalşylýar. Mehanizmiň hereketiniň deňlemesini kinetik energiýanyň deňlemesini göz öňünde tutup şeýle ýazarys:

$$A_{F_h} - A_{F_g} = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}. \quad (10.32)$$

Getirilen güýçler ýa-da momentler berlende, biz (10.32) deňlemede $A_{F_h} - F_h$ getirilen güýjüň işi, $A_{F_g} - F_g$ getirilen güýjüň işi. Bu deňlemäniň çep tarapy getirilen momentleriň işi bilen aňladylýar.

Onda:

$$A_{M_h} - A_{M_g} = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}. \quad (10.33)$$

(10.33) deňlemede A_{M_h} – hereketlendiriji güýçleriň M_h getirilen momentiň işi, A_{M_g} – garşylyk güýçleriň M_g getirilen momentiniň işi.

Bellemegi girizýäris:

$$T = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} \text{ we } T_0 = \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}.$$

Onda (10.32) we (10.33) deňlemeleri şeýle ýazmak bolar:

$$A_{F_h} - A_{F_g} = T - T_0 \quad (10.34)$$

we

$$A_{M_h} - A_{M_g} = T - T_0. \quad (10.35)$$

Eger F_h we F_g getirilen güýçler ýa-da M_h we M_g momentler getirilen nokadyň geçen ýolunyň funksiýasy ýa-da getirilen zwenonyň öwrüm burçunyň funksiýasy görnüşinde berlen bolsa, onda A_{Fh} we A_{Fg} ýa-da A_{Mh} we A_{Mg} bu güýçleri berlen çäklerde kesgitlemek talap etmeýär. Şeýlelikde, (10.34) we (10.35) deňlemeleriň çep tarapynda durýan işleriň tapawudyny mydama tapmak bolar. Bu deňlemeleriň sag tarapyna geçmek bilen, bu tarapda mehanizmiň seredilýän ýagdaýlarynyň kinetik energiýalarynyň ululyklary durýar.

Mehanizmiň kinetik energiýasynyň kesgitlenişi baradaky soraga seredeliň.

Umumy ýagdaýda zwenonyň tekiz parallel hereketde onuň kinetik energiýasyny, zwenonyň massa merkezi bilen bilelikde gönüçyzykly we onuň massa merkeziniň töwereginde aýlanýan hereketleriň energiýasynyň jemi görnüşde alynýar. Şol sebäpli mehanizm üçin ýazyp bileris:

$$T = \frac{1}{2}\sum\nolimits_1^n (m_i\upsilon_i^2 + I_i\omega_i^2). \tag{10.36}$$

(10.36) deňlemede m_i – i zwenonyň massasy, υ_i – massa merkeziň tizligi, I_i – massa merkeziň üstünden geçýän oka degişlilikde onuň inersiýa momenti, ω_i – onuň burç tizligi. Aýratyn zwenolaryň olaryň hereketiniň görnüşine baglylykda kinetik energiýasynyň nähili hasaplanýandygyna seredeliň.

Gönüçyzykly hereketlenýän zwenonyň kinetik energiýasy deňdir:

$$T = \frac{m\upsilon_S^2}{2}. \tag{10.37}$$

Bu deňlemede m – zwenonyň massasy, υ_S – gönüçyzykly hereketlenýän zwenonyň massa merkeziniň tizligi.

Aýlaw hereket edýän zweno üçin kinetik energiýa deňdir:

$$T = \frac{I\omega^2}{2}, \tag{10.38}$$

bu ýerde aýlaw okuna degişlilikde zwenonyň inersiýa momenti we ω – zwenonyň burç tizligi.

Çylşyrymly tekiz parallel hereketlenýän zweno üçin kinetik energiýany şeýle ýazyp bolar:

$$T = \frac{I_p\omega^2}{2}, \tag{10.39}$$

bu ýerde $I_p - p$ pursat aýlaw merkeziň üstünden geçýän oka degişlilikde zwenonyň inersiýa momenti.

ω – zwenonyň pursat burç tizligi. Pursat aýlaw merkeziň üstünden hem-de zwenonyň s massa merkeziniň üstünden geçýän oka degişlilikde I_p inersiýa momenti, geçýän oka degişlilikde I_S inersiýa momentiň üsti bilen şeýle ýazylýar:

$$I_p = I_s + ml_{ps}. \tag{10.40}$$

Bu deňlemede l_{pS} zwenonyň s masa merkezinden p pursat aýlaw merkezine çenli aralyk (10.40) deňlemeden I_p üçin aňlatmany (10.39) deňlemä goýup we $\omega\ell_{ps} = \upsilon_s$ zwenonyň massa merkeziniň tizligini göz öňünde tütmak bilen, çylşyrymly aýlaw-gönüçyzykly hereketde zwenonyň kinetik energiýasy üçin belli deňlemäni alarys:

$$T = \frac{I_s\omega^2}{2} + \frac{m\upsilon_s}{2}. \tag{10.41}$$

(10.36) deňleme boýunça aýratyn zwenolaryň kinetik energiýalaryny algebraiki goşup, tutuş mehanizmiň kinetik energiýasynyň bahasyny alarys.

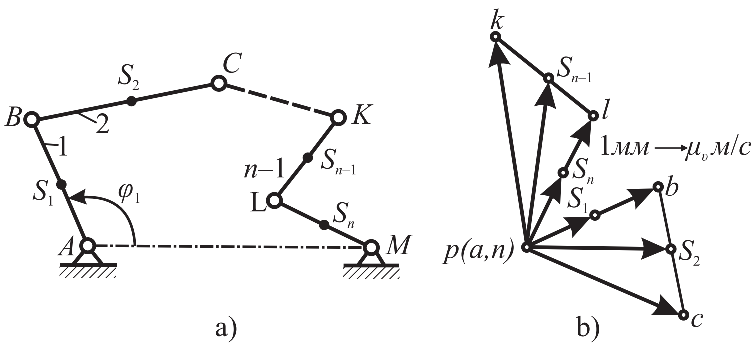
10.5. Mehanizmiň getirilen massasyny we getirilen inersiýa momentini kesgitlemek

Bir erkinlik derejeli mehanizmde bir başlangyç zweno bolýar, ol zweno bolsa getirilen zweno diýip saýlanýar. Goý, *n* zwenolardan durýan seredilýän mehanizmiň (*10.6-njy a surat*) erkinlik derejesi bire deň bolsun.

Bu mehanizmde *AB* zwenony getirilen zweno hökmünde saýlaýarys, bu zwenonyň bir nokadyny, mysal üçin *B* nokady getirilen nokat diýip kabul edýäris. (10.36) deňlemäni açýarys, deňligiň sag tarapyny getirilen *B* nokadynyň tizliginiň kwadratyna köpeldýäris we bölýäris hem-de υ_B^2 ululygyny ýaýyň daşyna çykarýarys. Onda (10.36) deňleme ýazgyn görnüşde şeýle bolar:

$$T=\frac{\upsilon_B^2}{2}\left[m_1\left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_B}\right)^2+I_1\left(\frac{\omega_1}{\upsilon_B}\right)^2+m_2\left(\frac{\upsilon_2}{\upsilon_B}\right)^2+I_2\left(\frac{\omega_2}{\upsilon_B}\right)^2+\ldots+m_n\left(\frac{\upsilon_n}{\upsilon_B}\right)^2+I_n\left(\frac{\omega_n}{\upsilon_B}\right)^2\right]. \quad (10.42)$$

bu ýerde $\upsilon_1,\upsilon_2,\ldots,\upsilon_n$ – zwenolaryň massa merkezleriniň tizlikleri.



10.6-njy surat. Mehanizmiň getirilen massasyny kesgitlemäge:
a – mehanizmiň shemasy; b – tizlikleriň planlary

(10.42) deňlemede *T* kinetik energiýa getirilen nokadyň υ_B tizligi funksiýasynda aňladylandyr. Kinetik energiýany şeýle hem getirilen zwenonyň ω burç tizligi funksiýasy görnüşde hem aňladylýar. Bu ýagdaýda (10.36) deňlemäniň sag tarapyny *AB* zwenonyň ω_1^2 burç tizliginiň kwadratyna köpeldýäris we bölýäris. Alarys:

$$T=\frac{\omega_1^2}{2}\left[m_1\left(\frac{\upsilon_1}{\omega_1}\right)^2+I_1\left(\frac{\omega_1}{\omega_1}\right)^2+m_2\left(\frac{\upsilon_2}{\omega_1}\right)^2+I_2\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2+\ldots+m_n\left(\frac{\upsilon_n}{\omega_1}\right)^2+I_n\left(\frac{\omega_n}{\omega_1}\right)^2\right]. \quad (10.43)$$

(10.42) deňligiň kwadrat ýaýyň içini m_g bilen we (10.43)deňligiň kwadrat ýaýyň içini – I_g bilen belleýäris. Onda şulary ýazyp bileris

$$m_g = m_1\left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_B}\right)^2 + I_1\left(\frac{\omega_1}{\upsilon_B}\right)^2 + m_2\left(\frac{\upsilon_2}{\upsilon_B}\right)^2 + I_2\left(\frac{\omega_2}{\upsilon_B}\right)^2 + \ldots + m_n\left(\frac{\upsilon_n}{\upsilon_B}\right)^2 + I_n\left(\frac{\omega_n}{\upsilon_B}\right)^2 \quad (10.44)$$

we

$$I_g = m_1\left(\frac{\upsilon_1}{w_1}\right)^2 + I_1\left(\frac{\omega_1}{w_1}\right)^2 + m_2\left(\frac{\upsilon_2}{w_1}\right)^2 + I_2\left(\frac{\omega_2}{w_1}\right)^2 + \ldots + m_n\left(\frac{\upsilon_n}{w_1}\right)^2 + I_n\left(\frac{\omega_n}{w_1}\right)^2 \cdot \quad 10.45)$$

(10.44) we (10.45) deňlemelere görä, m_g ululyk massanyň ölçeginde [kg], I_g ululyk bolsa, inersiýa momentiň ölçeginde [kg•m²] görünýär. Şeýlelikde, m_g B nokatda jemlenen şertli massany ýatladýar. Kinetik energiýasy T mehanizmiň her bir seredilýän ýagdaýynda *ABC…KLM* zwenolaryň kinetik energiýalaryna deňdir (*10.6-njy a surat*), ýagny onuň ähli zwenolarynyň kinetik energiýalarynyň jemine deňdir. m_g massa getirilen massa diýen ady aldy.

(10.44) deňlemä görä umumy ýagdaýda getirilen massa üýtgäp durýar we burç we çyzyk tizlikleriň gatnaşyklarynyň kwadratlaryna bagly, şonuň üçin ol elmydama položiteldir.

Şuňa meňzeşlikde (10.45) deňlemede mehanizmiň zwenolaryndan *AB* zweno getirilen I_g inersiýa momenti aňladýar. Bu *AB* zweno bilen bilelikde aýlanýan jisimiň inersiýa momentidir, mehanizmiň her bir seredilýän ýagdaýynda kinetik energiýasy onuň ähli zwenolarynyň kinetik energiýalarynyň jemine deňdir.

(10.42) we (10.43) deňlemelere m_g we I_g bahalaryny goýup we (10.36) deňlemäni nazara almak bilen, alarys:

$$T = \frac{1}{2}\sum_1^n\left(m_i\upsilon_i^2 + I_i\omega_i^2\right) = \frac{\upsilon_B^2}{2}\sum_1^n\left[m_i\left(\frac{\upsilon_i}{\upsilon_B}\right)^2 + I_i\left(\frac{\omega_i}{\upsilon_B}\right)^2\right] = \frac{m_g\upsilon_B^2}{2} \quad (10.46)$$

we

$$T = \frac{1}{2}\sum_1^n\left(m_i\upsilon_i^2 + I_i\omega_i^2\right) = \frac{\omega_1^2}{2}\sum_1^n\left[m_i\left(\frac{\upsilon_i}{\omega_1}\right)^2 + I_i\left(\frac{\omega_i}{\omega_1}\right)^2\right] = \frac{I_g\omega_1^2}{2}. \quad (10.47)$$

(10.46) we (10.47) deňliklerden gelip çykýar, getirilen massa m_g we getirilen moment inersiýa I_g şu şert bilen bagly $m_g\upsilon_B^2 = I_g\omega_1^2$ ýa-da $\upsilon_B^2 = \omega_1^2 l_{AB}^2$, onda:

$$m_g = \frac{I_g}{l_{AB}^2}, \tag{10.48}$$

bu ýerde l_{AB} – getirilen zwenonyň uzynlygy.

m_g getirilen massa we I_g getirilen inersiýa momenti tizlikleriň planlaryndaky degişli kesimler bilen aňladylyp bilner (*10.6-njy b surat*). Alarys:

$$m_g = m_1\left(\frac{ps_1}{pb}\right)^2 + \frac{I_1}{l_{AB}^2}\left(\frac{ab}{pb}\right)^2 + m_2\left(\frac{ps_2}{pb}\right)^2 + \frac{I_2}{l_{BC}^2}\left(\frac{bc}{pb}\right)^2 + \ldots + m_n\left(\frac{ps_n}{pb}\right)^2 + \frac{I_n}{l_{LN}^2}\left(\frac{ln}{pb}\right)^2$$

$$I_g = m_1 l_{AB}^2\left(\frac{ps_1}{pb}\right) + I_1\frac{l_{AB}^2}{l_A^2}\left(\frac{ab}{pb}\right) + m_2 l_{AB}^2\left(\frac{ps_2}{pb}\right)^2 + I_2\frac{l_{AB}^2}{l_{BC}^2}\left(\frac{pc}{pb}\right)^2 +$$

$$+\ldots + m_n l_{AB}^2\left(\frac{ps_n}{pb}\right)^2 + I_n\frac{l_{AB}^2}{l_{LN}^2}\left(\frac{ln}{pb}\right)^2,$$

ýagny:

$$\upsilon_{s_1} = \mu_\upsilon\left(ps_1\right), \upsilon_{s_2} = \mu_\upsilon\left(ps_2\right), \ldots \upsilon_{s_n} = \mu_\upsilon\left(ps_n\right),$$

$$\omega_1 = \mu_\upsilon\frac{ab}{l_{AB}}, \omega_2 = \mu_\upsilon\frac{(bc)}{l_{BC}}, \ldots \omega_n = \mu_\upsilon\frac{(ln)}{l_{LN}}$$

we $\upsilon_B = \mu_\upsilon\left(pb\right)$, bu ýerde μ_υ tizlikleriň planlarynyň masştaby. Getirilen massa m_g we getirilen inersiýa moment $I_g \varphi_1$ umumylaşdyrylan φ_1 koordinatyň funksiýasydygyny görmek kyn däl (*10.6-njy surat*), ýagny $m_g = m_g(\varphi_1)$ we $I_g = I_g(\varphi_1)$.

Ýokarda görkezilişi ýaly, getirilen zweno hökmünde, adatça, başlangyç zweno saýlanýar (*10.6-njy a surat*). Şeýlelikde, *AB* zweno F_h we F_g güýçleriň täsiri esasynda ol hem üýtgeýär, *B* nokatda jemlenen m_g massa eýe bolýar. Mehanizmiň zwenolaryna täsir edýän ähli güýçleri we olaryň massalaryny *AB* zweno getirmek bilen, biz mehanizmi şertli ekwiwalent mehanizm dinamiki gatnaşykda zwenolar toplumly m_g massaly we I_g inersiýa momentli bilen çalyşdyk.

11-nji BAP

MAŞYN AGREGATLARYŇ HEREKETLERINI BARLAMAK

11.1. Hereketiň deňlemeleriniň esasy görnüşleri

Maşyn agregat diýip dwigateliň mehanizmleriniň, geçiriji mehanizmleriň we iş maşynlaryň mehanizmleriniň bilelikdäki toplumyna aýdylýar. Maşyn agregatlara mysal porşenli içinden ýandyrylýan dwigatel we porşenli nasos, elektrodwigatel we kriwoşipli press, elektrodwigatel we rotasion nasos, içinden ýandyrylýan dwigatel we elektrik togunyň generatory we ş.m. bolup bilerler.

Hereketlendiriji güýç we önümçilik garşylyk güýji başlangyç zweno diýip kabul edilen zwenonyň ýagdaýyna we onuň burç tizligine bir wagtda ýa-da aýratynlykda bolup biler. Mysal üçin, porşenli dwigatel we porşenli nasosly maşyn agregatda, hereketlendiriji we önümçilik garşylyk güýji eýerdiji zwenolaryň ýagdaýlaryna baglydyr.

Elektrodwigatel – kriwoşipli press maşyn agregatda metallary basyş bilen bejermek üçin hereketlendiriji güýç, burç tizlige baglylykda, degişli mehaniki häsiýetnamalar görnüşde bolup bilýär. Pres üçin garşylyk onuň eýerdiji zwenosynyň ýagdaýynyň funksiýasynda bolýar. Elektrodwigatel we rotasion nasos maşyn agregatda hereketlendiriji güýç önümçilik garşylyk güýçleri eýerdiji zwenolaryň burç tizliklerine baglydyr. Içinden ýandyrylýan porşenli dwigatel – elektrik togunyň generatory maşyn agregat üçin hereketlendiriji güýç ýeterlik takyklykda eýerdiji zwenonyň diňe ýagdaýlaryna baglydyr, önümçilik garşylyk güýji – generatoryň walynyň burç tizligine baglydyr we ş.m.

Maşyn agregatyň getirilen inersiýa momenti I_g hemişelik bolup biler ýa-da başlangyç zwenonyň ýagdaýyna bagly bolup biler. Rotasion nasosly elektrodwigatelde, elektrik togunyň generatorynda we beýlekilerde getirilen inersiýa momenti I_g hemişelikdir (I_g = const*)*. Kriwoşipli presde, içinden ýandyrylýan porşenli dwigatelde, strogal stanogynda we ş.m. getirilen inersiýa momenti I_g başlangyç zwenonyň öwrum burçuna baglydyr $I_g = I_g(\varphi)$.

Getirilen massa m_g ýa-da getirilen inersiýa momenti I_g ähli maşynlar we mehanizmler üçin hemişelikdigi aýdyň, olar üçin (10.44) we (10.45) deňliklere girýän geçirijilik gatnaşyklary hemişelik.

Maşyn agregatlaryň hereketleriniň deňlemesi kinetik energiýanyň deňlemesi şekilde ýazylýar (9.1).

$$A_h - A_g = \sum \frac{m\upsilon^2}{2} - \sum \frac{m\upsilon_0^2}{2}. \qquad (11.1)$$

Eger ähli güýçleri we massalary saýlanan getirilen zweno getirilse, onda (11.1) deňleme şeýle ýazylyp bilner:

$$A_{F_h} - A_{F_g} = \frac{m_g \upsilon^2}{2} - \frac{m_{g_0} \upsilon_0^2}{2}, \tag{11.2}$$

bu ýerde A_{Fh} – seredilýän süýşmede getirilen zweno goýlan hereketlendiriji güýjüň işi, A_{Fg} –getirilen garşylyk güýjüň işi şol bir süýşmede, m_g we m_{g0} – seredilýän süýşmede degişli ahyrky we başky ýagdaýlarda getirilen massalar, υ we υ_0 – seredilýän süýşmede degişli ahyrky we başky ýagdaýlarda getirilen nokadyň tizlikleridir.

Köplenç kinetik energiýanyň deňlemesiniň çep tarapyna getirilen zweno getirilen güýçleriň momentiniň A_{Mh} we A_{Mg} işleri girizilýär, sag tarapyny bolsa zwenolaryň I_g we I_{g0} getirilen inersiýa momentleri bilen aňladylýar. Onda (11.2) deňleme şu görnişi alar:

$$A_{M_h} - A_{M_g} = \frac{I_g \omega^2}{2} - \frac{I_{g_0} \omega_0^2}{2}. \tag{11.3}$$

Maşyn agregatlaryň deňlemesi şeýle hem differensial görnüşde ýazylyp bilner.

Getirilen hereketlendiriji güýjüň F_h we garşylyk güýjüň F_g tapawudyny F harp bilen belläliň, ýagny:

$$F = F_h - F_g.$$

Onda kinetik energiýanyň deňlemesine şu görnüşi berip bolar:

$$dA = FdS = dT$$

ýa-da:

$$F = \frac{dA}{dS} = \frac{dT}{dS}, \tag{11.4}$$

bu ýerde dA – getirilen güýjüň ujypsyz işi, dS – getirilen nokadyň ujypsyz süýşmesi we dT agregatyň kinetik energiýasynyň ujypsyz ösüşi.

(11.4) deňlemä kinetik energiýanyň bahasyny goýup alarys:

$$F = F_h - F_g = \frac{dT}{dS} = \frac{d(m_g \upsilon^2/2)}{dS}, \tag{11.5}$$

bu ýerde m_g – getirilen massa, umumy ýagdaýda üýtgeýän we S ýoluň funksiýasyna bagly. Soňra ýazarys:

$$\frac{d(m_g \upsilon^2/2)}{dS} = m_g \frac{d(\upsilon^2/2)}{dS} + \frac{\upsilon^2}{2}\frac{dm_g}{dS},$$

emma:

$$\frac{d(\upsilon^2/2)}{dS}=\frac{d(\upsilon^2/2)}{d\upsilon}\cdot\frac{d\upsilon}{dS}=\vartheta\frac{d\upsilon}{dS}=\vartheta\frac{d\upsilon\cdot dt}{dt\cdot dS}=\frac{d\upsilon}{dt};$$

şonuň üçin (11.5) deňleme şu görnüşi alar:

$$F=F_h-F_g=m_g\frac{d\upsilon}{dt}+\frac{\upsilon^2}{2}\frac{dm}{dS}. \tag{11.6}$$

Maşyn agregatyň mehanizmleriniň hereketiniň deňlemesine başga görnüş berip bolar. Eger getirilen momentden $M = M_h - M_g$, getirilen inersiýa momentden I_g we getirilen zwenonyň burç tizliginden peýdalanylsa, onda ýazyp bileris:

$$M=M_h-M_g=I_g\frac{d\omega}{dt}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.7}$$

bu ýerde φ – getirilen zwenonyň öwrülme burçy soňky (11.5) deňlemä görä meňzeş deňleme alynýar:

$$M=M_h-M_g=\frac{dT}{d\varphi}=\frac{d(I_g\,\omega^2/2)}{d\varphi}. \tag{11.8}$$

Maşyn agregatlaryň ähli mehanizmleriniň hakyky hereketlerini kesgitlemek üçin köplenç getirilen zweno diýip saýlanan zwenonyň hereketiniň kanunyny bilmeli, ýagny (11.6) ýa-da (11.7) deňlemelerden getirilen zwenonyň umumylaşdyrylan koordinatynyň wagta görä (laýyklykda) funksiýasyny bilmeli.

Umumy ýagdaýda islendik mehanizmiň hereketini başlangyç we üznüksiz iki hereketiň jemi hökmünde garamak bolar. Üznüksiz hereketde getirilen nokadyň υ tizligi ýa-da getirilen zwenonyň burç tizligi ω hemişelikdir. Degişlilikde getirilen nokadyň a tizlenmesi ýa-da getirilen zwenonyň ε burç tizlenmesi nola deňdir. Başlangyç hereketde υ we ω tizlikler degişlilikde nola deňdirler, a we ε tizlenmeler nola deň däldir. Maşynyň hereketinden şeýle many çykarmany N.Ý.Žukowskiý hödürleýär. Eger mehanizmiň getirilen zwenosynyň hereketiniň differensial görnüşde ýazylan (11.6) we (11.7) deňlemelere ýüzlenilende bu aýratyn düşnükli bolýar. (11.7) deňlemä seredeliň. Alarys:

$$M=I_g\frac{d\omega}{dt}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}. \tag{11.9}$$

Üznüksiz hereketde ω = const we $\varepsilon = d\omega/dt = 0$, diýmek, (11.9) deňlemäniň sag tarapynyň birinji agzasy nola deňdir. Hereketiň başlangyç ýagdaýynda $\omega = 0$, $\varepsilon = d\omega/dt \neq 0$, diýmek, (11.9) deňlemäniň ikinji agzasy nola deňdir. Belläliň:

$$M_{ba\_} = -I_g \frac{d\omega}{dt}, \tag{11.10}$$

$$M_{üzn} = -\frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.11}$$

bu ýerde $M_{baş}$ – başlangyç hereketde inersiýa güýçlerden moment, $M_{üzn}$ – üznüksiz hereketde inersiýa güýçlerden moment.

Onda:

$$M - I_g \frac{d\omega}{dt} - \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi} = 0 \tag{11.12}$$

ýa-da:

$$M + M_{ba\_} + M_{üzn} = 0. \tag{11.13}$$

(11.13) deňleme getirilen zweno daşky M moment we başlangyç we üznüksiz hereketde $M_{baş}$ we $M_{üzn}$ momentler goýlanda zwenonyň dinamiki deňagramlyk deňlemesidir.

Şeýlelikde, mehanizm dinamiki barlananda getirilen massa ýa-da getirilen inersiýa moment düşünjesinden peýdalanman, saýlanyp alnan getirilen zweno, başlangyç we üznüksiz hereketi şertlerinde inersiýa güýçlerine görä $M_{baş}$ we $M_{üzn}$ momentleri kesgitlenýär.

11.2. Hereketiň deňlemelerini integrirlemek

Maşyn agregatlaryň mehanizminiň hereketiniň differensial deňlemesiniň (11.7) çep tarapyna hereketlendiriji güýçden we garşylyk güýçden M_h we M_g getirilen momentler girýärler. Ýokarda görkezilişi ýaly, bu momentler umumylaşdyrylan koordinat φ ýa-da onuň birinji önümi $\varphi = \omega$, ýa-da t wagta baglylykda bolýar.

Eger bu funksiýalaryň mümkin bolan sazlaşmasyna seretsek, onda hereketiň deňlemeleriniň indiki görnüşlerini ýazmak bolar, olarda M_h we M_g momentler şol bir üýtgeýän funksiýa bilen bagly bolar.

Deňlemäniň birinji görnüşi:

$$M_h(\varphi) - M_g(\varphi) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.14}$$

$$M_h(\omega) - M_g(\omega) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.15}$$

$$M_h(t) - M_g(t) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}. \tag{11.16}$$

(11.14)–(11.16) deňlemelerde hereketlendiriji güýjüniň momenti M_h we garşylyk güýjüniň momenti M_g deňlemeleriň her birinde φ ýa-da ω ýa-da l funksiýalar görnüşinde bolýarlar. Emma ýygy bolmadyk ýagdaýlarda, ýagny M_h we M_g dürli üýtgeýän funksiýalary hem bolýar:

$$M_h(\varphi) - M_g(t) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.17}$$

$$M_h(\omega) - M_g(\varphi) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.18}$$

$$M_h(t) - M_g(\omega) = I_g \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}. \tag{11.19}$$

(11.14)–(11.19) umumy ýagdaýda çyzykly däl differensial deňlemeler, olaryň çözlüşi diňe ýakynlaşma usuly bilen geçiriler.

Diňe (11.14) deňlemäniň çözülip biljegini görmek kyn däl, ol hem ahyrky görnüşde däl-de, kwadrat görnüşde, hakykatdan-da $M_h = M(\varphi)$ we $M_g = M(\varphi)$, onda (11.8) deňlemä esaslanyp (11.14) deňlemäni şu görnüşde ýazyp bolar:

$$\left(M_h - M_g\right) d_\varphi = d\left(\frac{I_g \omega^2}{2}\right),$$

bu ýerden:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \left(M_h - M_g\right) d\varphi = \frac{I_{g_i}\omega_i^2}{2} - \frac{I_{g0}\omega_0^2}{2}, \tag{11.20}$$

bu ýerde I_{gi} we ω_i – i ýagdaýda, getirilen inersiýa moment we getirilen zwenonyň burç tizligi; I_{g0} we ω_0 – başlangyç ýagdaýda getirilen inersiýa moment we başlangyç ýagdaýda getirilen zwenonyň burç tizligi (11.20) deňleme maşyn agregatyň mehanizmiň kinetik energiýa görnüşde deňlemesi.

(11.20) deňlemä görä ω_i burç tizlik kesgitlenýär:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{2}{I_{g_i}} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \left(M_h - M_g\right) d\varphi + \frac{I_{g0}}{I_{g_i}}\omega_0^2}. \tag{11.21}$$

(11.21) deňlemä görä eger $M_h = M(\varphi)$, $M_g = M(\varphi)$ we $I_g = I_g(\varphi)$funksiýalar berlen bolsa, onda ω_i burç tizligi kesgitlemek üçin ýene ω_0 burç tizligiň berilmegi zerur. Eger maşyn agregatyň mehanizmiň barlagy ony işe goýberilýän pursatyndan başlansa, onda getirilen zwenonyň ω burç tizligi $\omega_0 = 0$ we (11.21) deňleme şu görnüşi alar:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{1}{I_{g_i}} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} (M_h - M_g) d\varphi}. \qquad (11.22)$$

(11.21) we (11.22) deňlemä görä getirilen zwenonyň onuň öwrüm burçuna bagly funksiýasynyň bahasyny, ýagny $\omega = \omega(\varphi)$ kesgitlener. Maşyn agregatyň mehanizminiň hereketiniň t wagtyny kesgitlemek üçin şu şertden peýdalanýarys:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}. \qquad (11.23)$$

(11.23) gatnaşykdan alarys:

$$\int_{t_0}^{t_1} dt = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)} \qquad (11.24)$$

ýa-da:

$$t_i - t_0 = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)} \qquad (11.25)$$

we şeýle hem:

$$t_i = t_0 + \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)}. \qquad (11.26)$$

Eger mehanizmiň hereketiniň barlagy onuň işe başlaýan pursatyndan geçirilýän bolsa, onda $t_0 = 0$ we (11.26) deňleme şu görnüşi alar:

$$t_i = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)}. \qquad (11.27)$$

(11.26) ýa-da (11.27) deňlemelere görä mehanizmiň hereketiniň t wagtyny getirilen zwenonyň φ öwrum burçuna baglylykda kesgitläp bolar, $t = t(\varphi)$. Şeýlelikde, biz iki funksiýa alýarys: $\omega = \omega(t)$ we $t = t(\varphi)$. Olardan φ burçy ýok etmek bilen $\omega = \omega(t) - \omega$ burç tizligiň t wagta baglylykdaky funksiýany almak bolar. Getirilen zwenonyň ε burç tizlenmesi şu gatnaşykdan kesgitlenýär:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \text{ ýa-da } \varepsilon = \frac{d\omega}{d\varphi}\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\omega}{d\varphi}.$$

Aýry ýagdaýda, ýagny I_g getirilen inersiýa moment hemişelik bolanda, (11.20) we (11.21) deňlemelar şu görnüşi alarlar:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi_i} \left(M_h - M_g\right) d\varphi = \frac{dI_g}{2}\left(\omega_i^2 - \omega_0^2\right); \qquad (11.28)$$

$$\omega_i = \sqrt{\frac{2}{I_g}\int_{\varphi_0}^{\varphi_i}\left(M_h - M_g\right)d\varphi + \omega_0^2}. \qquad (11.29)$$

Eger getirilen moment däl-de, getirilen güýç $F_h = F_h(S)$, $F_g = F_g(S)$ we getirilen nokada getirilen massa $m_g = m_g(S)$, bu ýerde S – getirilen nokadyň ýoly, onda agregatyň hereketiniň deňlemesi çözülip alynýan deňlik (11.20) deňlemä we (11.21), (11.26) deňlemelere meňzeş bolar. Alarys:

$$\int_{S_0}^{S_i}(F_h - F_g)dS = \frac{m_{g_i}\upsilon_i^2}{2} - \frac{m_{g_0}\upsilon_c^2}{2}, \qquad (11.30)$$

bu ýerden:

$$\upsilon_i = \sqrt{\frac{2}{m_{g_i}}\int_{S_0}^{S_i}(F_h - F_g)d\varphi + \frac{m_{g_0}}{m_{g_i}}\upsilon_0^2}, \qquad (11.31)$$

soňra:

$$t_i = t_0 + \int_{S_0}^{S_i}\frac{dS}{\upsilon(S)}, \qquad (11.32)$$

bu ýerde υ, υ_i we υ_0 – getirilen nokadyň tizlikleri.

(11.15) we (11.16) deňlemeler aýratyn ýagdaýda kwadrat görnüşde, ýagny haçan-da I_g = const getirilen inersiýa momenti hemişelik bolanda çözülip bilner. Bu ýagdaýda (11.15) deňleme şu görnüşi alar:

$$M_h(\varphi) - M_g(\varphi) = I_g\frac{d\omega}{dt}. \qquad (11.33)$$

$M_h = M_h(\varphi)$ we $M_g = M_g(\varphi)$ momentler berlen we I_g inersiýa momenti hemişelik belli, onda (11.33) deňleme şu görnüşe getirilýär:

$$\int_{t_0}^{t_i}dt = \int_{\omega_0}^{\omega_i}\frac{d\omega}{M_h(\omega) - M_g(\omega)}. \qquad (11.34)$$

(11.34) deňlemeden agregatyň hereketiniň wagty $t\omega$ burç tizlik funksiýada, ýagny $t = t(\varphi)$ kesgitlenýär. Çep tarapyny integrirläp alarys:

$$t_i = t_0 + I_g\int_{\omega_0}^{\omega_i}\frac{d\omega}{M_h(\omega) - M_g(\omega)}. \qquad (11.35)$$

(11.16) deňleme I_g = const bolanda şu görnüşe getirilýär:

$$M_h(t) - M_g(t) = I_g\frac{d\omega}{dt}. \qquad (11.36)$$

$M_h = M_h(t)$ we $M_g = M_g(t)$ we momentler berlen we I_g inersiýa momenti hemişelik belli, onda (11.36) deňlemeden alarys:

$$\int_{\omega_0}^{\omega_i} d\omega = \frac{1}{I_g}\int_{t_0}^{t_i}\left[M_h(t) - M_g(t)\right]dt. \tag{11.37}$$

(11.37) deňlemä görä getirilen zwenonyň ω burç tizliginiň t wagta baglylykdaky funksiýasyny kesgitläris:

$$\omega_i = \omega_0 + \frac{1}{I_g}\int_{t_0}^{t_i}\left[M_h(t) - M_g(t)\right]dt. \tag{11.38}$$

(11.17) – (11.19) deňlemeleriň çözlüşini almak ahyrky görnüşde aýratyn ýagdaý üçin, haçan-da bu deňlemäniň çep tarapynda durýan funksiýa örän ýönekeý bolan halatynda deňlemeleriň çözlüşini bolar.

Ýokarda görkezilişi ýaly, (11.14) – (11.19) deňlemeler umumy ýagdaýda ýakynlaşma usulynda integrirlenip bilner. Şeýle usul hökmünde G.G.Baranow tarapyndan işlenilen usuly ulanyp bolar. Usulyň manysy getirilen zwenonyň φ öwrülme burçy örän kiçi $\Delta\varphi$ interwala bölunýär, $\Delta\varphi$ integrirlemegiň ädimi diýip kabul edilýär. Her bir $\Delta\varphi$ aralykda berlen funksiýalar hereketlendiriji güýçleriň M_h we garşylyk güýçleriň M_g momentlerini hemişelik diýip hasaplanýar, getirilen inersiýa momenti I_g çyzykly üýtgeýär diýip kabul edilýär.

(11.14) – (11.19) deňlemeleriň çep tarapyny $M(\varphi, \omega, t)$ görnüşde jemlenen, M_h we M_g momentler φ öwrulme burçuň, ω burç tizligiň t wagtyň funksiýalary diýip alynýar. Onda bu deňlemeleri umumy görnüşde şeýle ýazyp bolar:

$$M(\varphi,\omega,t) = I_g\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi} \tag{11.39}$$

Sebäbi:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\omega}{d\varphi},$$

onda (11.39) deňlemäni şu görnüşde ýazyp bolar:

$$M(\varphi,\omega,t) = I_g\omega\frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{\omega^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi}, \tag{11.40}$$

ýa-da:

$$\frac{M(\varphi,\omega,t)}{\omega}d\varphi = 2I_g d\omega + \omega dI_g. \tag{11.41}$$

(11.41) deňlemede $d\varphi$ itegrirlemegiň ädimi $\Delta\varphi$ bilen çalyşýarys. Onda $d\omega$ ululyk tizligiň ösüşi $(\omega_{i+1} - \omega_i)$ tapawut bilen çalşylar, dI_g ululyk getirilen inersiýa momentiň ösüşi – $I_{g(i+1)} - I_{gi}$, bu ýerde i we $i + 1$ – getirilen zwenonyň başky we soňky interwala degişli:

$$\Delta\varphi - \varphi_{i+1} - \varphi_i.$$

Aýdylanlary hasaba alsak, (11.41) deňleme şu görnüşi alar:

$$\frac{2M(\varphi_i,\omega_i,t_i)}{\omega_i}=2I_g(\omega_{i+1}-\omega_i)+\omega_i(I_{g_{(i+1)}}-I_{g_i}). \tag{11.42}$$

(11.42) deňlemäni ω_{i+1} burç tizlige degişlilikde çözüp, alarys:

$$\omega_{i+1}=\frac{M(\varphi_i,\omega_i,t_i)\Delta\varphi}{I_{g_i}\omega_i}+\frac{3I_{g_i}-I_{g_{(i+1)}}}{2I_{g_i}}\omega_i. \tag{11.43}$$

$M(\varphi_i,\omega_i,t_i)$, I_{gi}, $I_{g(i+1)}$ we ω_i üçin bahalaryny bilip (11.43) deňlemeden saýlanyp alnan $\Delta\varphi$ integrirlemegiň ädimini bilip, ω_{i+1} burç tizligi kesgitlemek bolar. Ädim, ädimden ω_i burç tizligini hasaplap $\omega = \omega(\varphi)$ funksiýany alarys.

Agregatyň hereketiniň t wagtyny kesgitlemek üçin şu şertden peýdalanyp bolar:

$$dt=\frac{d\varphi}{\omega}. \tag{11.44}$$

Bu deňlemede dt $t_{i+1}-t_i$ tapawudyň üsti bilen, $d\varphi$ – ädimiň interwaly $\Delta\varphi$ bilen ω burç tizligi onuň orta bahasy bilen $\frac{\omega_i+\omega_{i+1}}{2}$ çalşylan.

Bu ýagdaýda şeýle ýazyp bolar:

$$t_{i+1}-t_i=\frac{2\Delta\varphi}{\omega_i+\omega_{i+1}}, \tag{11.45}$$

bu ýerden t_{i+1} kesgitleýäris:

$$t_{i+1}=t_i+\frac{2\Delta\varphi}{\omega_i+\omega_{i+1}}. \tag{11.46}$$

Beýan edilen itegrirlemä ýakynlaşma usuly analitiki ýagdaýda, şeýle hem ähli fünksiýalar üçin (11.14)–(11.19) deňlemelere girýän grafiki ýumuşlary çözmekde ulanylyp bilner.

11.3. Hereketi kinetik energiýanyň deňlemesiniň kömegi bilen barlamak

Köp tehniki meselelerde hereketlendiriji güýçlerden getirilen moment we garşylyk güýçlerden getirilen moment grafikler görnüşde berilýär, grafik görnüşde şeýle hem getirilen inersiýa moment berilýär. Şonuň üçin mehanizmiň hereketiniň deňlemesi grafiki san usuly bilen geçirilýär. Grafiki san bilen hereketiň deňlemesi çözülende kinetik energiýanyň deňlemesini ulanmak amatly. Onuň üçin $T = T(I_g)$ T kinetik energiýanyň we I_g getirilen inersiýa momentiň aralygyndaky baglanyşygy görkezýän diagrammany ulanmak bolar.

12. Sargyt № 1284

Getirilen moment getirilen zwenonyň φ öwrülme burçy bilen bagly bolanda ýagdaýa seredeliň.

Goý, M_h moment $M_h = M_h(\varphi)$ grafik görnüşde berlen (*11.1-nji a surat, doly çyzyk*), I_g inersiýa momenti $I_g = I_g(\varphi)$ (*11.2-nji surat*) grafik görnüşde berlen.

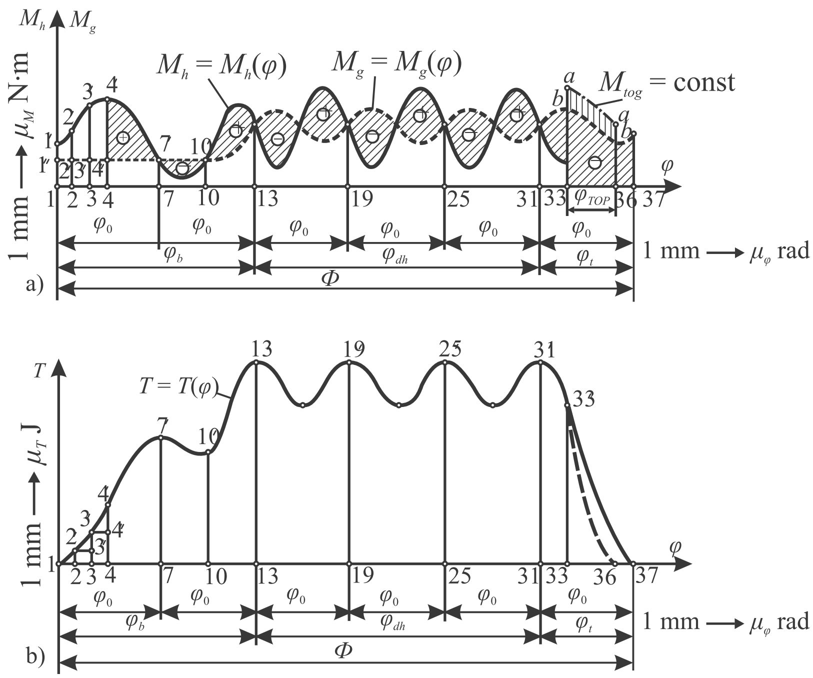
Getirilen momentiň M_g işi saýlanan interwala deňdir:

$$A_{M_h} = \int_0^{\varphi} M_h d\varphi,$$

bu ýerde φ getirilen zwenonyň öwrülme burçy. Bu işiň ululygy meýdanyň $M_h = M_h(\varphi)$ egri bilen, φ okuň başky we soňky ordinatalary degişli masştaba köpeldilmegi bilen aňladylýar. Getirilen momentiň işi deňdir we meýdany $M_g = M_g(\varphi)$ egri bilen φ okuň:

$$A_{M_g} = \int_0^{\varphi} M_g d\varphi$$

başky we ahyrky ordinatalaryny degişli masştaba köpeldilmegi bilen aňladylýar.



11.1-nji surat. Kinetik energiýanyň deňlemesini hereketiň deňlemesiniň grafosan görnüşli çözülişine: *a – hereketlendiriji güýjüniň we garşylyk güýjüniň momentleriniň grafigi; b – mehanizmiň kinetik energiýasynyň grafigi*

11.1-nji suratda φ burç mehanizmiň hereketiniň doly wagtyna degişli burçlaryň jemine deň. $\varphi = \varphi_b + \varphi_{d.h} + \varphi_t$, bu ýerde φ_b – batlanma wagtyna degişli burç, $\varphi_{d.h}$ – durnukly hereketiň wagtynyň burçy, φ_t – togtama wagtynyň burçy. φ_0 getirilen zwenonyň bir aýlawynyň wagtyna degişli burç. Mehanizmiň kinetik energiýasynyň ösüşi haýsy-da bolsa wagt aralygynda (10.35) deňlemä esaslanyp, $M_h = M_h(\varphi)$ we $M_g = M_g(\varphi)$ egrileriň tapawudynyň meýdanyny degişli μ_M we μ_φ masştablara köpeldilmegine deňdir. Mysal üçin, (*11.1-nji a surat*) 1–2 aralykda M_h getirilen momentiň işi [11′2′2′] mm^2 meýdany μ_M we μ_φ momentiň we öwrülme burçuň masştablaryna köpeldilmegine deňdir, M_g getirilen momentiň işi – [11′2′2′] meýdany şol masştablara köpeldilmegine deňdir. Kinetik energiýanyň ösüşi ΔT_{12} [1″1′2′2′] meýdany şol bir masştablara köpeldilýär.

Şeýlelikde:

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = \mu_\varphi \mu_M [11'2'2'] \text{ meýdan} - [11''2''2] \text{ meýdan} = \mu_\varphi \mu_M [1'2'2''1''].$$

Bu deňlikde μ_φ – öwrülme burçunyň masştaby we μ_M – momentiň masştaby. (2–3) aralykda kinetik energiýanyň ösüşi [2″2′3′3″] meýdan proporsional, (3–4) aralykda kinetik energiýanyň ösüşi [3″3′4′4″] meýdan proporsional we ş.m.

Kinetik energiýanyň üýtgeýşi mydama hereketlendiriji güýjüniň momentiniň we garşylyk güýjüniň momentleriniň egri çyzygynyň aralygyndaky meýdana proporsionaldyr.

(*11.1-nji a surat*) bu meýdanlar ştrihlenendir. Bu meýdanlara plýus ýa-da minus belgi haýsy iş uly şoňa baglylykda: hereketlendiriji güýjüniň momenti ýa-da garşylyk güýjüň momenti; 1 – aralykda hereketlendiriji güýjüň egrisi, garşylyk güýjüň egrisinden ýokarda ýerleşýär, diýmek, kinetik energiýanyň ösüşi položiteldir; 7–10 aralykda kinetik energiýanyň ösüşi otrisatel we ş.m. Ähli iş wagtynda φ öwrülme burçuna degişli kinetik energiýanyň ösüşi nola deň we ştrihlenen meýdanyň plýus belgisi minus belgili meýdanyň jemine deň bolmaly. Mehanizmiň batlanýan pursatynda we onuň togtaýan pursatynda getirilen nokadyň tizligi nola deň. Edil şonuň ýaly deňlik durnukly hereketde hem 13–25 aralykda bolmaly, sebäbi bu ýagdaýda mehanizmiň getirilen zwenosynyň burç tizligi her bir sikldan öňki kaddyna dolanyp gelýär.

11.1-nji *a* suratda durnukly hereketiň üç doly sikli görkezilendir. Praktiki bu sikllerin sany maşynyň üznüksiz işine we wagtyna baglylykda örän ýokary.

Ýokarda görkezilen meýdanlaryň ululygyny hasaplap, $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň öwrülme burça φ baglylykdaky diagrammany gurmaly (*11.1-nji b surat*). Gurluşy 1 ýagdaýdan başlaýarys. [1′2′2″1″] meýdany millimetr kwadratda hasaplaýarys. Goý, bu meýdan S_{12} mm^2 deň bolsun, onda 1–2 aralykda kinetik energiýanyň ösüşi deňdir:

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = \mu_\varphi \mu_M [1'2'2''1''] \text{ meýdan} = \mu_\varphi \mu_M S_{12}.$$

bu ýerde μ_M – M_h we M_g masştaby, μ_φ – getirilen zwenonyň öwrulme burçunyň masştaby. Mehanizm 1 nokada degişli ýagdaýdan süýşüp başlaýar, onuň birinji başlangyç ätiýaçlyk T_1 energiýasy nola deň, onda mehanizmiň ikinji ýagdaýynda doly kinetik energiýa T_2 ululyk bilen aňladylar. Bu ululygy μ_T masştabda 2 nokatdan geçirilen ordinatadan 2–2′ kesim görnüşde alyp goýarys (*11.1-nji b surat*). Ony şeýle ýazýarys:

$$\Delta T_{12} = T_2 = \mu_\varphi \mu_M S_{12} = \mu_T (2\text{–}2').$$

Soňra indiki $S_{12} = [2''2'3'3'']$ mm^2 meýdançany hasaplaýarys. Geçenki boýunça ýazyp bileris:

$$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 = \mu_\varphi \mu_M \{[22'3'3'] \text{ meýdan} - [22''3''3'] \text{ meýdan}\} =$$

$$= \mu_\varphi \mu_M [2''2'3'3''] \text{ meýdan} = \mu_\varphi \mu_M S_{23} = \mu_T (3''\text{–}3').$$

ýagny T_{23} kinetik energiýanyň ösüşi 2-3 aralykda [2″ 2′ 3′ 3″] meýdany μ_φ we μ_M masştablara köpeldilmegi bilen aňladylýar. Alnan ululygy (*11.1-nji b surat*) 3 nokatdaky ordinatadan 3″–3′ kesim görnüşde μ_T masştabda alyp goýýarys, oky geçenki kesime goşýarys (2–2′) (3–3″) we ş.m. Kinetik energiýanyň diagrammasynyň ordinatasy 7 ýagdaýa çenli ulalýar, 7′ nokatda ol ýokary beýiklige ýetýär. Kinetik energiýanyň degişli bir maksimumyna ýetýär. Soňra 7–10 aralykda egri çyzyk aşak düşýär, absissa okuň bu nokatlarynyň ştrihlenen bölegi minus belgä düşýär. 10 nokatdan başlap $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň egri çyzygy 13 ýagdaýa çenli ýokary galýar, bu egri ýene-de 13′ nokatda beýiklige galýar we ş.m.

13–31 aralykda diagramma durnukly hereketi beýan edýär, φ_0 burça degişlilikde mehanizmiň hereketiniň her bir siklinde egri gaýtalanyp durýar, onuň ordinatasy özüniň maksimumyna (berlen bahasyna) we minimumyna (pes bahasyna) ýetýär.

31 ýagdaýda $T = T(\varphi)$ egri çyzygynyň ordinatasy soňky maksimumynda, ondan soňra egri çyzyk 31–37 aralykda peselýär, sebäbi bu aralykda garşylyk güýji täsir edýär. 37 nokat mehanizmiň togtaýan pursatyna degişli, kinetik energiýanyň ululygyny egri çyzygyň ordinatalaryndan ýuwaş-ýuwaşdan aýyrmak arkaly kesgitlenýär. Mehanizmiň togtan pursaty, onuň batlanma döwründe toplanan kinetik energiýanyň doly ýok bolmagyna degişli.Goşmaça garşylyk girizmek arkaly mysal üçin, saklaýjynyň kömegi bilen toplanan kinetik energiýanyň harçlanyşyny tizleşdirmek mese-mälim görnüp dur. Mysal üçin, goşmaça garşylygy togtadyjy moment M_{tog} = const görnüşinde girişmek arkaly 11.1-nji *a* suratda görkezilen üzülen ştrihli *a – a* egri çyzyk mehanizmiň kinetik energiýasyny wagtyndan öň harçlap bolýar, onda mehanizm 36 nokada degişli ýagdaýda saklanar (*11.1-nji b surat*). $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň egri çyzygynyň b üýtgemesi üzülen çyzyk bilen görkezilendir. Bu ýagdaýa çenli harçlanjak işi hasaplamak kyn däl. Ol S_{tog} mm^2 (*11.1-nji a surat*) meýdan bilen aňladylýar we doly togtadyjy iş A_{tog} deňdir:

$$A_{tog} = \mu_\varphi \mu_M S_{tog} = \mu_\varphi \mu_M (ab)\, \varphi_{tog},$$

bu ýerde φ_{tog} – getirilen zwenonyň öwrülme burçy, togtaýan aralykda.

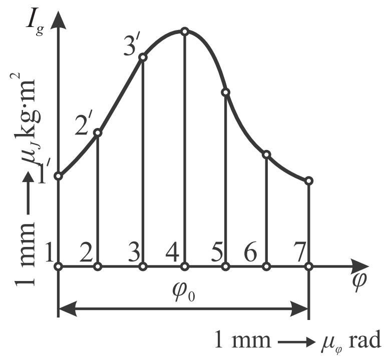
Şeýlelikde, $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň diagrammasynyň kömegi bilen getirilen zwenonyň φ doly öwrülme burçy berlen hereketlendiriji güýçleriň we garşylyk güýçleriň momentlerinden kesgitlenýär. Ýüzlenen mysalymyzda eger togtadyjy M_{tog} moment ýok bolsa we 1–36 kesime degişli goşmaça togtadyjy moment girizilende, bu burç absissa okunyň 1–37 kesimini μ_{φ} masştaba köpeldilmegine deňdir. Indi bolsa getirilen zwenonyň burç tizliginiň kesgitlenişine geçeliň. Onuň üçin mehanizmiň kinetik energiýasynyň aňlatmalaryndan peýdalanýarys (10.47) deňlemeden alýarys:

$$T = \frac{I_g \omega^2}{2}. \qquad (11.47)$$

Bu deňlemede *Ig* getirilen inersiýa moment we ω – mehanizmiň getirilen zwenosynyň burç tizligi. Getirilen inersiýa momentiň öwrülme burçuna bagly 11.2-nji suratda $I_g = I_g(\varphi)$ diagramma berlen (11.47) deňligi şeýle ýazyp bolar:

$$\omega^2 = \frac{2T}{I_g}, \qquad (11.48)$$

ýagny getirilen zwenonyň burç tizliginiň kwadraty onuň her bir seredilýän ýagdaýynda maşynyň eýe bolýan T kinetik energiýasynyň şol ýagdaýlar üçin alnan I_g getirilen inersiýa momentine bolan gatnaşygyna proporsionaldyr.



11.2-nji surat. Getirilen inersiýa momentiň grafigi

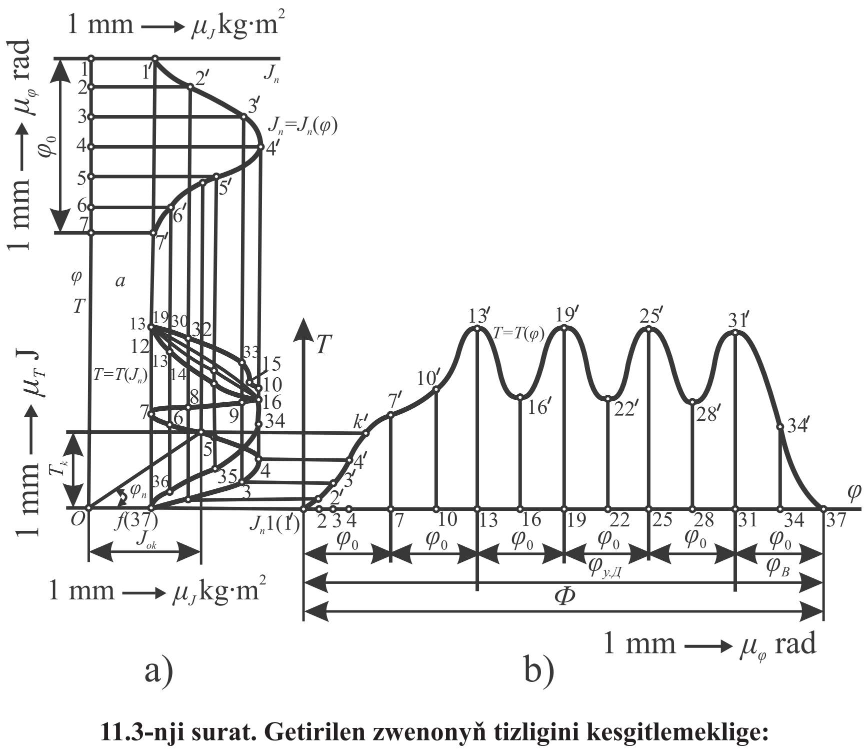
Bu gatnaşygyň manysyny kesgitlemek üçin diagrammalary gurýarys: $I_g = I_g(\varphi)$ getirilen inersiýa momentiň (*11.3-nji a surat*) we $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň (*11.3-nji b surat*). Gurluşyň amatly bolmagy üçin $I_g = I_g(\varphi)$ diagrammany 90° burça öwürýäris, ýagny I_g getirilen inersiýa momentiň bahalary goýlan ordinata oky keseligine ýerleşdirýäris, getirilen zwenonyň φ öwrülme burçy ýerleşdirilen absissa oky – dikligine ýerleşdireris. $I_g = I_g(\varphi)$ egri çyzyk her bir sikldel gaýtalanýar, onda bu diagrammany çyzmaklygy, edilişi ýaly 11.3-nji a suratda φ_0 öwrülme burçda çäklenmek bolar. $I_g = I_g(\varphi)$ diagrammada 1' nokady belleýäris, $T = T(\varphi)$ kinetik energiýanyň diagrammasynyň 1' nokadyna degişli bolar (*11.3-nji b surat*), we bu nokadyň üstünden kese göni çyzyk bilen kesişýänçä dik göni çyzyk geçirýäris. Bu çyzyklaryň kesişme nokadyny 1 san bilen belleýäris. (*11.3-nji b surat*). Soňra $I_g = I_g(\varphi)$ diagrammada 2' nokady we $T = T(\varphi)$ diagrammada oňa degişli 2′ nokady belleýäris. Degişli dik we kese çyzyklaryň kesişmesi 2 nokady berýär. 3′ we 3′ nokatlardan geçirilen çyzyklar 3 nokady berýär, 4′ we 4′ nokatlardan – 4 nokady berýär we ş.m. Alnan nokatlary yzygider birleşdirip, kinetik energiýanyň T getirilen I_g inersiýa momente baglylykdaky egri çyzygy alýarys (*11.3-nji b surat*).

Bu egri çyzyk kinetik energiýa T bilen getirilen inersiýa momentiň I_g aralygyndaky baglanyşygy aňladýar, ýagny $T = T(I_g)$ baglanyşyk. 1 ýagdaýdan 37 ýagdaýa çenli mehanizmiň hereketiniň doly wagt üçin $T = T(I_g)$ egriçyzygy guralyň. Durnukly hereketde 13–31 $T = T(I_g)$ egri çyzyk ýapyk bolmaly, sebäbi T we I_g ululyklaryň şol bir bahalary her bir siklde döwurleýin gaýtalanýar. $T = T(I_g)$ egri çyzygyň 1–13 batlanma wagtyna degişli bölegi, 31-37 togtama wagtyna degişli bölegi bilen gabat gelmeýär, sebäbi $T = T(\varphi)$ egriçyzygyň häsiýeti bu bölümlerde dürlidir.

$T = T(I_g)$ egri çyzyga bu baglanyşygy ilkinji hödürlän alymyň adyna Wittenbaueriň diagrammasy diýilýär.

$T = T(I_g)$ egriçyzykda haýsy-da bolsa K nokady saýlalyň we bu nokady koordinatanyň başlangyç O nokady bilen birleşdireliň (*11.3-nji b surat*). OK göni çyzygyň absissa oky bilen emele getirýän burçuny ψ_k bilen belläliň. Absissa okundan μ_I masştabda I_{gk} getirilen inersiýa moment alnyp goýlan, ordinata oky boýunça – T_k kinetik energiýa μ_T masştabda K nokada degişli, onda bu ululyklaryň gatnaşyklary OI_g oka OK göni çyzygyň ψ_k ýapgytlyk burçunyň tangensini berer:

$$\frac{T_K}{I_{g_K}} = \frac{\mu_T}{\mu_I}\,\mathrm{tg}\,\psi_K. \tag{11.49}$$



11.3-nji surat. Getirilen zwenonyň tizligini kesgitlemeklige:
a – getirilen inersiýa momentiň öwrülme burçuna baglylykdaky diagramma;
b – kinetik energiýanyň öwrülme burçuna baglylykdaky diagramma

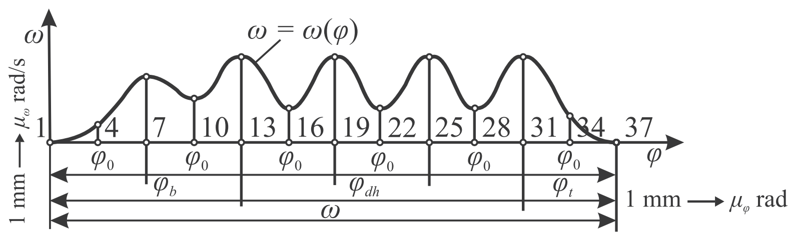
Eger $T = T(I_g)$ egriçyzygyň ähli nokatlaryny yzygider O nokat bilen birleşdirip we (11.49) deňlemedan peýdalanyp ψ_1, ψ_2, ψ_3,... ähli burçlar yzygider kesgitlense, bu burçlaryň tangensleriniň bahalaryny (11.48) deňlige goýup, onda mehanizmiň ähli ýagdaýlary üçin getirilen zwenonyň ω burç tizliginiň kwadrat bahasyny alarys:

$$\omega_1^2 = 2\frac{\mu_T}{\mu_I}\mathrm{tg}\psi_1, \qquad \omega_2^2 = 2\frac{\mu_T}{\mu_I}\mathrm{tg}\psi_2 \tag{11.50}$$

(11.50) deňlemä görä, getirilen zwenonyň burç tizligi ω_i kwadrat kök aşagynda ψ_1, ψ_2,... burçlaryň tangensine proporsionaldyr:

$$\omega_1 = \sqrt{2\frac{\mu_T}{\mu_I}\mathrm{tg}\psi_1}, \qquad \omega_2 = \sqrt{2\frac{\mu_T}{\mu_I}\mathrm{tg}\psi_2}. \tag{11.51}$$

Mehanizmiň getirilen zwenosynyň ω burç tizliginiň bahasy şeýle kesgitlenýär. Bu bahalardan peýdalanyp getirilen zwenonyň ω burç tizliginiň φ burça bagly grafigini gurmak bolar (*11.4-nji surat*).



11.4-nji surat. Getirilen zwenonyň burç tizliginiň onuň öwrülme burçuna bagly grafigi

Hereketiň t wagtynyň φ burça bagly grafigi (11.25) deňlemedan peýdalanyp gurmak bolar, islendik wagt aralygy hereketiň başyndan t_1 wagta degişli seredilýän t_K wagta çenli deňdir:

$$t_K - t_1 = \int_{\varphi}^{\varphi_K} \frac{d\varphi}{\omega(\varphi)}. \tag{11.52}$$

(11.52) deňlemenyň sag tarapyndaky itegral grafiki kesgitlenip bilner, eger $1/\,\omega(\varphi)$ ululygyň φ burça bagly grafigi gurulsa, muny ýerine ýetirmek bolar, sebäbi $\omega = \omega(\varphi)$ belli. $\omega = \omega(\varphi)$ we $t = t(\varphi)$ grafikler boýunça $\omega = \omega(t)$ grafigi gurup bolar. Getirilen zwenonyň burç tizlenmesi $\omega = \omega(t)$ funksiýany grafiki differensirläp kesgitlenýär.

Getirilen zwenonyň ω burç tizliginiň we ε burç tizlenmesini bilip, aýratyn zwenolaryň tizliklerini we inersiýa güýçlerini kesgitläp bolýar, şeýle hem getirilen zwenonyň deňölçegsiz aýlanýan şertlerinde mehanizmiň doly güýç hasaplanyşygyny geçirmek bolar.

Şeýlelikde, $T = T(I_g)$ diagrammanyň kömegi bilen we soňky grafiki san hasaplar bilen güýjüniň getirilen zwenonyň ýagdaýlaryna baglylykda agregatyň hereketi baradaky soragy doly barlamak bolýar.

12-nji BAP

MAŞYNLARYŇ WE MEHANIZMLERIŇ DEŇÖLÇEGSIZ HEREKETI

12.1. Umumy seredilýän meseleler

Maşynlaryň ýa-da mehanizmleriň berlen hereketiniň düzgünini üpjün etmek üçin, mehanizmleriň zwenolarynyň tizlikleriniň we massalarynyň, güýçleriniň aralygyndaky has amatly gatnaşyklaryny kesgitlemek baradaky wajyp meselä seredilýär.

Geçen bapda umumy ýagdaýda mehanizmiň başlangyç zwenosynyň tizlikleriniň mehanizmiň durnukly hereketinde üýtgeýän ululykdygyny umumy ýagdaýda görkezildi. Bu zwenonyň tizliginiň üýtgemegi kinematiki jübütlerde goşmaça dinamiki basyşy ýüze çykarýar, ol bolsa maşynyň umumy peýdaly täsir koeffisiýentiniň we onuň iş ygtybarlylygyny peseldýär. Bulardan başga-da bu tizlikleriň üýtgemegi käbir ýagdaýda maşynyň ýa-da mehanizmiň zwenolarynda ep-esli maýyşgak yrgyldynyň ýüze çykmagyna getirýär, ol bolsa bu zwenolaryň berklik tarapdan islenmeýän ýagdaýa, şeýle hem bu maýyşgak yrgylda sarp edilýän kuwwatyň ýitmegine getirýär. Tizligiň üýtgemegi maşynyň mehanizmleriniň ýerine ýetirýän tehnologiki iş prosesiniň ýaramazlaşmagyna getirýär.

Mehanizmiň durnukly hereketi wagtynda başlangyç zwenonyň tizliginiň üýtgäp durmagy bu yrgyldynyň iki dürli görnüşiniň ýüze çykmagyna getirýär.

Hakykatdan hem, ýokarda bellenişi ýaly, mehanizmleriň köp böleginde durnukly hereketiň diňe doly siklinde ähli hereketlendiriji güýçleriň işine deňdir. Bu sikliň içinde bolsa biz bu işleriň deňligine göz ýetirýäris, diýmek, mehanizmiň başlangyç zwenosy sikliň içinde deňölçegsiz hereketlenýär. Durnukly hereketiň her bir doly siklinde mehanizmiň kinetik energiýasy mehanizmiň başlangyç zwenosynyň başky bahasyna eýedir, sikl, şeýlelikde, döwürleýin gaýtalanýar.

Şular ýaly tizlikleriň üýtgemegine döwürleýin (periodiki) diýilýär.

Şeýlelikde, mehanizmiň döwürleýin tizlikleriň üýtgemegi diýip mehanizmiň ähli zwenolarynyň tizlikleri belli bir kesgitli siklller boýunça bolup, olar gutarandan soň bu tizlikler her bir gezek özüniň ilkinji başlangyç bahasyna gaýdyp gelýär.

Tizlikleriň döwürleýin üýtgemeginden başga-da, mehanizmde tizlikleriň döwürleýin däl üýtgemegi hem bolýar, ol bolsa dürli sebäpleriň döremegine getirýär: peýdaly ýa-da zyýanly garşylyk güýçleriň duýdansyz üýtgemegi, mehanizme goşmaça massalaryň goşulmagy we ş.m. Mehanizmde şolar ýaly ýüküň duýdansyz üýtgemegi onuň başlangyç zwenosynyň tizliginiň duýdansyz ýokarlanmagyna ýa-da peselmegine getirýär. Käbir halatlarda bu tizligiň üýtgemegi kesgitli däl sikllere getirýär, onda şular ýaly başlangyç zwenonyň tizliginiň üýtgemegine döwürleýin däl diýilýär. Köp mehanizmlerde biz tizlikleriň üýtgemeginiň iki görnüşine gabat gelýäris.

Deňölçegli hereketiň wagtynda tizlikleriň üýtgemegi şeýle ululyga ýetýär, ol bolsa mehanizmiň ähli iş şertlerine degişli üpjün etmek nukdaýnazardan ygtyýar edilmeýär. Onda bu ululyklaryň üýtgeýşiniň berlen çākleriniň öňünden sazlanylmalydygy baradaky sorag ýüze çykýar. Mehanizmiň durnukly hereketi wagtynda tizlikleriň üýtgeýşiniň sazlanylyşy baradaky mesele, tehnikada uly baha berilýär, şonuň üçin köp mehanizmlerde bu wagt olaryň hereketiniň iş wagty bolýar, onuň dowamynda bolsa mehanizm özüniň önümçilik funksiýasyny ýerine ýetirýär.

Mehanizmiň deňölçegli hereketinde tizlikleriň döwürleýin üýtgeýşiniň sazlanyşy. köplenç, onuň zwenolarynyň degişli massalaryny saýlamak bilen ýerine ýetirilýär. Zwenolaryň massalaryny şeýle saýlamaly, olar mehanizmiň kinetik energiýasynyň ähli ösüşini sazlar ýaly, bu bolsa hereketlendiriji güýjüň işiniň garşylyk güýjüniň işinden ýokarydygyny görkezýär. Zwenolaryň massalarynyň toplan bu kinetik energiýasy, yzyna mehanizme berilmeli, haçan-da garşylyk güýjüň işi hereketlendiriji güýjüň işinden ýokary bolanda.

Mehanizmiň zwenolarynyň massalaryny saýlamak bilen onuň deňölçegli hereketinde başlangyç zwenonyň tizliginiň döwürleýin üýtgemegini sazlamak baradaky meseläni çözüp bolar. Döwürleýin däl ýagdaýda deňölçegli hereketde tizlikleriň üýtgemegini onuň zwenolarynyň massalaryny saýlamak arkaly, haçan-da bu yrgyldy üjypsyz bolanda tizlikleriň üýtgemegini sazlamak baradaky meseläni çözüp bolýar. Ýokary döwürleýin däl tizlikleriň üýtgeýşiniň sazlanyşy baradaky mesele hereketlendiriji güýjüň ýa-da garşylyk güýjüň kanunyny sazlaýjy ýörite mehanizm goýmak arkaly çözülýär. Şular ýaly sazlaýjy mehanizme sazlaýjylar diýilýär.

Mehanizmiň hereketini sazlamak baradaky soragy onuň durnukly hereketinde tizlikleriň döwürleýin üýtgeýşiniň sazlanyşy baradaky meselä seretmekden başlaýarys.

12.2. Maşynyň orta tizligi we onuň deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýenti

Maşynyň ýa-da mehanizmiň durnukly hereketi wagtynda tizlikleriň döwürleýin üýtgeýşini öwrenmek üçin başlangyç zwenonyň orta tizligi barada düşünje girizýäris we gelejekde meseläni hereketiň şu wagty üçin seredýäris.

Başlangyç zwenonyň *B* nokadynyň bir siklde onuň hereketiniň *i* ýagdaýdan *k* ýagdaýyna çenli geçen ýoluny *S* bilen belleýäris. Deňölçegli hereketde *t* wagt aralygynda *S* ýoly geçende deňölçegsiz nokadyň tizligine hakyky orta tizlik diýilýär (υ_{ort})*h* hereketde hem tizligi tapmak talap edilýär.

Onda:

$$dt = \frac{dS}{\upsilon},$$

bu ýerden:

$$t = t_k - t_i = \int_{S_i}^{S_k} \frac{dS}{\upsilon},$$

şeýle-de, $t_k - t_i = \dfrac{S}{(\upsilon_{ort})h}$ hasaba ýetmek bilen alýarys:

$$(\upsilon_{ort})h = \frac{S}{\int_{S_i}^{S_k} \frac{dS}{\upsilon}}. \tag{12.1}$$

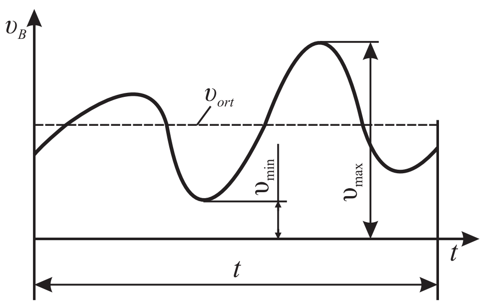
Hakyky orta tizlik, köplenç, υ_{ort} orta arifmetiki tizlik bilen çalşylýar we ol şeýle kesgitlenýär:

$$\upsilon_{ort} = \frac{\upsilon_{\max} + \upsilon_{\min}}{2}, \tag{12.2}$$

bu ýerde $\upsilon_{\max}$ we $\upsilon_{\min}$ – *B* nokadyň maksimal we minimal tizligi (*12.1-nji surat*). Mehanizmler üçin deňölçegsiz hereketde bu san bahalaryň aralygyndaky tapawut ýok diýen ýaly az, şonuň üçin, köplenç, goýlan meseläni çözmek üçin orta tizligiň amatly bahasyndan peýdalanylýar.

Mehanizmiň ýa-da iş maşynynyň, dwigateliň pasportynda şunuň ýaly şertli orta tizlik görkezilýär, bu ýagdaýda ony, adatça, nominal tizlik diýip atlandyrylýar (latyn sözünden “nomen”, at, atlandyrylan).

Pes deňölçegli hereketde mehanizm üçin hakyky orta tizlikden peýdalanylsa has-da gowy bolar.



12.1-nji surat. Nokadyň tizliginiň wagta baglylykdaky grafigi

Eger *B* nokadyň υ_B tizligiň maksimal we minimal bahalarynyň tapawudyny (*12.1-nji surat*) orta tizlige bölsek, onda maşynyň ýa-da mehanizmiň deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýenti diýilýäni alarys, ony δ harpy bilen belleýäris we deňdir:

$$\delta = \frac{\upsilon_{\max} + \upsilon_{\min}}{\upsilon_{ort}}. \tag{12.3}$$

$\upsilon_{\max}$ we $\upsilon_{\min}$ arasyndaky tapawut az boldugyça, başlangyç zweno deňölçegli aýlanýar. Maşynyň ýa-da mehanizmiň olaryň durnukly hereketi döwründe, olaryň hereketini sazlamak meselesi, mehanizmiň zwenolarynyň massalarynyň aralygyndaky gatnaşyklary saýlamaga we olara täsir edýän güýçlere, garanyňda δ deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýenti haýsy-da öňünden berlen san bahadan ýokary bolmaly däl. Praktikada δ ululygy dürli çäklerde bolýar.

5-nji tablisada käbir görnüşli maşynlar üçin ygtyýar edilýän deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýenti getirilýär.

5-nji tablisa

Maşynyň görnüşleri	Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti
Nasoslar	1/5-1/30
Oba hojalyk maşynlary	1/5-1/50
Metal işläp bejeriji stanoklar	1/20-1/50
Tikin, poligrafiki, un üweýän maşynlar	1/10-1/50
Kagyz çykaryjy maşynlar	1/60-1/100
Gämileriň dwigatelleri	1/20-1/150
Içinden ýandyrylýan dwigateller	1/80-1/100
Kompressorlar	1/50-1/100
Hemişelik toguň elektrik generatorlary	1/100-1/200
Üýtgeýän toguň elektrik generatorlary	1/200-1/300
Uçarlaryň dwigatelleri	1/200 we az
Turbogeneratorlar	1/200 we az

Maşynyň ýa-da mehanizmiň orta tizligini deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti öwrülme burçunyň we başlangyç zwenonyň burç tizliginiň üsti bilen aňlatmak amatlydyr. Onda (12.1) – (12.3) deňliklere esaslanyp hakyky orta burç tizligi (ω_{ort}) aňladarys:

$$(\omega_{ort}) = \frac{\varphi}{\int_{\varphi_i}^{\varphi_k} \frac{d\varphi}{\omega}}, \qquad (12.4)$$

orta arifmetiki burç tizlik üçin aňlatma:

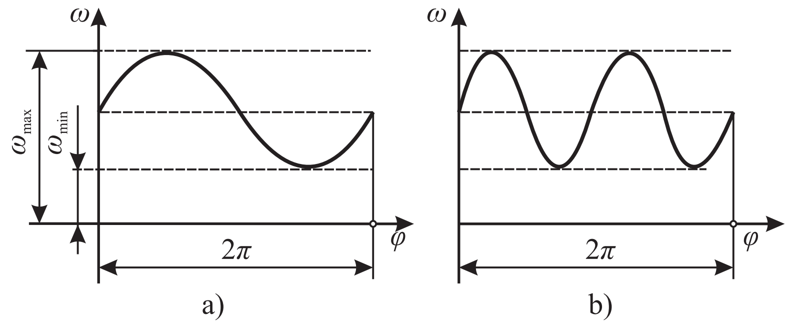
$$\omega_{ort} = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} \qquad (12.5)$$

we deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti üçin aňlatma:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{ort}}. \qquad (12.6)$$

Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti diňe başlangyç zwenonyň $\omega_{\max}$ $\omega_{\min}$ çenli çäkdäki orta tizliginiň üýtgäp durmaklygyny häsiýetlendirýär, emma bu zwenonyň durnukly hereketiň döwründe bir doly sikliň içinde dinamiki hereketi häsiýetlendirmeýär.12.2-nji *a* we *b* suratlarda $\omega_{\max}$ we $\omega_{\min}$ deň, emma ε burç tizlenme 12.2-nji *b* surat üçin 12.2-nji *a* suratdakydan has uly. Mehanizmiň dinamiki häsiýetnamasy ε bu bahalary bilen dürlüdir. Maşynlaryň we mehanizmleriň durnukly hereketi döwründe dinamiki häsiýetini deňeşdirme bahasy dinamiki koeffisiýent *k* bilen häsiýetlendirip bolar, ol burç tizlenmäniň ε_{ext} ekstremal (ýokary) bahasynyň ω_{ort}^2 orta burç tizligiň kwadratyna bolan gatnaşygy bilen aňladylýar:

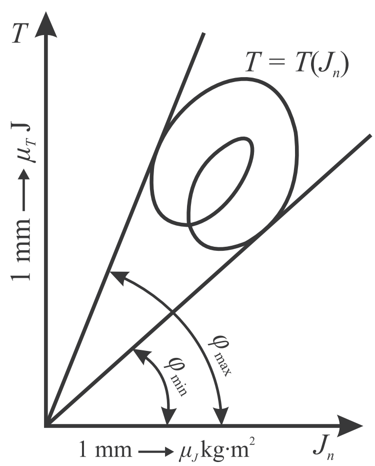
$$k = \frac{\varepsilon_{ext}}{\omega_{ort}^2}. \qquad (12.7)$$



12.2-nji surat. Burç tizligiň öwrülme burça baglylykdaky grafigi:
a – birsydyrgyn; b – birsydyrgyn däl burç tizligiň üýtgemegi

(12.7) aňlatmanyň sanawjysyny we maýdalawjysyny getirilen inersiýa momentiň $I_{g_{ort}}$ orta bahasyna köpeldýäris. Onda alarys:

$$k = \frac{I_{g_{ort}} \varepsilon_{ext}}{I_{g_{ort}} \omega_{ort}^2} \cdot \frac{M_{ext}}{2T_{ort}}. \tag{12.8}$$



12.3-nji surat. Mehanizmiň durnukly hereketi üçin kinetik energiýasynyň getirilen inersiýa momentine baglylykdaky diagrammasy

Şeýlelikde, mehanizmiň dinamiki koeffisiýenti başlangyç zweno goýlan M_{ext} ekstremal momentiniň mehanizmiň ikeldilen T_{ort} orta kinetik energiýasyna bolan gatnaşygyna deňdir.

Dinamiki koeffisiýent k mehanizmiň hereketiniň düzgümi, 12.2-nji *b* suratda görkezilen, mehanizm üçin köp, 12.2-nji *a* suratda görkezilen hereketiň režiminden şol bir ululykdaky $I_{g_{ort}}$ getirilen inersiýa momentiň bahasynda.

Eger mehanizmiň hereketiniň ähli wagty üçin $T = T(I_g)$ gurulan bolsa, onda durnukly hereketiň wagtynda δ ululygyny kesgitlemek kynçylyk döretmeýär. Onuň üçin $T = T(I_g)$ diagrammanyň durnukly hereketine degişli bölegine seredeliň (*12.3-nji surat*). Deňölçegli hereketiň wagtynda ω_{max} maksimal burç tizligi degişli ψ_{max} burçuň tangensine deňdir, ω_{min} minimal burç tizlik bolsa degişli ψ_{min} burçuň tangensine deňdir. ψ_{max} we ψ_{min} maksimal we minimal burçlary kesgitlemek üçin 0 nokatdan $T = T(I_g)$ egni ýapyk çyzyga iki galtaşma çyzyklary geçirýäris. Bir galtaşma çyzyk absissa oky bilen ψ_{max} maksimal burçy, beýleki galtaşma çyzyk absissa oky bilen ψ_{min} minimal burçy emele getirýär. (11.50) deňlige esaslanyp şeýle ýazyp bileris:

$$\omega_{\max}^2 = 2\frac{\mu_T}{\mu_{I_g}}\operatorname{tg}\psi_{\max}; \qquad \omega_{\max}^2 = 2\frac{\mu_T}{\mu_{I_g}}\operatorname{tg}\psi_{\min}, \tag{12.9}$$

bu ýerde $\omega_{\max}$ we $\omega_{\min}$ – başlangyç zwenonyň maksimal we minimal burç tizlikleri. Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti deňdir (*12.6 deňlemä seret*).

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{ort}}. \tag{12.10}$$

(12.10) deňlemäniň deňliginiň sag tarapynyň sanawjysyny we maýdalawjysyny $(\omega_{\max} + \omega_{\min})$ köpeldip alarys:

$$\delta = \frac{(\omega_{\max} - \omega_{\min})(\omega_{\max} + \omega_{\min})}{\omega_{ort}(\omega_{\max} + \omega_{\min})} = \frac{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2}{2\omega_{ort}^2}, \tag{12.11}$$

ýagny $\omega_{\max} + \omega_{\min} = 2\omega_{ort}$ (*12.5 deňlemä seret*).

(12.11) deňlemä $\omega_{\max}$ we $\omega_{\min}$ aňlatmany (12.9) deňlemä görä goýup, alarys:

$$\delta = \frac{\mu_T}{\mu_{I_g}} \frac{\operatorname{tg}\psi_{\max} - \operatorname{tg}\psi_{\min}}{\omega_{ort}^2}. \tag{12.12}$$

$\psi_{\max}$ we $\psi_{\min}$ burçlary göni çyzykdan ölçäp tapmak bolýar, ω_{ort} ululygyny (12.4) deňleme boýunça kesgitlenýär.

Eger $\omega_{ort} = (\omega_{\max} + \omega_{\min})/2$ kabul edilse, onda (12.5), (12.6) we (12.9) deňlemeleri bilelikde çözüp, mehanizmiň deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýentini kesgitläris:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{ort}} = 2\frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\max} + \omega_{\min}} = 2\frac{\sqrt{\operatorname{tg}\psi_{\max}} - \sqrt{\operatorname{tg}\psi_{\min}}}{\sqrt{\operatorname{tg}\psi_{\max}} + \sqrt{\operatorname{tg}\psi_{\min}}}. \tag{12.13}$$

Mehanizmiň δ deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýentini göni kesgitlemek hem bolýar. Eger tizligiň diagrammasy gurulan bolsa (mysal üçin, 12.1-nji suratda gurlan tizligiň diagrammasy boýunça). Onuň üçin diagrammadan $\upsilon_{\max}$ we $\upsilon_{\min}$ kesgitläris we olaryň bahasyny (12.2) we (12.3) deňlemelere goýýarys.

12.3. Mehanizmiň deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentiniň we getirilen güýjüň, getirilen inersiýa momentiň aralygyndaky baglanyşyk

Mehanizmiň deňölçegsiz hereketiniň koeffisiýentiniň we getirilen güýjüň, getirilen inersiýa momentiniň aralygyndaky baglanyşyk baradaky meselä seredeliň (12.5) we (12.6) deňlemeleri $\omega_{\max}$ we $\omega_{\min}$ degişlilikde çözüp taparys:

$$\omega_{\max} = \omega_{ort}\left(1 + \frac{\delta}{2}\right) \text{ we } \omega_{\min} = \omega_{ort}\left(1 - \frac{\delta}{2}\right). \tag{12.14}$$

Bu deňlemeleriň sag we çep tarapyny kwadrata göterip alarys:

$$\omega_{\max}^2 = \omega_{ort}^2 \left(1 + \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \omega_{ort}^2 (1 + \delta);$$

$$\omega_{\min}^2 = \omega_{ort}^2 \left(1 - \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \omega_{ort}^2 (1 - \delta), \qquad (12.15)$$

δ koeffisiýentiň az bahasyny $\frac{\delta^2}{4}$ ýok etmek bolar.

Mehanizmler üçin uly deňölçegsiz hereketde bu agzany hem hasaba almaly (12.15) deňlemä $\omega_{\max}$ we $\omega_{\min}$ aňlatmalar üçin (12.9) deňlemä görä alarys:

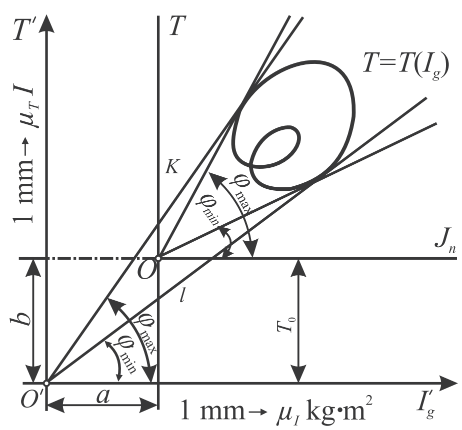
$$2\frac{\mu_T}{\mu_{I_g}} \mathrm{tg}\psi_{\max} = \omega_{ort}^2 \left(1 + \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \omega_{ort}^2 (1 + \delta);$$

$$2\frac{\mu_T}{\mu_{I_g}} \mathrm{tg}\psi_{\min} = \omega_{ort}^2 \left(1 - \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \omega_{ort}^2 (1 - \delta),$$

bu ýerden:

$$\mathrm{tg}\psi_{\max} = \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T} \omega_{ort}^2 \left(1 + \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T} \omega_{ort}^2 (1 + \delta);$$

$$\mathrm{tg}\psi_{\min} = \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T} \omega_{ort}^2 \left(1 - \delta + \frac{\delta^2}{4}\right) \approx \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T} \omega_{ort}^2 (1 - \delta). \qquad (12.16)$$



12.4-nji surat. Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentiniň we getirilen inersiýa momentiň ululygyna bagly barlagyna degişli

(12.16) deňlemäniň kömegi bilen berlen burç tizligi üçin we deňölçegsiz hereketiň δ koeffisiýentiniň bahasy üçin degişli $\psi_{\max}$ we $\psi_{\min}$ burçlary kesgitlemek bolar. Eger berlen inersiýa moment we kinetik energiýa belli bolanda olaryň aralygyndaky baglanyşygy we $T = T(I_g)$ diagrammany gurmak bolar, soňra δ bahasy üýtgände bu ululyklaryň nähili üýtgeýändigi baradaky sorag çözülýär. Goý, durnukly hereketiň wagty üçin $T = T(I_g)$ diagramma (*12.4-nji surat*) we goý, deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti δ deň kinetik energiýanyň we getirilen inersiýa momentiň berlen bahalary üçin berlen bolsun. $\psi_{\max}$ we $\psi_{\min}$ degişli burçlar bilen geçirilen galtaşmalar 0 koordinatyň başlangyjynda kesişýärler.

Haýsy-da bolsa täze δ' koeffisiýentiň bahasyny berýäris we (12.16) deňlemeden oňa degişli ψ'_{max} we ψ'_{min} burçlaryň bahasyny hasaplaýarys. $T = T(I_g)$ egriçyzyga galtaşmalar δ' deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentinde absissa okuna ψ'_{max} we ψ'_{min} burçlara deň bolan ýapgyt çyzyk geçirýäris. $T = T(I_g)$ grafige bu galtaşma çyzyklary geçirýäris (*12.4-nji surat*) we olaryň kesişýän $0'$ nokadyny tapýarys. $0'$ nokat $T = T(I_g)$ diagrammanyň täze koordinatynyň başlangyjy bolýar, ýagny $\delta\delta'$ koeffisiýente, üýtgemegi TOI_g koordinatyň oňa parallel oklary bolan $T'O'I_g'$ koordinata geçilýär. Bu geçişde kinetik energiýa T_0 ululyga köpelýär, getirilen inersiýa moment – I_0 ululyga, *a* we *b* kesimler millimetrde ölçelen saýlanyp alnan masştabda μ_{Ig} we μ_T, I_0 goşmaça getirilen inersiýa momentiň we goşmaça T_0 kinetik energiýanyň ululygyny görkezýär, ol bolsa mehanizmiň hereketlenmegi üçin δ' saýlanyp alnan deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentidir.

Şeýlelikde:

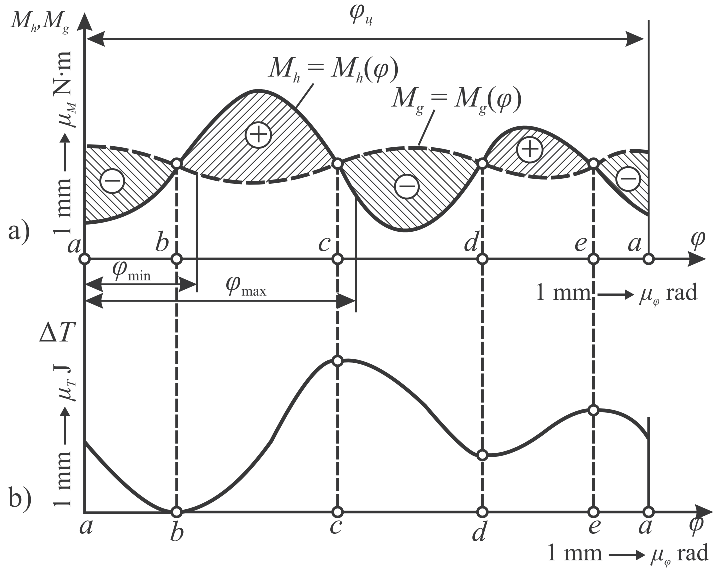
$$I_0 = \mu_{Ig} \cdot a \text{ we } T_0 = \mu_T \cdot b.$$

Gurluşdan gelip çykýar, deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti δ näçe az boldugyça, şonça-da ψ_{max} we ψ_{min} burçlaryň aralygyndaky tapawut azdyr we şonça $T = T(I_g)$ egriçyzykdan uzakda bolar, durnukly hereketiň wagtyna degişli koordinatyň başlangyjy ýerleşer. Şeýlelikde, δ ululygynyň azalmagy bilen mehanizmiň getirilen massasy ösýär we onuň kinetik energiýasy, mehanizmi hereketlendirmäge gerek bolan berlen orta burç tizlikli ω_{ort}. Şeýlelikde, mehanizmiň ýa-da maşynyň başlangyç zwenosynyň deňölçegli hereketiniň ulalmagyna mehanizmiň getirilen inersiýa momentiniň ulalmagy bilen ýetip bolar.

12.4. $T = T(I_g)$ diagramma boýunça mahowik tigriň inersiýa momentini kesgitlemek

Kinetik energiýanyň kömegi bilen mahowik tigriň inersiýa momentini kesgitlemek üçin mehanizmiň deňölçegsiz hereketiniň δ koeffisiýenti we ω_{ort} orta burç tizlik berlendir. Şonuň ýaly-da getirilen hereketlendiriji momentiň we garşylyk momentiň diagrammalary we getirilen inersiýa momentiň eýerdiji zwenonyň öwrülme burçuna bagly diagrammalary berlendir. Bellemeli zadyň biri $T = T(I_g)$ diagrammanyň kömegi bilen mahowigiň hasabynda inersiýa güýçleri hereketlendiriji güýçleriň we garşylyk güýçleriň diagrammasyna girmeli däl. Hereketlendiriji güýjüň momentiniň we garşylyk güýjüň momentiniň diagrammalary diňe durnukly hereketiň wagty üçin berilýär. Diýmek, bu iki egri çyzyklaryň meýdanlarynyň tapawudy, ýokarda görkezilişi ýaly, diňe maşynyň ýa-da mehanizmiň kinetik energiýasynyň üýtgemegini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu üýtgemäni ΔT bilen belläliň. Bize maşynyň mehanizminiň ähli zwenolarynyň inersiýa momentleri we massalary belli, bulardan başga-da mahowik tigriň inersiýa momentiniň ululygyny biz tapmaly, onda biz diňe mehanizmiň zwenolarynyň getirilen inersiýa momentiniň diňe ΔI_g üýtgemegini kesgitleýäris. Şeýlelikde, maşynyň ýa-da mehanizmiň batlanma wagtynda toplanan mahowik tigriň inersiýa momentini we kinetik energiýanyň ululygyny bilmezden, $T = T(\varphi)$ diagrammany gurup bilmeýäris, diňe $\Delta T = \Delta T(\varphi)$ diagrammany gurup bolar. ΔI_g üýtgeýän ululygyny mehanizmiň tizlikleriniň planlarynyň kömegi bilen we berlen inersiýa momentiň we zwenolaryň massalarynyň kömegi bilen kesgitlenýär.

$\Delta T = \Delta T(\varphi)$ diagrammany gurmak üçin maşynyň ýa-da mehanizmiň durnukly hereketiniň wagtynda bir doly sikl üçin, diňe kinetik energiýanyň üýtgemegini we getirilen inersiýa momentiň üýtgemegini bilmek ýeterlikdir. Onuň üçin (*12.5-nji surat*) ΔT kinetik energiýanyň üýtgemegini O nokatdan ordinata oky boýunça alyp goýýarys. Üýtgeýän ΔI_g inersiýa momenti şol nokatdan absissa oky boýunça getirilendir. Alnan a, b, c nokatlary birleşdirip, mehanizmiň durnukly hereketiniň wagtyna degişli $\Delta T = \Delta T(\Delta I_g)$ diagrammany alarys.



12.5-nji surat. Zwenolaryň getirilen inersiýa momentiniň kinetik energiýa baglylykdaky diagramma boýunça mahowigiň hasabyna degişli

Mahowigiň getirilen inersiýa momentiniň I_M ululygyny kesgitlemek üçin (12.16) deňlemeden peýdalanýarys:

$$\mathrm{tg}\,\psi_{\max} = \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T}\omega_{ort}^2\left(1+\delta+\frac{\delta^2}{4}\right) \approx \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T}\omega_{ort}^2(1+\delta); \qquad (12.17)$$

$$\mathrm{tg}\,\psi_{\min} = \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T}\omega_{ort}^2\left(1-\delta+\frac{\delta^2}{4}\right) \approx \frac{\mu_{I_g}}{2\mu_T}\omega_{ort}^2(1-\delta). \qquad (12.18)$$

(12.17) we (12.18) deňlemelere ω_{ort} we δ bahalaryny goýup $\psi_{\max}$ we $\psi_{\min}$ burçlary kesgitleýäris. Soňra $\Delta T = \Delta T(\Delta I_g)$ egri çyzyga bir galtaşma çyzygy $\psi_{\max}$ burç bilen, beýlekini $\psi_{\min}$ burç bilen geçirýäris we bu galtaşma çyzyklaryň kesişen O_1 nokadyny belleýäris (*12.5-nji surat*). O_1 nokat $T = T(I_g)$ diagrammanyň koordinata oklarynyň başlangyç nokady bolýar. T – mehanizmiň doly kinetik energiýasynyň onuň I_g doly getirilen inersiýa momentine bagly diagrammasy. Diýmek, I_g doly getirilen inersiýa momentini kesgitlemek üçin mehanizmiň her bir ýagdaýynda täze koordinatyň absissasynyň başlangyç O_1 nokadyny bellemek zerur. Mahowik tigriň getirilen inersiýa momenti millimetrde (O_1d) kesimi μ_{Ig} masştaba köpeldilmegine deňdir, ýagny:

$$J_m = \mu_{Ig}(O_1d).$$

δ koeffisiýentiň kiçi bahasynda $\psi_{\max}$ we $\psi_{\min}$ burçlaryň az tapawudynda galtaşmalaryň O_1 kesişme nokady köplenç çyzgynyň çäginden daşary çykýar. Bu ýagdaýda şeýle işleri geçirmeli. Galtaşmanyň ordinata oky bilen $O\Delta T$ (*12.4-nji surat*) birinji koordinata oklary bilen kesişen nokatlaryny k we l bilen belleýäris. Onda:

$$\mathrm{tg}\psi_{\max} = \frac{(kd)}{O_1d}, \qquad \mathrm{tg}\psi_{\min} = \frac{(ld)}{O_1d}$$

we

$$\mathrm{tg}\psi_{\max} - \mathrm{tg}\psi_{\min} = \frac{(kd)-(ld)}{O_1d} = \frac{(kl)}{O_1d}.$$

Aňlatmadan tapylanlary tangensleriň tapawudyna (12.12) deňlemäni goýup, alarys:

$$\delta = \frac{\mu_T}{\mu_{I_g}} \frac{(kl)}{(O_1d)} \frac{1}{\omega_{ort}^2},$$

bu ýerden $\mu_{I_g}(O_1d) = I_M$ göz öňünde tutup, alarys:

$$I_M = \frac{\mu_T(kl)}{\omega_{ort\delta}^2}. \qquad (12.19)$$

Mahowik tigriň getirilen inersiýa momenti $O\Delta T$ ordinat okundan kl kesimiň ululygy boýunça kesgitlenýär.

Eger mahowik tigir getirilen zwenonyň umumy walyna oturdylan bolsa, onda onuň walynyň aýlanýan okuna degişlilikde I_M inersiýa momenti, şol oka degişlilikde getirilen zwenonyň inersiýa momenti ululygyça azaldylyp bilner.

Köplenç mahowik tigir görnüşde ýasalýar, agyr gurşawly, top güpjek bilen simler arkaly birleşýär. Onda bu birleşýän bölekleriniň inersiýa momentini ýok hasaplanýar we takmynan hasap edilýär. Mahowigiň massasy R radiusly töwerek boýunça deň ýaýraýar, gurşawyň kese kesigininiň agyrlyk merkezi onuň aýlaw merkezi bilen gabat gelýär. Onda mahowigiň inersiýa momenti şeýle aňladylar:

$$I_M = mR^2 = m\frac{D^2}{4}, \qquad (12.19)$$

13. Sargyt № 1284

bu ýerde D – gurşawyň agyrlyk merkeziniň kesiginiň töwereginiň diametri, m – mahowigiň massasy.

(12.19) we (12.18) deňleme boýunça taparys:

$$mD^2 = \frac{4\mu_T(kl)}{\omega^2_{ort^\delta}} = \frac{3600\mu_T(kl)}{\pi^2 n^2 \delta},$$

bu ýerde n – getirilen zwenonyň aýlaw ýygylygy minutdaky aýlaw bilen ölçelýär. $\pi^2 \approx 10$ deň diýip alyp:

$$mD^2 = 360\frac{\mu_T(kl)}{n^2\delta}. \qquad (12.20)$$

Mahowigiň gurşawynyň massasynyň onuň diametriniň kwadratyna köpeldilmegine mahowoý moment diýilýär ýa-da mahowigiň häsiýetnamasy diýilýär.

Mahowigiň häsiýetnamasy kg·m^2 ölçegdedir. Bu häsiýetnama mahowigiň zerur bolan massasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär, eger onuň diametri berlen bolsa, onuň ululygy köp halatlarda arassa konstruktiw göz öňüne getirmek esasynda kesgitlenýär. Eger mahowik getirilen zwenoda goýulman haýsy-da bolsa maşynyň i aýlanýan zwenosynda goýulsa, onda elmydama kinetik energiýasynyň deňlik şerti kanagatlandyrylmaly:

$$\frac{I_M\omega^2}{2} = \frac{I_M\omega_i^2}{2}, \qquad (12.21)$$

bu ýerde I_{Mi} – i zwenoda goýlan mahowigiň inersiýa momenti; ω_i – bu zwenonyň burç tizliginiň ululygy (12.21) deňlemeden gelip çykýar:

$$I_{M_i} = I_M\left(\frac{\omega}{\omega_i}\right)^2. \qquad (12.22)$$

i zwenonyň burç tizligi näçe uly bolsa, goýlan mahowigiň inersiýa momenti şonça-da kiçi bolmaly.

Şonuň üçin, mahowik tigriň agramyny azaltmak nukdaýnazardan, ony uly burç tizlikli zwenolarda goýmak amatly.

(13.22) deňlemä görä, I_{Mi} inersiýa momentiň hemişelik şertini berjaý etmek üçin, ω/ω_i geçirijilik gatnaşygy hemişelik bolmaly, mahowigi zwenolarda goýmak şerti getirilen zweno bilen bagly bolmaly geçirijilik gatnaşygy hemişelik ululykda bolmaly (togalak dişli tigirli mehanizmler, burumly mehanizmler we ş.m.)

Mahowik getirilen zwenoda däl-de, aralykdaky kinematiki zynjyrda goýulsa, onuň gatylygyny hasaba almak zerurdyr.

Pes gatylykly kinematiki zynjyrda maýyşgak yrgyldy gaty uly bolmagy mümkin, onda mahowik tigri öz ýerine ýetirmeli işini edip bilmez.

III BÖLÜM
MEHANIZMLERIŇ SINTEZI

13-nji BAP
ESASY DÜŞÜNJELER WE KESGITLEMELER SENTROID MEHANIZMLERIŇ SINTEZI

13.1. Mehanizmleri taslamagyň meseleleri

Mehanizmleri taslamak çylşyrymly toplumlaýyn meseleler bolup, olary çözmeklik birnäçe özbaşdak etaplara bölünýär.

Taslamagyň birinji etapynda gerek bolan hereketiň kanunyny we görnüşini üpjün edýän mehanizmiň kinematiki shemasyny çyzmaly.

Taslamagyň ikinji etapynda, mehanizmiň berkligini we çydamlylygyny onuň işleýşiniň dowamlylygyny ýokary peýdaly täsir koeffisiýentini üpjün eder yaly, mehanizmiň konstruktiw görnüşlerini özgertmeli.

Taslamagyň üçünji etapynda taslanýan mehanizmiň önümçilikde ulanylyşyny, bejerilişini we başga tehnologiki we tehniki ykdysady görkezijiler bilen gowulandyrmak göz öňünde tutulýar.

Mehanizmleri taslamagyň esasy meseleleri tehnikada aýratyn baha berilýän şu aşakdakylardan durýar:

1. Bir okuň daşyndaky aýlaw hereketi başga bir okuň daşyndaky aýlaw herekete geçirmeklik (*13.1-nji surat*).

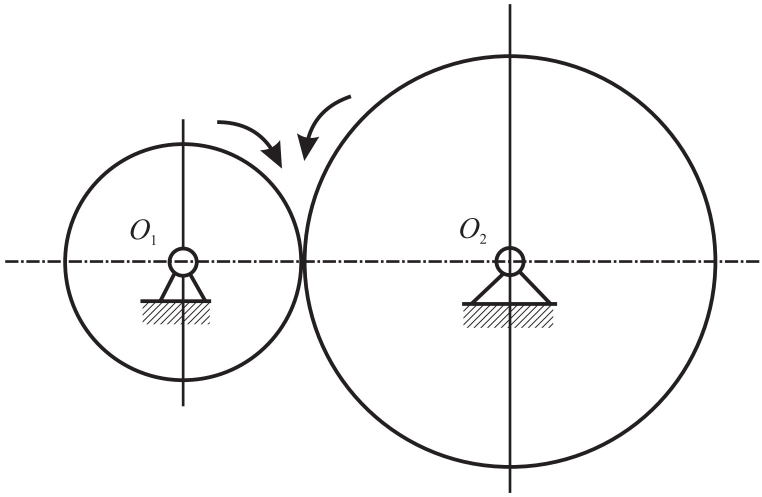
2. Bir okuň daşyndaky aýlaw hereketi başga bir berlen çyzyk boýunça göni çyzykly herekete öwürmek (*13.2-nji surat*).

3. Berlen çyzyk boýunça, göni çyzykly hereketi başga bir göni çyzyk boýunça göni çyzykly herekete öwürmek.

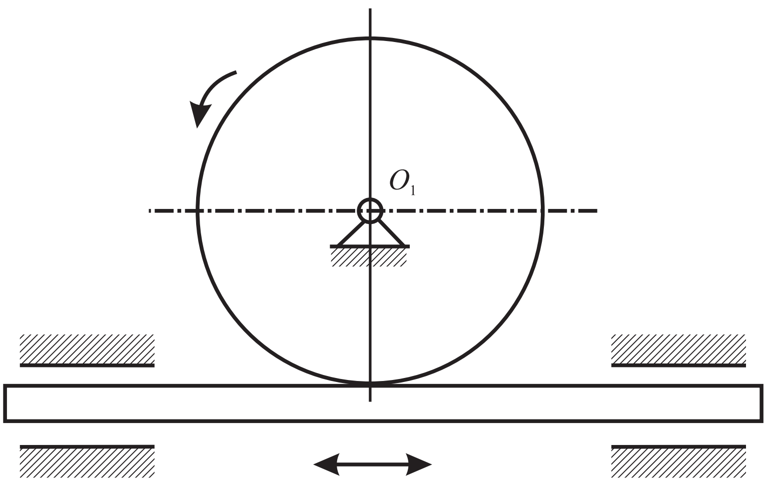
4. Ryçagly mehanizmiň zwenolarynyň bir nokadyň talap edilyän traektoriýasyna ahyrky zwenonyň aýlaw burçuna bagly, şol zwenonyň hereketini saklap goýbermeklik.

1-3-nji meseleler çözülende zwenolardan talap edilyän hereketleriň kanunlary olaryn arasynda hereket geçirilişi berlen wagta baglylykda burç we çyzyk süýşmeler ýa-da burç we çyzyk tizlikler görnüşinde berilýär.

4-nji mesele çözülende talap edilýän traektoriýa analitiki (deňleme görnüşde) ýa-da grafiki görnüşde bolup bilýär.



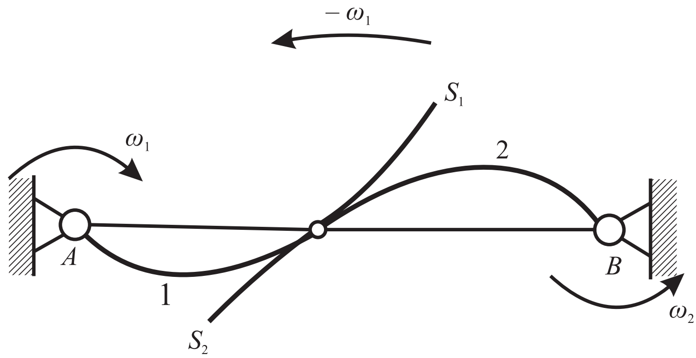
13.1-nji surat. Aýlaw hereketi geçiriji



13.2-nji surat. Aýlaw hereketi gönüçyzykly herekete öwürmek

13.2. Togalak silindr tigirli üç zwenoly dişli geçiriji mehanizmi taslamak

Bir okuň daşyndaky aýlaw hereketi, başga bir okuň daşyndaky aýlaw herekete öwürýän 2 aýlanýan, 1 sentroid jübütli, 3 zwenoly sentroid mehanizmdir. Bu mehanizmiň 1-2-nji hereketlenýän zwenolarynyň hereketlerini nähili görnüşde bolýanlygyna seredeliň (*13.3-nji surat*).



13.3-nji surat. Sentroid mehanizminiň shemasy

Eger-de 1-2-nji zwenolaryň gozganmagy zweno otnositellikde burçlaryna degişlilikde φ_1, φ_2 diýip bellesek, onda 1-2-nji zwenolaryň hereketleriniň kanuny umumy görnüşde:

$$\varphi_1 = \varphi_1(t); \quad \varphi_2 = \varphi_1(t). \tag{13.1}$$

13.1-nji deňlikden t – wagty aýryp alarys:

$$\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_1). \tag{13.2}$$

13.2-nji baglanyşyga ýagdaýyň funksiýasy diýilýär, sebäbi ol ahyrky 2 zwenonyň ýagdaýyny, 1-nji başlangyç zweno baglanyşykda kesgitleýär, ikinji deňligi φ_1 aýlaw burçy boýunça differensirläp alarys:

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \varphi_{2'}(\varphi_1), \tag{13.3}$$

şeýle hem:

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{\frac{d\varphi_2}{dt}}{\frac{d\varphi_1}{dt}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = u_{21},$$

bu ýerde ω_1 we ω_2 gozganmaýan 3-nji zweno degişlilikde 1-nji we 2-nji zwenolaryň burç tizlikleri u_{21}-2-nji zwenodan 1-nji zweno geçirijilik gatnaşygydyr. Onda 13.3-nji deňlik şeyje bolar:

$$u_{21} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \varphi_2'(\varphi_1). \tag{13.4}$$

(13.4) baglanyşygy geçirijilik gatnaşygy diýip atlandyrýarys. Degişlilikde umumy:

$$u_{12} = \frac{1}{u_{21}} = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{\varphi_2'(\varphi_1)}. \tag{13.5}$$

Geçirijilik sanyň funksiýasy.

Geçirjilik funksiýasy diýip (13.2) ýagdaýlaryn funksiýasyny mehanizmin geometriki häsiýetnamasyny aňladýan yagdaylaryň funksiyasyna geçirijilik funksiýasy diýilýär, sebäbi ol özünde wagt parametrini almaýar.

Geçirijilik gatnaşygynyň funksiýasy (13.4) ýa-da geçirijilik sanyň (13.5) funksiýasy mehanizmiň geometriki häsiýetnamasyny görkezýär. Emma differensial görnüşde ýazylanda olaryň aralygyndaky umumy baglanyşyk (13.3) differensial we integral göşrnüşde ýazmak bolar:

$$\varphi_2 = \int \varphi_2'(d\varphi_1) = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} u_{21} d\varphi_1 = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{u_{12}} d\varphi_1 \tag{13.6}$$

bu ýerde φ_0 – zwenonyň baslangyç yagdaýyna degişli burç.

Seýlelikde, mehanizm taslananda hereket ýagdaýlaryň funksiýasy, geçirijilik gatnaşygynyň ahyrynda bolsa geçirijilik sanyň funksiýalary görnüşinde bolup biler. φ_1 we φ_2 burçlaryň arasyndaky baglanyşyk mehanizmiň zwenolarynyň esasy ölçegleri, burç tizlikleriniň arasyndaky baglanyşyk we pursat aylaw merkeziniň arasyndaky aralyk esasynda ýazylyp bilner.

13.3. Ilişmäniň esasy teoremasy

Ilişmäniň nazaryýetinden esasy maglumatlar.

Iki ok aralygynda aylaw hereketini geçirmeklik φ_1 we φ_2 burç tizlikleri bilen 1-2-nji zweno degişli K_1 we K_2 özara birleşýän egri çyzyklaryň üsti bilen amala aşyrylýar. Olaryň galtaşýan c-nokadyndan adaty $n – n$ we galtaşma *t-t* çyzyklaryny geçirýäris (*13.4-nji surat*).

1-2 nji zweno degişli C_1 we C_2 nokatlaryň tizlikleri şu şert bilen bagly:

$$\bar{\upsilon}_{C_2} = \bar{\upsilon}_{C_1} + \bar{\upsilon}_{C_2C_1}. \tag{13.7}$$

O_1 we O_2 nokatlardan *n-n* adaty perpendikulýar PC_0 kesime υ_{c_1} we υ_{c_2} tizlikleriň adaty düzüjisidir.

O_1AC_1, PC_0C_1 hem de O_2BC_2, PC_0C_2 üçburçlyklaryň meňzeşliginden alýarys

$$\frac{(PC_0)}{(PC_1)} = \frac{(O_1A)}{(O_1C_1)}; \quad \frac{(PC_0)}{(PC_2)} = \frac{(O_2B)}{(O_2C_2)}.$$

PC_1, PC_2, PC_0 – kesimler degişlilikde υ_{c1}, υ_{c2}, υ^n tizliklerdir, onda ýokardaky baglanyşygy şeýle ýazyp bileris:

$$\frac{\upsilon^n}{\upsilon_{c_1}} = \frac{(O_1A)}{(O_1C_1)}; \quad \frac{\upsilon^n}{\upsilon_{c_2}} = \frac{(O_2B)}{(O_2C_2)};$$

ýa-da:

$$\upsilon^n = \upsilon_{c1}\frac{(O_1A)}{(O_1C_1)};\ \ \upsilon^n = \upsilon_{c2}\frac{(O_2B)}{O_2C_2},$$

$$\upsilon_{c1} = \omega_1(O_1C_1);\ \ \upsilon_{c2} = \omega_2(O_2C_2),$$

$$\omega_1(O_1A) = \omega_2(O_2B).$$

$u_{12} = \dfrac{\omega_1}{\omega_2} = \dfrac{(O_2B)}{(O_1A)} = \dfrac{r_{b_2}}{r_{b_1}}$ – gecirijilik funksiýasy.

r_{b1}, r_{b2} – esasy töwerekleriň radiuslary.

n–n adaty çyzyk bilen O_1–O_2 – çyzyklaryň kesişen nokadyny *P* bilen belleýäris, O_1AP we O_2BP üçburçlyklaryň meňzeşliginden taparys:

$$\frac{(O_2B)}{(O_1A)} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{(O_2P)}{(O_1P)}. \qquad (13.8)$$

Onda ýokarky ýazan deňlemämizi şu görnüşde ýazýarys:

$$u_{12} = \frac{(O_2B)}{(O_1A)} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{(O_2P)}{(O_1P)} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \qquad (13.9)$$

Şu baglanyşyga ilişmäniň esasy teoremasy diýilýär.

Bu teoremany şeyle aýtmak bolar: O_1 we O_2 merkez çyzyklary bolýan *P* nokat 1-nji we 2-nji zwenolaryň degişli hereketinde pursat aylaw burç tizliklerine ters proporsionallykda bölýän r_1 we r_2 1-nji we 2-nji zwenolaryň degişli hereketinde sentroidlerlň radius wektorlarydyr. O_1 we O_2 nokatlarynyň arasyndaky aralyk *a* – aralyga deňdir.

$$a = r_1 + r_2.$$

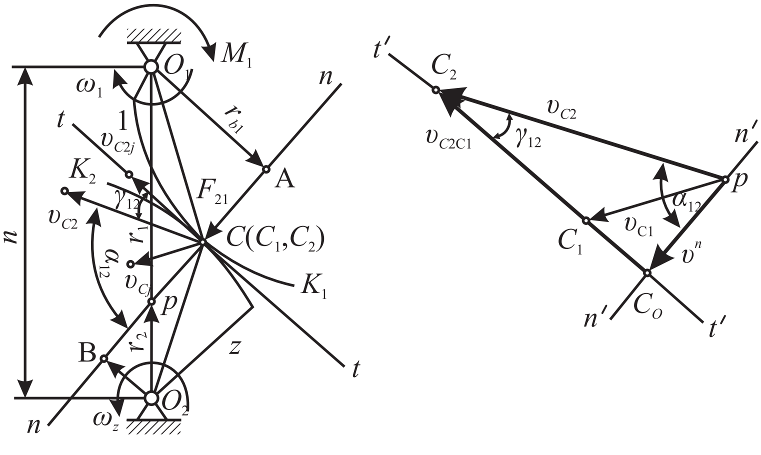
Ýokarky deňlemedäki r_1 we r_2 radiuslary deňdirler:

$$r_1 = a\frac{1}{1+u_{12}}.$$

a – ok aralyklary:

$$r_2 = a\frac{u_{12}}{1+u_{12}}.$$

Degişli hereketde *P* nokat pursat aýlaw merkezinde ilişmäniň nazaryýetinde ilişmäniň polýusy diýilýär.



a) b)

13.4-nji surat. Iki egri çyzygyň biri biriniň daşyna aýlanan profiliň görnüşini kesgitlemäge degişli:
a– ýokary jübütli mehanizmiň shemasy; b – tizlikleriň planlary

Geçiriji funksiyanyň u_{12} üýtgeýän bahasynda ilişmäniň polýusy O_1 we O_2 merkezleriň çyzygynda üýtgeýän ýagdaýlarda bolýar. u_{12} = const hemişelik bolanda ilişmäniň polýusy O_1 we O_2 göni çyzykda şol bir nokatda ýatar. Eger ω_1 we ω_2 burç tizlikleriň belgileri boýunça ters bolsa, onda $u_{12} < 0$ noldan kiçidir we ilişmäniň polýusy $P – O_1$ we O_2 nokatlaryň arasynda ýatýar. Şunuň ýaly ilişmä daşky ilişme diýilýär.

Eger ω_1 we ω_2 burç tizlikler bir meňzeş alamatda bolsa, onda ilişmäniň polýusy O_1 we O_2 kesimiň daşynda ýerleşýär we u_{12} noldan uludyr $u_{12} > 0$ şeýle ilişmä içki ilişme diýilýär.

13.4. Dişli tigirleriň geometriki elementleri

$m = \dfrac{P}{\pi}$	m – modul;
$p = \pi m$ (mm)	p – töwerek boýunça ädim;
$P_t = S_t + l_t$	l_t – dişiň aralygy;
	S_t – dişiň galyňlygy;
$d = mz$	d – bölüji töweregiň diametri;
$h = h_a + h_f$	h – dişiň beýikligi;
$h_a = m$	h_a – dişiň bölüji töwerekden ýokarysy;
$h_f = 1{,}25m$	h_f – dişiň bölüji töwerekden aşagy.

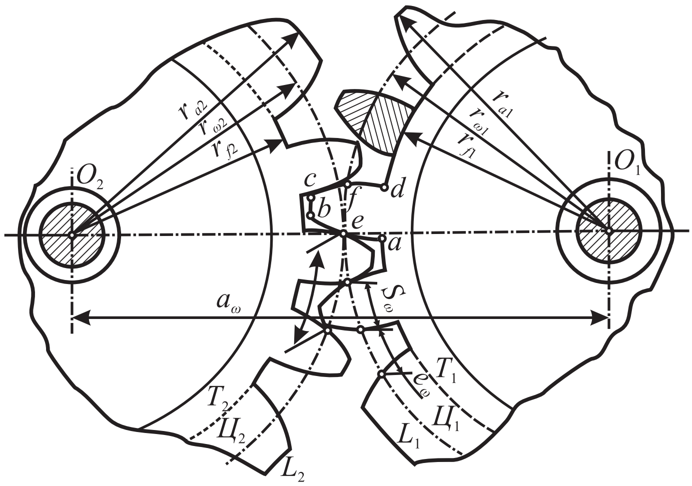
Iň daşky töweregiň diametri we dişiň düýbündäki töweregiň diametri:

$$d_a = d + 2h_a;$$
$$d_f = d - 2h_f.$$

Dişiň ini:
$B = (6...8)m$
$D_{st} = (1,6...1,8)d_{\omega}$ güpjegiň diametri;
$L_{st} = (1,2...1,5)d_{\omega}$ güpjegiň uzynlygy.
Burç ädimi:

$$\tau = \frac{2\pi}{z} = \frac{2\cdot 180^{\circ}}{z}.$$

Ewolwentli pofili profilirlemek nazaryýetine geçmezden ozal esasy terminler, kesgitlemeler we bellemeler barada şertleşmeli. Togalak dişli tigirleriň sentroidlerine S_1 we S_2 başlangyç tőwerekler diýilýär (*13.5-nji surat*).



13.5-nji surat. Daşky ilişmeli tigirleriň shemasy

Başlangyç tőweregiň dugasy bir dişe girýän (çukursyz) dişiň başlangyç galyňlygy diýilýär we S_{ω} bilen bellenýär (*13.6-njy surat*). Başlangyç tőweregiň dugasy çukura ýerleşýän (iki ýanaşyk dişleriň aralygyndaky aralyk) çukanagyň başlangyç ini diýilýär we ol l_{ω} bilen bellenýär. Başlangyç tőweregiň dugasy dişiň bir galyňlygyndan we bir çukuryň başlangyç ininden durýan aralyga başlangyç tőwerek boýunça ädim diýilýär we P_{ω} bilen bellenýär.

Şeýlelikde, P_{ω} ädim deňdir:

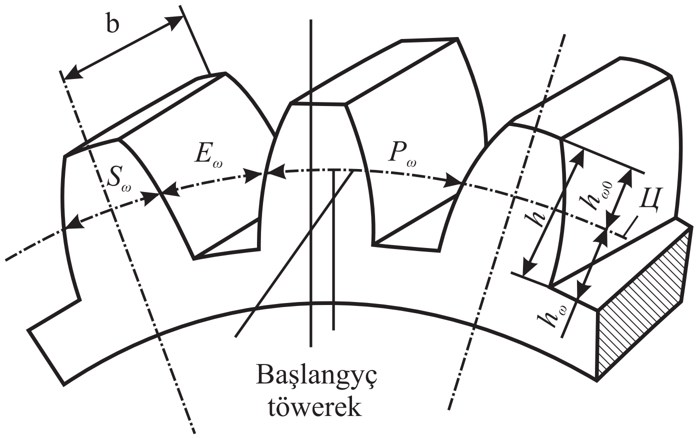
$$P_{\omega} = S_{\omega} + l_{\omega}.$$

Iki ilişýän tigirleriň üznüksiz hereket geçirende ädim iki birleşýän tigirler üçin hem meňzeş bolýar. Ýokarda görkezilişi ýaly, gejiriji funksiýa deňdir:

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm\frac{r_{\omega_2}}{r_{\omega_1}} = \pm\frac{z_2}{z_1},$$

bu ýerde ω_1 we ω_2 – 1 we 2 tigirleriň burç tizlikleri, $r_{\omega 1}$ we $r_{\omega 2}$ – bu tigirleriň başlangyç töwerekleriniň radiuslary, Z_1 we Z_2 – olaryň dişleriniň sanlary.

Plýus belgi içki ilişmä degişli, minus belgi daşky ilişmä.



13.6-njy surat. Daşky dişli tigriň gurşaw bölegi

1-nji we 2-nji tigirleriň başlangyç töwerekleriniň uzynlygy:

$$2\pi r_{\omega 1} = Z_1 \cdot P_\omega \text{ we } 2\pi r_{\omega 2} = Z_2 \cdot P_\omega. \quad (13.10)$$

(13.10) deňlemä görä gelip çykýar, başlangyç töwerek boýunça ädim deňdir:

$$P_\omega = \frac{2\pi r_{\omega 1}}{z_1} = \frac{2\pi r_{\omega 2}}{z_2}.$$

Şuňa meňzeşlikde islendik beýleki töwerekler boýunça ädimi kesgitläp bolar.

Şeýlelikde, ilişmäniň ädimi mydama radius ýa-da töweregiň diametri bilen deňeşdirip bolmajak sandyr, sebäbi sag tarapyna π sany girýär.

Bu dişli tigirleriň ölçegleri saýlananda we tigirler taslananda hem-de olar ölçelende kynçylyk döredýär. Şonuň üçin dişli tigirleriň esasy ölçegleri kesgitlenende esasy birlik hökmünde käbir parametr ilişmäniň moduly diýilýän kabul edilýär.

Ilişmäniň moduly millimetrde ölçelýär we m harpy bilen bellenýär. Modulyň ululygy deňdir:

$$m = \frac{P}{\pi}, \quad (13.11)$$

bu ýerde P – töwerek ädimi, ýagny d diametrli töweregiň dugasy boýunça ölçelýän aralyk, ýanaşyk iki dişleriň şol bir nokatlarynyň aralygy.

Merkezi burç τ dişli tigriň töwereginiň dugasyna agram salýan, töwerek ädimine deň P.

1-nji we 2-nji tigirler üçin dişleriň burç ädimleri degişlilikde deňdir:

$$\tau_1 = \frac{2\pi}{z_1} \text{ we } \tau_2 = \frac{2\pi}{z_2}. \qquad (13.12)$$

Tigirleriň dişleri ýörite stanoklarda kesiji gurallar bilen kesilýär, ölçegleri we görnüşleri modulyň ululygyna baglydyr. Maşyngurluşyk zawodlarda dişli tigirler ýasalýan kesiji gurallaryň uly komplekti şertli bölüji töwerek boýunça moduly hatar sanlardan saýlap almaly. Umumy standart (DÖST 9563-60) boýunça iki hatar modullar berilýär, hasap boýunça alnan moduly şu sanlara çenli tegeläp almaly.

Birinji esasy hatarda indiki modullar *mm* nazarda tutulan: 0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 80; 100.

Ikinji hatarda nazarda tutulan modullar, birinji hatar bilen aralykdaky modullar, mysal üçin: 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11 we başgalar.

Kähalatlarda, iki tigriň ilişmesinde bölüji töwerekler degişli başlangyç töwerekler bilen gabat gelýär.

Her bir dişiň profiliniň başlangyç töwerekden çykýan *ebcf* bölegi dişiň başlangyç başy diýilýär we başlangyç töweregiň içinde ýerleşýän bölegi *aefd* dişiň başlangyç aýagy diýilýär (*13.5-nji surat*).

Tigirleriň dişleriniň ölçegleri meňzeş, onda ähli dişleriň başlary daşky ilişmede daşyndan daşky töwerek bilen r_{a_1} we r_{a_2} radius bilen, ähli dişleriň aşaky bölegi (aýagy) içinden dişiň düýbündäki r_{f_1} we r_{f_2} radiusly töwerek bilen çäklendirilýär.

Içki ilişmede tigriň dişleri içinden ýerleşýän dişleri daşyndan dişiň düýbündäki töwerek bilen çäklendirilýär. Radius boýunça ölçelen daşky töwerek bilen başlangyç töweregiň aralygy h_a bilen bellenýär we oňa dişiň başlangyç töwerekden ýokarky böleginiň beýikligi diýilýär (*13.6-njy surat*).

Radius boýunça ölçelen dişiň düýbündäki töwerek bilen başlangyç töweregiň aralygyna dişiň başlangyç töwerekden aşaky böleginiň beýikligi diýilýär we h_f bilen bellenýär. Şeýlelikde, dişiň doly beýikligi deňdir:

$$h = h_{\omega a} + h_{\omega f}.$$

Dişli tigirleriň esasy ölçeglerini kesgitleýäris, haçan-da olaryň bölüji we başlangyç töwerekleri gabat gelende, şular ýaly tigirlere nol tigirler diýilýär.

Bu ölçegler mydama bölüji töwerek boýunça modul we dişleriň sany bilen baglydyr. (13.10) deňlemä esaslanyp, d_1 we d_2 bölüji töwerekleriň diametrlerini şu görnüşde ýazmak bolar:

$$d_1 = 2r_1 = \frac{P}{\pi} Z_1 = mZ_1, \qquad (13.13)$$

$$d_2 = 2r_2 = \frac{P}{\pi} Z_2 = mZ_2,$$

bu ýerde Z_1 we Z_2 – degişlilikde 1-nji we 2-nji dişli tigirleriň dişleriniň sanlary. Dişiň başlangyç tölwerekden ýokarky bölegiň beýikligi h_a we dişiň başlangyç töwerekden aşaky böleginiň beýikligi h_f köplenç $h_a = m$ we $h_f = 1{,}25m$ diýip kabul edilýär. Dişiň aşaky böleginiň beýikliginiň ýokarky böleginiň beýikliginden uly bolmagy netijesinde ilişýän tigirleriň dişleriniň aralygynda yş galýar.

Onda d_{a1} we d_{a2} daşky töwerekleriň diametrleri L_1 we L_2 dişiň beýikligi bilen deňdir:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = mZ_1 + 2m = m(Z_1 + 2);$$

$$(13.14)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a = mZ_2 + 2m = m(Z_2 + 2).$$

Dişiň düýbündäki T_1 we T_2 töwerekleriň diametrleri (*13.5-nji surat*) degişlilikde deňdir:

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = mZ_1 - 2{,}5m = m(Z_1 - 2{,}5);$$

$$(13.15)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f = mZ_2 - 2{,}5m = m(Z_2 - 2{,}5).$$

Ýokarda görkezilen tigirleriň dişleriniň beýikliginden başga-da gysgaldylan dişli tigirler ulanylýar.

Dişleriň gysgaldylan beýikligi bolan tigirler üçin olaryň diametrleri deň bolar:

$$d_{a1} = m(Z_1 + 1{,}6), \quad d_{a2} = m(Z_2 + 1{,}6);$$

$$(13.16)$$

$$d_{f1} = m(Z_1 - 2{,}2), \quad d_{f2} = m(Z_2 - 2{,}2).$$

O_1 we O_2 tigirleriň merkeziniň (*13.5-nji surat*) ok aralygy ilişmäniň moduly we dişleriniň sanlarynyň üsti bilen aňladylýar:

$$a_\omega = \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = \frac{mZ_1}{2} + \frac{mZ_2}{2} = \frac{m}{2}(Z_1 + Z_2). \qquad (13.16)$$

Dişli tigirleri taslamak bilen bagly hasaplarda ýygy-ýygydan degişli ululyklardan peýdalanylýar.

Aýratynlykda dişiň başlangyç töwerekden ýokarky böleginiň beýikligi modulyň käbir koeffisiýente köpeldilmegi bilen aňladylýar:

$$h_a = X'm. \qquad (13.17)$$

Edil şonuň ýaly, dişiň başlangyç töwerekden aşaky böleginiň beýikligi şu deňleme bilen aňladylar:

$$h_f = X''m. \qquad (13.18)$$

Köplenç X' ululygy $X' = 1$ deň diýip kabul edilýär, dişiň beýikligi gysgaldylan dişler üçin $X' = 0{,}8$.

Degişlilikde $X'' = 1{,}25$ we $X'' = 1{,}1$, kabul edilýär. Şonuň üçin umumy görnüşde (13.14) – (13.16) deňlemeler şu görnüşi alarlar:

$$d_{a1} = m(Z_1 + 2X'), \quad d_{a2} = m(Z_2 + 2X');$$
$$\tag{13.19}$$
$$d_{f1} = m(Z_1 - 2X''), \quad d_{f2} = m(Z_2 - 2X'').$$

13.5. Ewolwentli profiliň geometriýasy

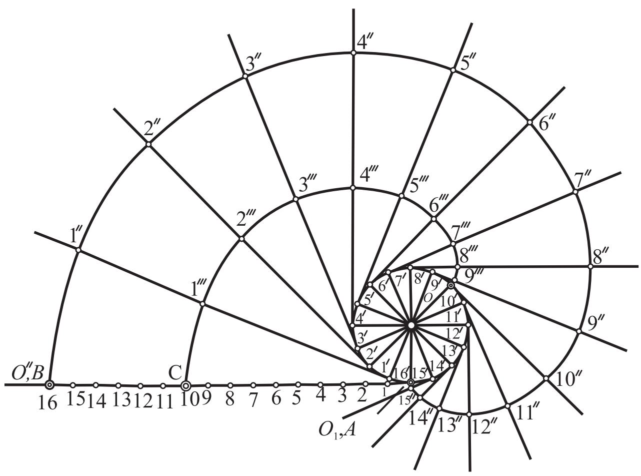
O nokatda merkezi bolan töwerek berlen (*13.7-nji surat*).

Bu töwerege galtaşýan *AB* göni çyzyk geçirýäris we bu göni çyzygy typdyrman töwerek boýunça togalaýarys.

Togalagyň ewolwentasyny gurmak üçin töweregi deň dugalara bölýäris: $\cup A - 1'$, $\cup 1' - 2'$, $\cup 2' - 3'$, $\cup 3' - 4'$, ...

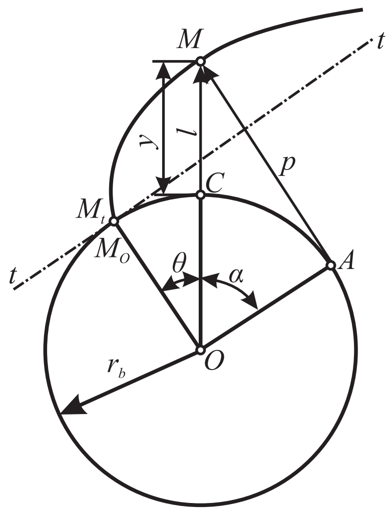
Şu şerti ýerine ýetirer ýaly göni çyzykda *A* nokatdan şu duganyň uzynlygyna deň aralyklary alyp goýýarys:

$$\cup A - 1' = A - 1,\ \cup 1' - 2' = 1 - 2,\ \cup 2' - 3' = 2 - 3,\ ...,\ \cup 15' - 16' = 15 - 16.$$



13.7-nji surat. Togalagyň ewolwenti

Onda *AB* göni çyzygy typdyrman töwerek boýunça togalasak *AB* çyzykdaky 1′, 2′, 3′, ... 16′ nokatlar yzygiderli töwerekdäki 1′, 2′, 3′, ... 16′ nokatlar bilen gabat geler. Şunlukda, göni çyzygyň ähli nokatlary egri çyzyk çyzar, oňa togalagyň ewolwenti diýilýär. (*13.7-nji suratda*) *B* we *C* nokatlaryň çyzan ewolwenti görkezilendir. Çyzga görä *B* nokadyň çyzan ewolwentiň ähli nokatlary *C* nokadyň çyzan ewolwentiniň nokatlaryndan *BC* aralyk bilen deň daşlykda ýerleşýär. *A*, 1′, 2′, 3′, ... 16′ nokatlar töwerek boýunça göni çyzyk togalananda *AB* göni çyzyk pursat aýlaw merkez bolar, göni çyzygyň özüniň her bir ýagdaýynda degişli nokatlarda ewolwenti emele getirýän adaty bolar. *AB* çyzygyň togalanýan töweregine ewolýuto-ewolwent egri çyzygyň *AB* göni çyzygyň nokatlarynyň çyzýan geometriki merkezidir. Şeýlelikde, ewolwentanyň egri çyzygynyň merkezi *A*, 1′, 2′, 3′, ...16′ bolar.



13.8-nji surat. Ewolwentiň deňlemesiniň çykarylyşy

Eger biz ewolwentanyň deňlemesine seretsek, togalagyň ewolwentiniň parametrleriniň öz aralarynda aýratyn baglanyşygyna göz ýetirýäris. Goý, r_b radiusly töwerek berlen we *t–t* göni çyzyk M_0 nokatda töwerege galtaşýar (*13.8-nji surat*). *t–t* göni çyzyk töwerek boýunça togalananda M_t nokat M_0 ewolwenti çyzýar. Ewolwentiň *M* nokady üçin alarys:

$$\overline{OM} = \overline{OA} + \overline{AM}.$$

$\overline{OM}$ wektorynyň moduly deňdir:

$$\left|\overline{OM}\right| = \sqrt{r^2 + \rho^2} = l. \tag{13.20}$$

$\overline{AM}$ wektorynyň moduly *M* nokatda ewolwentiň egri çyzygynyň $\overline{\rho}$ radiusyny aňladýar (13.20) deňlemeden ululygy alarys:

$$\rho = \sqrt{l^2 - r_b^2}. \tag{13.21}$$

13.8-nji suratdan gelip çykýar:

$$\text{tg}a = \frac{\rho}{r_b} = \frac{\sqrt{l^2 - r_b^2}}{r_b} \text{ we } a = r\text{ctg}\frac{\sqrt{l^2 - r_b^2}}{r_b}. \tag{13.22}$$

Ewolwentiň düzüme görä gelip çykýar: *AM* kesim M_0A duga deňdir, ýagny $\rho = \cup AM_0$. Öz gezeginde $\cup AM_0$ (*13.8-nji surat*) deňdir $\cup AM_0 = r_b(\theta + \alpha)$, bu ýerden:

$$\rho = r_b(\theta + \alpha).$$

ρ üçin alnan aňlatmany (13.22) deňlige goýup alarys:

$$\theta + \alpha = \text{tg}a, \tag{13.23}$$

ýa-da (13.22) deňlemäni göz öňünde tutmak bilen:

$$\theta + \alpha = \frac{\sqrt{l^2 - r_b^2}}{r_b}.$$

Töweregiň üstündäki ewolwentiň beýikligi y, töweregiň radiusynyň dowamynda ölçelen deňlemä görä kesgitlenýär:

$$(y + r_b)\cos\alpha = r_b,$$

bu ýerden:

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

(13.23) deňlemäni göz öňüne almak bilen θ burçy tapýarys, ewolwentanyň islendik M nokadynyň $\overline{OM}$ radius-wektorynyň ugruny kesgitleýän:

$$\theta = \mathrm{tg}\alpha - \alpha, \tag{13.24}$$

Alnan α burçuň funksiýasyna ewolwent funksiýa diýilýär we gysgaça *inυ* (inwolýuta) gysgaldylyp bellenýär. Onda ýazyp bileris:

$$\theta = \mathrm{in\upsilon}\alpha. \tag{13.25}$$

Alnan funksiýa görä $\overline{OM}$ radius-wektoryň ugruny analitiki kesgitlemek üçin ulanylýar. Amatly hasaplamalar üçin α burçuň dürli bahalary üçin inυα tapylýar we tablisa doldurylýar.

$\overline{OM}$ wektoryň moduly deňdir:

$$l = \frac{r_b}{\cos\alpha}.$$

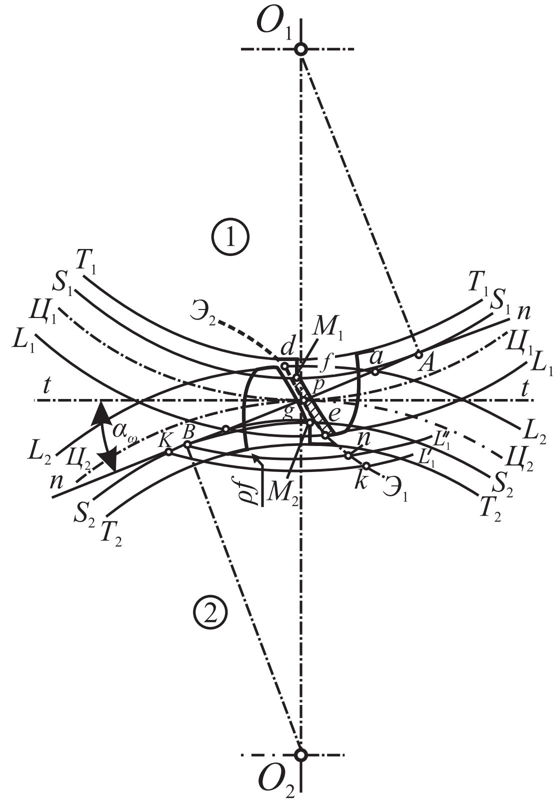
13.6. Ewolwentli profili taslamak

Dişleriň ewolwentli profilini gurmak meselesini daşky ilişmä seretmekden başlalyň. Berlen geçirijilik gatnaşygy U_{12} we tigirleriň merkezleriniň ok aralygyny a_ω şu gatnaşykdan tapylýar we başlangyç töwerekleriň radiuslaryny kesgitleýäris:

$$U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_{\omega_2}}{r_{\omega_1}} = -\frac{Z_2}{Z_1}, \qquad a_\omega = r_{\omega 1} + r_{\omega 2},$$

bu ýerde Z_1 we Z_2 – tigirleriň dişleriniň sanlary. Nol tigre seredeliň, haçan-da $a_\omega = \frac{m}{2}(Z_1 + Z_2)$. U_{11} we U_{12} 13.9-njy surat başlangyç töwerekleriň radiuslary. Ilişmäniň P polýusyndan bu töwereklere $t–t$ galtaşma çyzygyny geçireliň. Soňra $t–t$ galtaşma a_ω ilişme burçy bilen $n–n$ adaty çyzyk geçirýäris. Standart tigirlerde ilişme burçy köplenç $a_\omega = 20°$ kabul edilýär. O_1 we O_2 nokatlardan $n–n$ adaty çyzyga O_1A we O_2B perpendikulýar inderýäris. Bu perpendikulýarlaryň uzynlygy r_{b1} we r_{b2} bölüji töwerekleriň radiuslary bolar:

$$r_{b1} = r_{\omega 1} \cdot \cos\alpha_\omega, \quad r_{b2} = r_{\omega 2} \cdot \cos\alpha_\omega \tag{13.26}$$



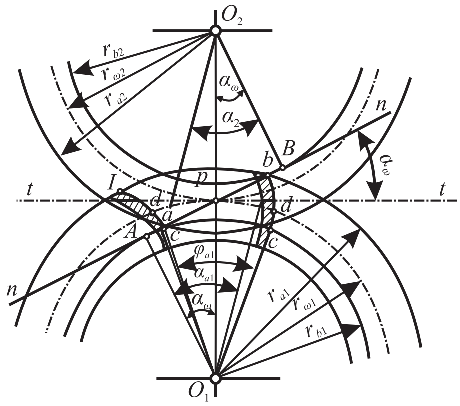
13.9-njy surat. Daşky ewolwentli ilişmäniň esasy parametrlerini kesgitlemeklige

r_{b1} we r_{b2} esasy töweregiň S_1 we S_2 radiuslary bilen töwerek çyzýarys. Soňra L_1 we L_2 daşky töwerekleri T_1 we T_2 dişiň düýbündäki töwerekleri geçirýäris. $n–n$ adaty çyzygy esasy töwerek boýunça togalap, $M_1Э_1$ we $M_2Э_2$ ewolwentleri taparys. Çyzgydan görnüşi ýaly, ewolwentler S_1 we S_2 töwereklerde ýatýan M_1 we M_2 nokatlardan başlanýar we L_1 we L_2 daşky töwereklerde ýatýan e we d nokatlarda gutarýar.

13.7. Ilişme dugasy, gaýtadan örtme burçy we gaýtadan örtme koeffisiýenti

Biri-birine baglanyşykly dişleriň profiliniň ilişme wagtynda bir jübütiň başlangyç töwereginiň islendik nokadynyň ýoluny tapýarys. Goý, ilişmäniň esasy çyzygy *a* we *b* nokatlaryň aralygynda bolsun (*13.10-njy surat*). 1-nji tigriň dişiniň profili ilişmäniň başlanýan pursatynda 1-nji ýagdaýy eýeleýär.

Ilişmäniň soňky pursatynda şol profil II ýagdaýda bolar. Dişli tigriň dişiniň ilişmä girýän ýagdaýyndan onuň ilişmeden çykýan φ_α öwrum burçuna gaýtadan örtme burçy diýilýär. *dd'* duga biri-birine baglanyşykly profiliň bir jübüti ilişme wagty başlangyç töweregiň togalanýan dugasy *dd'* duga ilişme dugasy diýilýär. Ilişme dugasy ilişme çyzygyň we ilişme burçunyň üsti bilen aňladylýar. Onuň üçin:



13.10-njy surat. Ilişme dugasynyň, gaýtadan örtme burçunyň we koeffisiýentiniň kesgitlenilişi

d we *d'* nokatlary O_1 merkez bilen birleşdirýäris dO_1d' burç φ_α. Dişiň ewolwentiniň *c* we *c'* başlangyç nokatlaryny belleýäris. Bu nokatlar esasy töwerekde ýatýarlar, cO_1c' burç hem $\varphi_{\alpha1}$ deň *dd'* duganyň uzynlygy:

$$\cup dd' = r_{\omega_1} \cdot \varphi_{\alpha_1}. \tag{13.27}$$

cc' duganyň uzynlygy:

$$\cup cc' = r_{b_1} \cdot \varphi_{\alpha_1},$$

bu ýerden:

$$\varphi_{\alpha_1} = \frac{\cup cc'}{r_{b_1}}. \tag{13.28}$$

(13.28) aňlatmany (13.27) deňlige goýup, alarys:

$$\cup dd' = \frac{r_{\omega_1}}{r_{b_1}} \cup cc'. \tag{13.29}$$

Ewolwentiň häsiýetinden gelip çykýar:

$$\cup cc' = \cup Ac' - \cup Ac = (Ab) - (Aa) = (ab).$$

Soňra (13.26) deňlemä görä alarys:

$$r_{b_1} = r_{\omega_1} \cdot \cos\alpha_\omega,$$

bu ýerde α_ω – ilişme burçy. Indi (13.29) deňligi şeýle ýazmak bolar:

$$\cup dd' = \frac{r_{\omega_1}(ab)}{r_{\omega_1} \cdot \cos\alpha_\omega} = \frac{(ab)}{\cos\alpha_\omega}. \qquad (13.30)$$

Şeýlelikde, başlangyç töwerekde ilişme dugasynyň uzynlygy aktiw ilişme çyzygynyň ilişme burçunyň kosinusyna bölünmegine deňdir.

Şuňa meňzeşlikde islendik başga töwerek boýunça dugany kesgitlemek bolar. Eger ilişme dugany esasy töwerek boýunça ölçelse, onda biz uzynlygy aktiw ilişme çyzygynyň uzynlygyna deň uzynlygy alarys.

Eger ilişme dugasy P_ω ädime deň bolsa, onda başlangyç töweregi şu dugada togalansa, bir jübüt biri-birine baglanyşykly dişleriň pirofili bir wagtda ilişmede bolýar. Eger ilişme dugasy P_ω ädimden kiçi bolsa, onda ilişmede üzülme bolýar we geçiriji urguly işlär. Eger tersine, ilişme dugasy P_ω ädimden uly bolsa, beýleki wagtlarda iki we ondan hem köp jübüt ilişer.

Dişler ýasalanda profiliň ýüzünde käbir nätakyklyk ýüze çykýar. Haçan-da ilişme dugasy P_ω ädime deň bolanda taslamada käbir çäkli ýagdaýlar bilen çäklendirmeler maslahat berilmeýär. Mümkin boldugyça ilişme dugasy mydama P_ω ädimden uly bolmaly. Onda geçiriji urgusyz emaý bilen işlär. Şeýlelikde, dogry taslanan geçirijide, mümkin boldugyça, ilişme duganyň P_ω ädime bolan gatnaşygy birden uly bolmaly, ýagny:

$$\frac{ilişme\ dugasy}{P_\omega} > 1.$$

Häzirki zaman tejribede daşky dişli ilişmeler üçin kabul edilýär:

$$1 < \frac{\cup dd'}{P_\omega} < 2.$$

Ýagny:

$$\cup dd' = r_\omega \varphi_\alpha, \qquad P_\omega = r_\omega \tau_1,$$

onda:

$$\frac{\cup dd_1'}{P_\omega} = \frac{\varphi_\alpha}{\tau}.$$

Gaýtadan örtme burçunyň φ_α burç ädime τ bolan gatnaşygyna gaýtadan örtme koeffisiýent diýilýär we ε_α bilen bellenýär.

(13.30) deňlemäni göz öňüne almak bilen, alarys:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\cup dd'}{P_\omega} = \frac{(ab)}{P_\omega \cos\alpha_\omega} = \frac{(ab)}{P_b} = \frac{\varphi_\alpha}{\tau}. \qquad (13.31)$$

(13.31) deňlemä girýän ululyga esasy ädim diýilýär. Şeýlelikde, dişiň esasy ädimi başlangyç tөwerek boýunça ädim bilen we burç ädim bilen şertli bagly:

$$P_b = P_\omega \cos\alpha_\omega = r_{b_1}\tau_1 = r_{b_2}\tau_2. \qquad (13.32)$$

(13.32) deňlemä görä. Esasy ädim, esasy töwerek boýunça ölçelen duga we bir diş we bir dişiň aralygyna ýerleşýän aralykdyr.

Gaýtadan örtme koeffisiýent ε_α analitiki hem kesgitlenip bilner. 13.10-njy suratdan ýazyp bileris:

$$(ab) = (aP) + (Pb) = (aB) - (PB) + (AB) - (AP). \qquad (13.33)$$

Emma O_1AP, O_1Ab, O_2BP we O_2Ba üçburçlyklardan:

$$\begin{aligned} &(ab) = r_{b_2}\,\mathrm{tg}\alpha_{a_2}, \qquad (AB) = r_{b_1}\,\mathrm{tg}\alpha_{a_1}; \\ &(AP) = r_{b_1}\,\mathrm{tg}\alpha_\omega, \qquad (PB) = r_{b2}\,\mathrm{tg}\alpha_\omega. \end{aligned} \qquad (13.34)$$

bu ýerde α_{a1} we α_{a2} – dişiň depesindäki profiliniň burçy, şu gatnaşykdan kesgitlenýär.

$$\cos\alpha_{a_1} = \frac{r_{b_1}}{r_{a_1}}, \qquad \cos\alpha_{a_2} = \frac{r_{b_2}}{r_{a_2}},$$

(13.34) – den kesimleri (13.33) goýup alarys:

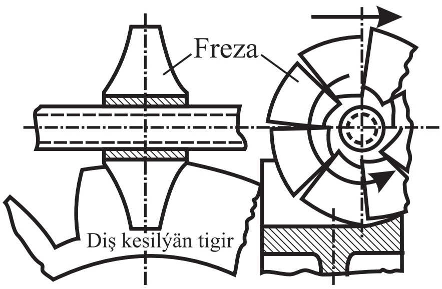
$$(ab) = r_{b_1}(\mathrm{tg}\alpha_{a_1} - \mathrm{tg}\alpha_\omega) + r_{b_2}(\mathrm{tg}\alpha_{a_2} - \mathrm{tg}\alpha_\omega). \qquad (13.35)$$

(13.32) deňlemäni göz öňüne almak bilen, goýlandan soň (13.35) aňlatmany (13.31) deňlemä goýup, alarys:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\mathrm{tg}\alpha_{a_1} - \mathrm{tg}\alpha_\omega}{\tau_1} + \frac{\mathrm{tg}\alpha_{a_2} - \mathrm{tg}\alpha_\omega}{\tau_2}. \qquad (13.36)$$

13.8. Dişiň ewolwentli profilini ýasamagyň usullary boýunça käbir maglumatlar

Dişli tigirleriň ewolwentli profilleri, köplenç, diş kesýän stanoklarda iki usul bilen kesilýär: nusgany almak usuly we biri-birine sürtenişdirme usuly.



13.11-nji surat. Nusgasyny almak usulynda diskli freza bilen dişleriň kesilişi

Nusgasyny almak usuly çyzgy boýunça ykjam gurlan dişleriň profilleriň disk görnüşli freza bilen ýasalýar (*13.11-nji surat*).

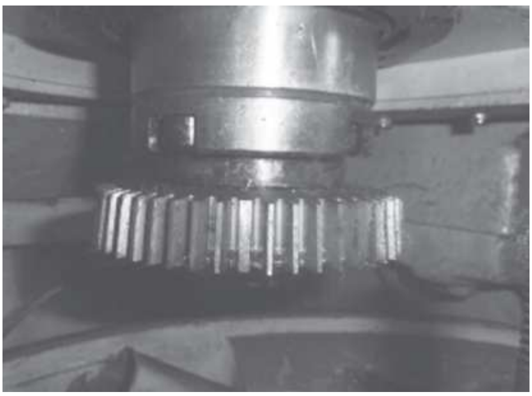
Frezanyň kesýän erňegi iki dişiň aralygyndaky oýuk görnüşinde bolýar. Frezanyň tigriň okunyň boýuna her bir ýörişi bir oýuk (iki dişiň aralygy) kesilýär. Ähli oýugy geçenden soň freza başky ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Ondan soň kesilýän tigir $\beta = 2\pi/Z$ burçuň ululygyna öwrülýär. Bu ýerde Z – diş kesilýän tigriň dişleriniň sany gaýtalanýar. 13.12-nji surat diskli frezanyň kömegi bilen tigirde diş kesilişi görkezilendir.

Biri-birine sürtenişdirme usulynda diş kesiji gurala we biçilip goýlan tigre, iki dişli tigir dogry ilişmede bolup işleýän ýaly hereket berilýär. Bu ýagdaýda kesiji gural hem dişli tigir ýaly, ýagny tigir-gural tigir bilen reýka görnüşde edilýär.

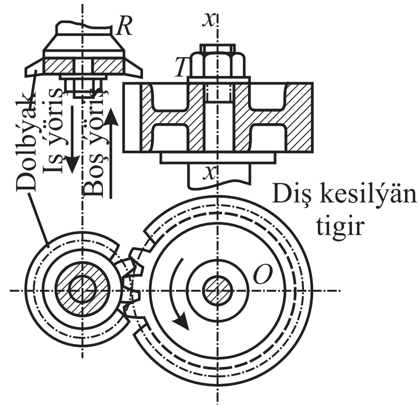
13.12-nji surat. Tigirde dişleriň diskli freza bilen kesilişi

13.13-nji suratda şeýle tigir-gural görkezilendir, Oňa urup kesýän (dolbýak) diýilýär. Urup kesýän R diş kesilýän T tigriň x–x okuna paralel göni çyzykly hereket edýär (*13.14-nji surat*). Bir wagtda urup kesýän gurala (dolbýaga) we tigre aýlaw hereket berilýär. Hakykatda, urup kesme usulynda üznükli däl iş akymda bolýar, ýagny yzygiderli hatar operasiýalar bolup geçýär. Urup kesýäniň ýokary we aşak, diş kesilýän tigriň öwrülmesi we ş.m. Emma bu ähli hereketler kinematiki gatnaşyklary bilen berk ylalaşylan bolmaly, ýagny kesýän gural bilen tigriň edil iki tigriň ilişmede bolup işleýşi ýaly. Onda kesilýän dişiň profili urup kesýän guralyň kesiji erňeginiň ähli ýagdaýlarynda egilip duran ýaly, ýagny gural diş kesilýän tigri barlap synagdan geçirýän ýaly bolýar (*13.15-nji surat*). Bu usulyň aýratynlygy içki ilişmeli tigirde biri-birine sürtenişdirme usuly bilen dişleri kesmäge mümkinçilik berýär (*13.13-nji surat*).

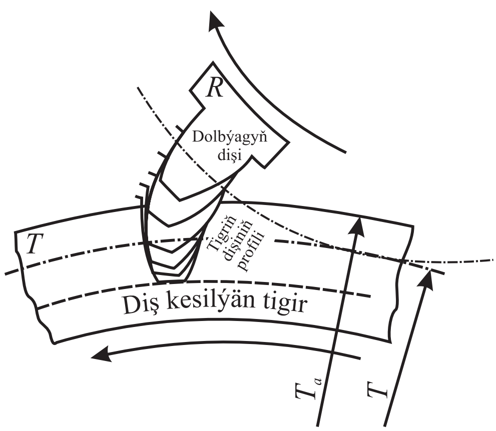
Islendik dişli tigir üçin biri biri-bilen baglanyşykda tigir bilen reýka taslanyp bilner, onda tigir-gural deregine kesiji gural hökmünde reýkany ulanyp bolýar, şuňa bolsa instrumental reýka diýilýär. Reýka dik ugur boýunça, diş kesilýän tigriň okuna parallel göni çyzykly dolanyp gelýän hereket edýär (*13.16-njy surat*). Biçüw tigri gorizontal tekizlikde iki hereket edýär. Öz okunyň töwereginde aýlanmak bilen, şol bir wagtda reýkanyň boýuna süýşýär (*13.17-nji surat*). Şeýlelikde, biçuw tigri reýka degişlilikde tigriň hereketini amala aşyrýar we tigriň kesilýän dişleri biri-birine sürtenişdirip alynýar. Ýasamak üçin ähli görkezilen yzygiderlilik ýörite diş kesiji stanoklarda ýerine ýetirilýär.



13.13-nji surat. Içki dişli tigirleriň urup kesiji gural bilen dişleriň ýasalyşy



13.14-nji surat. Urup kesiji bilen tigirleriň dişleriniň ýasalyşy

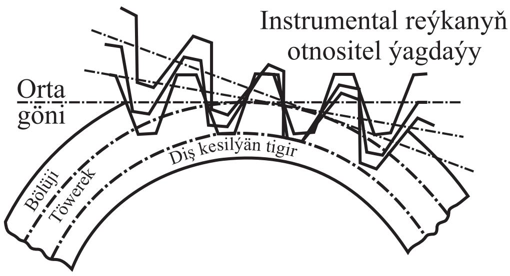


13.15-nji surat. Urup kesiji bilen diş kesilende onuň dişleriniň degişli ýagdaýynyň yzygiderliligi

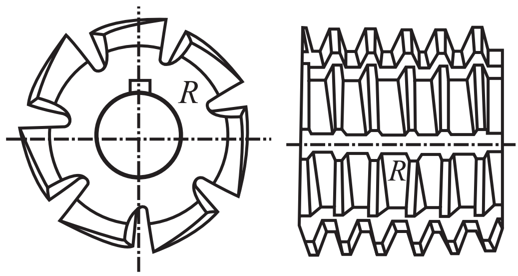
13.16-njy surat. Dişli reýka bilen tigirleriň dişleriniň kesilişi

Instrumental reýkanyň ornuna burumly frezany ulanmak bolýar (*13.18-nji surat*), onuň profili reýkadan alynýar. Eger burumly frezany tekizlik bilen kessek, onda kesimde biz reýkany alarys (*13.19-njy surat*). Şeýlelikde, burumly frezanyň burumyny reýkany hyrly çyzyk boýunça käbir hemişelik ýokary galyş burçy bilen süýşürme ýoly bilen alynýar. Köplenç, ýokary galyş burçy 5°-dan ýokary bolmaýar.

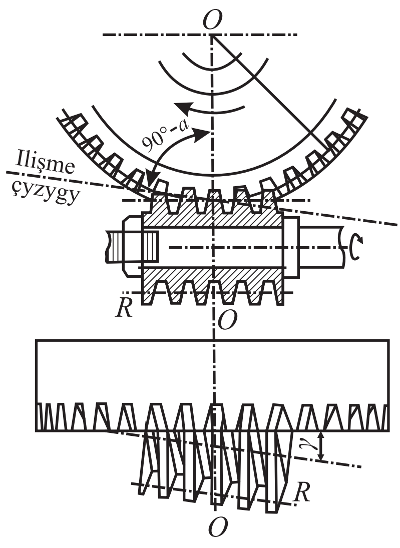
Bir girelgeli frezada frezanyň öz okunyň töwereginde her bir aýlawy biçuw tigri bir diş ýerleşýän we iki dişiň aralygyna öwrulýän burç aralygyna öwrulýär. Bir wagtda burumly freza aýlanmak bilen ýene tigriň okuna parallel gönüçyzykly hereket berilýär.13.20-nji suratda dişiň kesilişi görkezilendir. Freza tigriň tekizliginde ýokary galyş burça deň γ burç bilen goýulýar (*13.19-njy surat*).



13.17-nji surat. Tigriň dişleri kesilende reýkanyň dişleriniň ýagdaýlarynyň yzygiderliligi



13.18-nji surat. Burumly freza



13.19-njy surat. Burumly frezanyň okunyň kesigi

13.20-nji surat. Tigriň dişleriniň burumly freza bilen kesilişi

Biri-birine sürtenişdirme usuly bilen kesilýän tärden gelip çykýar. Bu kesmek täriniň esasynda reýka bilen tigriň ilişmesi ýa-da tigir bilen tigriň ilişmesi ýatyr.

Soňky wagtlarda tigirleri ýasamagyň täze usuly togalama usuly giň ýaýrandyr. Gural hökmünde instrumental dişli tigir hyzmat edýär (*13.21-nji surat*).

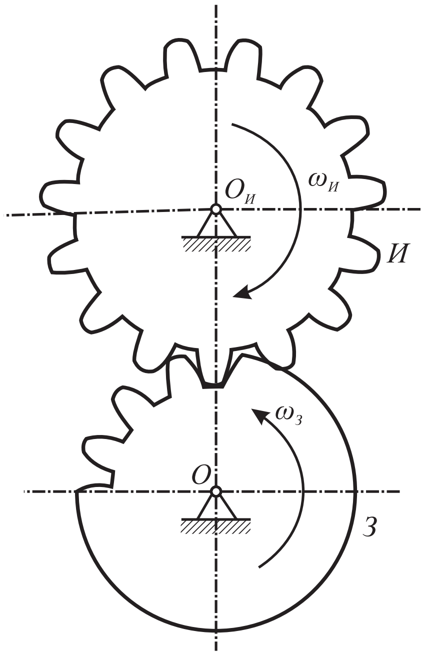
Goý, instrumental tigriň dişleriniň sany Z_i dişleriň moduly m bolsun. Biçüw tigirden dişiniň sany Z_b deň bolan tigri almaly talap edilýär. Şol m moduly. Onuň instrumental tigre we biçuw tigre degişli hereketde geçirijilik gatnaşygy üpjün eder ýaly aşakdaky ýagdaýa deň bolan gatnaşygy tapmak zerur:

$$U_{bi} = -\omega_b/\omega_i = -Z_i / Z_b, \qquad (13.37)$$

bu ýerde ω_b we ω_i – biçuw we instrumental tigirleriň burç tizlikleri. Eger biçuw tigriniň materialy ýeterlik maýyşgak bolsa, onda instrumental tigir gysyp çykarar ýa-da başgaça aýdanyňda biçuw tigirde m moduly gerek bolan dişleriň sanyny togalap ýasar. Kinematiki nukdaýnazardan bir tigri saklasak, onda ikinjisi birinjä sürtenip hereket eder ýa-da iki tigir hem (13.37) şerti kanagatlandyrar ýaly burç tizlik bilen aýlanar.

Togalama biçuw tigriniň sowuk ýa-da gyzdyrylan ýagdaýda onuň materialynyň hiline baglylykda bolup geçýär.

Häzirki döwürde bu usul bilen kiçi modully dişli tigirler ýasalýar. Bu usulyň artykmaçlygy şol bir instrumental tigir bilen umumy m modully islendik tigirleri togalap diş kesmek bolýar. Onuň üçin diňe (13.37) şert kanagatlandyrylmaly.



13.21-nji surat. Instrumental tigir bilen dişleri togalama usuly

14-nji BAP

KULAÇOKLY MEHANIZMLERIŇ SINTEZI

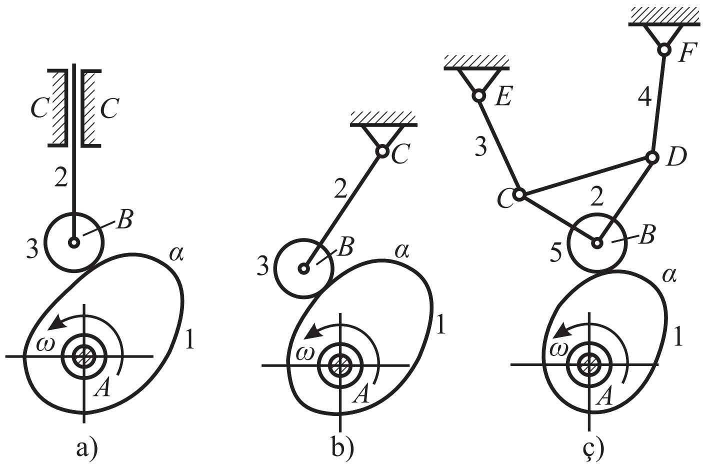
14.1. Kulaçokly mehanizmleriň esasy görnüşleri

Ahyrky zwenonyň hereketine baglylykda kulaçokly mehanizmler üç görnüşe bölünýärler:

1. Ahyrky zweno gönüçyzykly hereket edýär.
2. Ahyrky zweno aýlanýar.

3. Ahyrky zweno çylşyrymly hereket edýär.

Ýokardakylara mysal bolup şu shemalar girýärler.

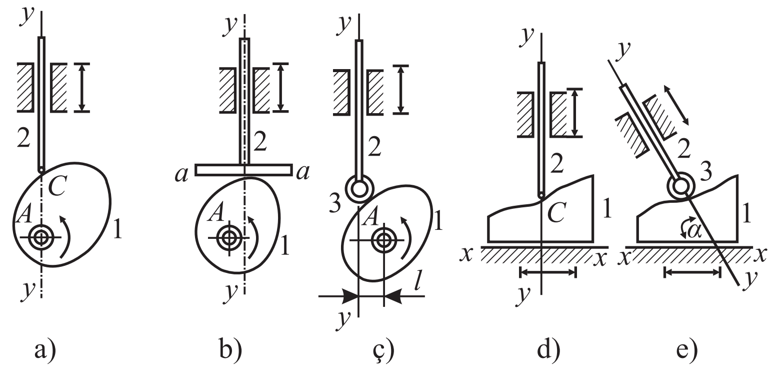


14.1-nji surat . Kulaçokly mehanizmleriň shemasy:
a – ahyrky zwenosy gönüçyzykly hereket edýän;
b – ahyrky zwenosy gaýdyp gelýän, aýlaw hereket edýän;
ç – ahyrky zwenosy çylşyrymly hereket edýän

Tekiz kesigi egri çyzykly silindr görnüşli 1-nji zweno *A* okuň daşynda berlen *ω* burç tizligi bilen aýlanýar. Okunyň daşynda erkin aýlanýan 3-nji tigirçege täsir etmek bilen 1 – silindir, *C – C* ugrukdyryjy boýunça 2 zwenony göni çyzykly hereket etmäge mejbur edýär. Kulaçokly mehanizmde kulaçok diýip ýokary jübütüň üýtgeýän egri çyzykly üstli zweno aýdylýar. Şol egri çyzykly üste kulaçogyň profili diýilýär. Onda 14.1-nji suratda görkezilen mehanizmde 1-nji zweno kulaçok diýilýär, *α* – üste bolsa kulaçogyň profili diýilýär. 14.1-nji *b* suratda kulaçokly mehanizmiň 2-nji görnüşi görkezilendir. 1-nji kulaçok berlen *ω* burç tizligi bilen aýlanýar. 3-nji tigirçege täsir etmek bilen 1-nji kulaçok 2-nji zwenony *C* okuň daşynda aýlanmaga mejbur edýär. 14.1-nji *ç* suratda kulaçokly mehanizmiň üçünji görnüşi görkezilendir. 1 kulaçok okunyň daşynda *ω* burç tizligi bilen aýlanýar. 5-nji tigirçege täsir etmek bilen 1-nji kulaçok 2-nji zwenony çyrşyrymly hereket etmäge mejbyr edýär, şol bir wagtda hem 3-nji we 4-nji zwenolar *E* we *F* oklaryň daşynda aýlanýarlar.

14.2. Gönüçyzykly hereket edýän itekleýjili kulaçokly mehanizmler

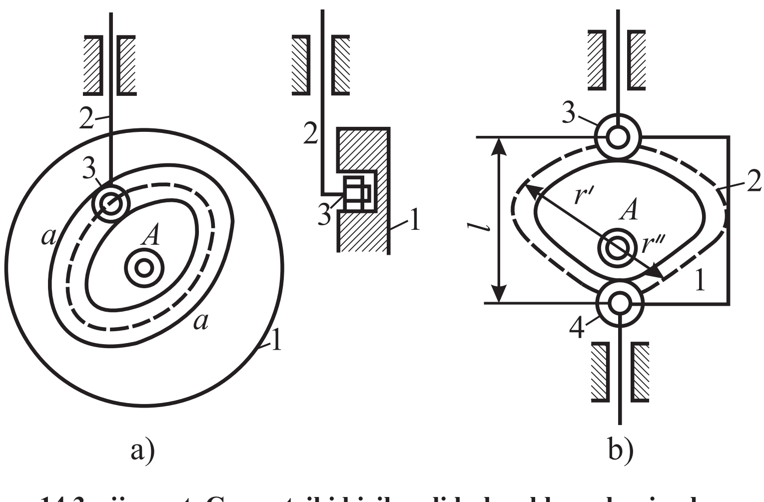
Kulaçokly mehanizmleriň her bir görnüşi öz arasynda kulaçogyň hereketiniň häsiýetine baglylykda, kulaçogyň we ahyrky zwenonyň özara ýerleşişleri boýunça, elementleriň geometriki görnüşlerine baglylykda görnüşlere bölünýärler. Mysal üçin: ahyrky zwenosy gönüçyzykly hereket edýän kulaçokly mehanizm 14.2-nji suratda görkezilen dürli görnüşli kinematiki shemalara bölünýärler.



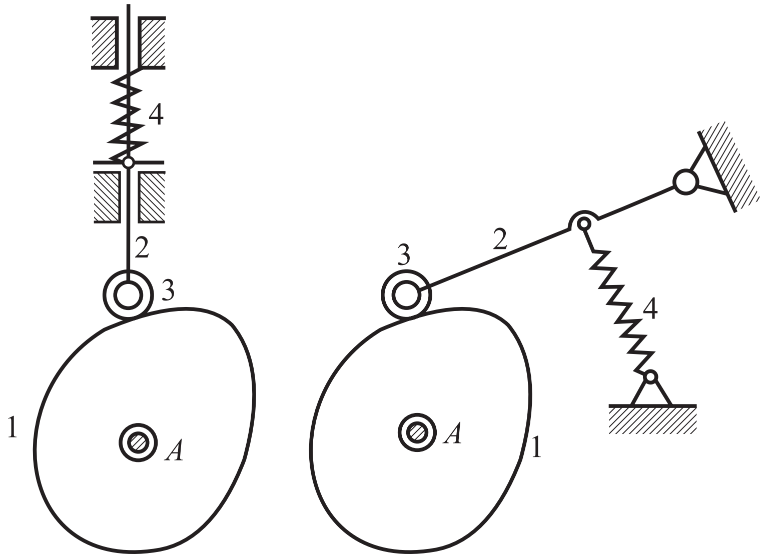
14.2-nji surat. Kulaçokly mehanizimleriň shemalary:
a – ýiti uçly gönüçyzykly hereket edýän itekleýjili; b – tekiz itekleýjili;
ç – gönüçyzykly hereket edýän tigirçekli we itekleýjili;
d – ýiti uçly itekleýjili we gönüçyzykly hereket edýän kulaçokly;
e – gönüçyzykly hereket edýän kulaçokly we tigirçekli itekleýjili

Gönüçyzykly hereket edýän 2 ahyrky zweno itekleýjili (tolkatel) ýa-da ştanga diýilýär. 2 ahyrky zweno gozganmaýan okuň daşynda aýlanýan zweno koromyslo diýilýär (*14.1–nji b surat*), 2 ahyrky zweno çylşyrymly hereket edýän (*14.1-nji ç surat*) şatun diýilýär. Eger itekleýjiniň *y–y* oky kulaçogyň aýlanýan A okunyň üstünden geçýän bolsa (*14.2-nji a surat*), şonuň ýaly mehanizme merkezleşen itekleýjili kulaçokly mehanizm diýilýär. Eger *y-y* oky belli bir e aralyga *A* okundan daşlaşýan bolsa, onuň ýaly mehanizme belli bir aralyga süýşen itekleýjili kulaçokly mehanizm diýilýär. 14.1-nji *b* suratda görkezilen mehanizme koromysloly kulaçokly mehanizm diýilýär.

14.3. Ýörite ulanylýan kulaçokly mehanizmler



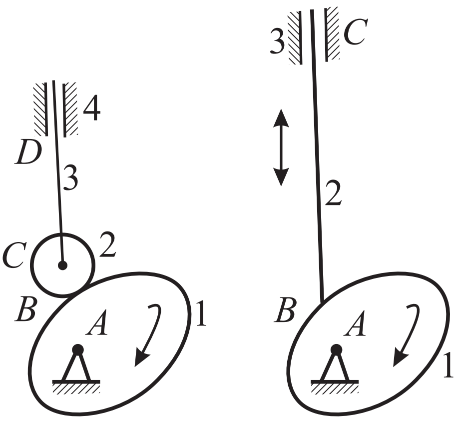
14.3-nji surat. Geometriki birikmeli kulaçokly mehanizmler.
a – oýukly kulaçokly; b – iki itekleýjili ramkada



a) b)

14.4-nji surat. Güýç birleşmeli kulaçokly mehanizmleriň shemalary:
a – gönüçyzykly hereket edýän itekleýjili; b – gaýdyp gelýän koromysloly

14.4. Kulaçokly mehanizmleri taslamak üçin gerek bolan maglumatlar



a) b)

14.5-nji surat. Kulaçokly mehanizmleriň shemalary:
a – tigirçekli itekleýjili; b – tigirçeksiz itekleýjili. 1. kulaçok; 2. tigirçek; 3. itekleýji; 4. direg

Mehanizmiň düzüminde kulaçok bar bolsa, şonuň ýaly mehanizme kulaçokly mehanizm diýilýär.

Itekleýji zwenonyň hereketleri şu aşakdakylardan ybarat:

1. Aýlaw hereketi ýerine ýetirýär.
2. Çylşyrymly hereketi ýerine ýetirýär.

Kulaçokly mehanizmleri taslamak üçin gerek bolan maglumatlar:

1. Mehanizmiň kinematiki shemasy;
2. Zwenolaryň ölçegleri;
3. Ahyrky zwenonyň hereketiniň kanuny;
4. Kulaçogyň faza burçlary.

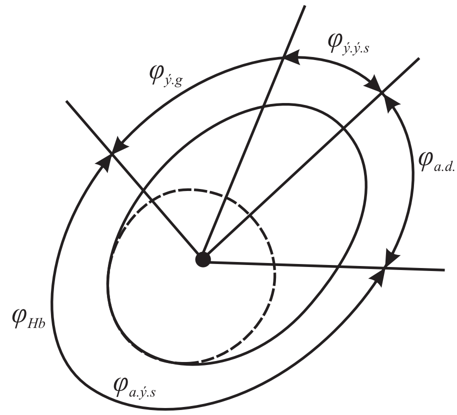
$\varphi_{\text{ýg}}$ – ýokary galyş burçy;
$\varphi_{\text{ýýs}}$ – ýokarky ýagdaýda saklanýan burçy;
φ_{ad} – aşak düşüş burçy;
$\varphi_{\text{aýs}}$ – aşaky ýagdaýda saklanýan burçy.

14.5. Itekleýjiniň hereketiniň kanunlary

$$\mu_{\varphi} = \frac{\varphi_{\acute{y}g} + \varphi_{\acute{y}\acute{y}s} + \varphi_{ad}}{x_{\max}} \left[\frac{\text{grad}}{\text{mm}} \right];$$

$$x_{\acute{y}g} = \frac{\varphi_{\acute{y}g}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}; \quad x_{\acute{y}\acute{y}s} = \frac{\varphi_{\acute{y}\acute{y}s}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}; \quad x_{ad} = \frac{\varphi_{ad}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}.$$

Itekleýjiniň hereketiniň berlen kanuny esasynda üç sany diagrammalary gurýarys. Bir wagtda üç grafigiň hem oklaryny geçirýäris. Kese oklardan kulaçoguň bir aýlaw edendäki aýlaw burçuny aňladýan $x_{\max}$ kesim almaly:



14.6-njy surat. Kulaçogyň faza burçlary

$$\varphi_{\acute{y}g} + \varphi_{\acute{y}\acute{y}s} + \varphi_{ad} + \varphi_{a\acute{y}s} = 360° = 2\pi.$$

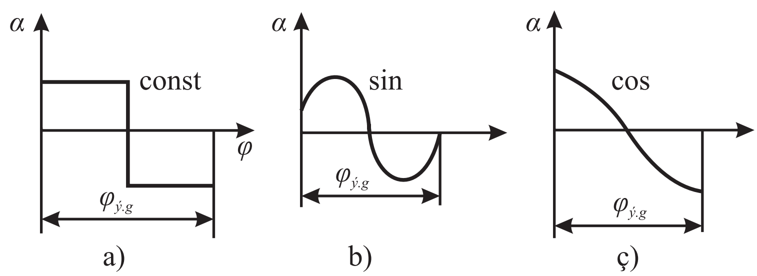
Aýlaw burçuň masştaby.

$$\mu'_{\varphi} = \frac{2\pi}{x_{\max}} \left[\frac{\text{rad}}{\text{mm}} \right] \quad \mu_{\varphi} = \frac{\varphi_{\acute{y}g} + \varphi_{\acute{y}\acute{y}s} + \varphi_{ad}}{x_{\max}} \left[\frac{\text{grad}}{\text{mm}} \right],$$

x_{max} – kesimi berlen faza burçlaryna baglylykda bölmeli. Alnan aralyklary grafikleriň φ okuna geçirmeli:

$$x_{\acute{y}g} = \frac{\varphi_{\acute{y}g}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}; \quad x_{\acute{y}\acute{y}s} = \frac{\varphi_{\acute{y}\acute{y}s}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}; \quad x_{ad} = \frac{\varphi_{ad}}{\mu_{\varphi}} \text{mm}.$$

$x_{\acute{y}g}$ we x_{ad} aralyklary deň böleklere bölmeli. Getirilen mysalda itekleýjiniň hereketiniň kanuny hemişelik diýip alnandyr. Itekleýjiniň hereketiniň kanunlary ýenede sinusoidanyň we kosinisoidanyň kanunlary boýunça hem berilip biliner (*14.7-nji surat*).

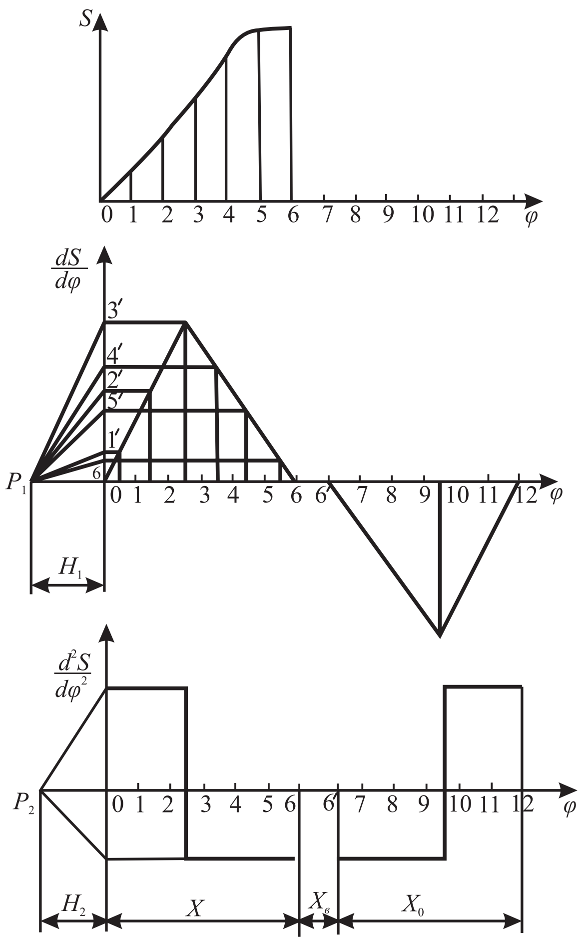


14.7-nji surat. Itekleýjiniň hereketiniň kanunlary

$\frac{d^2 s}{d\varphi^2}$ – grafigiň beýikligi erkin uzynlykda alynýar we grafik gurulýar. $x_{ýýs}$ aralyk goýulýar we ondan soň $x_{ýg}$ aralykda $r_{ýg}$ – radius bilen hem gurulýar. Eger $\varphi_{ýg} = \varphi_{ad}$ deň bolsa, onda $r_{ýg} = r_{ad}$ – deňdir. Ýokary galyş we aşak düşüş faza burçlary deň bolmadyk ýagdaýynda r_{ad} – şeýle kesgitlenýär:

$$r_{ad} = r_{`yg} \frac{\varphi^2_{`yg}}{\varphi^2_{ad}}.$$

14.6. Tizlige meňzeş ululygyň diagrammasy



14.8-nji surat. Itekleýjiniň diagrammalary

Ýokarda gurlan tizlenmä meňzeş ululygyň diagrammasyny grafiki integrirläp, tizlige meňzeş ululygyň diagrammasyny gurýarys. Grafiki integrirlemegi hordalar usuly boýunça geçirmeli. Onuň üçin H_2 – aralyk alynýar we P_2 – polýus bilen grafigiň beýikligi birleşdirilýär. Ýokarky diagrammanyň başlangyç nokadynda şol şöhlä parallel çyzyk geçirýäris we ony 2 nokada çenli ýetirýäris, onuň kesişen nokadyna bolsa aşaky geçirilen şöhlä parallel çyzyk geçirýäris. Şeýlelikde, $\frac{ds}{d\varphi}$ diagrammalary alýarys. Olar deň taraply üçburçluklardyr. Diagrammanyň beýikligini H_2 aralygy üýtgetmek bilen sazlamak bolar (*14.8-nji surat*).

14.7. Süýşme diagrammasy

$\frac{ds}{d\varphi}$ diagrammany grafiki integrirläp alynýar. Onuň üçin ýokarda bellenilişi ýaly, H_1 aralyk alynýar we P_1 – polýus bellenilýär, hem-de ýokardaky ýaly grafiki integrirläp süýşme diagrammasy alynýar (*14.8-nji surat*).

Masştablary hasaplamaly:

$$\mu_S = \frac{s_{\max}}{y_{\max}}\left[\frac{\text{m}}{\text{mm}}\right];$$

$$\mu\frac{ds}{d\varphi} = \frac{\mu_s}{\mu_\varphi H_1}\left[\frac{\text{m}}{\text{mm}}\right];$$

$$\mu\frac{d^2s}{d\varphi^2} = \frac{\mu\frac{ds}{d\varphi}}{\mu_\varphi H_2}\left[\frac{\text{m}}{\text{mm}}\right],$$

bu ýerde $S_{\max}$ – itekleýjiniň iň uly süýşmesi, m; $y_{\max}$ – süýşme diagrammanyň iň belent aralygy (beýikligi), mm; H_1, H_2 – degişlilikde tizlige we tizlenmä meňzeş ululuklaryň diagrammalarynyň polýus aralyklary, mm; μ_φ – kulaçoguň aýlaw burçunyň masştaby, rad/mm.

14.8. Kulaçogyň minimal radiusyny kesgitlemek

Tigirçekli itekleýjili kulaçokly mehanizmiň tizlige meňzeş ululygyň diagrammasynyň itekleýjiniň süýşmesine S baglylykdaky diagrammany gurmaly.

Gurluşyň yzygiderliligi :

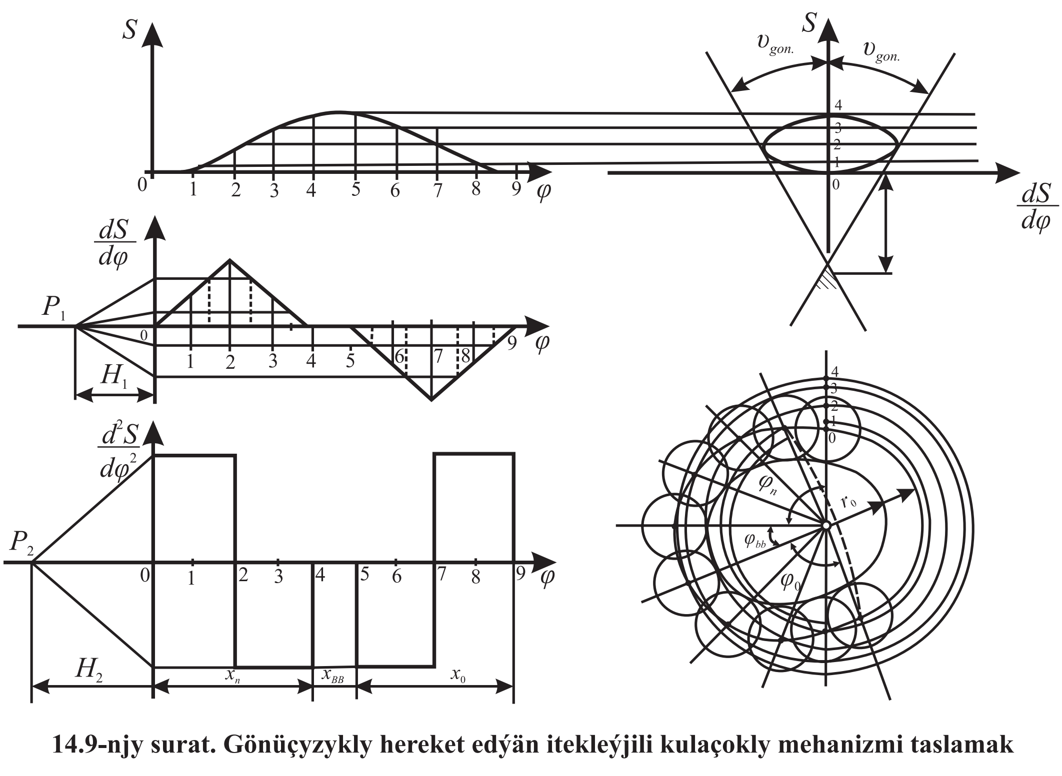
a) Dikligine μ_S masştabda itekleýjiniň süýşmesini almaly we olaryň ýagdaýlaryny bellemeli.

b) Kese ok boýunça şol masştabda $\frac{ds}{d\varphi}$ – diagrammanyň beýikliklerini alyp goýmaly. Ony göni ölçäp aljak bolsaň, $\frac{ds}{d\varphi}$ diagramma gurlanda H_1 aralygy şeýle almaly $H_1 = \frac{1}{\mu_\varphi}$, mm. Kulaçok sagat diliniň ugruna aýlananda kesimleri itekleýji ýokary galanda, okdan saga alyp goýmaly, aşak düşende bolsa çepe. Kulaçok sagat diliniň ters tarapyna aýlananda bolsa tersine.

ç) Alnan nokatlary egri çyzyk bilen birikdirmeli. Berlen basyş burçy bilen υ burç bilen diagramma iki sany galtaşma çyzyklaryny geçirmeli. Eger şol çyzyklary *O* nokatdan geçirsek ştrihlenen zona emele geler, şol zonada gözlenilýän kulaçogyň aýlaw merkezi ýerleşýär. Şol zonany ştrihlemeli we *O* nokatdan S_0 – başlangyç nokada çenli aralyk r_{min} bolar. Hakyky radiusy metrde şeýle tapylýar:

$$r_{\min} = r'_{\min} \cdot \mu_s + 0,001, \text{m}.$$

Eger kulaçokly mehanizm merkezleşmedik bolsa, ýagny kulaçogyň aylaw merkezi bilen itekleýjiniň süýşme merkezleri gabat gelmese, onda kulaçogyň merkezi ştrihlenen zona parallellikde dik okdan *e* – ekssentrisitet ulylyga berlen masştabda süýşürilýär (*14.9-njy surat*).



14.9-njy surat. Gönüçyzykly hereket edýän itekleýjili kulaçokly mehanizmi taslamak

14.9. Kulaçogyň profiliniň gurlusy

Gurluşyň yzygiderliligi:

1. Gurmak üçin standart *M* masştab saýlamaly.

2. *O* nokatdan $r_{\min}$ masştabda töwerek geçirmeli.

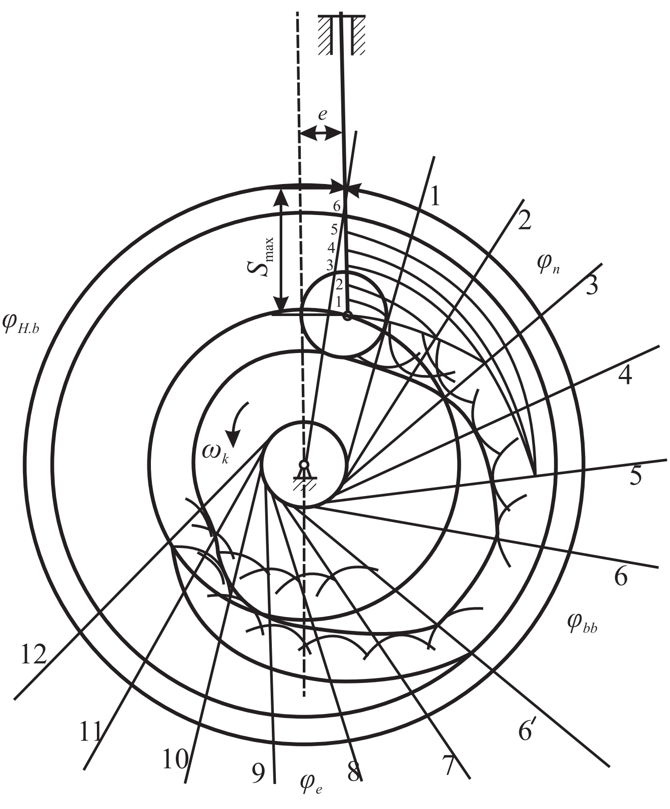
3. Töweregiň merkezinden *O* nokatdan itekleýjiniň dik okuny geçirmeli. Şu okuň $r_{\min}$ bilen çyzylan töwerek bilen kesişen nokady itekleýjiniň *O* başlangyç ýagdaýyna gabat gelýär.

4. Şol *O* nokatdan ýokaryk masştabda itekleýjiniň süýşmesini süýşme grafige degişlilikde alyp goýmaly. Bölünen nokatlary 0, 1, 2, 3, … bellemeli.

5. Dik okdan kulaçogyň aýlanýan ugrunyň tersine $\varphi_{ýg}$, $\varphi_{ýýs}$, φ_{ad} – faza burçlaryny alyp goýmaly.

6. Ýokary galyş $\varphi_{ýg}$ we aşak düşüş φ_{ad} faza burçlary; $S = S(\varphi)$ grafige degişlilikde aralyklara bölmeli we olary *O* merkez bilen birleşdirmeli.

7. Merkezden 01, 02 we ş.m. radiuslar bilen şol bölünen faza burçlarynda nokatlary bellemeli. Bellenen nokatlary yzygider egri çyzyk bilen birleşdirmeli. Şeýlelikde, kulaçogyň nazary profili emele gelýär (*14.10-njy surat*).



14.10-njy surat. Kulaçogyň profiliniň gurluşy

8. Kulaçogyň hakyky profili nazary profilden tigirçegiň radiusy bilen, töwerek (ýada ýarym töwerek) geçirmek bilen alynýar. Şol töwerekleriň ýada ýarym töwerekleriň aşaky düýpdäki nokatlary birikdirilip kulaçogyň hakyky profili çyzylýar. Tigirçegiň radiusy:

$$r_r \leq 0{,}4\ r_{\min}.$$

9. Kulaçogyň profilinde faza burçlaryny görkezmeli.

Kulaçogyň profiliniň taslamasyny dürli mehanizmler üçin seredip geçeliň.

14.10. Gönüçyzykly hereketlenýän tigirçekli itekleýjili kulaçokly mehanizm

Berlen: itekleýjiniň çyzyk boýunça süýşme diagrammasy $S = S(\varphi)$ (*14.11-nji a surat*); kulaçogyň nazary profiliniň minimal radiusy $R_{\min}$; ekssentrisitet e.

Kulaçogyň O_1aýlaw merkezini belläp, μ_S masştabda $R_{\min}$ we e radiusly töwerekleri çyzýarys. e radiusly töwerege galtaşdyryp itekleýjiniň hereketiniň çyzygyny geçirýäris we onuň $R_{\min}$ radius bilen geçirilen töwerek bilen kesişmesinde C_0 nokady tapýarys. Bu nokat tigirçegiň merkeziniň aşaky ýagdaýyna degişlidir.

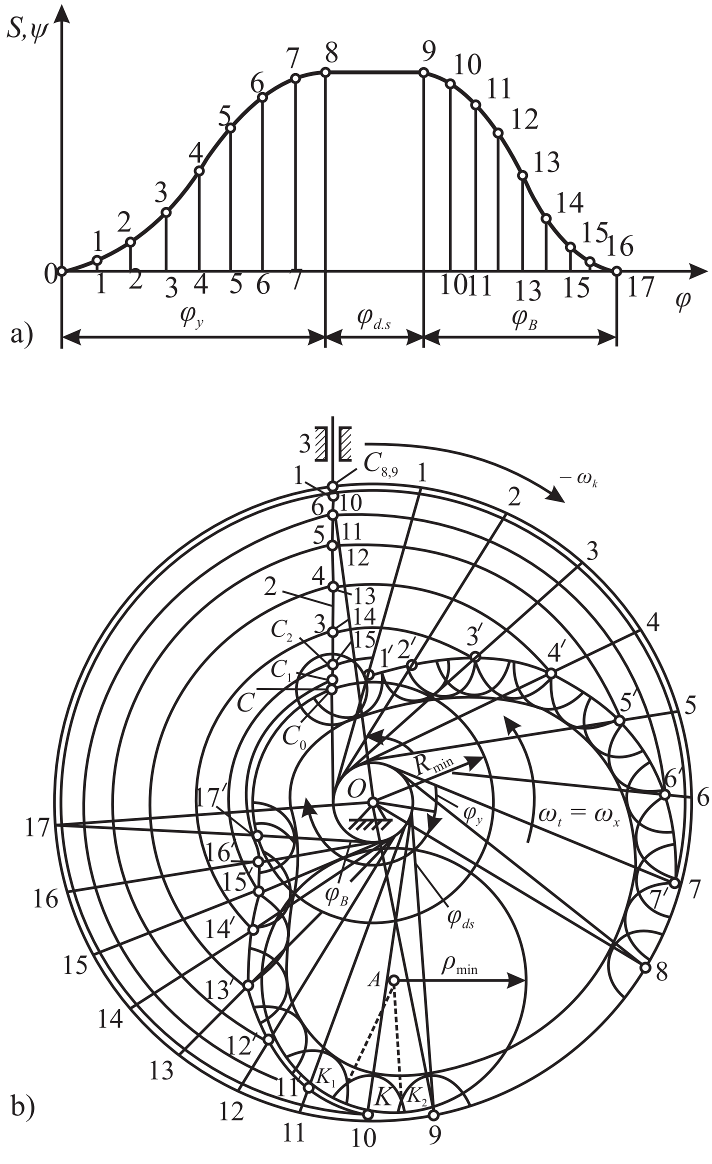
C_0 nokatdan $S(\varphi)$ diagramma degişlilikde C_0C_1, C_1C_2, C_2C_3 we ş.m. itekleýjiniň süýşmesini alyp goýýarys. C_8 nokat degişlilikde tigirçegiň merkeziniň maksimal ýokary galşyna degişlidir. O_1 we C_8 nokatlary birikdirip, O_1C_8 göni çyzykdan kulaçogyň aýlanýan ugrynyň tersine $\varphi_{ý.g}$, $\varphi_{ý.ý.s}$, $\varphi_{a.d}$ faza burçlaryny alyp goýýarys.

$R_{\max} = O_1C_8$ radiusly töweregi geçirýäris we $S(\varphi)$ diagrammada görkezilişi ýaly, $\varphi_{ý.g}$ we $\varphi_{a.d}$ burçlary deň böleklere bölýäris. Bölünen 1, 2, 3 we ş.m. nokatlardan e radiusly töwerege galtaşma çyzyklaryny şeýdip geçirmeli, ähli galtaşma çyzyk O_1 nokatdan şol tarap boýunça, edil C_0C_8 göni çyzygy ýaly ýerleşmeli.

Kulaçogyň O_1 aýlaw merkezinden O_1C_1, O_1C_2 we ş.m. radiuslar bilen degişli galtaşmalar bilen kesişýänçä dugalary geçirýäris. Alnan 1′, 2′, 3′ nokatlar mehanizmde tigirçegiň merkeziniň ýagdaýyny kesgitleýär. Bu nokatlary egri lekal bilen birleşdirip, kulaçogyň nazaryny (merkezini) aňladýan profili alarys.

Roligiň r radiusyny kesgitleýäris. Konstruktiw nukdaý nazardan $r < (0{,}4...0{,}8)\ R_{\min}$ almaklyga rugsat berilýär. Şol bir wagtda kulaçogyň profiliniň bölümleriniň kesişmelerinden gaçmak üçin şu şert ýerine ýetmeli $r < (0{,}7...0{,}8)\ \rho_{\min}$, bu ýerde $\rho_{\min}$ – kulaçogyň nazary profiliniň egrisiniň minimal radiusy.

$\rho_{\min}$ kesgitlemek üçin nazary profiliniň güberçek böleginde nokat saýlamaly (mysal üçin, K nokat 14.11-nji *b* surat), munda egri çyzygyň egrisi göz çeni bilen iň ýokarydyr. K nokadyň ýakynynda çep we sag tarapyndan ýene-de K_1 we K_2 nokatlary belleýäris, olary K nokat bilen birleşdirip K_1K we K_2K kesimleriň ortasyndan perpendikulýar geçirýäris. Bu perpendikulýarlaryň kesişen A nokady atlandyrylan üç nokadyň üstünden geçirilen töweregiň radiusydyr. Bu töweregiň radiusyny m hasabynda ρ_{min} deň diýip alyp bolar, $\rho_{min} = AK\cdot\mu_S$. Ýokarda teklip edilen şertleri hasaba almak bilen tigirçegiň radiusyny alýarys.



14.11-nji surat. Gönüçyzykly hereketlenýän tigirçekli itekleýjili kulaçokly mehanizmleriň kulaçogynyň nazary we hakyky profilleriniň gurluşy:
a – itekleýjiniň süýşme diagrammasy, b – kulaçogyň profili

Kulaçogyň iş profilini kesgitlemek üçin nazary profile meňzeş, ýöne tigirçegiň radiusy ýaly kiçi egri çyzykly profili alarys. (*14.10-njy surat*).

Bellik. Eger merkezleşen itekleýjili kulaçogyň profilini kesgitlemeklik talap edilse, onda ekssentrisitet $e = 0$ diýip kabul edýäris. Onda öňki gecirilen galtaşmalar kulacogyň O_1 aýlaw merkezinden geçýän şöhleler bolar. Galan gurluşlary seredilen mysala meňzeşlikde ýerine ýetirilýär.

15. Sargyt № 1284

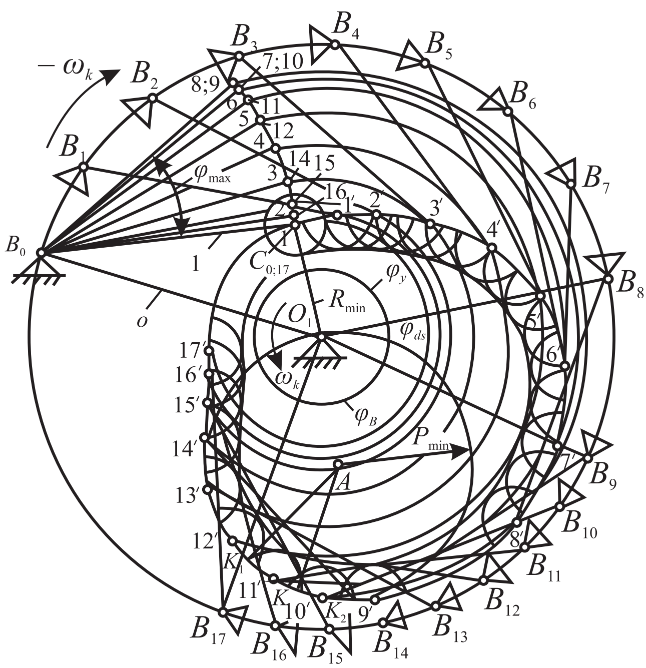
14.11. Caýkanýan itekleýjili (koromysloly) mehanizm

Berlen: $\psi = \psi(\varphi)$ diagramma (*14.11-nji a surat*); koromyslonyň uzynlygy l (*14.12-nji surat*); kulaçogyň nazary profiliniň minimal radiusy $R_{\min}$, kulacogyň aýlanýan merkezi bilen itekleýjiniň aralygy a.

μ_S masştabda a, l, $R_{\min}$ taraplary bolan üçburçlygy gurýarys. C_0 nokat itekleýjiniň aşaky ýagdaýynda tigirçegiň merkezini kesgitleýär. O_1 merkezden a, we $R_{\min}$ radiusly töwerekleri geçirýäris. B_0 merkezden l radiusly duga geçirýäris, munuň içine $\psi_{\max}$ merkezi burç ýerleşýär (koromyslonyň gerimi) (*14.12-nji surat*).

Koromyslonyň B_0C_0 ýagdaýyndan $\psi(\varphi)$ diagramma degişlilikde ψ_1, ψ_2 we ş.m.burçlary alyp goýýarys, we koromyslo aýlananda B_0 nokadyň töwereginde tigirçegiň merkeziniň ýagdaýyny tapýarys.

Kulaçogyň aýlanyşynyň ters tarapynyň ugruna $\varphi_{ý.g}$, $\varphi_{ý.ý.s}$, $\varphi_{a.d}$ faza burçlaryny alyp goýýarys. O_1B_0 maksimal radiusly dugany $\varphi_{ý.g}$ we $\varphi_{a.d}$ faza burçlaryny $\psi(\varphi)$ diagrammada bu burçlaryň bölünişine laýyklykda deň böleklere bölýäris. Alnan B_1, B_2 we ş.m. nokatlar öwrülme hereketde koromyslonyň aýlanýan merkeziniň ýagdaýyny kesgitleýär.



14.12-nji surat. Tigirçekli aýlanýan itekleýjili mehanizmiň kulaçogynynazary we hakyky pofilleriniň gurluşy

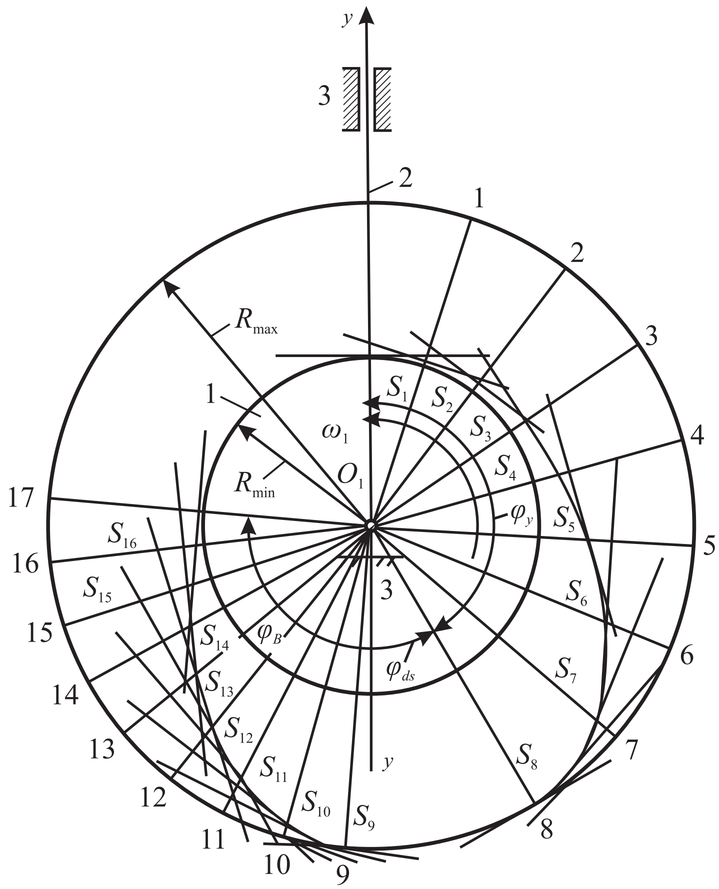
Öwrülme hereketde tigirçegiň merkeziniň ýagdaýyny şeýle tapýarys. Kulaçogyň O_1 aýlaw merkezinden O_1C_1, O_1C_2, O_1C_3 we ş.m. radiuslara deň bolan dugalary geçirýäris, B_1, B_2, B_3 we ş.m. nokatlardan bolsa koromyslonyň l uzynlygy bilen degişli dugalarda bellik edýäris. Alnan 1′, 2′, 3′ we ş.m. mehanizmiň öwrülmesinde tigirçegiň merkezidir. Olary lekal egri çyzyk bilen birleşdirip, kulaçogyň merkezi profilini alarys.

Tigirçegiň *r* radiusyny geçen mysalda beýan edilişi ýaly tapyp, kulaçogyň praktiki profilini gurýarys.

14.12. Tekiz gönüçyzykly hereketlenýän itekleýjili mehanizm

Berlen: itekleýjiniň $S(\varphi)$ çyzyk süýşmesiniň diagrammasy, kulaçogyň minimal R_{min} radiusy.

Kulaçogyň aýlaw merkezi diýip kabul edilen erkin saýlanyp alnan O_1 nokatdan (*14.13-nji surat*). μ_S masştabda R_{min} we $R_{max} = R_{min} + h$, bu ýerde h – itekleýjiniň doly süýşmesi radiusly töwerekleri geçirýäris.



14.13-nji surat. Tekiz itekleýjili kulaçogyň profiliniň gurluşy

Kulaçogyň O_1 aýlanýan merkezinden itekleýjiniň hereketiniň $y–y$ çyzygyny geçirýäris. Bu çyzygyň R_{min} we R_{max} radiuslar bilen geçirilen töwerekler bilen kesişme nokatlary degişlilikde itekleýjiniň iň pes we iň ýokary süýşmelerine deňdir.

$y–y$ göni çyzykdan kulaçogyň aýlanýan ugrunyň tersine $\varphi_{ý.g}$, $\varphi_{ý.ý.s}$, $\varphi_{a.d}$ faza burçlaryny alyp goýýarys. $\varphi_{ý.g}$ we $\varphi_{a.d}$ faza burçlara degişli maksimal radiusly dugalary $S(\varphi)$ diagrammada bu burçlaryň bölünişine laýyklykda deň böleklere bölýäris.

Alynan 1, 2, 3 we ş.m. nokatlary O_1 merkez bilen şöhle arkaly birleşdirmeli. Bu şöhleler öwrülme hereketde itekleýjiniň, ugrukdyryjysynyň ýagdaýlary bolar. Şöhleleriň R_{min} radiusly töwerek bilen kesişen nokatlaryny kabul edilen μ_S masştabda O_1 merkezden ugrukdyryjy boýunça S_1, S_2, S_3 we ş.m. süýşmeleri alyp goýýarys. Kesimleriň ujundan degişli şöhlelere perpendikulýar çyzyklary geçirýäris. Bu perpendikulýarlary birikdirýän egri çyzyk bolsa kulaçogyň hakyky profili bolar.

EDEBIÝAT

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow.* Täze Galkynyş eýýamy. – A., 2008. 374 s.

2. *Gurbanguly Berdimuhamedow.* Türkmenistanyň ykdysady strategiýasy: Halka daýanyp, halkyň hatyrasyna. – A., 2010. 112 s.

3. *Gurbanguly Berdimuhamedow.* Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. – A.; Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008. 360 s.

4. Türkmenistanyň XX Halk Maslahatynyň resminamalary: çykyşlar we metbugatdaky seslenmeler. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 462 s.

5. Türkmenistanyň 2030-njy ýyla çenli durmuş-ykdysady ösüşiniň esasy görkezijileri. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2010. 16 s.

6. *Тимофеев Г.А*. Теория механизмов и машин курс лекций / Г.А. Тимофеев. – М.: Высшее образование, 2009. стр. 352.

7. *Коловский М.З., Евграфов А.Н., Семенов Ю.А., Слоущ А.В*. Теория механизмов и машин: учебное пособия для студентов ВУЗ – М.: Академия, 2006. стр. 560.

8. *Борисенко Л.А*. Теория механизмов, машин и манипуляторов Из-во: ИНФРА – М., 2011. стр. 285.

9. *Смелягин А.И*. Теория механизмов и машин. Учебное пособия. – М., ИНФРА – М. – Новосибирск: Из-во НГТУ, 2003. 263 стр.

10. *Тимофеев Г.А*. Теория механизмов и машиню Курсовое проектирование. – М., из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. стр. 155

11. *Карташевич А.Н., Гордеенко А.В.* Кинематика кривошипно-шатунного механизма двигателей внутренного сгорания. Лекция-Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Минск, 2001. стр. 40.

12. *Лачуга Ю.Ф., Воскресенский А.Н., Чернов М.Ю*. Теория механизмов и машин. Кинематика, динамика и расчёт. – М.: Колос, 2007. стр. 304.

MAZMUNY

II BÖLÜM. MEHANIZMLERIŇ WE MAŞYNLARYŇ DINAMIKI SELJERILIŞI

6-njy BAP. MEHANIZMLERIŇ GÜÝÇLERINIŇ SELJERILIŞI

7-nji BAP. MEHANIZMLERDÄKI SÜRTÜLMELER

8-nji BAP. TEKIZLIKDE HEREKETLENÝÄN MEHANIZMLERIŇ KINETOSTATIKI TAÝDAN HASAPLANYLYSY

9-njy BAP. MAŞYNLARYŇ WE MEHANIZMLERIŇ HEREKETLERINIŇ SELJERILIŞI

10-njy BAP. MEHANIZMLERDE GETIRILEN GÜÝÇLER WE MASSALAR

11-nji BAP. MAŞYN AGREGATLARYŇ HEREKETLERINI BARLAMAK

12-nji BAP. MAŞYNLARYŇ WE MEHANIZMLERIŇ DEŇÖLÇEGSIZ HEREKETI

III BÖLÜM. MEHANIZMLERIŇ SINTEZI

13-nji BAP. ESASY DÜŞÜNJELER WE KESGITLEMELER SENTROID MEHANIZMLERIŇ SINTEZI

14-nji BAP. KULAÇOKLY MEHANIZMLERIŇ SINTEZI