Ş.Kadyrow, M.Gurdow

MEHANIZMLERIŇ WE MAŞYNLARYŇ NAZARYÝETI

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat
Türkmen döwlet neşirýat gullugy
2017

UOK 621+378
K 13

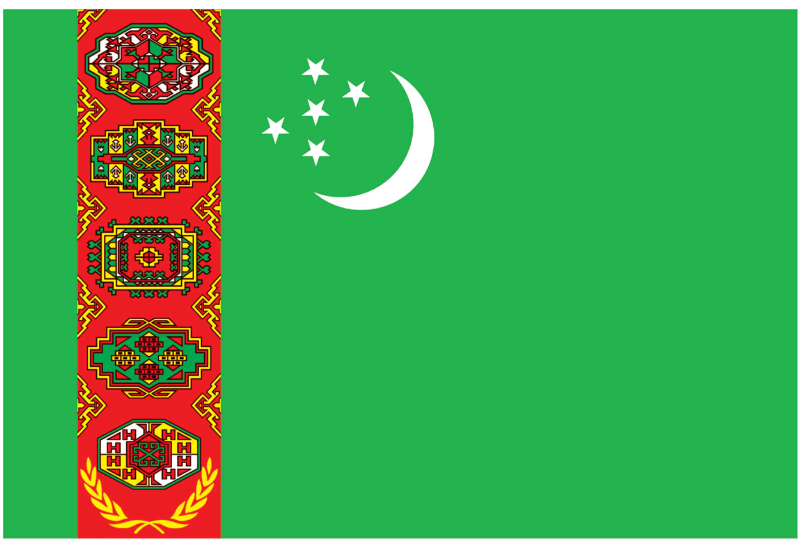
Kadyrow Ş., Gurdow M.
K 13 **Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2017.

Okuw kitaby tehniki ýokary okuw mekdeplerinde okadylýan «Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti» dersiniň okuw maksatnamasy boýunça taýýarlanyldy. Şeýle-de kitapda mehanizmleriň we maşynlaryň gurnalyşyna, kinematiki, kinetostatiki we dinamiki derňewlerine, dişli ilişmegiň nazaryýetine, çylşyrymly dişli mehanizmleriň, ýumrujakly (kulaçokly) mehanizmleriň derňewine we taslamasyna, aýlanýan zwenolaryň we maşynlaryň deňagramlylyga getiriliş usullaryna we şoňa meňzeş soraglara seredilýär.

TDKP № 5, 2015 KBK 34.4 ýa 73

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!

SÖZBAŞY

Garaşsyz, baky Bitarap Watanymyz häzirki wagtda hormatly Prezidentimiziň parasatly syýasaty we ýadawsyz tagallalary netijesinde ylym-bilim ulgamynda we beýleki ähli ugurlarda beýik ösüşleri başdan geçirýär.

Hormatly Prezidentimiziň «XXI asyr tebigatyň syrlaryna barha çuňňur aralaşýan, jemgyýetiň, adamyň pikirlenişiniň, ylmyň, tehnikanyň we tehnologiýalaryň çalt ösýän döwrüdir. Ylmy-tehniki öňegidişlikleriň häzirki şertlerinde islendik döwletiň ösüş derejesi onuň ykdysadyýetiniň ähli ugurlaryna, şol sanda bilim we ylym ulgamlaryna innowasion tehnologiýalaryň ornaşdyrylyşyna, döredijilik işleriniň höweslendirilişine hem-de ýokary derejeli hünärmenleriň taýýarlanylyşyna köp derejede baglydyr» diýen sözlerinden ugur alyp, her bir hünärmen öz başarnygyna görä ýurdumyzyň tehniki we tehnologiki taýdan ösüşine goşant goşmalydyr.

Ýurdumyzyň kärhanalarynda ulanylýan döwrebap mehanizmleriň we maşynlaryň gurluşyna, işleýiş tilsimlerine nazary esasda düşünmekde we düşündirmekde, umumy inženerçilik ylymlarynyň biri bolan Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti dersi uly orny eýeleýär. Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti öz meselelerini matematikanyň, fizikanyň we aýratyn hem nazary mehanikanyň usullary bilen çözmäge ünsi çekýär.

Mehanizm we maşyn düşünjesi ylmyň we tehnikanyň ösmegi bilen hemişe üýtgeýär we özgerýär. Adam hemişe öz zähmetini ýeňilleşdirmegiň we öndürijiligini ýokarlandyrmagyň aladasyny edýär. Adamzadyň ösüşi ýönekeý el gurallaryndan (meselem, palta, çekiç, ýaý, peýkam we ş.m.) başlanypdyr. Ýönekeý maşynlar (meselem, suw we ýel degirmenleri) has gadym döwürlerde döredilipdir.

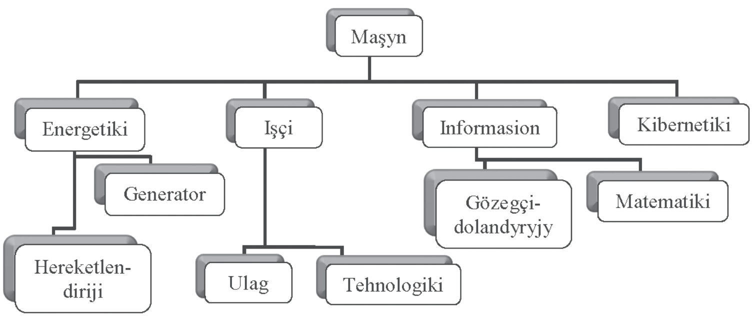
Angliýada XVIII asyryň ortalaryna egirme we dokma stanoklarynyň oýlanyp tapylmagy bilen tehnikada öwrülişikler başlanypdyr. Bu maşyn gurluşygynyň we beýleki pudaklaryň önümçiliginiň ösmegine uly itergi beripdir. Ýöne şol wagt hemme stanoklar adamyň el güýji, atyň ýa-da suwuň we ýeliň tebigy güýçleri bilen herekete getirilipdir. Entek hiç hili hereketlendiriji maşyn bolmandyr.

Tehnikada hakyky öwrülişik iňlis alymy Jeýms Uattyň ilkinji hereketlendiriji bug maşynyny oýlap tapmagy bilen boldy. Soňra maşyn gurluşygy has çalt ösdi. Stanoklar kämilleşdirildi, kuwwaty we PTK ýokarlandyryldy. Maşyn gurluşygynyň ösüşiniň indiki tapgyry bug we gaz turbinalarynyň, içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň oýlanyp tapylmagy bolupdyr. Bug gämileri, otlular, awtomobiller, soňra uçarlar – özi ýöreýän ekipažlar emele gelipdir.

XIX asyrda elektrigiň açylmagy we elektrik hereketlendirijileriniň emele gelmegi bilen maşyn gurluşygynda ýene bir kuwwatly itergi bolýar. Uzak aralyklara geçirilişiniň ýönekeýligi, hereketlendirijileriniň ykjamlygy bilen işçi maşynlaryň aglaba bölegi elektrik energiýasy arkaly herekete getirilýär.

Maşyn – adamyň fiziki we akyl zähmetini ýeňilleşdirmek, onuň hilini we öndürijiligini ýokarlandyrmak maksady bilen, materiallaryň häsiýetiniň, ölçeginiň, şekiliniň ýa-da ýagdaýynyň we informasiýalaryň, energiýalaryň özgerdilişi bilen baglanyşykly kesgitli mehaniki hereketi amala aşyrýan tehniki gurluş.

Maşynlar aşakdaky görnüşlerde aňladylýar:



Energetiki maşynlar – energiýalary özgertmek üçin niýetlenen maşynlar. Eger haýsydyr bir energiýanyň görnüşini mehaniki energiýa özgerdýän bolsa, oňa **hereketlendiriji maşyn** diýilýär. Eger-de hadysa tersine bolsa, oňa **generator maşyn** diýilýär.

Işçi maşynlar – materiallary özgertmek üçin niýetlenilen, ýagny **ulag maşynlar** obýektiň ýagdaýynyň diňe üýtgeme ýoly boýunça materiallaryny özgerdýär. **Tehnologiki maşynlar** bolsa, obýektiň ýa-da materialyň şekilini, häsiýetini we ýagdaýyny özgertmek üçin niýetlenen.

Informasion maşynlar – maglumatlary almak we özleşdirmek üçin gulluk edýär. **Gözegçi-dolandyryjy maşynlar** energetiki ýa-da işçi maşynlary dolandyrmak maksady bilen maglumatlary özgerdýär. **Matematiki maşynlar** obýektiň häsiýetine baglylykda matematiki görnüşde almak maksady bilen maglumatlary özgerdýärler.

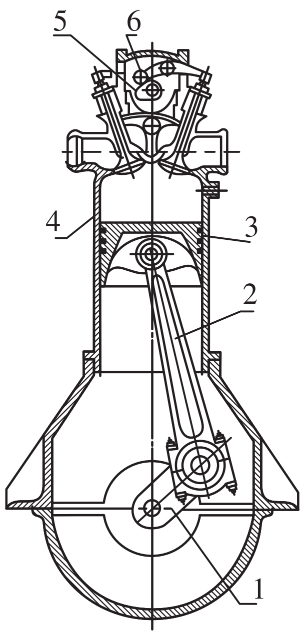
Kibernetiki maşynlar – emeli akylyň elementleriniň esasynda diňe adama ýa-da janly tebigata mahsus öýkünýär ýa-da ony çalyşýar.

I BÖLÜM
MEHANIZMLERIŇ STRUKTURA DERŇEWI

1.1. Mehanizmler barada umumy düşünjeler. Kinematik jübütler we olaryň klaslandyrylyşy

Bir ýa-da birnäçe zwenolary gerekli hereketi etdirmek üçin gaty jisimlerden döredilen ulgama **mehanizm** diýilýär. Şonuň üçin islendik mehanizme seredilende, meselem, içinden ýandyrylýan hereketlendirijide *(1.1-nji surat)* gaty jisimler: 1–tirsekli wal, 2–şatun, 3–porşen, 4–hereketsiz silindr, 5–ýumrujak, 6–rolik we ş.m. bar. Mehanizme girýän bir ýa-da birnäçe hereketsiz birikdirilen gaty jisimlere **zweno** diýilýär.

Meselem: 2-nji zweno – şatun, şatunyň özüne gapagy boltlar, şaýbalar we gaýkalar bilen berkidilip, hemmesi bir zweno bolup durýar. Edil şonuň ýaly, silindre – blok we başga şaýlar hereketsiz berkidilip, bir zweno emele getirýär. Hemme zwenolar bir zweno görä hereket edýär. Şol zweno hereketsiz zweno diýilýär, meselem: hereketlendirijiniň blogy. Her zwenonyň öz aýry hereketi bar, şol hereketler bir-birine baglanyşykly.



1.1-nji surat

Meselem: *3* – porşen silindriň içinde gazlaryň basyşy bilen süýşüp, hereketi *2* – şatuna geçirýär. *2* – şatun *1* – tirsekli waly aýlaýar. Şonuň ýaly hereketi geçirmeklik, zwenolary bir-birine ýörite usul boýunça goşulmak arkaly ýerine ýetirilýär.

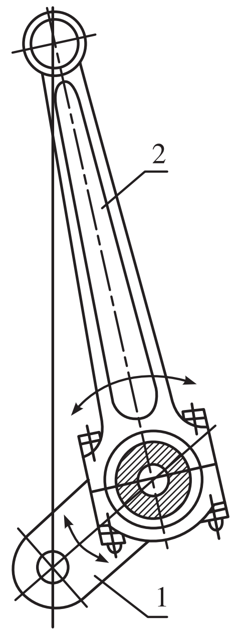
1.2-nji suratdan şatunyň tirsekli wala görä aýlanyp bilýänligi görünýär. Tirsekli wal hereketsiz zweno (bloga) görä aýlanyp bilýär. Zwenolaryň hereketli goşulýan ýerine **kinematik jübüt** diýilýär. Tirsekli wal bilen şatun kinematik jübüti emele getirýär. Bu kinematik jübütde bir (aýlanma) hereket bar, şonuň üçin oňa bir hereketli kinematik jübüt diýilýär. Iki dişli tigirleriň dişleriniň ilişmegine seredilende, dişler bir-biriniň üstünden typyp aýlanýarlar. Bu ýerde iki hereket bar: *1* – tigirleriň aýlanmasy; *2* – dişleriň typmasy. Bu kinematik jübüte iki hereketli kinematik jübüt diýilýär. Umuman seredilende, erkin jisimiň hereketiniň giňişlikde alty sany erkinlik derejesi bar ýa-da alty sany bir-birine baglanyşyksyz hereket edip bilýär.

1.3-nji suratda erkin jisimiň, 1-nji zwenonyň üç ok boýunça süýşüp bilýänligini we üç okuň daşyndan aýlanyp bilýänligini görmek bolýar.

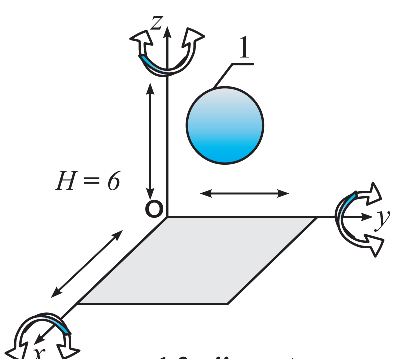
Eger-de 1-nji zwenonyň erkinligini başga bir zweno bilen çäklendirsek, onda ol goşulyşyna görä birnäçe hereketini ýitirer.

Meselem, şar bilen tekizlik kinematik jübüte girende *(1.4-nji surat)*, bir hereketini ýitirýär. Üç okuň daşynda aýlanyp bilýär, iki ok (*x* we *y*) boýunça süýşüp bilýär. Bir ok (*z*) boýunça dik süýşüp bilenok, sebäbi tekizlik süýşmäge ýol berenok. Eger ýokarlygyna süýşse, tekizlik bilen galtaşmasy üzüler we kinematik jübüt bolmaz.

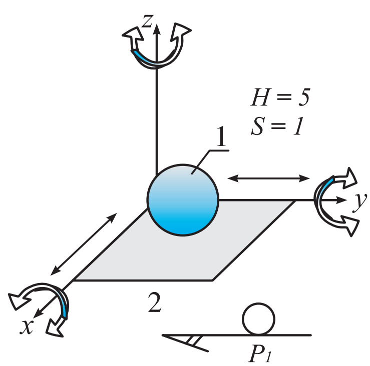
Erkinlik derejesiniň sany $H=5$, edip bilmedik hereketiniň sany $S=1$, oňa bäş hereketli kinematik jübüt diýilýär.



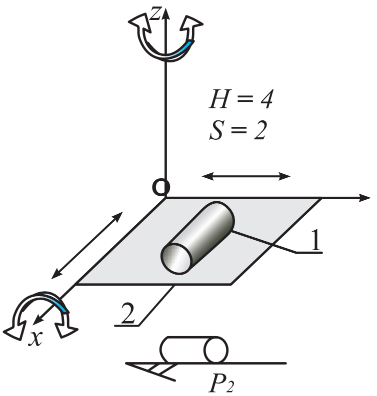
1.2-nji surat



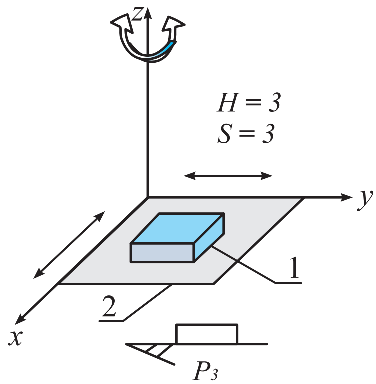
1.3-nji surat



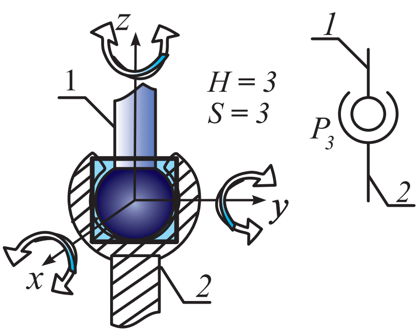
1.4-nji surat



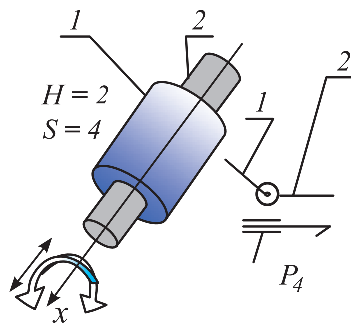
1.5-nji surat



1.6-njy surat



1.7-nji surat

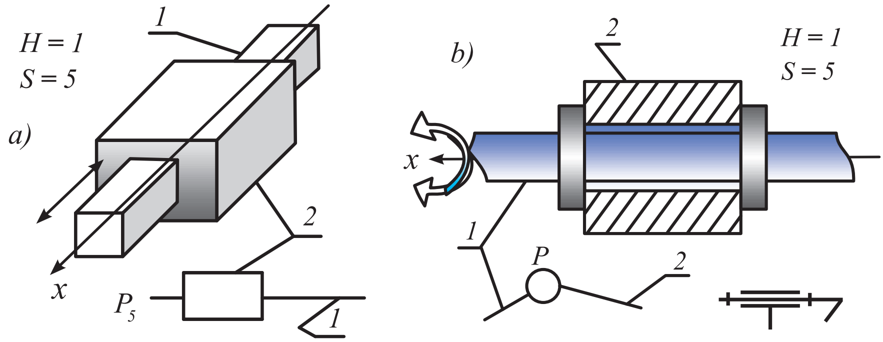


1.8-nji surat

Şol tekizligiň üstünde silindre seretsek *(1.5-nji surat)*, iki ok (*x* we *y*) boýunça süýşüp bilýär, iki okuň (*x* we *z*) daşynda aýlanyp bilýär. Erkinlik derejesiniň sany *H=4*, edip bilmedik hereketi *S=2*, oňa dört hereketli kinematik jübüt diýilýär. Tekizlik bilen parallelopiped jübüte girende (*1.6-njy surat*), iki ok (*x* we *y*) boýunça süýşüp bilýär, bir okuň (*z*) daşynda aýlanyp bilýär. Erkinlik derejesiniň sany *H=3*, edip bilmedik hereketi *S=3*, oňa üç hereketli kinematik jübüt diýilýär.

Şarly şarnire seredilende (*1.7-nji surat*), üç okuň daşynda üç aýlanma hereket edip bilýär. Erkinlik derejesiniň sany *H=3*, edip bilmedik hereketiniň sany *S=3*, oňa üç hereketli kinematik jübüt diýilýär.

Wal – 1, wtulka – 2 kinematik jübütde bir ok (*x*) boýunça süýşme we aýlanma hereketleri edip bilýär. *H=2, S=4* (*1.8-nji surat*), iki hereketli jübüt.



1.9-njy surat

Wal – 1, wtulka – 2 kinematik jübütde süýşme hereketi ýörite şaýlar bilen aýrylanda, bir aýlanma hereket edip biler: *H=1, S=5*, oňa bir hereketli jübüt diýilýär (*1.9-njy b surat*).

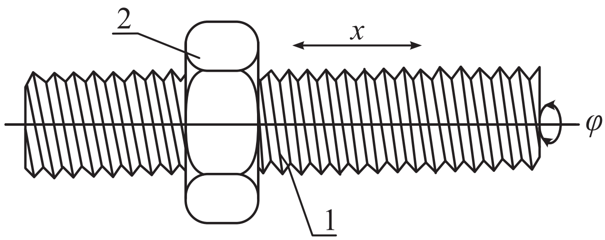
Iki zweno diňe süýşme hereket edip bilýär (*1.9-njy a surat*): *H=1, S=5,* oňa bir hereketli jübüt diýilýär.

1.1-nji tablisa

Kinematik jübütlerde baglanyşyksyz edilýän hereketleriň bolup bilýän görnüşleri

Jübütler	Bolup bilýän hereketler		
Bir hereketli	A		S
Iki hereketli	AA		AS
Üç hereketli	AAA	AAS	ASS
Dört hereketli	AAAS		AASS
Bäş hereketli	AAASS	AAASS	
A – aýlanma hereketi S – süýşme hereketi			

1.1-nji tablisada hemme hereketler bir-birine baglanyşyksyz edilýär. Käbir kinematik jübütlerde iki ýa-da birnäçe hereketler bir--birine ýörite şert boýunça bagly bolýar, bu ýagdaýda baglanyşyksyz diýip bir hereketi alyp bolýar. Meselem, hyr boýunça goşulan kinematik jübütde gaýkanyň süýşmesi wintiň aýlanmasyna bagly (*1.10-njy surat*).



1.10-njy surat

$$x = k\varphi, \tag{1.1}$$

bu ýerde x – süýşme; φ – aýlanma burçy; k – islendik san, ýöne şol jübüt üçin belli bir bahada bolmaly. Şu kinematik jübütde diňe bir hereketi (aýlanmasy ýa-da süýşmesi) baglanyşyksyz diýip alyp bolýar, diýmek, bir hereketli kinematik jübütleriň hasabyna girýär. Her zweno hyr boýunça hereket edýär. Deňlemede $k=0$ bolanda, aýlanma hereket edýän kinematik jübüt bolýar, $k = \infty$ bolanda bolsa, süýşýän kinematik jübüt bolýar. Kinematik jübütler zwenolarynyň erkinlik derejesiniň sany boýunça ýa-da edip bilmeýän hereketi boýunça klaslandyrylýar.

Zwenolar kinematik jübüte girende, edilmedik hereketiniň sanyna S goşulyş şerti diýilýär. Kinematik jübütleri goşulyş şerti S boýunça klaslandyrýarys.

Kinematik jübütleri P bilen belgileýäris, olary suratda şert boýunça görkezýäris. Kinematik shemalarda kinematik jübütleri latyn baş harplary (A,B,C we ş.m.) bilen belgileýäris.

P_5 – V klas bir hereketli kinematik jübüt.
P_4 – IV klas iki hereketli kinematik jübüt.
P_3 – III klas üç hereketli kinematik jübüt.
P_2 – II klas dört hereketli kinematik jübüt.
P_1 – I klas bäş hereketli kinematik jübüt.

Kinematik jübütler zwenolaryň galtaşmasyna görä ikä bölünýär. Eger meýdan boýunça galtaşsalar, oňa **pes kinematik jübüt** diýilýär. Çyzyk ýa-da nokat boýunça galtaşsalar, oňa **ýokary kinematik** jübüt diýilýär.

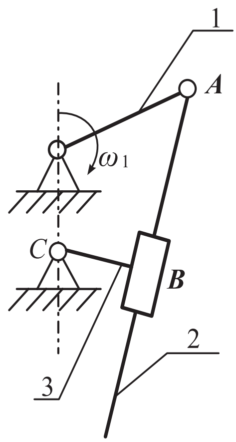
1.2. Kinematik zynjyrlar

Zwenolary yzygider hereketli goşulan ulgama **kinematik zynjyr** diýilýär.

Kinematik zynjyrlar öz aralarynda görnüşlere bölünýär:

1. Tekizlikde ýa-da giňişlikde hereket edýän kinematik zynjyrlar, eger zwenolaryň nokatlarynyň hereket ýollary parallel tekizliklerde bolsa, oňa **tekizlikde hereket edýän kinematik zynjyr** diýilýär *(1.11-nji sur.)*. Eger-de zwenolaryň nokatlarynyň hereket ýollary kesişýän tekizliklerde bolsa, oňa **giňişlikde hereket edýän kinematik zynjyr** diýilýär *(1.12-nji sur.)*.

2. Açyk ýa-da ýapyk kinematik zynjyrlar. Eger zynjyryň başlangyç we ahyrky zwenosy hereketsiz zweno bilen kinematik jübüte girseler, oňa **ýapyk kinematik zynjyr** diýilýär (*1.11-nji sur.)*. Eger-de ahyrky zweno hereketsiz zweno bilen kinematik jübüte girmese, oňa **açyk kinematik zynjyr** diýilýär *(1.12-nji sur.)*.



1.11-nji surat

Hereketi başlanýan zweno – **başlangyç zweno** diýilýär. Soňky zweno – **ahyrky zweno** diýilýär. Şol iki zwenonyň aralygyndaky zwenolara **hereket geçiriji zwenolar** diýilýär.

3. Ýönekeý ýa-da çylşyrymly kinematik zynjyrlar.

Eger zynjyryň her zwenosyna degişli kinematik jübütiň sany ikiden köp bolmasa, oňa **ýönekeý kinematik zynjyr** diýilýär.

Eger-de bir zwenosyna ikiden köp kinematik jübüt girse, oňa **çylşyrymly kinematik zynjyr** diýilýär (*1.13-nji surat*).

Meseleler.

1.11-nji suratda: 1-nji zweno – başlangyç zweno – tirsekli wal. *A* nokat *O* nokadyň daşynda doly aýlanýar. *A* nokadyň hereket ýoly töwerek.

2-nji zweno – şatun – hereket geçiriji zweno. Çylşyrymly hereket edýär, aýlanýar hem süýşýär. Hereket 1-nji zwenonyň aýlanma tekizligine parallel tekizlikde geçýär.

3-nji zweno – ahyrky zweno – öňki tekizliklere parallel tekizlikde aýlanýar (doly aýlanmanda-da).

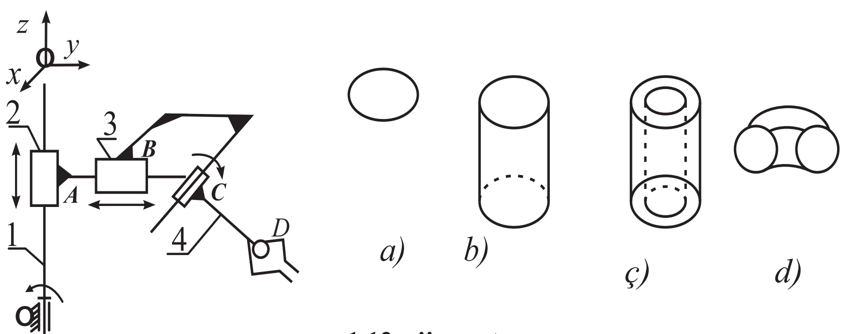
Hemme zwenolaryň nokatlarynyň hereket ýollary parallel tekizliklerde geçýär, şonuň üçin bu kinematik zynjyr tekizlikde hereket edýär. Başlangyç zweno – *1* we ahyrky zweno – *3* hereketsiz zweno goşulan, onda ol ýapyk kinematik zynjyr. Her zweno iki kinematik jübütden durýar:

1-nji zweno *O* we *A* kinematik jübütler,

2-nji zweno *A* we *B* kinematik jübütler,

3-nji zweno *B* we *Ç* kinematik jübütler girýärler. Onda bu ýönekeý kinematik zynjyr bolar.

Diýmek, ol 1.11-nji suratda görkezilen tekizlikde hereket edýän– ýapyk, ýönekeý kinematik zynjyr.



1.12-nji surat

1.12-nji suratda robot manipulýatoryň eli görkezilen. Onuň nähili kinematik zynjyrlygyny anyklamaly.

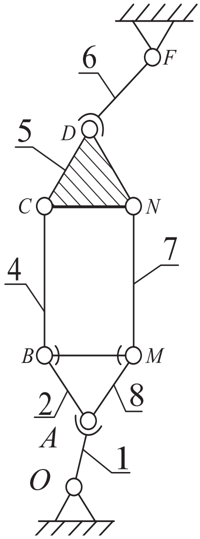
1-nji zweno *O* nokatda aýlanýar. Şol aýlawda *D* nokadyň hereket ýoly tôwerek bolýar *(1.12-nji a surat).*

A nokatda *z* ok boýunça süýşme hereket, şol süýşmede *D* nokat silindriň içinde hereket edýär *(1.12-nji b surat)*

B nokatda süýşmek *y* ok boýunça, hereket iki silindriň aralygynda bolýar *(1.12-nji ç surat)*.

C nokatda aýlanma *x* okuň daşynda, bu aýlanma boýunça iki silindriň aralygy tora öwrülýär *(1.12-nji d surat)*. Bu giňişlikde hereket edýän, açyk, ýönekeý kinematik zynjyr bolýar. Sebäbi her zweno iki kinematik jübütden ybarat, ahyrky zweno hereketsiz zweno goşulanok.

1.13-nji suratda zynjyryň hereketi giňişlikde bolýar, sebäbi *A* we *D* kinematik jübütlerde üç okuň daşynda üç aýlanma *B* we *M* kinema-



1.13-nji surat

tik jübütlerde 3-nji zweno öz okunyň daşynda aýlanýar.

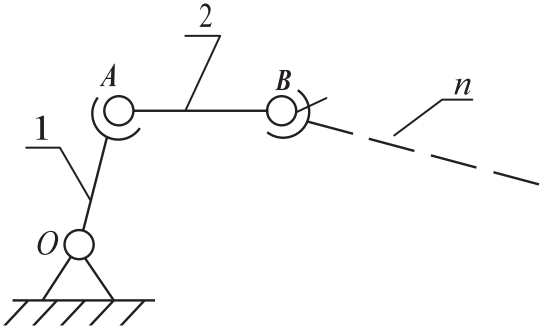
5-nji zweno *C, D, N* üç kinematik jübüt goşulan, onda ol çylşyrymly kinematik zynjyr. Başlangyç zweno – 1 we ahyrky zweno – 6 hereketsiz zweno bilen goşulan, diýmek, ýapyk kinematik zynjyr.

1.13-nji suratda giňişlikde hereket edýän, ýapyk, çylşyrymly kinematik zynjyr.

1.3. Kinematik zynjyrlaryň hereket sanyny kesgitlemek

Goý, *n* zwenoly giňişlikde hereket edýän kinematik zynjyr berlen bolsun *(1.14-nji surat)*. Islendik erkin zweno giňişlikde alty hereket edip bilýär. Onda kinematik zynjyryň edip biljek hereketiniň sany *6n* deň. Zwenolar jübütlere goşulanda, birnäçe hereketini ýitirýär. Şol ýitirilýän hereketiň sanyny kesgitleýäris. Zynjyrdaky kinematik jübütleriň sanyny belleýäris:

V klas jübütiň sanyny P_5;
IV klas jübütiň sanyny P_4;
III klas jübütiň sanyny P_3;
II klas jübütiň sanyny P_2;
I klas jübütiň sanyny P_1 diýip belleýäris.



1.14-nji surat

V klas kinematik jübütlerde bir hereket bolýar, bäş hereket edilmeýär. Edilmedik hereketiniň sany $5P_5$ bolýar.

IV klas kinematik jübütlerde iki hereket bolýar, dört hereket edilmeýär. Edilmedik hereketiniň sany $4P_4$ bolýar.

Şoňa görä, III klas jübütlerde $3P_3$, II klas jübütlerde $2P_2$, I klas jübütlerde $1P_1$ sany hereket edilmeýär.

Kinematik zynjyryň zwenolarynyň edip biljek hereketiniň sanyndan hemme kinematik jübütleriň edip bilmejek hereketleriniň jemini aýyrsak, hakyky edilýän hereketiň sany gelip çykýar.

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - 1P_1. \qquad (1.2)$$

Bu deňlemä Somowyň – Malyşewiň deňlemesi diýilýär.

1.12-nji suratda kinematik zynjyryň hereket sanyny kesgitleýäris:

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

$$W = 6 \cdot 4 - 5 \cdot 4 = 4.$$

Hereket edýän zwenolaryň sany $n = 4$.

V klas kinematik jübütleriň sany:

O nokatda – V klas aýlanma;

A nokatda – V klas süýşme;

B nokatda – V klas süýşme;

C nokatda – V klas aýlanma;

D nokadyň öz ýöredijisi bolmaly ýa-da ýelmeşýän enjam bolmaly. Şonuň üçin hasaba alynmaýar.

Görkezilen kinematik zynjyr dört hereketli:

O jübütde – *z* ok boýunça aýlanma;

A jübütde – *z* ok boýunça süýşme;

B jübütde – *y* ok boýunça süýşme;

C jübütde – *x* ok boýunça aýlanma.

1.4. Tekizlikde hereket edýän zynjyryň hereket sanyny kesgitlemek

Goý, tekizlikde hereket edýän n zwenoly kinematik zynjyr berlen bolsun.

Tekizlikde islendik erkin zweno üç hereket edip bilýär, iki aýlanma we bir süýşme ýa-da bir aýlanma we iki süýşme. Kinematik zynjyryň hemme zwenolarynyň edip biljek hereketiniň sany *3n* deň. Tekizlikde hereket edýän kinematik zynjyrlara III, II, I klas kinematik jübütler girenok, sebäbi, eger olar girse, zynjyryň hereketi giňişlige geçýär.

V klas kinematik jübütlerde bir hereket bar, tekizlikde iki hereket edilmeýär. Edilmedik hereketiniň sany $2P_5$-e deň.

IV klas kinematik jübütlerde iki hereket bar, bir hereket edilmeýär. Edilmedik hereketiň sany $1P_4$-e deň.

Kinematik zynjyryň zwenolarynyň edip biljek hereketiniň sanyndan kinematik jübütleriň edip bilmedik hereketleriniň jemini aýyrsak, hakyky edilýän hereketiň sany gelip çykar:

$$W = 3n - 2p_5 - 1P_4. \qquad (1.3)$$

Bu deňlemä Çebyşewiň deňlemesi diýilýär.

1.11-nji suratdaky kinematik zynjyryň hereket sanyny kesgitleýäris.

Hereketli zwenonyň sany $n = 3$;

V klas kinematik jübütleriň sany $P_5 = 4$.

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

1.5. Ýokary kinematik jübütleri pes kinematik jübütlere çalyşmak

Mehanizmleriň klaslary kesgitlenende, ýokary kinematik jübütler, şert boýunça, pes kinematik jübütlere çalşylýar.

Çalyşma geçirilende, kinematik zynjyryň hereket sany we zwenolaryň şol pursatda hereket kanunlary üýtgemeli däl (*1.15-nji sur.*).

1.15-nji *a* surat üçin:

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

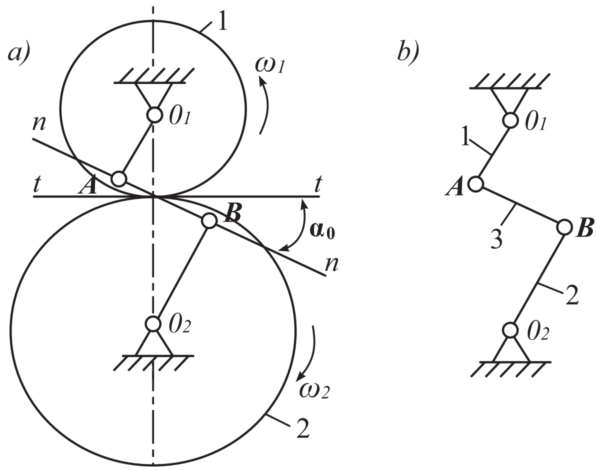
1.15-nji *b* surat üçin:

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

Dişli tigirleriň galtaşýan ýerinde P nokatda umumy galtaşma çyzygy $t - t$-ni geçirýäris. Şol nokatda ilişme burçy $\alpha_0 = 20^o$ boýunça $n - n$ çyzygy geçireris, ol iki tigriň dişlerine umumy normal çyzyk bolýar.

O_1 we O_2 nokatlardan umumy normala perpendikulýar çyzyklar geçirip, kesişýän nokatlaryny A we B diýip belläp, şol nokatlarda V klas kinematik jübütleri ýerleşdirip, ýokary P kinematik jübüti, iki sany pes – A we B kinematik jübütlere çalşarys. Çalşylan kinematik zynjyryň hereket sany we 1, 2-nji zwenolaryň şol pursatdaky hereket kanunlary üýtgänok. Çalyşma geçirip, Çebyşewiň deňlemesini gysgaldarys:

$$W = 3n - 2P_5 \tag{1.4}$$



1.15-nji surat

1.6. Mehanizmler we olaryň klaslandyrylyşy

Ýörediji zwenonyň yzyna yzygiderli hereketi nola deň bolan toparlary goşulan kinematik zynjyra **mehanizm** diýilýär.

Hereket kanuny berlen zweno ýörediji zweno diýilýär.

Hereketi nola deň toparlara Assuryň toparlary diýilýär. Assuryň toparlary üçin Çebyşewiň deňlemesi şu görnüşde bolar:

$$W = 3n - 2P_5 = 0 \text{ ýa-da } 3n = 2P_5, \tag{1.5}$$

bu ýerde n – hereketli zwenolaryň sany,

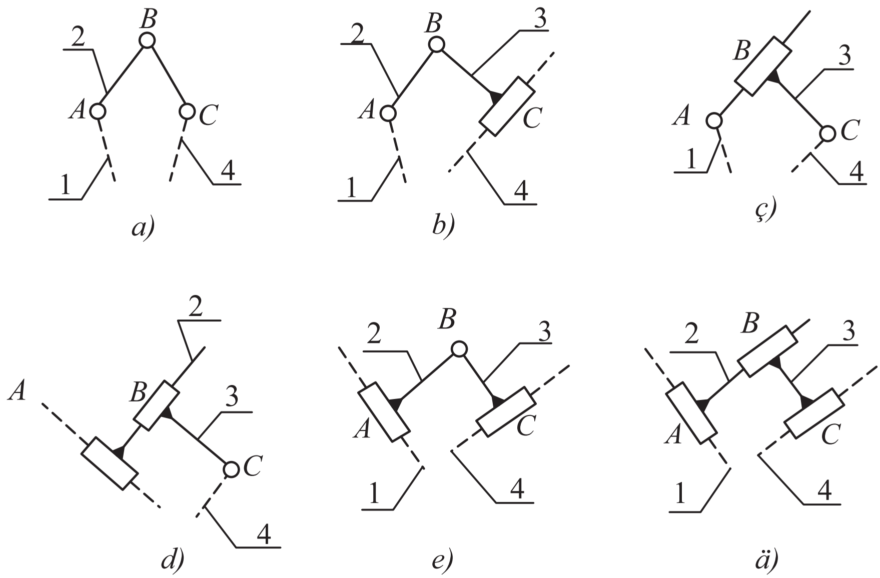
P_5 – V klas kinematik jübütleriň sany.

Zwenolaryň we kinematik jübütleriň sany bitin bolmaly, şol sebäpli (1.5) deňlemä aşakdaky hatar gabat gelýär:

n	2	4	6	8	10	....
P_5	3	6	9	12	15	....

Akademik I.I.Artobolewskiniň klaslandyryşy boýunça $n = 2$, $P_5 = 3$ bolanda, oňa II klas Assuryň topary diýilýär.

II klas Assuryň toparlarynyň görnüşleri:



1.16-njy surat

1-nji görnüşi. Kinematik jübütleriň üçüsi hem aýlanma hereket edýär (*1.16-njy a surat*);

2-nji görnüşi. Bir çetdäki kinematik jübüt süýşýär, ikisi aýlanýar (*1.16-njy b surat*);

3-nji görnüşi. Ortadaky kinematik jübüt süýşýär, iki çetdäkiler aýlanýar (*1.16-njy ç surat*);

4-nji görnüşi. Bir çetdäki kinematik jübüt aýlanýar, ikisi süýşýär (*1.16-njy d surat*);

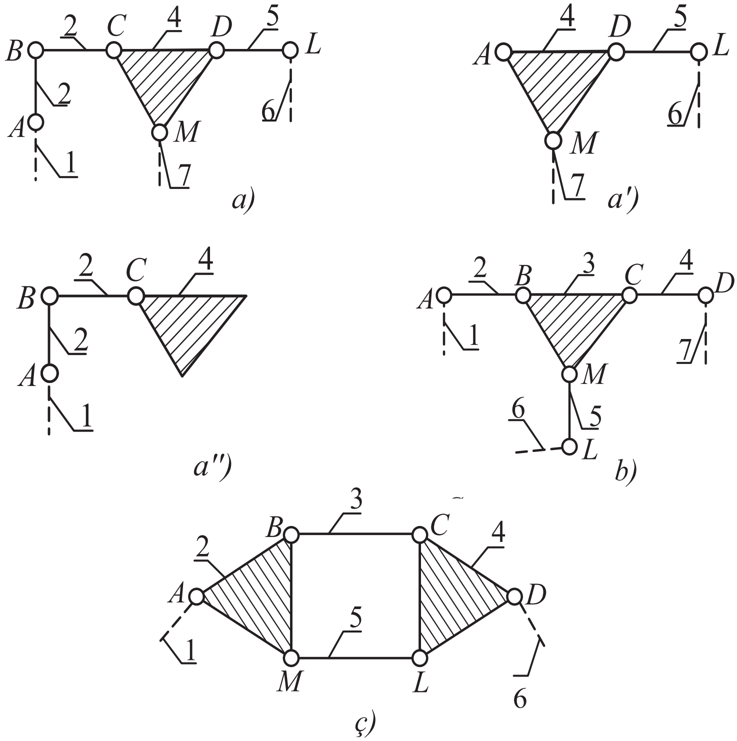
5-nji görnüşi. Ortadaky bir kinematik jübüt aýlanýar, iki çetdäkiler süýşýär (*1.16-njy e surat*).

Kinematik jübütleriň hemmesiniň süýşmesine ýörite pahnaly mehanizm diýilýär (*1.16-njy ä surat)*.

$n = 4$, $P_5 = 6$ bolanda, ol II klas Assuryň toparlaryna bölünmedik ýagdaýynda oňa III klas Assuryň topary diýilýär.

1.17-nji *a* suratda II klas Assuryň toparlaryna bölünýär. Suratda II klas 1-nji görnüş iki sany Assuryň toparlary görkezilen.

1.17-nji *b* suratda II klas Assuryň toparlaryna bölüp bolanok.



1.17-nji surat

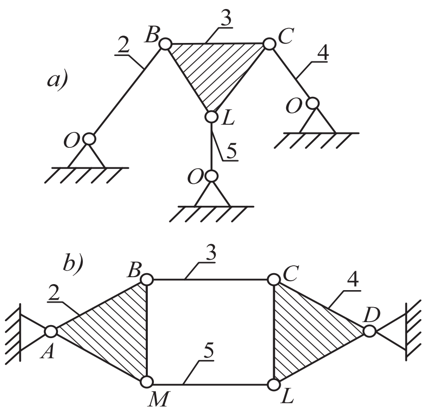
Meselem, düzgün boýunça soňky zwenodan başlap iki zweno: *5* we *3, L, M, C* kinematik jübütleri aýyrsak, 4-nji zweno *D* kinematik jübüt bilen, ikinji zweno *A* we *B* kinematik jübütler bilen aýry galýarlar, olar Assuryň topary bolanok. Başgaça ýagdaýda, *L, M, B* kinematik jübütleri aýrylanda, 2-nji zweno *A* jübüt bilen, 4-nji zweno *C* we *D* jübütler bilen aýry galýarlar. Diýmek, II klas Assuryň toparlaryna bölüp bolanok, şol sebäpli oňa III klas Assuryň topary diýilýär. Şu toparda 3-nji zweno bazis zweno, 2, 4 we 5-nji zwenolara ugrukdyryjy zwenolar diýilýär. Bazis zwenoda üç sany kinematik jübütler *B, C, M* girýär, *2, 4, 5* zwenolar daşky kinematik jübütler bilen başga zwenolara goşulýar. Şu topara üçünji derejeli III klas Assuryň topary diýilýär. Derejesi daşky kinematik jübütleriň sany bilen kesgitlenýär.

1.17-nji *ç* suratda $n = 4, P_5 = 6$ dört sany içki kinematik jübütler *B, C, M, L* we iki daşky *A, D* kinematik jübütler bilen başga zwenolara goşulýar. Ugrukdyryjy zwenolar ýok, dört burçly kontury bar. Bu topara ikinji derejeli III klas Assuryň topary diýilýär.

1.17-nji *b* we *ç* suratlarda toparlarda aýlanma kinematik jübütlerini süýşmek kinematik jübütlerine çalşyp, III klas Assuryň toparynyň birnäçe görnüşlerini alyp bolýar, ýöne bu ýerde oňa seredilmeýär.

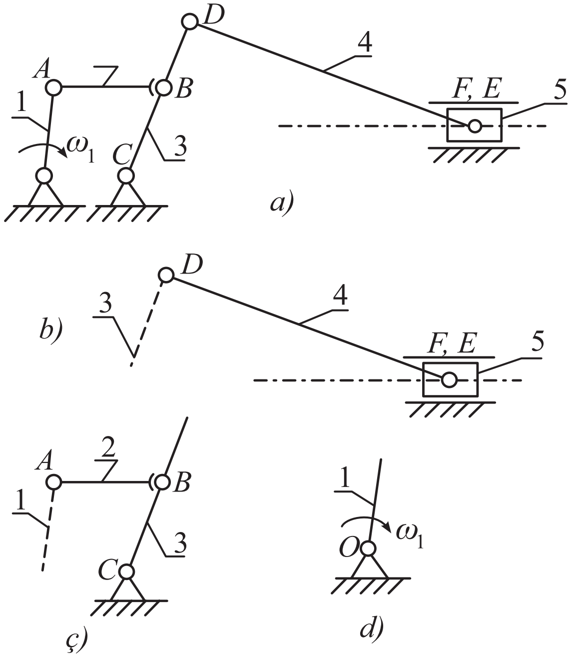
Islendik Assuryň topary daşky kinematik jübütler bilen hereketsiz zweno goşulanda (*1.18-nji surat*), hereketi nola deň toparlar döreýär, olara ferma diýilýär. Eger-de şol Assuryň toparlary ýörediji zweno ýa-da öňki mehanizmiň islendik zwenosyna goşulanda täze mehanizm döreýär, ýöne hereket sany üýtgemeýär.

Mehanizmiň klasyny kesgitlemek üçin kinematik zynjyryň ahyrky zwenosyndan başlap II klas Assuryň toparlaryny aýyrmaly. Eger-de kinematik zynjyr II klas Assuryň toparlaryna bölünmese,



1.18-nji surat

yzygiderli III, IV we ş.m. klas Assuryň toparlaryna bölmeli. Mehanizmiň klasy Assuryň toparlarynyň iň ýokary klasy boýunça kesgitlenýär. Meselem, on sany II klas Assuryň toparyna bölünip, içinde biri III klas Assuryň topary bolsa, oňa III klas mehanizm diýilýär.



1.19-njy surat

Meselem, 1.19-njy suratda görkezilen kinematik zynjyryň näçenji klas mehanizmligini kesgitläliň. Ahyrky – 5-nji zwenodan başlap iki zweno üç kinematik jübütleri aýyrýarys (*1.19-njy b sur*.). 4-nji we 5-nji zwenolar *D, F, E* kinematik jübütler bilen, *D* – aýlanma, *F* – aýlanma, *E* – süýşmek.

Çebyşewiň deňlemesi boýunça:

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

II klas 2-nji görnüş Assuryň topary bolar. 2-nji we 3-nji zwenolary we *A,B,C* –üç sany aýlanma kinematik jübütleri aýyrýarys.

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

II klas 1-nji görnüş Assuryň topary bolar.

Galan 1-nji zweno we *O* kinematik jübüte aýratyn seredýäris, ol ýörediji zweno, sebäbi hereket kanuny ω_1 berlen:

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

Hereketi $W = 1$*-e* deň, şonuň üçin oňa I klas mehanizm diýilýär. Tutuş kinematik zynjyr II klas mehanizm bolar, sebäbi iň ýokary Assuryň topary II klas.

Mesele. 1.20-nji *a* suratda görkezilen mehanizmiň klasyny kesgitlemeli.

1-nji zwenonyň hereket kanuny berlen, ol ýörediji zweno. Soňky 5-nji zweno–ahyrky zweno.

Ahyrky zwenodan başlap II klas Assuryň toparlaryna bölmeli, emma II klas Assuryň toparlaryna bölüp bolanok. Onda dört zweno, alty sany V klas kinematik jübütler (*2, 3, 4, 5-nji* zwenolar, *A, B, C, D, M, N* jübütleri) aýrylanda, Çebyşewiň deňlemesi boýunça aşakdaky görnüşde bolar:

$$W = 3 \cdot n - 2P_5 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 0.$$

Ol III klas Assuryň topary bolar.

1-nji zweno bilen *O* kinematik jübüti aýyrsak:

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

I klas mehanizm bolar.

Tutuş kinematik zynjyr III klas mehanizm bolýar, sebäbi zynjyra Assuryň III klas topary girýär.

Şol seredilen kinematik zynjyrda ýörediji zwenonyň ýerini üýtgedip, 5-nji zwenony ýörediji diýip alsak, zynjyr II klas Assuryň toparyna bölünýär:

Birinji, ikinji zwenolar we *O, A, B* kinematik jübütler aýrylanda:

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

II klas 1-nji görnüş Assuryň topary bolar.

3-nji, 4-nji zwenolar we *M, C, D* kinematik jübütler aýrylanda:

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

II klas 2-nji görnüş Assuryň topary bolar.

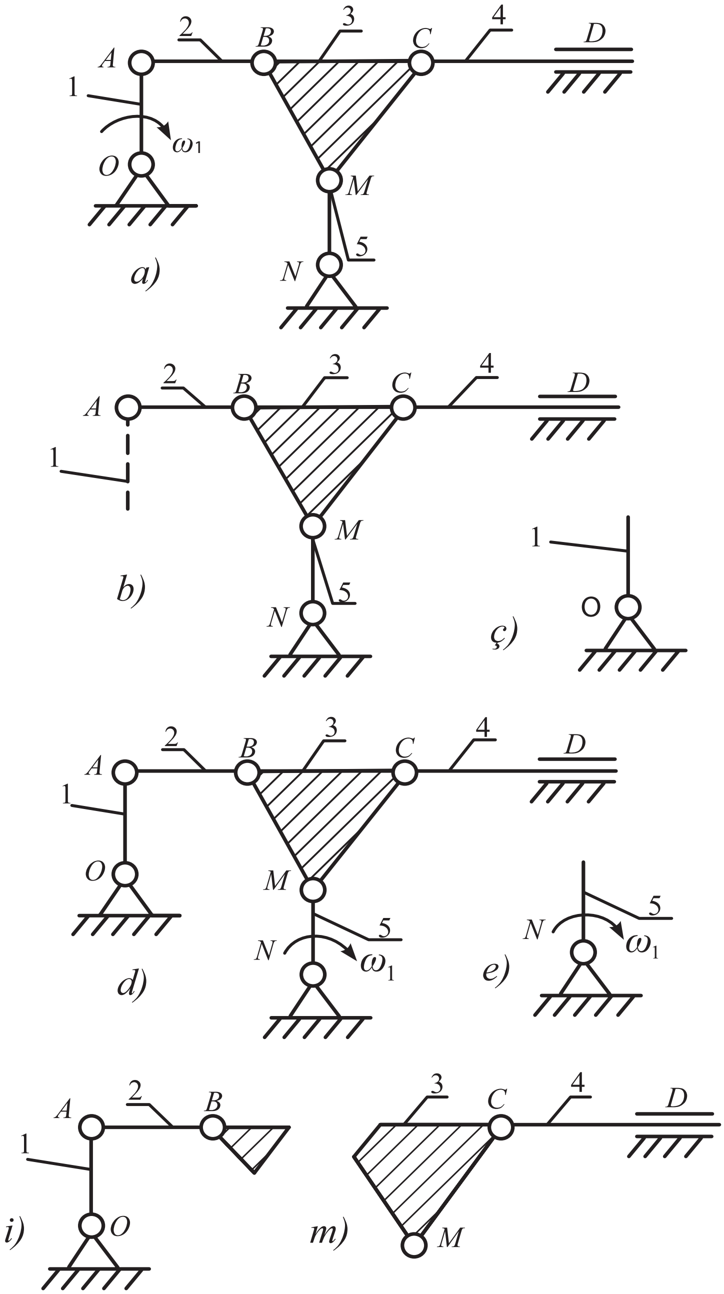
5-nji zwenony N kinematik jübüt bilen aýyrsak:

$W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$ I klas mehanizm bolar.

Tutuş kinematik zynjyr II klas mehanizm.

Diýmek, mehanizmleriň klaslandyrylyşy şert boýunça.

Assuryň toparlarynyň her görnüşiniň klasynyň kinematiki we kinetostatiki derňewiniň aýratynlygy bar. Derňew usullaryny klasyna görä ulanmaly.



1.20-nji surat

II BÖLÜM
MEHANIZMLERIŇ KINEMATIKI DERŇEWI

2.1. Kinematika. Umumy düşünjeler

Mehanizm hereket edende, zwenolaryň ýagdaýlary bir-birine görä üýtgeýär. Ýörediji zweno belli bir kanun bilen hereket edende, beýleki zwenolar belli bir hereket edýärler. Ýörediji zwenonyň her bir ýagdaýyna görä, beýleki zwenolaryň we nokatlaryň belli bir ýagdaýy, tizlikleri we tizlenmeleri bolýar. Şoňa görä-de, kinematiki derňewde seredilýän meseleler aşakdakylar bolup durýar:

Mehanizmiň zwenolarynyň ýagdaýlaryny we nokatlarynyň hereket ýollaryny kesgitlemek.

Zwenolaryň we nokatlaryň tizliklerini kesgitlemek.

Zwenolaryň we nokatlaryň tizlenmelerini kesgitlemek.

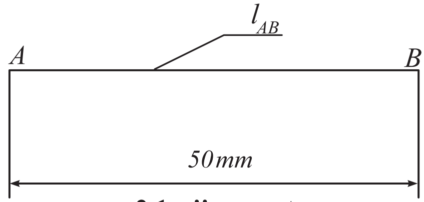
Mehanizmiň hereketi wagta görä gaýtalanýar, şol sebäpli onuň bir döwrüni derňemek ýeterlik bolup durýar. Şol döwür ýörediji zwenonyň bir doly aýlawyna deň bolýar. Ýokarda agzalan meseleleri birnäçe usul bilen çözüp bolýar. Şol usullar: grafiki usul, grafo-analitiki usul we analitiki usul. Talyplar üçin grafo-analitiki usul aňsat bolýar, köp mehanizmleriň derňewleri şol usul boýunça doly geçirilen.

2.2. Masştablar

Çyzgylary çyzylanda zwenolaryň uzynlygyny, tizliklerini, tizlenmelerini we güýçlerini wektor boýunça görkezmeli. Olary masştabda çyzyp görkezmeli. Hakyky berlen ululygyň çyzgyda alynýan ululyga bölünmegine **masştab** diýilýär. Ol μ – *mýu* harpy bilen belgilenýär.

Meselem: Berlen *AB* zwenonyň uzynlygy $l_{AB}=0,1m$ zwenony çyzgyda alsak, $AB=50\ mm$.

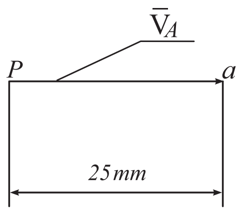
Onda $$\mu_l = \frac{l_{AB} m}{AB\ mm} = \frac{0,1m}{50mm} = 0,002\frac{m}{mm}.$$



2.1-nji *a* surat

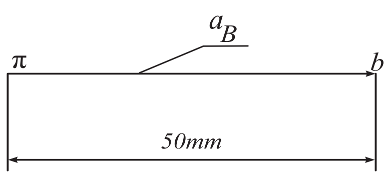
Ýa-da berlen A nokadyň tizligi $V_A=10\ m/s$ bolsa, ony wektor boýunça $[Pa]=25\ mm$ diýip alsak,

onda
$$\mu_v = \frac{V_A\, m/s}{[Pa]mm} = \frac{10 m/s}{25 mm} = 0,4\frac{m/s}{mm}.$$



2.1-nji *b* surat

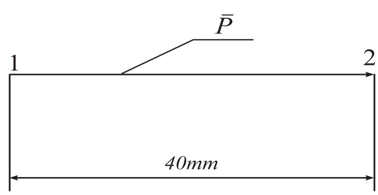
Ýa-da berlen B nokadyň tizlenmesi $a_B=100\ m/s^2$ bolsa, ony wektor boýunça $[\pi b]=50\ mm$ diýip alsak,



2.1-nji *ç* surat

onda
$$\mu_a = \frac{a_B m/s^2}{[\pi b]mm} = \frac{100 m/s^2}{50 mm} = 2\frac{m/s^2}{mm}.$$

Ýa-da berlen güýç $P=1000\ N$ bolsa, ony $[1–2]=40\ mm$ wektor diýip alsak,



2.1-nji *d* surat

onda $$\mu_p = \frac{P\ N}{[1-2]mm} = \frac{1000\ N}{40mm} = 25\frac{N}{mm}.$$

Hasaby aňsatlaşdyrmak üçin, masştablaryň bitin san almak ýagdaýyny görmeli ýa-da aňsat drob boýunça almaly.

Standart masştablar

0,001	0,01	0,1	1	10	100
0,002	0,02	0,2	2	20	200
0,005	0,05	0,5	5	50	500

2.3. Mehanizmiň 12 ýagdaýyny gurmak we nokatlaryň traýektoriýasyny kesgitlemek

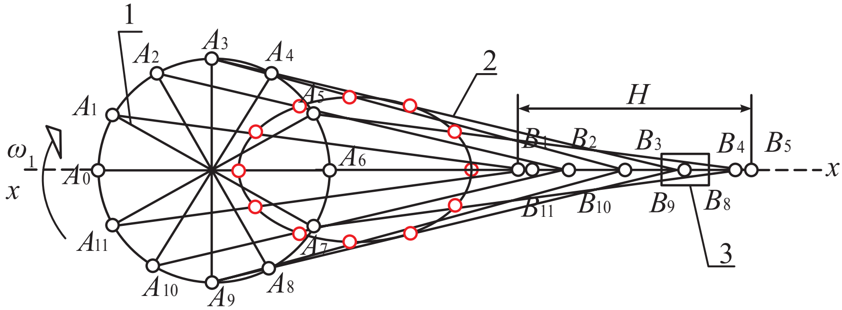
Goý, tirsekli-polzunly mehanizmiň ýörediji zwenosynyň burç tizligi $\omega_1=const$ (rad/s) we zwenolarynyň uzynlyklary $l_{OA}=0,1m$; $l_{AB}=0,45m$; ikinji zwenonyň agyrlyk merkezi $l_{AS2}=l_{AB}/3=0,15m$ berlen bolsun. Mehanizmiň 12 ýagdaýyny gurmaly we zwenolaryň nokatlarynyň traýektoriýalaryny kesgitlemeli.

A nokat *O* nokadyň daşyndan doly aýlanýar, *A* nokadyň hereket ýoly töwerek. Bir nokady *O* diýip belläp, *OA* radiusly töwerek geçireris. Ony ilki dörde böleris, emele gelen nokatlary A_0, A_3, A_6, A_9 diýip belläris. A_0-dan radius boýunça töweregiň üstünde iki nokat belläp, A_2 we A_{10} nokatlary taparys. Sirkulyň iňňesini A_3 nokatda goýup, töweregiň üstünde iki nokady belläp, A_1 we A_5 nokatlary tapýarys. Soňra A_6-dan A_4 we A_8 belläris we soňra A_9-dan A_7 we A_{11} nokatlary belläris. *OA* – radiusy *25mm*-den töwerek geçirip, onda masştaby hasaplaýarys:

$$\mu_l = \frac{l_{OA} m}{OA\ mm} = \frac{0,1\,m}{25mm} = \frac{m}{mm}.$$

Indi *AB* zwenonyň uzynlygyny kesgitlemeli.

$$AB = \frac{l_{AB}\ m}{\mu_l\ m/mm} = \frac{0,45\,m}{0,004\ m/mm} = 112,5\ mm.$$



2.2-nji surat

Her A nokatdan şol uzynlyk boýunça $x-x$ okuň üstünde *12* nokat bellesek, olar B_0, B_1, ... B_{11} nokatlar bolýar. A_0 nokatdan B_0 nokada göni çyzyk geçirsek, A_1 nokady B_1 bilen, A_2 nokady B_2 bilen, ... A_{11} nokady B_{11} bilen birikdirip, ikinji zwenonyň *12* ýagdaýyny kesgitläris.

Üçünji zweno – polzun $x-x$ ok boýunça süýşme hereket edýär.

S_1, S_2, S_3 – zwenolaryň agyrlyk merkezleri. S_1 nokat O nokat bilen bir ýerde, olar hereketsiz. S_2 nokadyň traýektoriýasyny kesgitlemeli. Onuň üçin:

$$AS_2 = \frac{l_{AS2}\; m}{\mu_l \dfrac{m}{mm}} = \frac{0,15m}{0,004\dfrac{m}{mm}} = 37,5\; mm.$$

Her ýagdaý üçin A nokatdan ikinji zwenonyň üstünde $AS_2=37,5mm$ boýunça S_2 nokady belläp, ol nokatlaryň üstünden endigan çyzyk geçirsek, S_2 nokadyň hereket ýoly tapylýar.

S_3 nokat B nokat bilen bir ýerde, hereket ýoly göni çyzyk. Hereket B_0-dan B_6-a çenli, soň yzyna B_6-dan B_0-a çenli:

$$B_0 - B_6 = H; \quad H = OB_6 - OB_0;$$

$$OB_6 = AB + OA;$$

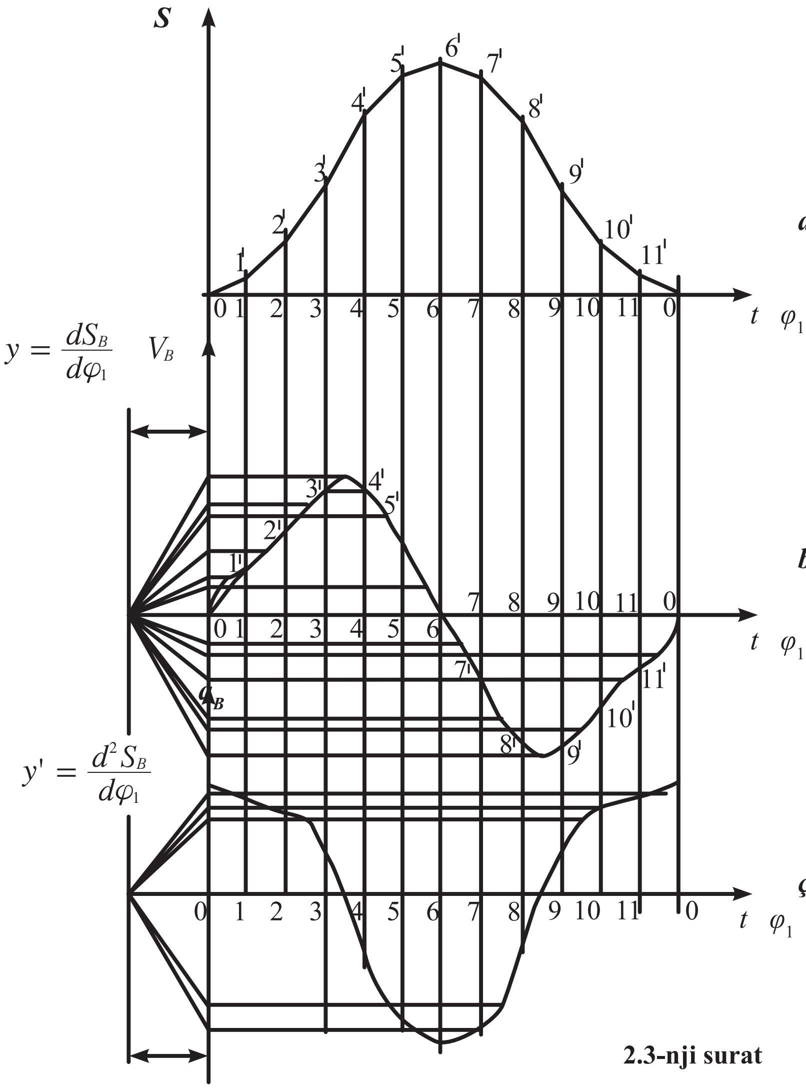
$$OB_0 = AB - OA;$$

$$H = AB + OA - AB + OA = 2OA.$$

Üçünji zwenonyň hereket ýolunyň uzynlygy töweregiň diametrine deň.

2.4. Kinematiki diagrammalar

B nokadyň geçýän ýoluny birinji zwenonyň aýlanma burçy φ_1 funksiýasynda gurmaly. Onuň üçin iki ok alyp, «ox» okda φ_1 burçy belläp, «oy» okda B nokadyň hereketini belleýäris. «ox» okda L uzynlykda aralyk alyp (*L*=120, 180, 240 *mm*), deň 12 bölege bölýäris– 0, 1, 2, ..., 11, 0 nokatlar.



2.3-nji surat

Biz A nokadyň traýektoriýasyny – töweregi A_0 nokatdan üzüp, göni çyzyga geçireris. $0–A_0$, $1–A_1$, ... $11–A_{11}$ deň.

«*oy*» okda B nokadyň geçen ýoluny belläris.

1-nji nokatdan y oka parallel B_0B_1 aralygy belläp, $1'$ nokady taparys.

2-nji nokatdan B_0B_2 aralygy belläp, $2'$ nokady taparys.

- -

11-nji nokatdan B_0B_{11} belläp, $11'$ nokady taparys. Soňra alnan ştrihli nokatlary birleşdirip, B nokadyň diagrammasyny $S_B=f(\varphi_1)$ gurarys.

Eger-de birinji zwenonyň hereketi deňölçegli bolsa, onda φ_1 ýerine t wagty belläp bolýar $S_B=f(t)$.

Öňki diagrammadan diňe masştaby üýtgeşik bolar *(2.3-nji sur.)*:

$$\mu_\varphi = \frac{2\pi}{L}\,\frac{rad}{mm}; \qquad \mu_t = \frac{2\pi}{\omega_1 L}\,\frac{rad.s}{mm}.$$

2.5. Grafiki differensirlemek

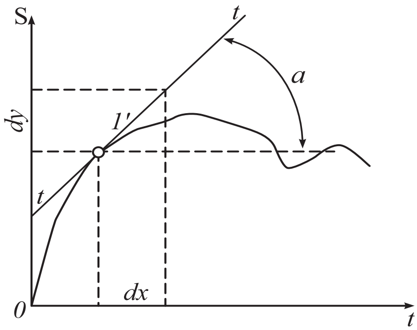
Tizligi tapmak üçin geçilen ýoly wagta bölmeli:

$$V = \frac{s}{t}.$$

Differensial görnüşde:

$$V = \frac{ds}{dt}.$$

Geçilýän ýol wagta görä diagramma görnüşinde berlende, grafiki differensirlemek usuly boýunça islendik nokatda tizligini kesgitläp bolýar *(2.4-nji sur.)*.



2.4-nji surat

2.4-nji suratda wagta görä süýşmek diagrammasy $S=f(t)$ berlen. Birinji nokadyň tizligini tapmak üçin:

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{\mu_s dy}{\mu_t dx},$$

bu ýerde dy – elementar aralyk (*mm*), μ_s masştabda elementar süýşmegi aňladýar. $ds=\mu_s dy$

dx – elementar aralyk (*mm*), μ_t masştabda elementar wagtyny aňladýar. $dt=\mu_t dx$

Birinji nokatdan diagramma galtaşýan çyzyk geçirilende:

$$\frac{dy}{dx}=\mathrm{tg}\alpha,$$

bu ýerde α – galtaşýan çyzyk bilen absissa okunyň aralygyndaky burç.

Onda: $$V = \frac{\mu_s}{\mu_t}\mathrm{tg}\alpha.$$

Şu deňleme görkezýär: islendik nokatda tizligi kesgitlemek üçin, şol nokatda süýşmek diagrammasyna galtaşýan çyzyk geçirip, absissa oky bilen aralykdaky burçy tapmaly.

Grafiki differensirlemegiň birnäçe usuly bar, olaryň ikisine seredýäris: galtaşýan çyzyk we horda usullary.

Galtaşýan çyzyk usuly

Süýşmek diagrammasynyň *1'* nokadyna galtaşýan çyzyk geçirip, α_1 burçuny belleýäris *(2.5-nji surat)*.

Tizlik diagrammasynyň ordinata okunyň çep tarapynda absissa okunda H_1 aralykdan P_1 nokady belläp, galtaşýan çyzygy şol P_1 nokada öz-özüne parallel çyzyk geçirip, ordinata okunda *I* diýip belleýäris. Şol nokatdan absissa okuna parallel çyzygy *1–1'* bilen kesişýän nokadyny *1'* diýip belleýäris. *1–1'* aralygy *mm*-de ölçäp, tizlik masştabyna köpeltsek, birinji nokadyň tizliginiň bahasyny taparys.

$$V_1 = \frac{\mu_s}{\mu_t}\frac{[0-I]}{H_1} = \frac{\mu_s}{\mu_t}\mathrm{tg}\alpha_1.$$

Bu deňlemede μ_s, μ_t, H_1 – hemişelik ölçegler.

Onda $$\frac{[0-I]}{H_1} = \mathrm{tg}\alpha_1.$$

Tizlik masştaby

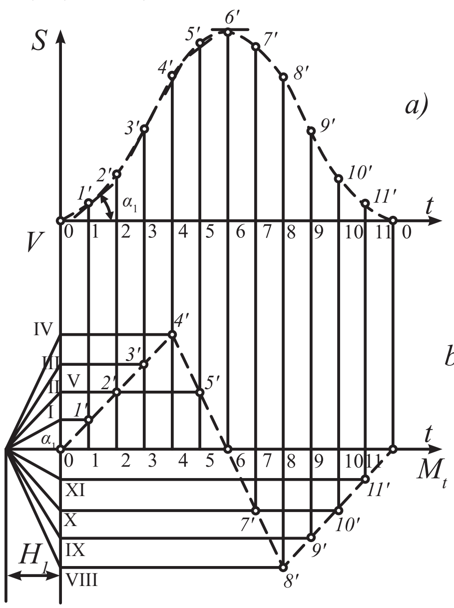
$$\mu_v = \frac{\mu_s}{\mu_t H_1}$$ diýip alýarys.

Süýşmek diagrammasynyň *2′* nokadynda galtaşýan çyzyk geçirip, tizlik koordinatasynda P_1 nokada öz-özüne parallel düşürip, ordinata oky bilen kesişýän nokadyny II diýip belläp, şol nokatdan absissa okuna parallel çyzyk geçirip, (*2–2′*) çyzyk bilen kesişen nokadyny *2′* diýip bellesek, onda

$$V_2 = \mu_v \frac{m/s}{mm}(2-2')mm = \frac{m}{s}.$$

Şol usul bilen hemme *12* nokadyň tizliklerini kesgitläp, lekal boýunça birleşdirsek, wagta görä tizlik diagrammasyny alarys.

Süýşmek diagrammasyna galtaşýan çyzyklary dogry geçirmek kyn. Şol sebäpli galtaşýan usul köp ýalňyşlyk goýberýär. Şonuň üçin, köplenç horda usulyny ulanýarlar.



2.5-nji surat

Horda usuly

2.6-njy suratdan görnüşi ýaly, süýşmek diagrammasyny 12 aralyga bölüp (aralyklar deň bolmanam bilýär), şol aralyklary göni çyzyklar bilen birleşdirýäris. Deňölçegsiz hereketiň her aralygyny deňölçegli hemişelik tizlikli herekete öwürýäris.

Her aralykdaky hemişelik tizlik, şol aralykdaky hakyky ortaça tizlige deň. Tizlik diagrammasy guruljak koordinata oklaryň başlangyç O nokadyndan çepe islendik H_1 aralygy wagt oky boýunça ölçäp, P_1 nokady belläp, süýşmek diagrammasyndaky $0-1'$, $1'-2'$, $2'-3'$, ... $11'-0$ hordalary, tizlik koordinatasyndaky P_1 nokatdan ordinata okuna öz-özüne parallel geçirip, P_1-I, P_1-II, P_1-III, P_1-IV, P_1-V, ... P_1-XI çyzyklary alarys. $0-I$, $0-II$, $0-III$, ... $0-XI$ çyzyklar her aralygyň ortaça tizligine deň bolýar.

$$0-I=z_1$$
$$0-II=z_2$$
$$- - - - - - -$$
$$0-XI=z_{11}$$

Ortaça tizlik her aralygyň ortasynda bolmaly diýip $1''$, $2''$, $3''$, … $11''$ nokatlary belleýäris. Şol nokatlary lekal çyzyk bilen birleşdirip, tizlik diagrammasyny alarys.

Islendik nokatda tizligini kesgitlemek üçin ordinatasyny mm-de ölçäp, şol okuň masştabyna köpeltmeli.

Meselem, ikinji nokat üçin:

$$V_2=\mu_v(2-2').$$

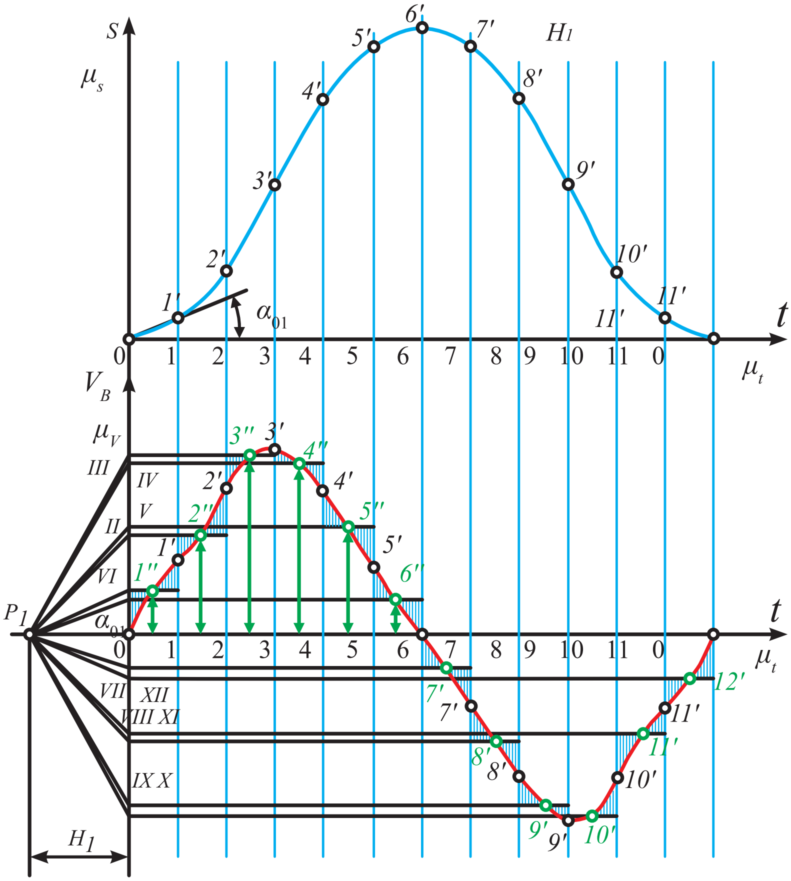
Tizlik masştaby:

$$V_{01ort}=\frac{\mu_s}{\mu_t}\mathrm{tg}\alpha_{01ort}=\frac{\mu_s(0-\mathrm{I})}{\mu_t H_1}$$

$$V_{01ort}=\mu_v\,(0-\mathrm{I})\frac{m}{s}.$$

$$\mu_v=\frac{\mu_s}{\mu_t H_1};\quad \frac{m/s}{mm}.$$

Hordalar süýşmek diagrammasyna näçe golaý geçirilende, şonça-da hasap dogry çykýar.



2.6-njy surat

2.6. Grafiki integrirlemek

Tizlik diagrammasynda süýşmek diagrammasyny kesgitlemek üçin grafiki integrirlemek usulyny ulanýarys. Integrirleme differensirlemäniň ters hereketi. Kesgitli integralyň manysy meýdan. *0–1* aralykda *(2.6-njy surat)* tizlik diagrammasyndan süýşmegi tapmak üçin *0–1–1′* meýdany tapmaly. Meseläni aňsatlaşdyrmak üçin *0–1* aralygyň ortasyndan ordinata geçirip, diagramma bilen kesişýän ýerini *1″* diýip belläp, absissa okuna parallel çyzyk bilen ordinata oky bilen kesişýän ýerini *I* diýip belläp, P_1 nokat bilen birleşdirýäris. Süýşmek diagrammasy guruljak koordinat oklaryň baş *0* nokadyndan P_1–*I* çyzyga parallel çyzygyň *1–1′* çyzyk bilen kesişýän nokadyny *1′* diýip belleýäris.

Şu usul boýunça hemme 1', 2', 3', …, 11' nokatlary kesgitläp lekal boýunça birleşdirsek, süýşmek diagrammasy bolýar.

Integrirleme horda usuly boýunça differensirlemäge ters hereket bolýar.

Süýşmek masştaby:

$$\mu_s = \mu_V \cdot \mu_t \cdot H_I.$$

2.7. Mehanizmiň tizlik we tizlenme planlaryny gurmak usuly. Grafo-analitiki usul

Tizlikleriň we tizlenmeleriň planlary wektor deňlemeler boýunça gurulýar. Wektor deňlemeler her Assuryň toparlarynyň aýratynlygy üçin, olaryň ýörediji we başga zwenolara goşulyşy boýunça düzülýär. Ýönekeý mehanizme seredýäris.

Berlen:

1. Mehanizmiň plany.
2. Zwenolaryň uzynlyklary (*m*),

$$l_{OA},\ l_{AB},\ l_{BC},\ l_{OC}.$$

3. Agyrlyk merkezleri zwenolaryň aralarynda:

$$l_{AS1} = l_{OA}/2;\ \ l_{BS2} = l_{AB}/2;\ \ l_{CS3} = l_{BC}/2.$$

4. Ýörediji zwenonyň burç tizligi $\omega_1 = const.$

Mehanizmiň plany $\mu_l = \dfrac{m}{mm}$ masştabda gurlan. Planlaryň gurluşy mehanizmiň gurluşyna görä başlanýar. Ilki ýörediji zwenonyň plany, soňra birinji Assuryň toparynyň plany we ş.m.

Mehanizmiň tizliklerini kesgitlemek

A nokat *O* nokadyň daşyndan doly aýlanýar, tizligi:

$$V_A = \omega_1 \, l_{OA} \ \ m/s.$$

Ugry boýunça radiusyna perpendikulýar, $\overline{V}_A \perp \overline{OA}$.

μ_V – hasaplaýjy masştabyny saýlap alýarys, $\mu_V \dfrac{m/s}{mm}$.

V_A – tizligiň wektoryny hasaplaýarys.

$$[Pa] = V_A \,.$$

Köplenç [*Pa*] *mm* saýlap alyp, hasaplaýjy masştaby kesgitleýärler. Meselem, [*Pa*] =*100 mm*, onda

$$\mu_V = \frac{V_A \ m/s}{[Pa]\ mm} = \frac{V_A \ m/s}{100\ mm}.$$

Islendik bir nokatdan *P* – planyň polýusyna $\overline{OA}$ perpendikulyar çyzyk geçirip, ω_1 aýlanma ugruna tarap [*Pa*] aralygy belleýäris.

Soňra *B* nokada geçýäris. *B* nokat çylşyrymly hereket edýär. Absolýut hereketde *B* nokat *C* nokadyň daşynda aýlanýar. Göçürme hereketde *B* nokat *A* nokat bilen bilelikde *2* zweno bilen süýşýär. Otnositel hereketde *B* nokat *A* nokadyň daşynda aýlanýar:

1)
$$\overline{V_B}^{\,abs} = \overline{V_B}^{\,goç} + \overline{V_B}^{\,otn}; \qquad (1)$$
$$\overline{V_B}^{\,abs} = \overline{V_{BC}} \perp \overline{BC};$$
$$\overline{V_B}^{\,goç} = \overline{V_A} \perp \overline{OA};$$
$$\overline{V_B}^{\,otn} = \overline{V}_{BA} \perp \overline{AB}.$$

Şu wektorlary (1) deňlemede ornuna goýsak:

$$\underset{\perp BC}{\underline{\overline{V}_{BC}}} = \underset{\perp OA}{\underline{\underline{\overline{V}_A}}} + \underset{\perp AB}{\underline{\overline{V}_{BA}}}. \qquad (1')$$

Bu deňlemäniň aşagyndaky çyzyklar nämäniň belli bolanlygyny aňladýar. Mysal üçin, V_{BC} – ugry belli, bir çyzyk. V_A – ugry we bahasy belli – iki çyzyk. V_{BA} – ugry belli, bir çyzyk.

Deňleme boýunça tizligiň planyny gurýarys.

$\mu_V \frac{m/s}{mm}$ masştab boýunça $[Pa]$ aralygy bellänimizden soňra, a nokatdan $\bar{V}_{BA} \perp \overline{AB}$ wektory geçirip, P nokatdan $\bar{V}_{BC} \perp \overline{BC}$ geçirsek, iki wektoryň kesişýän nokadyny b diýip belleýäris. Tizlikleriň bahalaryny kesgitleýäris:

$$V_{BA} = M_V \cdot (ab) = m/s;$$
$$V_{BC} = M_V \cdot (bc) = m/s;$$

ab we *bc* aralyklary tizligiň planyndan millimetrde ölçäp, deňlemelere goýýarys.

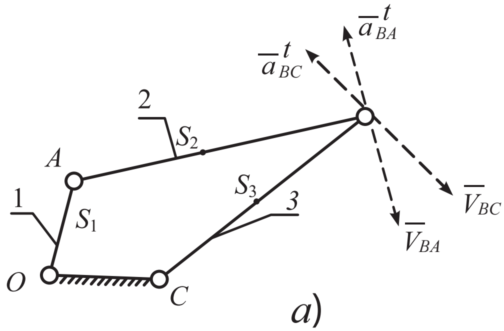
Zwenolaryň burç tizliklerini kesgitleýäris:

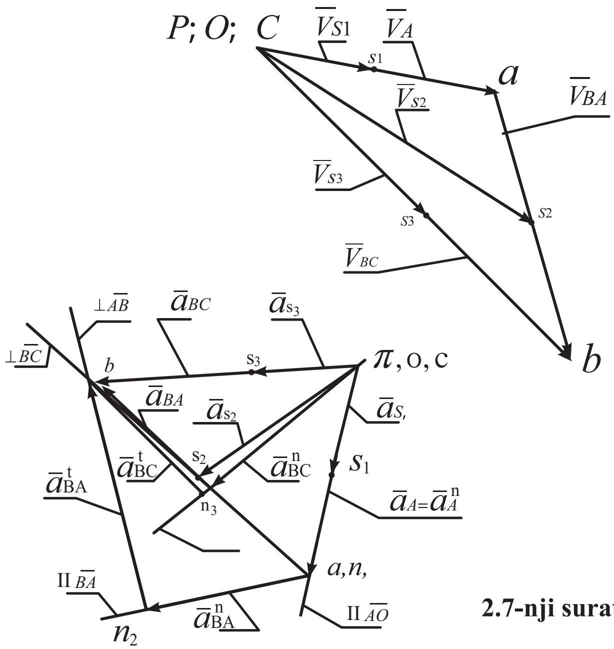
$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_{AB}} = rad/s;$$
$$\omega_3 = \frac{V_{BC}}{l_{BC}} = rad/s.$$

Burç tizlikleriniň aýlanma ugruny tapmak üçin $\bar{V}_{BA}$ wektory mehanizmiň planynyň B nokadyna geçirip, B nokadyň A nokada görä aýlanmasyna seretmeli, ω_2 aýlanma ugry sagat diliniň ugry boýunça.

$\bar{V}_{BC}$ wektory mehanizmiň planynyň B nokadyna geçirip, B nokadyň C nokada görä aýlanmasyna seretsek, ω_3 aýlanma ugry sagat diliniň ugruna bolar.

S_1, S_2, S_3 – zwenolaryň agyrlyk merkezleri. Olaryň tizliklerini meňzeşlik teoremasyndan tapmaly. Teorema boýunça proporsiýalar düzýäris:





2.7-nji surat

$$\frac{AS_2}{as_2} = \frac{AB}{ab}; \quad as_2 = \frac{AS_2 \cdot ab}{AB} = \frac{1}{2}ab, mm;$$

$$\frac{BS_3}{BC} = \frac{bs_3}{bc}; \quad bs_3 = \frac{BS_3 \cdot bc}{BC} = \frac{1}{2}bc, mm;$$

$$\frac{AS_1}{AO} = \frac{as_1}{ao}; \quad as_1 = \frac{AS_1 \cdot ao}{AO} = \frac{1}{2}ao, mm.$$

s_1, s_2 we s_3 nokatlary tizligiň planynda ýerleşdirip, P nokat bilen birleşdirip, agram merkezleriň tizliklerini hasaplaýarys:

$$V_{S1} = \mu_V\,(Ps_1)\ m/s;$$
$$V_{S2} = \mu_V\,(Ps_2)\ m/s;$$
$$V_{S3} = \mu_V\,(Ps_3)\ m/s.$$

O, C nokatlaryň hereketsiz bolanlygy sebäpli, olar P nokat bilen bir ýerde bolýar.

Tizlenmeleri kesgitlemek

Tizlenmäni kesgitlemegi A nokatdan başlaýarys. A nokat O nokadyň daşyndan aýlanýar, onuň tizlenmesini normal we galtaşýan diýip alýarys:

$$\overline{a}_A = \overline{a}_A^n + \overline{a}_A^t;$$
$$a_A^n = \omega_1^2\, l_{OA}\ m/s^2.$$

Ugry boýunça $\overline{a}_A^n \parallel \overline{OA}$, A nokatdan O nokada tarap.

$$a_A^t = \varepsilon_1\, l_{OA}\ m/s^2,$$

bu ýerde $\varepsilon_1 = \dfrac{d\omega_1}{dt}$ – burç tizlenmesi. ω_1 = const bolanlygy sebäpli $\varepsilon_1 = \dfrac{d\omega_1}{dt} = 0$, onda $a_A^t = 0$. Ugry boýunça $\overline{a}_A^t \perp \overline{OA}$.

B nokat çylşyrymly hereket edýär:

$$\overline{a}_B^{abs} = \overline{a}_B^{\text{göç}} + \overline{a}_B^{otn} \qquad (2.1)$$

bu ýerde $\overline{a}_B^{abs}$ – B nokadyň absolýut tizlenmesi. Şol hereketde B nokat C nokadyň daşynda aýlanýar. Ony normal we galtaşma diýip bölýäris:

$$\overline{a}_B^{abs} = \overline{a}_{BC} = \overline{a}_{BC}^n + \overline{a}_{BC}^t;$$
$$a_{BC}^n = \omega_3^2\, l_{BC},\ \ m/s^2.$$

Ugry boýunça $\overline{a}_{BC}^n \parallel \overline{BC}$, B nokatdan C nokada tarap.

$$a_{BC}^t = \varepsilon_3\, l_{BC}\ m/s^2,$$

bu ýerde $\varepsilon_3 = \dfrac{d\omega_3}{dt}$ – üçünji zwenonyň burç tizlenmesi, ony indi tapmaly. Ugry boýunça $\overline{a}^t_{BC} \perp \overline{BC}$.

$a^{göç}_{B}$ – B nokadyň göçürme tizlenmesi. Şol hereketde ikinji zweno süýşýär, şol sebäpli hemme nokatlaryň tizlikleri we tizlenmeleri deň:

$$\overline{a}^{göç}_B = \overline{a}_A = \overline{a}^n_A$$

a^{otn}_{B} – B nokadyň otnositel hereketdäki tizlenmesi. Şol hereketde B nokat A nokadyň daşynda aýlanýar, ony normal we galtaşýan diýip belleýäris:

$$\overline{a}^{otn}_B = \overline{a}_{BA} = \overline{a}^n_{BA} + \overline{a}^t_{BA};$$

$$a^n_{BA} = \omega_2^2 \, l_{AB} \quad m/s^2.$$

Ugry B nokatdan A nokada tarap $\overline{a}^n_{BA} \parallel \overline{BA}$.

$$a^t_{BA} = \varepsilon_2 l_{AB} \quad m/s^2.$$

bu ýerde $\varepsilon_2 = \dfrac{d\omega_2}{dt}$ – ikinji zwenonyň burç tizlenmesi, ony indi tapmaly. Ugry boýunça $\overline{a}^t_{BA} \perp \overline{BA}$.

Hemme tapylanlar (2.1) deňlemede ýerinde goýup ýazylanda, (2.2) deňleme gelip çykar:

$$\underline{\underline{\overline{a}^n_{BC}}} + \underline{\overline{a}^t_{BC}} = \underline{\underline{\overline{a}^n_{A}}} + \underline{\underline{\overline{a}^n_{BA}}} + \underline{\overline{a}^t_{BA}} \quad . \tag{2.2}$$

$$\parallel BC \perp BC \quad \parallel AO \parallel BA \perp AB.$$

Bu deňlemede normal tizlenmeler bahasy we ugry boýunça belli, şonuň üçin olaryň aşagynda iki çyzyk. Galtaşma tizlenmeleriň diňe ugry belli, şonuň üçin aşagy bir çyzykly.

Deňdiriň sag tarapyndan başlaýarys, islendik bir nokatdan π (tizlenme planynyň polýusy) mehanizmiň planynyň AO zwenosyna parallel çyzyk geçirip (A-dan O tarap) (πa), mm aralygy belleýäris. Onda tizlenme planynyň masştaby bolar:

$$\mu_a = \frac{a^n_A}{[\pi a]} \, \frac{m/s^2}{mm}.$$

$a_A = a^n_A$ bolany sebäpli a we n_1 bir nokada düşýär.
n_1 nokatdan mehanizmiň planynyň AB çyzygyna parallel çyzyk geçirip (B-den A tarap), şol çyzykda $(n_1 n_2)$ aralygy belleýäris.

$$[n_1 n_2] = \frac{a^n_{BA}}{\mu_a} mm.$$

n_2 nokatdan $\overline{AB}$ wektora perpendikulýar çyzyk geçireris.

Deňlemäniň çep tarapyna geçýäris. π nokatdan BC çyzyga parallel çyzyk (B-den C tarap) geçirip (πn_3) aralygy belleýäris.

$$[\pi n_3] = \frac{a_{BC}^n}{\mu_a} mm.$$

n_3 nokatdan $\perp \overline{BC}$ perpendikulýar çyzyk geçirýäris. Iki perpendikulýaryň ($\perp \overline{AB}$ we $\perp \overline{BC}$) kesişýän nokadyny b diýip belleýäris.

Tizlenmeleriň bahalary:

$$a_{BA}^t = \mu_a (n_2 b) = m/s^2;$$

$$a_{BA} = \mu_a (ab) = m/s^2;$$

$$a_{BC}^t = \mu_a (n_3 b) = m/s^2;$$

$$a_{BC} = \mu_a (bc) = m/s^2.$$

Burç tizlenmelerini kesgitleýäris. Ikinji zwenonyň burç tizlenmesi:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^t}{l_{AB}} \; \frac{1}{s^2}.$$

Aýlanma ugruny kesgitlemek üçin $\bar{a}_{BA}^{t}$ tizlenmäni mehanizmiň planynyň B nokadyna geçirip, A nokadyň daşynda aýlawyna seredeniňde, sagat diliniň ugruna garşy bolýar – ε_2. Onda ikinji zweno sagat ugruna haýallap aýlanýar.

Üçünji zwenonyň burç tizlenmesi:

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^t}{l_{BC}} \; \frac{1}{s^2}.$$

Aýlanma ugruny kesgitlemek üçin $\bar{a}_{BC}^{t}$ tizlenmäni mehanizmiň planynyň B nokadyna geçirip, C nokadyň daşynda aýlawyna seredeniňde, sagat diliniň ugruna garşy bolýar. Üçünji zweno hem sagat diliniň ugruna haýallap aýlanýar.

S_1, S_2, S_3 nokatlaryň tizlenmelerini tapmak üçin meňzeşlik teoremasyny ulanyp, proporsiýalar düzýäris:

$$\frac{AS_1}{AO} = \frac{as_1}{ao}; \qquad as_1 = \frac{AS_1 \cdot ao}{AO} = \frac{1}{2} ao, mm;$$

$$\frac{AS_2}{AB} = \frac{as_2}{ab}; \qquad as_2 = \frac{AS_2 \cdot ab}{AB} = \frac{1}{2} ab, mm;$$

$$\frac{BS_3}{BC} = \frac{bs_3}{bc}; \qquad bs_3 = \frac{BS_3 \cdot bc}{BC} = \frac{1}{2} bc, mm.$$

s_1, s_2, s_3 – nokatlary tizlenmäniň planynda ýerleşdirip, π nokat bilen birleşdirip hasaplaýarys:

$$a_{S1} = \mu_a(\pi s_1)\ m/s^2;$$

$$a_{S2} = \mu_a(\pi s_2)\ m/s^2;$$

$$a_{S3} = \mu_a(\pi s_3)\ m/s^2.$$

O we *C* nokatlar hereketsiz bolany üçin, olaryň tizlikleri we tizlenmeleri nola deň, olar π – başlangyç nokat bilen gabat gelýär.

2.8. Meňzeşlik teoremasy

2.8-nji suratda görkezilen zwenonyň *C* nokadynyň tizligini kesgitlemeli, *A* we *B* nokatlaryň tizlikleri berlen. Wektor deňlemelerini ýazýarys:

$$\underline{\overline{V}_C} = \underline{\underline{\overline{V}_A}} + \underline{\overline{V}_{CA}};$$

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

Wektor $\overline{V}_{CA} \perp \overline{AC}$, wektor $\overline{V}_{BC} \perp \overline{BC}$. Tizligiň planynda *pab*, $ab \perp \overline{AB}$. Deňlemeler boýunça $\overline{V}_A$ wektoryň ujundan $\overline{V}_{CA} \perp \overline{AC}$ geçirmeli, $\overline{V}_B$ wektoryň ujundan $\overline{V}_{BC} \perp \overline{BC}$ geçirmeli, şol çyzyklaryň kesişýän nokadyny *c* diýip belläp, *P* nokat bilen birleşdirmeli.

$$V_C = \mu_V(Pc) = m/s;$$

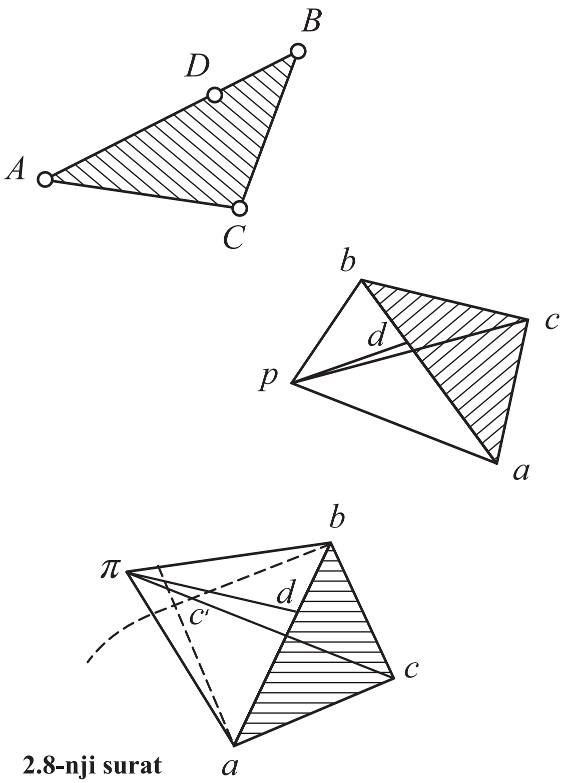
$$V_{CA} = \mu_V(ac) = m/s;$$

$$V_{BC} = \mu_V(bc) = m/s.$$

Üçburçluklar $\Delta abc \propto \Delta ABC$ meňzeş, sebäbi taraplar bir-birine perpendikulýar. Δabc üçburçluk ΔABC görä 90^0 öwrülen. Onda tizlikler üçin: zwenolaryň nokatlarynyň otnositel tizlikleriniň planda döreden üçburçlugy, mehanizmiň planyndaky üçburçluga meňzeş bolar. Meňzeşlikden proporsiýa ýazylýar:

$$\frac{V_{BA}}{l_{AB}} = \frac{V_{CA}}{l_{AC}} = \frac{V_{CB}}{l_{BC}}$$

ýa-da $$\frac{ab}{l_{AB}} = \frac{ac}{l_{AC}} = \frac{bc}{l_{BC}}.$$



2.8-nji surat

Eger-de iki nokadyň tizligi belli bolsa, şu proporsiýalardan islendik nokadyň tizligini kesgitläp bolýar.

Meselem: *D* nokadyň tizligini tapmak üçin:

$$\frac{ad}{l_{AD}} = \frac{ab}{l_{AB}},$$

$$ad = \frac{ab\, l_{AD}}{l_{AB}}.$$

Tizligiň planynda [*ad*] aralygy belläp, *d* nokady *P* nokat bilen birleşdirip, tizligini taparys:

$$V_D = \mu_V\ (Pd) = m/s.$$

Bu meselede *A, B* we *D* nokatlar bir çyzygyň üstünde. Şol zwenonyň islendik nokadynyň tizligini kesgitläp bolýar, ýagny onuň üçin bir çyzygyň üstünde bolmagy hökman däl.

Tizlenme planynyň meňzeşligi

Nokatlaryň otnositel tizlenmelerini aşakdaky formulalardan hasaplap bolýar:

$$a_{BA} = l_{AB}\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2};$$
$$a_{CA} = l_{AC}\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2};$$
$$a_{CB} = l_{BC}\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}.$$

Bulardan proporsiýa düzýäris:

$$\frac{a_{BA}}{l_{AB}} = \frac{a_{CA}}{l_{AC}} = \frac{a_{CB}}{l_{BC}}$$

ýa - da

$$\frac{ab}{l_{AB}} = \frac{ac}{l_{AC}} = \frac{bc}{l_{BC}}.$$

Tizlenmäniň planyndaky Δabc üçburçluk, mehanizmiň planyndaky ΔABC üçburçluga meňzeş. Başgaça aýdylanda: nokatlaryň otnositel tizlenmeleri tizlenmäniň planynda emele getiren figurasy mehanizmiň planyndaky figura meňzeş.

Tizlenmäniň planyndaky meňzeş figurany gurmak tizligiň planyna görä çylşyrymly. Tizligiň planynda figura mehanizmiň planyna görä 90°-a öwrülen. Tizlenmäniň planynda gurmak üçin [*ac*] we [*bc*] aralyklary hasaplap, sirkul bilen belläp, kesişen nokatlaryny tapmaly. Gurlanda göz öňüne tutmaly: mehanizmiň planynda sagat ugry boýunça geçirilende yzygiderligi *A, B, C* bolanda, tizlenmäniň planyny sagat ugry boýunça geçirip, *a, b, c* yzygiderligi bolmaly (*2.8-nji surat*).

Mesele. Urup oýýan stanogyň kinematiki derňewi (*2.9-njy surat*).

Berlen:

1. Stanogyň bir ýagdaýdaky çyzgysy $\mu_l \frac{m}{mm}$ masştabda gurlan.

2. Zwenolaryň uzynlyklary, l_{OA}, l_{BC}, l_{OB}, l_{CD}, a, b, y, y_1, l_{CS_4}= = l_{CD}/ 2m.

3. Ýörediji zwenonyň burç tizligi ω_1 = const.

Ç ö z ü l i ş i :

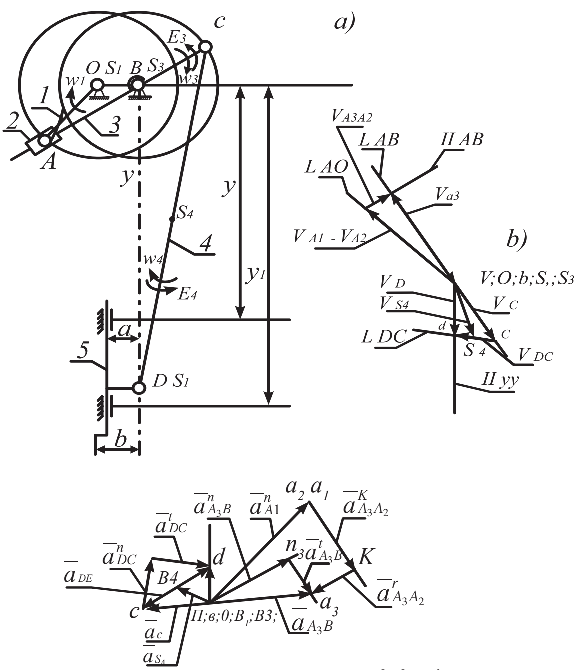
Birinji zweno aýlanýar. A nokatda üç ugur gabat gelýär. A_1 – birinji zweno degişli, O nokadyň daşynda doly aýlanýar. A_2 nokat ikinji zweno degişli, üçünji zwenonyň üstünde süýşýär. A_3 nokat üçünji zweno degişli, B nokadyň daşynda doly aýlanyp, çylşyrymly hereket edýär. A_1 nokadyň tizligi $V_A=\omega_1 \cdot l_{OA}$ m/s, ugry boýunça $\overline{V}_A$, wektor mehanizmiň $\overline{OA}$ wektoryna perpendikulýar.

A_2 nokat göçürme hereketde A_1 nokat bilen aýlanýar, $\overline{V}_{A_2} = \overline{V}_{A_1}$.

A_3 nokat çylşyrymly hereket edýär:

$$\overline{V}_{A_3}^{abs} = \overline{V}_{A_3}^{\text{göç}} + \overline{V}_{A_3}^{\text{otn}}.$$

$\overline{V}_{A_3}^{abs}$ – absolýut hereketde A_3 nokat B nokadyň daşynda aýlanýar.



2.9-njy surat

$\overline{V}_{A_3}^{abs} = \overline{V}_{A_3B}$. Ugry boýunça mehanizmiň $\overline{AB}$ wektoryna perpendikulýar $\overline{V}_{A_3} \perp \overline{AB}$;

$\overline{V}_{A_3}^{\text{göç}}$ – göçürme tizligi. Bu hereketde A_3 nokat A_1 we A_2 nokatlar bilen bilelikde O nokadyň daşynda aýlanýar.

$$\overline{V}_{A_3}^{\text{göç}} = \overline{V}_{A_1} = \overline{V}_{A_2}.$$

$\overline{V}_{A_3}^{\text{otn}}$ – otnositel hereketde A_3 nokat A_2 nokada görä süýşýär. Ugry boýunça AB zweno parallel. $\overline{V}_{A_3A_2} \parallel \overline{AB}$.

$$\underset{\perp AB}{\underline{\overline{V}_{A_3B}}} = \underset{\perp OA}{\underline{\underline{\overline{V}_{A_2}}}} + \underset{\parallel AB}{\underline{\overline{V}_{A_3A_2}}}.$$

Bu deňleme boýunça tizligiň planyny guryarys. Islendik P nokatdan OA perpendikulýar çyzyk geçirip, $[Pa_1]$ aralygy belleýäris. Meselem: $[Pa_1]=50\ mm$ diýip alýarys, onda tizlik planynyň masştaby:

$$\mu_v = \frac{V_{A1}}{[Pa_1]} \frac{m/s}{mm}.$$

a_2 ýa-da a_1 nokatdan (*2.9-njy b surat*) *AB* parallel, *P* nokatdan *AB* perpendikulýar çyzyk geçirip, kesişýän nokadyny a_3 diýip belleýäris. Wektor üçburçlukdan tizlikleri kesgitleýäris:

$$V_{A_3A_2} = \mu_V (a_2a_3)\ m/s;$$

$$V_{A_3B} = \mu_V (ba_3)\ m/s.$$

O, S_1, B, S_3 nokatlar hereketsiz, tizlikleri nola deňligi sebäpli *P* nokat bilen gabat gelýärler. Meňzeşlik teoremasyny ulanyp, proporsiýa düzýäris:

$$V_{A_3B} = \mu_V (ba_3)\ m/s.$$

a_3b – çyzygy *P* nokatda dowam edip, *bc* aralygy belläp, *C* nokadyň tizligini kesgitleýäris:

$$V_C = \mu_V (Pc)\ m/s.$$

D nokadyň tizligini kesgitlemek üçin deňleme düzýäris, dördünji zweno çylşyrymly hereket edýänligi sebäpli:

$$\underset{\parallel yy}{\underline{\overline{V}_D}} = \underset{\perp BC}{\underline{\underline{\overline{V}_C}}} + \underset{\perp DC}{\underline{\overline{V}_{CD}}},$$

bu ýerde $\overline{V}_D^{abs} - D$ nokadyň absolýut tizligi. Şol hereketde D nokat y-y ok boýunça süýşýär.

$\overline{V}_D^{goç} = \overline{V}_C - D$ nokadyň göçürme tizligi. Bu hereketde dördünji zweno süýşýär, şonuň üçin hemme nokatlaryň tizlikleri deň.

$\overline{V}_D^{otn} = \overline{V}_{DC} - D$ nokadyň otnositel tizligi. Otnositel hereketde D nokat C nokadyň daşynda aýlanýar, onuň ugry $\overline{DC}$ perpendikulýar.

Tizlik planynyň gurluşyny dowam edýäris. c nokatdan $\overline{DC}$ perpendikulýar we P nokatdan yy parallel çyzyk geçirip, kesişen nokadyny d diýip belleýäris.

Tizlikleriň bahalary:

$$V_D = \mu_V (Pd)\ m/s;$$

$$V_{DC} = \mu_V\ (dc)\ m/s.$$

S_1 we S_3 agyrlyk merkezleriniň tizlikleri belli. S_4 nokadyň tizligini tapmak üçin proporsiýa düzýäris:

$$\frac{CS_4}{CD} = \frac{CS_4}{cd}; \quad cs_4 = \frac{CS_4 \cdot cd}{CD}\ mm.$$

s_4 nokady tizlik planynda belläp, başlangyç nokat P bilen birleşdirip tizligini kesgitleýäris.

$$V_{S4} = \mu_V (P_{S4})\ \frac{m}{s}.$$

Burç tizligi:

$$\omega_3 = \frac{Vc}{l_{BC}}\ \frac{1}{s}.$$

ω_3 burç tizliginiň aýlaw ugruny V_C wektory mehanizmiň C nokadyna geçirip, C nokadyň B nokada görä aýlawyna seredip taparys.

$$\omega_4 = \frac{V_{DC}}{l_{DC}}\ \frac{1}{s}.$$

$\overline{V}_{DC}$ wektory mehanizmiň D nokadyna geçirip, D-den C görä aýlawyna seredeniňde, ω_4 aýlaw ugry tapylýar.

Tizlenme planyny gurýarys

A_1 nokat O nokadyň daşynda aýlanýanlygy sebäpli, onuň tizlenmesini ikä bölýäris:

$$\bar{a}_{A_1} = \bar{a}_{A_1}^n + \bar{a}_{A_1}^t.$$

Normal tizlenme $a^n_{A_1} = \omega_1^2 \cdot l_{OA} \frac{m}{S^2}$, ugry boýunça OA parallel, A nokatdan O nokada tarap. Galtaşma tizlenme $a^t_{A_1} = \varepsilon_1 l_{OA}\, m/s^2$, ugry boýunça OA perpendikulýar.

$\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt}$ – birinji zwenonyň burç tizlenmesi, ω_1=*const*, hemişelik bolany sebäpli ε_1 = *0-a* deň. Onda $a^t_{A1} = 0$.

A_2 nokat A_1 bilen bilelikde aýlanýar:

$$\bar{a}_{A_2} = \bar{a}_{A_1} = \bar{a}^n_{A_1}.$$

A_3 nokat çylşyrymly hereket edýär:

$$\bar{a}^{abs}_{A_3} = \bar{a}^{g\ddot{o}\c{c}}_{A_3} + \bar{a}^{otn}_{A_3}.$$

$\bar{a}^{abs}_{A_3}$ – absolýut hereketde A_3 nokat B nokadyň daşynda aýlanýar:

$$\bar{a}^{abs}_{A_3} = \bar{a}_{A_3B} = \bar{a}^n_{A_3B} + \bar{a}^t_{A_3B}.$$

$a^n_{A_3B} = \omega_3^2 \cdot l_{AB}\, m/s^2$, ugry boýunça AB parallel, A-dan B tarap.

$a^n_{A_3B} = \omega_3^2 \cdot l_{AB}\, m/s^2$, ugry boýunça AB perpendikulýar.

ε_3 – üçünji zwenonyň burç tizlenmesi, ony soňra tapmaly.

$a^{g\ddot{o}\c{c}}_{A_3}$– göçürme hereketde A_1, A_2, A_3 nokatlar bilelikde aýlanýar.

$$\bar{a}^{g\ddot{o}\c{c}}_{A_3} = \bar{a}_{A_2} = \bar{a}^n_{A_1}$$

$\bar{a}^{otn}_{A_3}$ – otnositel hereketde A_3 nokadyň hereketi üçünji zwenonyň üstünde A_2-*ä* görä süýşýär, oňa relýatiw tizlenme $a^r_{A_3A_2}$ diýilýär, ony tapmaly:

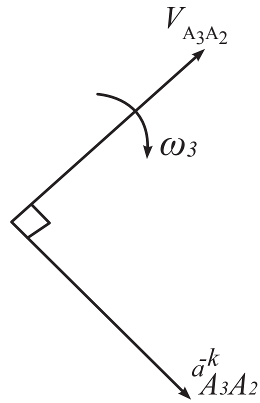
$$\bar{a}^{otn}_{A_3} = \bar{a}^r_{A_3A_2}.$$

Göçürme hereket aýlanma we otnositel hereket süýşmek bolanda kariolis tizlenme emele gelýär:

$$a^k_{A_3A_2} = 2\omega_3 \cdot V_{A_3A_2}\, m/s^2$$

Ugruny kesgitlemek üçin $\overline{V}_{A_3A_2}$ – wektory ω burç tizligiň ugruna 90°-*a* öwürmeli.

Hemme tizlenmeleri ýerbe-ýer goýup, wektor deňlemäni ýazýarys:



$$\underline{\underline{\overline{a}^n_{A_3B}}} + \underline{\overline{a}^t_{A_3B}} = \underline{\underline{\overline{a}^n_{A_1}}} + \underline{\underline{\overline{a}^k_{A_3A_2}}} + \underline{\overline{a}^r_{A_3A_2}}$$

$$\parallel AB \perp AB \parallel OA \perp AB \parallel AB.$$

Islendik bir ýerde π nokady belläp (π – polýus, başlangyç nokat), deňlemäniň sag tarapyndan başlap, tizlenme wektorlaryny yzygiderli, ugurlary boýunça $\mu_a \dfrac{m/s^2}{mm}$ masştabda belläp, tizlenme planyny düzýäris:

$$\mu_a = \frac{a^n_{A_1}}{[\pi a]} = \frac{m/s^2}{mm}.$$

π nokatdan OA parallel çyzyk geçirip, $[\pi a_1] = 50\ mm$ ölçäp alyp, a_1 nokatdan $\overline{AB}$ perpendikulýar çyzyk geçirip, $a_1 k = \dfrac{a^k_{A_3A_2}}{\mu_a} mm$ aralygy belläp, k nokady tapýarys. k nokatdan $\overline{AB}$ parallel çyzyk geçirýäris.

Deňlemäniň çep tarapyna geçýäris. π nokatdan $\overline{AB}$ parallel çyzyk geçirip, üstünde

$$[\pi n_3] = \frac{a^n_{A_3B}}{\mu_a}; mm$$

aralykdan n_3 nokady belläp, n_3 nokatdan $\overline{AB}$ perpendikulýar çyzygy geçirip, öňki k nokatdan geçirilen $\overline{AB}$ perpendikulýar çyzyk bilen kesişen nokadyny a_3 diýip belleýäris. a_3 nokady π nokat bilen birleşdirýäris. Alnan wektorlardan tizlenmeleriň bahalaryny taparys:

$$a^t_{A_3B} = \mu_a(n_3 a_3); \frac{m}{s^2};$$

$$a_{A_3B} = \mu_a(\pi a_3); \frac{m}{s^2};$$

$$a^r_{A_3A_2} = \mu_a(k a_3); \frac{m}{s^2}.$$

$[\pi a_3]$ çyzygy π nokatdan çepe dowam edip, üstünde c nokady belleýäris.

$$\frac{AB}{BC} = \frac{ab}{bc};\ bc = \frac{BC \cdot ab}{AB}; mm.$$

C nokadyň tizlenmesi bolar:

$$V_C = \mu_a\,(\pi c); m/s^2.$$

D nokat çylşyrymly hereket edýär. Onuň deňlemesi:

$$\overline{a}_D^{abs} = \overline{a}_D^{\text{göç}} + \overline{a}_D^{\text{otn}}$$

$\overline{a}_D^{abs}$ – absolýut hereketde *D* nokat $y - y$ ok boýunça süýşýär.

$$\overline{a}_D^{abs} = \overline{a}_D.$$

$\overline{a}_D^{\text{göç}}$ – göçürme hereketde *D* nokat dördünji zweno bilen süýşýär, dördünji zwenonyň hemme nokatlarynyň tizlikleri we tizlenmeleri deň.

$$\overline{a}_D^{\text{göç}} = \overline{a}_c.$$

$\overline{a}_D^{\text{otn}}$ – otnositel hereketde *D* nokat *C* nokadyň daşynda aýlanýar, tizlenmesini normal we galtaşma diýip alýarys:

$$\overline{a}_D^{\text{otn}} = \overline{a}_{DC} = \overline{a}_{DC}^n + \overline{a}_{DC}^t,$$

$a_{DC}^n = \omega_4^2 \cdot l_{DC}; \frac{m}{s^2}$, ugry boýunça $\parallel \overline{DC}$, *D* nokatdan *C* nokada tarap.

$a_{DC}^t = \varepsilon_4 \cdot l_{DC}; \frac{m}{s^2}$, ugry boýunça $\perp \overline{DC}$.

Wektor deňlemesi bolýar:

$$\underline{\overline{a}_D} = \underline{\underline{\overline{a}_C}} + \underline{\underline{\overline{a}_{DC}^n}} + \underline{\overline{a}_{DC}^t}$$
$$\parallel yy \qquad\qquad \parallel DC \quad \perp DC.$$

Tizlenme planynyň *C* nokadyndan $\parallel \overline{DC}$ çyzyk geçirip, üstünde cn_4 aralygy belleýäris:

$$[cn_4] = \frac{a_{DC}^n}{\mu_a}$$

n_4 nokatdan $\perp \overline{DC}$ çyzygy geçirýäris we π nokatda $\parallel \overline{yy}$ çyzyk geçirip, ikisiniň kesişýän nokadyny *d* bilen belleýäris.

c we *d* nokatlary birleşdirip, proporsiýa boýunça tapylan s_4 nokady onuň üstünde belläp, π nokat bilen birleşdirýäris:

$$\frac{CS_4}{DC} = \frac{cs_4}{dc}; \quad cs_4 = \frac{cd \cdot CS_4}{DC} = \frac{1}{2} cd \ \ mm.$$

Onda tizlenmeleriň bahalary:

$$a_D = \mu_a(\pi d); \frac{m}{s^2};$$

$$a_{DC} = \mu_a(dc); \frac{m}{s^2};$$

$$a_{DC}^t = \mu_a(n_4 d); \frac{m}{s^2};$$

$$a_{s4} = \mu_a(\pi s_4); \frac{m}{s^2};$$

Burç tizlenmeleri:

Üçünji zweno üçin: $\varepsilon_3 = \frac{a_{A3B}^t}{l_{AB}}; \frac{1}{s^2}.$

Ugruny kesgitlemek üçin $\overline{a}_{A_3B}^t$ wektory mehanizmiň *A* nokadyna geçirip, *B* nokada görä aýlawyna seredeniňde, ε_4 ↶ sagat ugruna garşy bolýar, onda üçünji zweno sagat ugruna haýallap aýlanýar.

Dördünji zweno üçin $\varepsilon_4 = \frac{a_{DC}^t}{l_{DC}} \frac{1}{s^2}.$

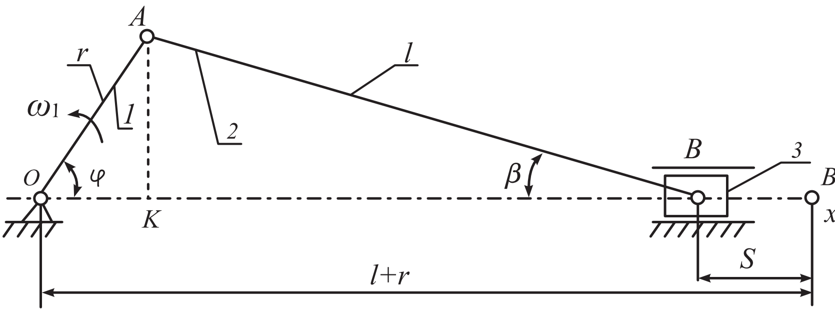
Ugruny kesgitlemek üçin $\overline{a}_{DC}^t$ wektory mehanizmiň *D* nokadyna geçirip, *C* nokada görä aýlawyna seredeniňde, ε_4 ↶ sagat diline garşy bolýar, onda dördünji zweno sagadyň ugruna haýallap aýlanýar.

2.9. Analitiki usul boýunça mehanizmiň ýagdaýlaryny, tizliklerini we tizlenmelerini kesgitlemek

S=f(t); *V=f(t)* we *a=f(t)* funksiýalary analitiki bir-birine degişlilikde tapyp bolýar. Olar gaty çylşyrymly bolýar, ýöne grafiki we grafiki-analitiki usullara seredeniňde, analitiki usul takyk. Şonuň üçin analitiki usul näçe çylşyrymly bolsa-da, ony köplenç ulanýarlar.

Ýönekeý mehanizme seredeliň.

Analitiki derňewi geçirmek üçin hereket ýolunyň *S*, tizliginiň *V* we tizlenmesiniň *a* mehanizmiň ýagdaýyna we zwenolaryň uzynlygyna degişliligini kesgitlemeli.



2.10-njy surat

Mehanizmiň ýagdaýy φ burça bagly. Hasaby mehanizmiň çetki sag ýagdaýyndan, B_0 – nokatdan başlaýarys.
2.10-njy suratda görnüşi ýaly:

$$S = OB_0 - OK - KB; \tag{2.3}$$

$$OB_0 = l + r;$$

$$OK = r\cos\varphi;$$

$$BK = l\cos\beta.$$

Onda

$$S = r + l - r\cos\varphi - l\cos\beta = r(1 - \cos\varphi) + l(1 - \cos\beta) \tag{2.4}$$

Şu deňlemeden β aýyrmaly.

$$AK = r\sin\varphi = l\sin\beta,$$

Ýa - da:
$$\sin\beta = \frac{r}{l}\sin\varphi$$

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2}$$

(2.4) deňlemede ýerleşdirsek

$$S = r(1 - \cos\varphi) + l\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2}\right). \tag{2.5}$$

Şu deňleme üçünji zwenonyň hakyky geçen ýoluny görkezýär. Ony gysgaldyp bilýäris. Onuň üçin Nýutonyň binomyny ulanmaly:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2} = \left[1 - \left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2 - \frac{1}{8}\left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^4 - \ldots$$

$\frac{r}{l} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{5}$ – mehanizmlerde köplenç şol aralykda bolmaly. Şu ýagdaýda binom çalt gutarýar. Meselem: $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$

bolanda: $\frac{1}{2}\left(\frac{r}{l}\sin\varphi\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{5}\right)^2\sin^2\varphi\ = 0,02\sin^2\varphi\ \sin\varphi < 1$ kiçi bolany üçin, ikinji birinjiden 2% kiçi bolup çykýar. Beýlekileri birinjiden has kiçi bolany sebäpli, olary ulanmaňda-da bolýar.

Gysgalan deňleme şeýle bolýar:

$$S = r(1 - \cos\varphi) + \frac{1}{2}\frac{r^2}{l^2}\sin^2\varphi\ .$$

$\frac{r}{l} = \lambda$ diýip bellesek, onda:

$$S = r(1 - \cos\varphi) + \frac{1}{2}\lambda^2\sin^2\varphi \tag{2.6}$$

ýa-da

$$S = r(1 - \cos\varphi + \frac{1}{2}\lambda\sin^2\varphi). \tag{2.7}$$

Tizligi hemişelik bolanda $\varphi = \omega t$,

$$S = r\left(1 - \cos\omega t + \frac{1}{2}\lambda\sin^2\omega t\right) \tag{2.8}$$

Tizlik deňlemesi:

$$V = \frac{ds}{dt} = \omega r(\sin\omega t + \lambda\sin\omega t\cos\omega t)$$

ýa-da

$$V = \omega r\left(\sin\omega t + \frac{1}{2}\lambda\sin^2\omega t\right). \tag{2.9}$$

Tizlenmäniň deňlemesi:

$$a = \frac{dV}{dt} = \omega^2 r(\cos\omega t + \lambda\cos^2\omega t).$$

Kulisaly mehanizm

Goý, mehanizmiň φ – burçy, tirseginiň radiusynyň r *mm*, aýlanma oklarynyň aralygynyň a *mm* uzynlyklary berlen bolsun (2.11-nji surat). A nokatdan OC çyzyga perpendikulýar düşürip tapýarys:

$$\mathrm{tg}\psi = \frac{r\sin\varphi}{a + r\cos\varphi}.$$

Şu deňlemäni differensirläp, üçünji zwenonyň burç tizligini kesgitleýäris:

$$\frac{1}{\cos^2\psi}\cdot\frac{d\psi}{dt}=\frac{r(a+r\cos\varphi)\cos\varphi\,\omega_1+\sin\varphi\; r\sin\varphi\omega_1}{(a+r\cos\varphi)^2}$$

ýa-da

$$\omega_3=\frac{r\omega_1(a\cos\varphi+r)\cos^2\psi}{(a+r\cos\varphi)^2}\ ,$$

ýa-da $\cos^2\psi=\frac{1}{1+\mathrm{tg}^2\psi}=\frac{1}{1+\frac{r^2\sin^2\varphi}{(a+r\cos\varphi)^2}}=\frac{(a+r\cos\varphi)^2}{(a^2+r^2+2ar\cos\varphi)}.$

Onda

$$\omega_3=\omega_1\frac{r(a\cos\varphi+r)}{a^2+r^2+2ar\cos\varphi}.$$

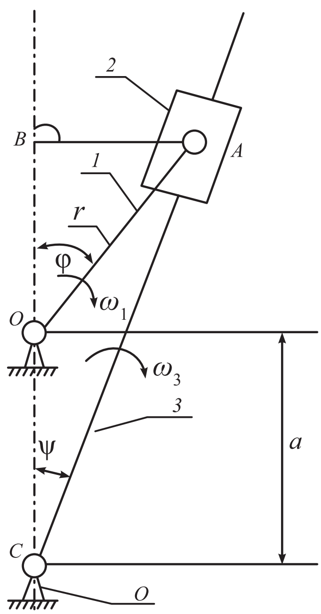
Haçanda kulisa iň çetki ýagdaýynda duran bolsa, burç tizligi ω_3 nola deň bolar:

$$a\cos\varphi+r=0,$$

bu ýerden

$$\cos\varphi=-\frac{r}{a}.$$

Bu $r < a$ ýagdaýda bolup bilýär. Şu ýagdaýda kulisa yrgyldaýar, şonuň üçin bu mehanizme yrgyldaýan kulisaly mehanizm diýilýär.



2.11-nji surat

Kulisa sagadyň ugry boýunça aýlanýar diýip alnanda, ortaça tizlik koeffisiýenti bolýar:

$$c = \frac{180^\circ - \varphi}{\varphi},$$

bu ýerden

$$\varphi = \frac{180^\circ}{1 + c}.$$

c koeffisiýentiň bahasy berlip, φ burçy kesgitläp, $\frac{r}{a}$ – gatnaşygy tapýarlar.

$r > a$ bolan ýagdaýynda, kulisa diňe bir tarapa aýlanýar, oňa aýlanýan kulisaly mehanizm diýilýär.

$r = a$ bolan ýagdaýynda:

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 a(a\cos\varphi + a)}{2a^2 + 2a^2\cos\varphi} = \frac{\omega_1}{2}.$$

Kulisaly mehanizm iki esse tizligi peseldýän mehanizm bolýar. Başgaça aýdylanda, ýörediji zweno 1 hemişelik tizlik bilen aýlananda, kulisa *3* hemişelik iki esse pes tizlik bilen aýlanýar. *A* nokat bilen *C* nokat gabat gelen ýagdaýynda kulisanyň hereketi belli bolmaýar. Kulisanyň hereketini belli etmek üçin iki kulisaly mehanizmleri başga kulisaly mehanizmler bilen birleşdirmeli. Soňky kulisaly mehanizmlerde bir-biriniň arasynda belli bir burç bolmaly.

ω_1=const diýip alyp, burç tizlenmesini tapýarys:

$$\varepsilon_3 = \frac{dw_3}{dt} = \frac{r\omega_1[-\{a^2 + r^2 + 2ar\cos\varphi\}a\omega_1\sin\varphi + (a\cos\phi + r)2ar\omega_1\sin\varphi]}{(a^2 + r^2 + 2ar\cos\varphi)^2}$$

ýa-da

$$\varepsilon_3 = \frac{\omega_1^2 r\, a(r^2 - a^2)\sin\varphi}{(a^2 + r^2 + 2a\, r\cos\varphi)^2}$$

Burç tizlenmesi $\varepsilon_3 = 0$ bolanda, burç tizligi iň uly ω_3 = max, ýa-da iň kiçi ω_3 = min bolýar. Bir ýagdaýda $\varphi = 0$, ikinji ýagdaýynda $\varphi = 180^\circ$-a deň. Şol ýagdaýlar üçin:

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 r}{r + a} \quad we \quad \omega_3 = \frac{\omega_1 r}{r - a}.$$

Yrgyldaýan kulisaly mehanizm üçin:

$$\omega_{3\max} = \frac{\omega_1 r}{r + a}; \qquad \omega_{3\min} = \frac{\omega_1 r}{r - a}.$$

Aýlanýan kulisaly mehanizm üçin:

$$\omega_{3\min} = \frac{\omega_1 r}{r+a}; \qquad \omega_{3\max} = \frac{\omega_1 r}{r-a}.$$

Aýlanýan kulisaly mehanizmiň hereket häsiýetini deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti δ boýunça anyklap bolýar:

$$\delta = \frac{\omega_{3\max} - \omega_{3\min}}{\omega_{3art}} = \frac{\dfrac{\omega_1 r}{(r-a)} \quad \dfrac{\omega_1 r}{(r+a)}}{\omega_1} = \frac{2\left(\frac{r}{a}\right)}{\left[\left(\frac{r}{a}\right)^2 - 1\right]}.$$

$\omega_{3art} = \omega_1$ diýip alarys. Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti $\frac{r}{a}$ gatnaşyga bagly bolýar.

III BÖLÜM
TEKIZLIKDE HEREKET EDÝÄN PES JÜBÜTLI MEHANIZMLERIŇ TASLAMASY

3.1. Umumy düşünjeler

Bu gaty çylşyrymly mesele, mehanizmleriň taslamasy birnäçe şertler boýunça geçirilýär. IV klas ýokary kinematik jübütler ulanylanda taslama geçirmek aňsat, sebäbi ol jübütleriň görnüşleri köp. V klas pes kinematik jübütler iki sany: birinjisi süýşme hereket, ikinjisi aýlanma hereket edýär. Bu bölümde birnäçe ýönekeý meseleleriň çözülişine serederis:

1. Zwenolaryň berlen ýagdaýlaryna görä taslamasyny geçirmek.
2. Ahyrky zwenonyň ortaça tizliginiň üýtgeýän koeffisiýentine görä taslamasyny geçirmek.

Ryçagly mehanizmleriň taslamasy çylşyrymly şertler boýunça çözülýär, meselem, ahyrky zwenonyň hereket kanuny boýunça, gaty çylşyrymly mesele, umumy görnüşde çözülmedik mesele. Taslamany kinematik zynjyry saýlap almakdan başlap, meseläniň talabyna laýyklykda zwenolaryň uzynlyklaryny almaly.

3.2. Dört zwenoly şarnirli mehanizmiň häsiýetleri

3.1-nji a suratda şarnirli dört zwenoly mehanizm görkezilen. Zwenolaryň uzynlyklaryny a, b, c we d diýip belleýäris. Doly aýlanýan zweno tirsek (kriwoşip) diýilýär. Doly aýlanmaýan zweno koromyslo diýilýär. Hereketsiz zweno goşulmaýan zweno şatun diýilýär. *a* zwenonyň tirsek bolup bilýän ýagdaýyny anyklamaly. Bir ýagdaýda *a* zweno b zweno bilen goşulyp bir çyzyga öwrülmeli, ikinji ýagdaýda eplenip bir çyzyga öwrülmeli. Şol ýagdaýlar 3.1-nji b we 3.1-nji ç suratlarda görkezilen. Başgaça aýdanyňda, üçburçluklar emele gelmeli (çyzgyda görkezilen). Üçburçluklaryň häsiýetinden:

$$a + b \leq c + d, \tag{3.1}$$

$$b - a > d - c, \tag{3.2}$$

(3.2) deňsizlik başgaça ýazylanda:

$$a + d \leq b + c. \tag{3.2 a}$$

(3.1) we (3.2*a*) deňsizlikler ýerine ýetirilende, *a* zweno doly aýlanyp bilýär, ýagny tirsek bolup bilýär.

Ýokary kesgitlenişe eýe boljak bolsa, onda zwenolaryň ölçegleri aşakdaky deňsizligi kanagatlandyrmaly:

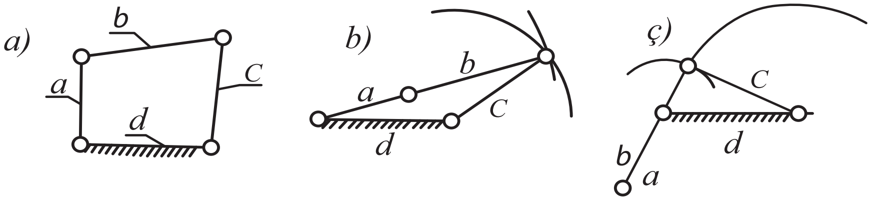
$$a < b < c < d, \tag{3.3}$$

ýagny *a* zweno has gysga, *d* zweno has uzyn we ş.m. bolmaly. Onda has aýdyň görünýär, (3.2*a*) deňsizlik (3.1) deňsizligiň üstüni ýapýar, ýagny (3.2*a*) deňsizligi kanagatlandyrsa, onda (3.3) şertde (3.1) deňsizlik kanagatlanmaly bolýar.

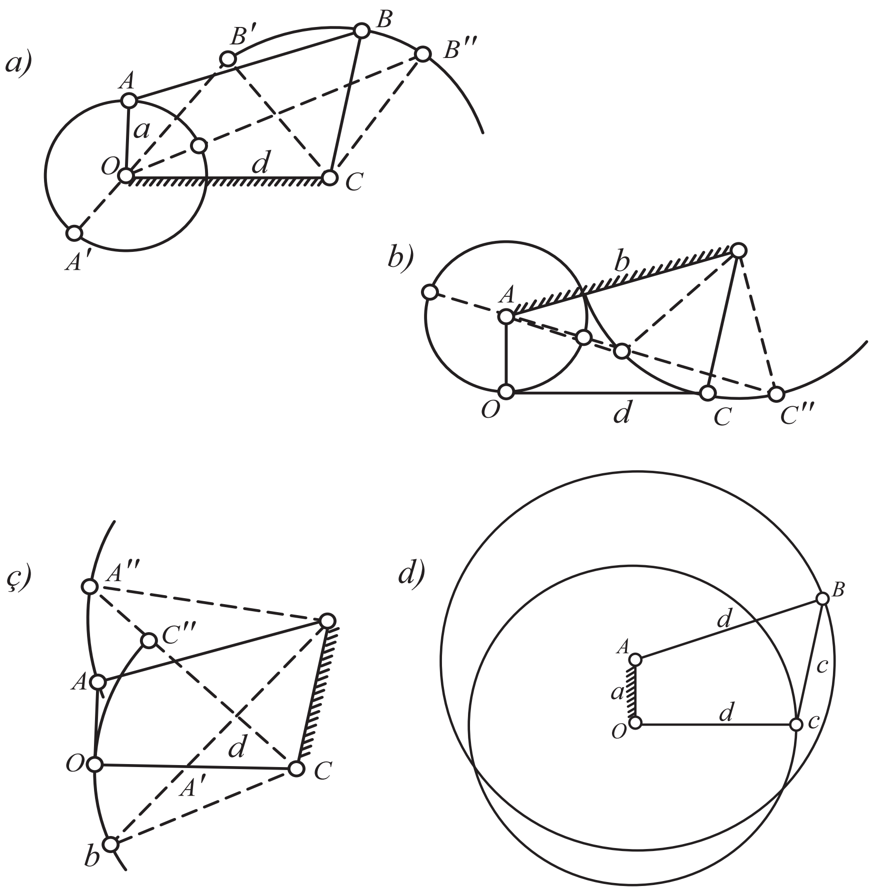
Eger-de iň uzyn we iň gysga zwenolaryň jemi beýleki iki zwenolaryň jeminden kiçi (ýa-da deň) bolsa, (3.2*a*) deňsizlik (3.3) şertde, tirsek şerti bolýar ýa-da iň kiçi zweno tirsek bolup bilýär.

Has uzyn zwenonyň ýerleşdirilen ýerinde – ol daýanç bolup biler (*d* zweno), *a* zwenonyň (*c* zwenonyň) garşysynda ýerleşdirip bolar we ol şatun (*b* zweno) bolup biler.

3.1-nji suratda görkezilen mehanizmde *a* zweno – tirsek, *c* zweno bolsa – koromyslo bolýar, oňa tirsek-koromysloly mehanizm diýilýär.



3.1-nji surat



3.2-nji surat

Eger tirsek-koromysloly mehanizmiň zwenolaryny gezekli-gezegine hereketsiz (daýanç) etsek (*3.2-nji a surat*), haýsy mehanizmleri alyp boljagyna seredeliň. 3.2-nji *b* suratda *b* zweno hereketsiz bolanda:

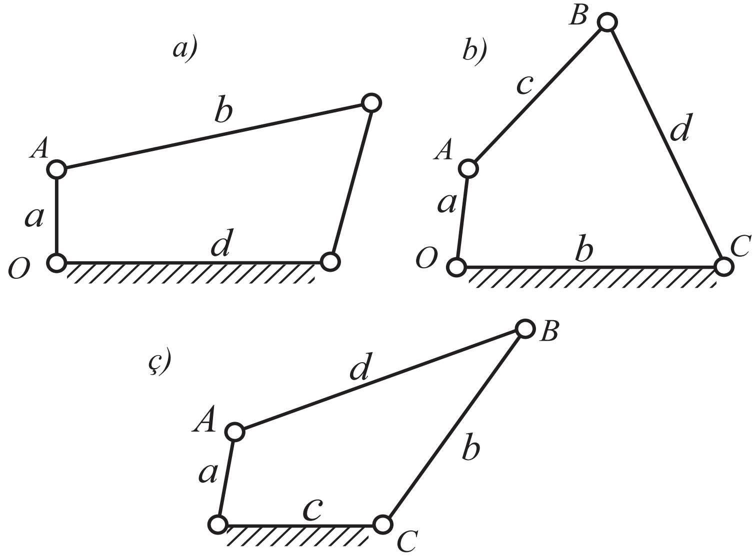
a zweno – tirsek;

c zweno – koromyslo;

d zweno – şatun.

c zweno hereketsiz bolanda (*3.2-nji ç surat*) *b* we *d* zwenolar tirsek bolup bilenok, sebäbi olar (şert boýunça) has kiçi bolup bilenok. *a* zweno tirsek bolup bilenok, sebäbi hereketsiz zweno goşulanok. Netijede, biz goşa koromysloly mehanizmi alarys, sebäbi *b* we *d* zwenolar koromyslo, *a* zweno bolsa – şatun bolýar. *a* zweno hereketsiz bolanda (*3.2-nji d surat*) *b* we *d* zwenolaryň ikisi hem tirsek bolýar. Oňa iki tirsekli mehanizm diýilýär.

Diýmek, kinematik zynjyryň zwenolarynyň haýsydyr biriniň daýanç bolşuna görä, dört dürli mehanizm alyp bolýar: iki sany tirsek – koromysloly (*3.2-nji a,b surat*); bir mehanizm goşa koromysloly (*3.2-nji ç surat*) we bir sany iki tirsekli mehanizm (*3.2-nji d surat*).



3.3-nji surat

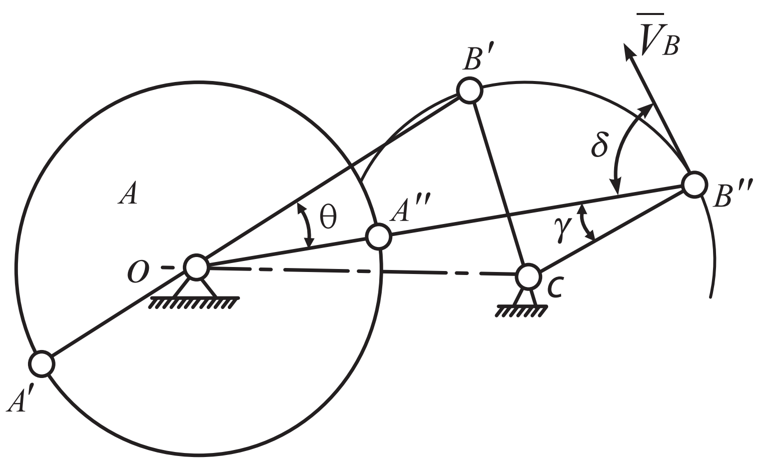
Bu mehanizmleriň hersinden zwenolarynyň ýerlerini üýtgetmek arkaly üç sany täze mehanizmi döredip bolýar (*3.3-nji surat*). Çyzgyda *a* zwenonyň garşysynda yzygiderli *b, c, d* – zwenolar ýerleşdirilip, üç sany täze mehanizmler görkezilen. Şeýlelikde, dört zwenodan hereketsiz zweno we zwenolaryň özara ýerleşişlerine görä 12 dürli mehanizmi döredip bolýar.

3.3. Ahyrky zwenonyň berlen hereketi boýunça mehanizmleriň taslamasy

Ahyrky zwenonyň berlen iki çetki ýagdaýlarynyň aralygynda hereket etmeli mehanizmleriň taslamasy talap edilýär. Bu meseleleri tirsek-koromysloly, tirsek-polzunly we kulisli mehanizmler üçin işläris.

Goý, tirsek-koromysloly mehanizmi, koromyslosynyň berlen iki çetki CB' we CB'' ýagdaýlarynyň arasynda hereket edende taslamasyny geçirmeklik talap edilsin (*3.4-nji surat*). Islendik bir O nokady tirsegiň aýlanma oky diýip alyp, B' we B'' nokatlary O nokat bilen birleşdirýäris. Alnan OB'' kesim a tirsek bilen b şatunyň uzynlyklarynyň jemine deň (*3.1-nji b sur.ser.*).

$$a + b = \mathrm{OB''}$$



3.4-nji surat

O bilen B' nokatlary birikdirip, OB' kesimi alarys we ol şatun bilen tirsegiň uzynlyklarynyň tapawudyna deň bolar:

$$b - a = OB'.$$

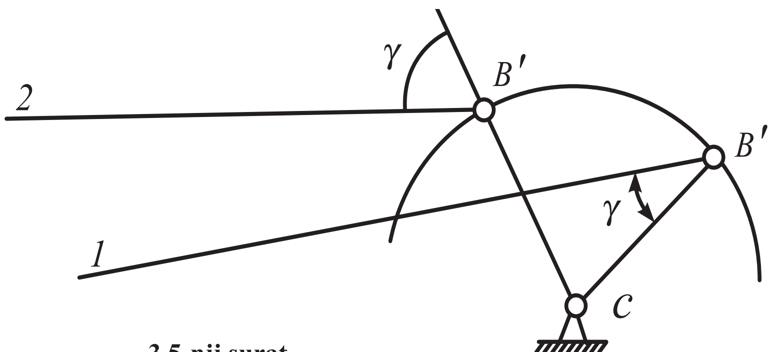
Şu iki deňlemeden tirsegiň we şatunyň uzynlyklaryny tapmak aňsat.

Tirsegiň aýlanma nokady bolan O nokady erkin saýlanyp alnypdy, diýmek, meseläniň köp çözgüdi bar.

Ýöne dinamikasy göz öňüne tutulanda şatun bilen B nokadyň tizliginiň wektorynyň arasyndaky δ burçy käbir δ_{max}-dan uly bolmaly däl. δ – basyş burçy diýilýär. Basyş burçy δ_{max}-dan uly bolanda, mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýenti kiçelýär ýa-da gaty uly basyş burçlarynda mehanizm işläp bilenok, doňýar. Şatun bilen koromyslonyň arasyndaky burça γ hereket geçiriji burç diýilýär. Bu burç käbir γ_{min}-dan kiçi bolmaly (*3.4-nji surat*). Basyş we hereket geçiriji burçlaryň baglanyşygy:

$$\gamma_{min} = 90^{o} - \delta_{max}\ .$$

Koromyslosynyň iki çetki ýagdaýy we hereket geçiriji burçy γ_{min} berlen tirsek-koromysloly mehanizmiň taslamasyny geçireliň (*3.5-nji surat*). Hereket geçiriji burç mehanizmiň ýagdaýyna görä üýtgeýär. Mehanizmiň bir çetki ýagdaýynda hereket geçiriji burçuň iň kiçi sany γ_{min} bolýar.



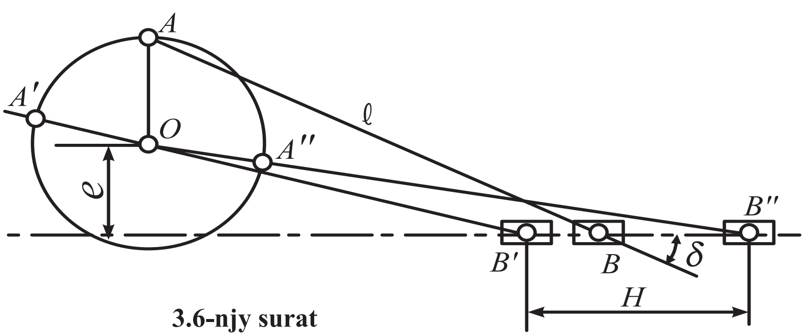
3.5-nji surat

Goý, iň kiçi hereket geçiriji burç γ_{min} mehanizmiň sag çetki ýagdaýynda bolsun. Onda O nokady birinji çyzygyň islendik ýerinde (ýa-da ondan ýokarda) almak bolýar. Eger-de hereket geçiriji burç çep çetki ýagdaýynda berilse, onda O nokady ikinji çyzygyň islendik ýerinde (ýa-da ondan aşakda) almak bolýar. Tirsegiň aýlanma okuny (O nokady) iki çyzyklaryň arasynda islendik nokady alanyňda, hereket geçiriji burç $\gamma_{\min}$-den uly bolýar. O nokat saýlanyp alnandan soňra, tirsek bilen şatunyň ululyklary öňki meseledäki ýaly tapylýar.

Tirsek-polzunly mehanizmiň taslamasy. 3.6-njy suratda polzunyň iki çetki ýagdaýy we hereket aralygy H berlen. Islendik bir O nokady tirsegiň aýlanma oky diýip alyp, B' we B'' nokatlary birleşdirýäris:

$$OB'' = r + l \;\; we \;\; OB' = l - r.$$

OB' we OB'' aralyklary ölçäp, tirsek (r) bilen şatunyň (l) ululyklaryny tapýarys.



3.6-njy surat

Bu meseläniň hem çözgüdi köp, sebäbi O nokady erkin saýlap aldyk.

Tirsek-polzunly mehanizmde basyş burçy şatun bilen polzunyň tizliginiň ugrunyň arasynda. Şol burç mehanizmiň ýagdaýyna görä üýtgeýär. Tirsek wertikal ýagdaýynda bolanda, basyş burçy iň uly ýagdaýda bolýar. Şonuň üçin taslama edilýän tirsek-polzunly mehanizmiň ölçegleri aşakdaky deňsizligi kanagatlandyrmaly:

$$\frac{r+e}{l} \le \sin \delta_{\max}.$$

Önümçilikde köplenç polzunyň (B nokadyň) hereket ýolunyň çyzygy tirsegiň aýlanma okundan geçýän ($e=0$) mehanizmleri ulanýarlar. Şol mehanizmlerde polzunyň hereket ýoly tirsegiň ikeldilen radiusyna deň:

$$H = 2r.$$

Mehanizmiň ululyklaryny kiçeltmek üçin şatunyň uzynlygyny kiçeltmeli bolýar, ýöne basyş burçy ulalýar.

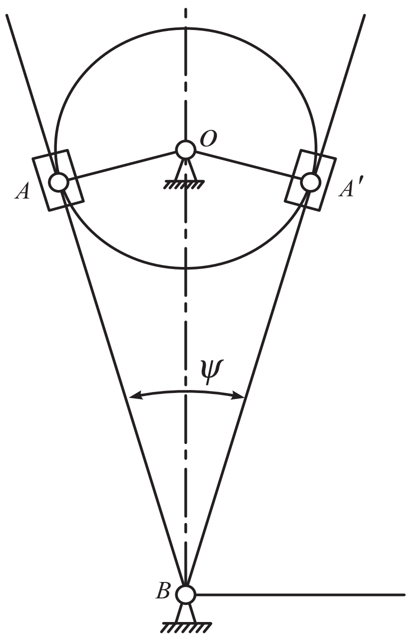
$$\frac{r}{l} \leq \sin\delta_{\max}.$$

Önümçilikde ulanylýan mehanizmlerde tirsegiň radiusynyň şatunyň uzynlygyna gatnaşygyny aşakdaky ýaly alýarlar:

$$\frac{r}{l} = \frac{1}{3} \div \frac{1}{5}.$$

3.4. Kulisaly mehanizmiň taslamasy

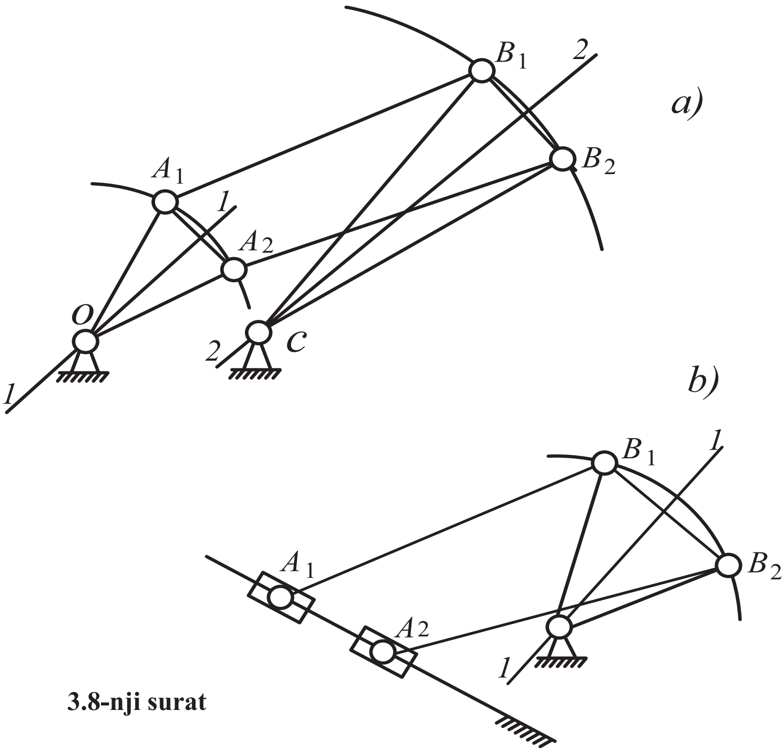
Kulisanyň iki çetki ýagdaýy we olaryň arasyndaky burç ψ berlen. Kulisaly mehanizmlerde tirsegiň A nokadynyň hereket ýoly töwerek (*3.7-nji surat*), çetki ýagdaýda kulisalar şol töwerege galtaşýar. Suratdan görnüşi ýaly, ψ burç berlende, tirsegiň radiusyny we kulisanyň uzynlygyny tapmak aňsat. Ululyklary kesgitlenilende, konstruktiw häsiýetleri göz öňünde tutulmaly: $\frac{r}{l_{OB}} = \sin\frac{\psi}{2}$.



3.7-nji surat

3.5. Şatunyň berlen ýagdaýlaryna görä taslama geçirmek

Dört zwenoly şarnirli mehanizmiň şatunynyň iki ýagdaýy A_1B_1 we A_2B_2 berlen (*3.8-nji surat*). Şol mehanizmiň taslamasyny geçirmek üçin iki töwerek geçirmeli,



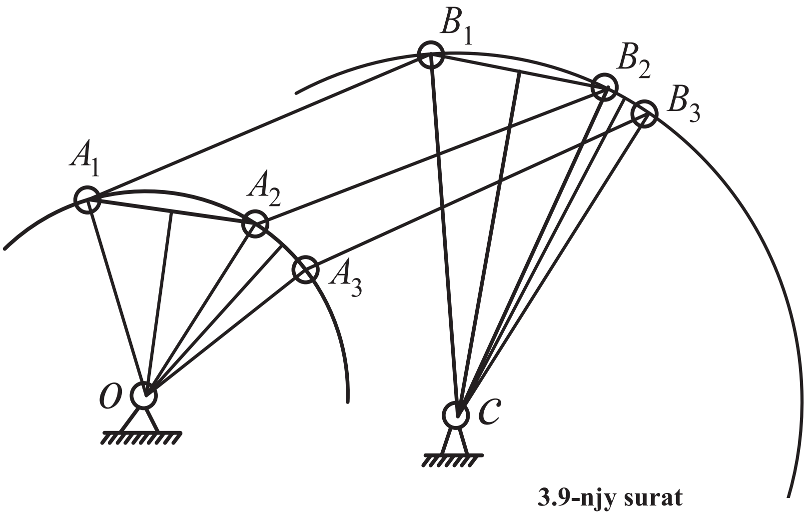
3.8-nji surat

sebäbi *A* we *B* nokatlaryň hereket ýollary töweregiň dugasy boýunça. Şol nokatlardan töwerekleri geçirip, dört zwenoly şarnirli mehanizmiň taslamasyny geçirmek gaty aňsat. Şol töwerekleriň radiuslary, gözlenýän zwenolaryň uzynlyklary bolýar. Iki nokatdan birtopar töwerekler geçirip bolýar. Şol töwerekleriň merkezleri *1 – 1* we *2 – 2* çyzyklaryň üstünde bolýar. Agzalan çyzyklar A_1A_2 we B_1B_2 çyzyklaryň ortasyndan geçirilen. Bu meseläniň hem köp çözgüdi bolýar. Şarnirleriň merkezlerini *O* we *C* nokatlary *1 – 1* we *2 – 2* çyzyklaryň islendik nokadyny alyp bolýar (*3.8-nji a surat*).

5. *

Eger A nokadyň hereket ýoly töwerek däl-de, göni çyzyk bolmaly bolsa, onda ol tirsek-polzunly mehanizm bolýar (*3.8-nji b surat*).

Eger-de şatunyň üç ýagdaýy $A_1 B_1$; $A_2 B_2$; $A_3 B_3$ (*3.9-njy surat*) berlende, üç nokatlardan A_1; A_2; A_3 we B_1; B_2; B_3 töwerekler geçirmeli. Şol töwerekleriň merkezlerini tapmak üçin $A_1 A_2$ we $A_2 A_3$ aralyklaryň ortasyndan hem-de B_1B_2 we B_2B_3 aralyklaryň ortasyndan şol çyzyklara perpendikulýar çyzyklar geçirip, kesişen nokatlary O we C töwerekleriň merkezleri bolýar. Töwerekleriň radiuslary gözlenýän zwenolaryň uzynlyklary bolýar. Bu meseläniň bir çözgüdi bar.



3.9-njy surat

3.6. Ortaça tizligiň üýtgeýiş koeffisiýenti. Berlen ortaça tizligiň üýtgeýiş koeffisiýenti boýunça taslama

3.4-nji suratda egri tirsek deňölçegli tizlik bilen aýlananda koromyslonyň çepden saga (öňe hereket) aýlanýanlygy aýdyň görünýär, soňra sagdan çepe (yzyna hereket) aýlanýar. Şol iki hereket deň däl. Hakykatda çepden saga geçen wagty yzyna gaýdan wagtyna deň däl. Öňe hereket edende, tirsek OA' ýagdaýdan OA'' ýagdaýa geçýär, $180^{\circ} - \Theta$ burça aýlanýar. Yzyna hereket edende, tirsek OA'' ýagdaýdan OA' ýagdaýa geçende, onuň burçy $180 + \Theta$ bolar.

Tirsek deňölçegli aýlananda, koromyslonyň öňe we yza hereketi şol burçlaryň gatnaşygyna ters proporsiýada bolýar.

Ahyrky zwenonyň öňe we yza hereket edendäki ortaça tizlikleriniň gatnaşygyna ahyrky zwenonyň ortaça tizliginiň üýtgeýiş koeffisiýenti diýilýär. Ol aşakdaky ýaly:

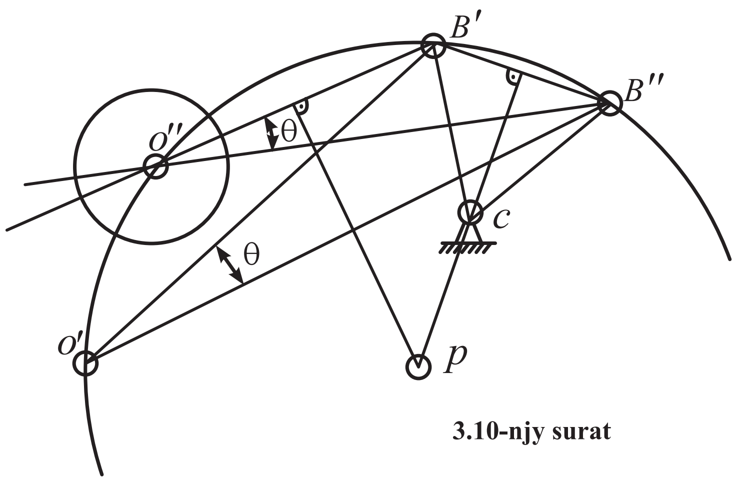
$$K = \frac{180 + \theta}{180 - \theta}, \tag{3.4}$$

bu ýerde Θ – iki çetki ýagdaýda şatunlaryň arasyndaky burç.

Önümçilikde ortaça tizligiň üýtgeýiş koeffisiýenti boýunça taslama geçirmeli bolýar. Meselem: metal ýonujy (strogalnyý) stanokda metal ýonulanda, kesiji (rezes) guralyň tizligi deňölçeglä golaý ýa-da kiçi bolmaly, kesiji (rezes) gural yza gaýdanda çalt hereket etmeli. Şonuň ýaly mehanizmleriň taslamasy geçirilende, ortaça tizligiň üýtgeýiş koeffisiýentini hökman hasaba almaly.

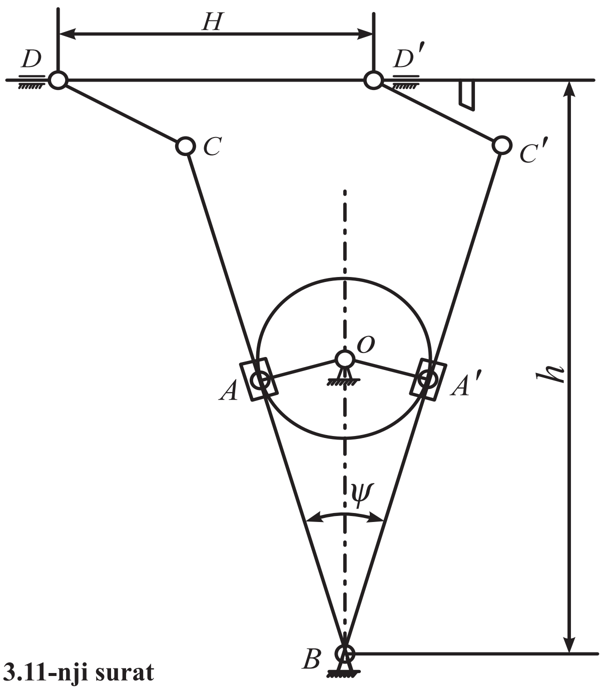
Tirsek-koromysloly mehanizmiň ahyrky zwenosynyň ortaça tizliginiň üýtgeýiş koeffisiýenti boýunça taslamasyny geçirýäris. Koromyslonyň iki iň çetki CB' we CB'' ýagdaýlary berlen. Şol iki çetki ýagdaýlaryň aralygynda koromyslo berlen, ortaça tizligiň üýtgeýiş koeffisiýenti K boýunça hereket etmeli. (3.4) deňlemäni başgaça ýazýarys:

$$\theta = \frac{K - 1}{K + 1} \cdot 180°.$$



3.10-njy surat

Koromyslolaryň B' we B'' nokatlaryndan $B'1$ we $B''2$ çyzyklary geçirýäris (*3.10-njy surat*). Şol iki çyzyklaryň arasyndaky burç Θ deň bolmaly. $B'1$ we $B''2$ çyzyklaryň kesişen nokady O tirsegiň aýlanma merkezi bolýar. Bu meseläniň çözgüdi köp. Beýleki çözgütlerini kesgitlemek üçin B' we B'' nokatlardan töwerek geçirmeli. Şol töweregiň merkezi P nokat. Töweregiň üstünde islendik nokady alsak, şol nokat tirsegiň aýlanma merkezi bolýar, sebäbi B' we B'' nokatlardan şol saýlanan nokada geçirilen çyzyklaryň arasyndaky burç Θ deň bolýar (*3.10-njy surat*). O nokady saýlap alanyňda, basyş burçuny we başga konstruktiw aýratynlyklary göz öňüne tutmaly. Zwenolaryň ululyklary öň seredilen meseleleriňki ýaly kesgitlenýär.



3.11-nji surat

Mesele. Kese ýonujy stanogyň taslamasy (*3.11-nji sur.*).

Berlen: ýonujy guralyň hereket ýoly $H = 500\ mm$, ortaça tizliginiň üýtgeýiş koeffisiýenti $K = 1{,}8$. Tirsegiň we kulisanyň aýlanma oklarynyň aralygy $l_{OB}=250\ mm$.

Çözülişi:

Koromyslonyň çetki ýagdaýynyň aralyk burçy bolar:

$$\psi_{\max} = \theta = \frac{K-1}{K+1} \cdot 180 = \frac{1,8-1}{1,8+1} \cdot 180 = 51^{\circ}30'.$$

Zwenolaryň ululyklaryny kesgitleýäris:

$$\sin\frac{\psi_{\max}}{2} = \frac{H}{2l_{BC}},$$

onda: $$l_{BC} = \frac{H}{2\sin\frac{\psi_{\max}}{2}} = \frac{500}{2\sin\frac{51^{\circ}30'}{2}} = 575\,mm.$$

3.11-nji suratdan:

$$\sin\frac{\psi_{\max}}{2} = \frac{l_{OA}}{l_{OB}}.$$

Tirsegiň radiusy deň:

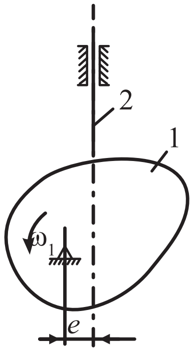
$$l_{OA} = l_{OB}\sin\frac{\psi_{\max}}{2} = 250\sin\frac{51^{\circ}30'}{2} = 108,5\,mm.$$

Ýonujy guralyň süýşme çyzygy bilen koromyslonyň aýlanma okunyň aralygy h we şatunyň uzynlygy l_{DC} konstruktiw aýratynlygy boýunça $h > l_{BC}$ diýip almaly.

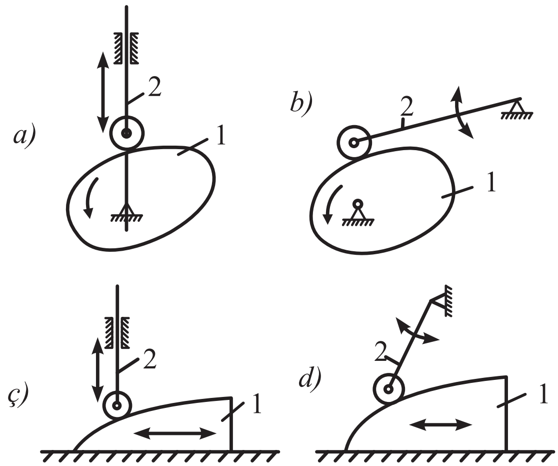
IV BÖLÜM
KULAÇOKLY MEHANIZM

4.1. Kulaçokly mehanizmleriň görnüşleri

Maşyngurluşygynda köp ýaýranlaryň biri-de kulaçokly mehanizmlerdir. Ýönekeý kulaçokly mehanizm aýlanma hereketiniň esasynda üýtgeýän egri elementden – kulaçok (1) diýilýän ýörediji zwenodan we süýşme hereketiniň esasynda iteriji 2 – eýeriji zwenodan durýar (*4.1-nji surat*). Kulaçok we iteriji IV klas ýokary kinematik jübüti emele getirýär. Belli bolşy ýaly, V klas pes kinematik jübütler tekiz mehanizmlerde bary-ýogy iki görnüşde – aýlanma we süýşme, emma ýokary kinematik jübütler – ummasyz köp. Ýokary kinematik jübüt bolanlygy sebäpli, kulaçogyň gerekli profilini saýlap alyp, iteriji zwenonyň islendik hereket kanunyny aňsat ýerine ýetirip bolýar.



4.1-nji surat



4.2-nji surat

Önümçilikde ýörediji zwenonyň arakesmesiz hereketinde eýeriji zwenonyň säginmeli hereketi ýygy-ýygydan gerek bolup durýar, muny kulaçokly mehanizmleriň üsti bilen amala aşyrmak bolýar. Bu bolsa kulaçogyň profiliniň degişli ýerinde onuň aýlanma merkezine görä töweregiň dugasy boýunça ýerine ýetirilýär.

Kulaçokly mehanizmler awtomat-stanoklarda örän giňden ulanylýar.

Kulaçokly mehanizmiň kulaçogynyň we iterijisiniň hereketleriniň dürlüligi boýunça aşakdaky esasy görnüşlerde ýasalýar (*4.2-nji surat*):

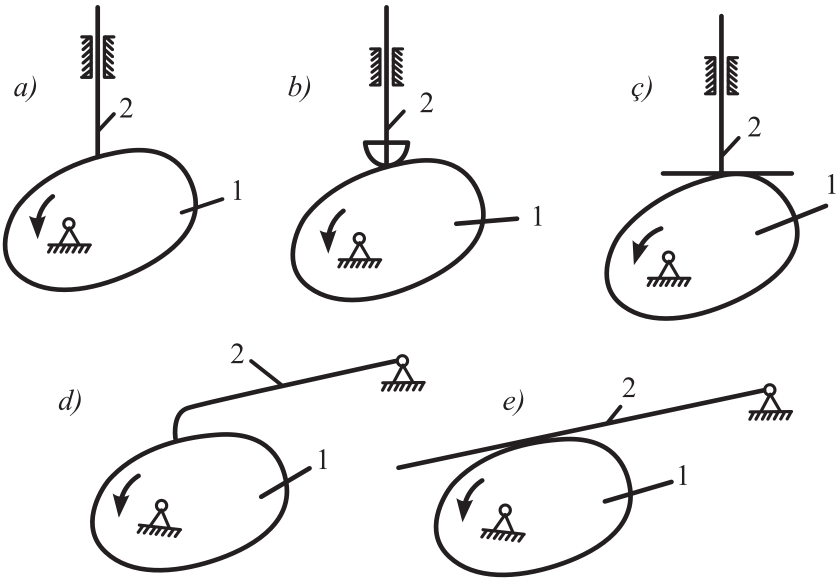
a) mehanizmler, kulaçogyň aýlanmasyny iterijiniň süýşmesine öwürýär;

b) mehanizmler, kulaçogyň aýlanmasyny iterijiniň aýlanmasyna öwürýär;

ç) mehanizmler, kulaçogyň süýşmesini iterijiniň süýşmesine öwürýär;

d) mehanizmler, kulaçogyň süýşmesini iterijiniň aýlanma hereketine öwürýär.

Kulaçokly mehanizmleriň birinji iki görnüşi önümçilikde has köp ulanylýar. Kulaçokly mehanizmleriň birinji görnüşi, eger iterijiniň hereket çyzygy kulaçogyň aýlanma okunyň üstünden geçse, onda ol merkezi (*4.2-nji a sur.*), eger iterijiniň hereket çyzygy kulaçogyň aýlanma okunyň üstünden geçmese, onda ol merkezi däl ýa-da garyşyk bolup bilýär, ondan käbir e ululyga süýşmesine, ekssentrisitet diýilýär (*4.1-nji sur.*).



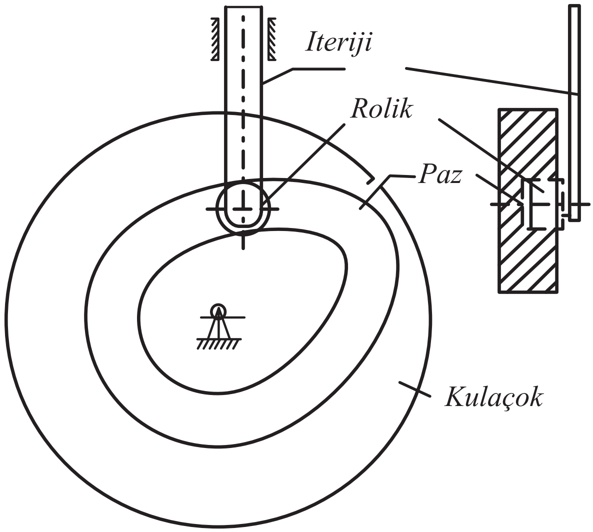
4.3-nji surat

Kulaçokly mehanizmleriň iterijileri kulaçoga galtaşma elementlerine baglylykda, aşakdaky görnüşlerde bolýar:

1. Ýiti uçly iteriji (*4.3-nji a, d sur.*), onuň ujy örän kiçi radius bilen ýasalan. Bu iterijileriň kemçiligi–olaryň iýilmä durnuklylygy pes, degişlilikde olar diňe ýuwaş ýörişli, geçirýän güýji ujypsyz bolan kulaçokly mehanizmlerde ulanylyp bilner.

2. Sferiki kömelek şekilli iteriji (*4.3-nji b sur.*), profili sfera boýunça çyzylan.

3. Ýasy (tarelkaly) iteriji (*4.3-nji ç, e surat*), profili tekiz bolýar. Bu iterijiniň artykmaçlygy – güýjüň ugruny ýerlikli «ugrukdyrýar». Ýöne, ýasy iterijili kulaçogyň hemme profilleri hökman güberçek bolmalydyr.



4.4-nji surat

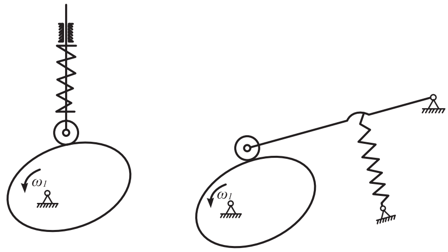
4. Silindr rolikli iteriji (*4.2-nji sur.*). Bu kulaçokly mehanizmleriň artykmaçlygy – öňki agzalanlaryň hemmesi bilen deňeşdirilende iýilmä durnukly bolýar, profiliň ýokary kinematik jübütiň typma sürtülmesi, aýlanma sürtülmesi bilen çalşylýar, ýöne rolik iterijili kulaçokly mehanizmiň daşky ölçegi ulalýar.

Kulaçokly mehanizmiň iş döwründe iterijiniň işçi üstüniň kulaçogyň profilinden üzülýän tarapyna ugrukdyrylan inersiýa güýji döreýär. Şonuň üçin kulaçokly mehanizmden edilýän esasy talaplaryň biri, kulaçok bilen iteriji hemişe galtaşmada bolmaly.

Kulaçok bilen iterijiniň ýokary kinematik jübütiniň utgaşmasy käte kinematiki (geometriki), käte-de güýç sarp edilýän ýerlerde ulanylýar.

Mysal üçin, pazalaýyn utgaşmaly kulaçokly mehanizmde kinematiki hyzmat edip biler, 4.4-nji suratda görkezilen shema. Kulaçogyň pazasynda, iki deňdaşlykdaky (ekwidistantly) üst çyzylan we oňa iterijiniň roligi girýär, öz erkine mümkinçilik bermez ýaly ýerleşdirilýär.

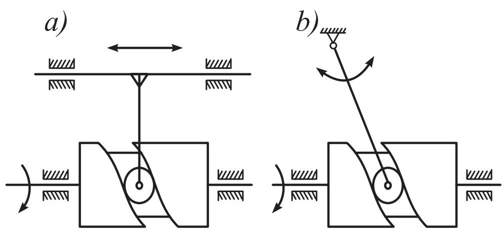
Güýç utgaşmasy aglaba ýagdaýda (*4.5-nji surat*) pružin arkaly amala aşyrylýar (ýokardaky suratlarda pružinler görkezilmedi).



4.5-nji surat

Käte utgaşma güýjüni döretmek üçin pnewmatiki ýa-da gidrawliki gurluşlar ulanylýar. Käwagt haýal hereketli kulaçokly mehanizmlerde güýç utgaşmasy ýüküň kömegi bilen amala aşyrylýar. Ýöne bu hili utgaşmalarda mehanizmiň gabarasy ep-esli ulalýar we olar örän seýrek ulanylýar. Kulaçokly mehanizmde utgaşdyrmanyň zerurlygy konstruksiýany çylşyrymlaşdyrýar, bu bolsa öz gezeginde mehanizmiň ýetmezçiligidir. Kulaçogyň başga bir ýetmezçiligi profili ýasamagynyň ondan has hem ýokary takyklykdaky talap edilýän ýagdaýydyr.

Seredilip geçilen ýasy kulaçokly mehanizmlerden başga, tehnikada giňişlikde hereket edýän kulaçokly mehanizmler hem ulanylýar. Bu mehanizmleriň birnäçe görnüşiniň shemalary 4.6-njy *a*, *b* suratda görkezilen. Suratda hereketiň öwrülmesi anyk görkezilen.



4.6-njy surat

4.2. Kulaçokly mehanizmleriň ýagdaýyny kesgitlemek

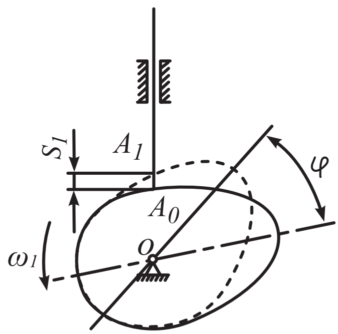
Kulaçokly mehanizmleriň derňewiniň meseleleri iterijiniň ýagdaýynyň kulaçogyň ýagdaýyna we iterijiniň tizligine hem tizlenmesine baglylykda kesgitlenmegine getirýär.

Ýagdaýyny has ýönekeý merkezi ýiti iterijili kulaçokly mehanizmden kesgitläp başlarys.

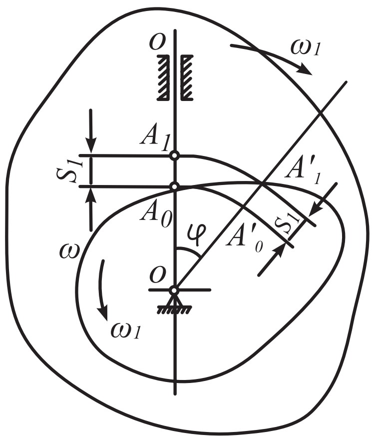
Ýiti iterijili merkezi kulaçokly mehanizm

Goý, kulaçokly mehanizm berlen bolsun (*4.7-nji surat*). Berlen φ burçda kulaçok öwrülende iterijiniň ýagdaýyny kesgitlemeli.

Kulaçoga baglylykda iterijiniň ýagdaýyny kesgitlemegi ýönekeý usul bilen geçirmek mümkin, ýagny berlen φ burçda kulaçogy öwrüp (kulaçogyň bu ýagdaýy suratda punktir bilen görkezilen), kulaçogyň profili bilen iterijiniň hereketiniň kesişme çyzygynyň nokadyny (A_1 nokadyny) taparys, çünki seredilýän ýagdaý iterijiniň ujy. $s_1=A_0A_1$ ululyk berlen φ burçda kulaçogyň öwrülen ýagdaýyndaky iterijiniň süýşmesi bolar.



4.7-nji surat



4.8-nji surat

Ýöne, şeýle gurmak kyn we takyk däl, şonuň bilen birlikde-de, kulaçogyň çylşyrymly profilini gurmak talap edilýär.

Eger derňew hereketiň tutuş sikli üçin, ýagny kulaçogyň doly aýlawy üçin geçirilse, bu usul hem onuň aýratyn çylşyrymlylygydyr. Bu ýagdaýda kulaçogyň profiliniň tutuş hatary gelip çykar.

Eger-de hereketiň öwürme usulyny ulansak, mesele has ýeňilleşer. Bu usul aşakdakylardan ybarat.

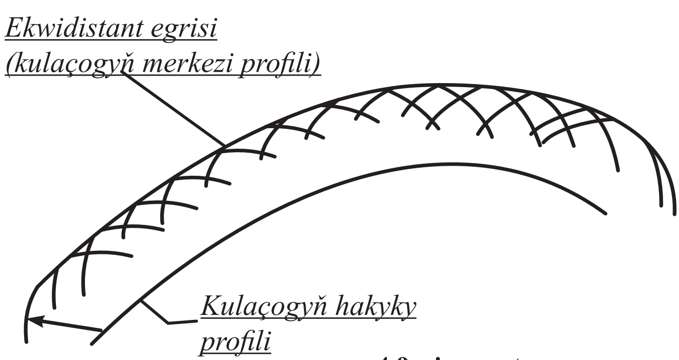
Belläp geçişimiz ýaly, hemme kulaçokly mehanizmlerde direg bilen bilelikde aýlanma hereketi ω_1 aýlaw tizligi bilen iteriji O okunyň töwereginden aýlanýar (*4.8-nji surat*). Zwenolaryň otnositel hereketleri mundan üýtgemeýär. Emma kulaçok koordinatanyň hereketsiz okuna görä hereketsiz durar, iteriji bolsa daýanjy bilen bilelikde kulaçogyň okunyň töwereginden burç tizliginiň aýlanma ugrunyň garşysyna, kulaçogyň burç tizliginiň absolýut ululygyna deň aýlanar. Şonuň üçin berlen φ burç boýunça kulaçogyň öwrülmegi bilen birlikde, edil şol burç bilen iteriji (daýanjy bilen bilelikde) hem öwrüler, ýöne garşy tarapa. Iterijiniň hereket çyzygy bu *0–1* ýagdaýy eýeländе, ýagny iterijiniň gözlenýän otnositel ýagdaýy gelip çykar. *0–1* çyzyk bilen kulaçogyň profiliniň kesişme nokady A_1 iterijiniň ujunyň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar.

Iterijiniň ujunyň hakyky gözlenýän ýagdaýyny kesgitlemek üçin iterijiniň hakyky hereket çyzygynda OA_1 radiusyny bellik etmek ýeterlik. Alnan A_1 nokat iterijiniň ujunyň hakyky gözlenýän ýagdaýy bolar. $s_1=A_0A_1$ kesim iterijiniň gözlenýän süýşmesi bolar. Bu süýşmäni iterijiniň otnositel ýagdaýynyň *0–1* çyzygy boýunça ölçemek bolar, onuň üçin bu çyzykda OA_0 radiusly bellik etmeli (A'_0 nokat). $A'_0A'_1$ kesim bolsa iterijiniň gözlenýän süýşmesi $s_1= A'_0A'_1$ bolar.

Gurlan ýagdaýlarda daýanjyň ýagdaýy görkezilmeýär. Diňe iterijiniň hereket çyzygynyň otnositel ýagdaýyny getirmek zerur.

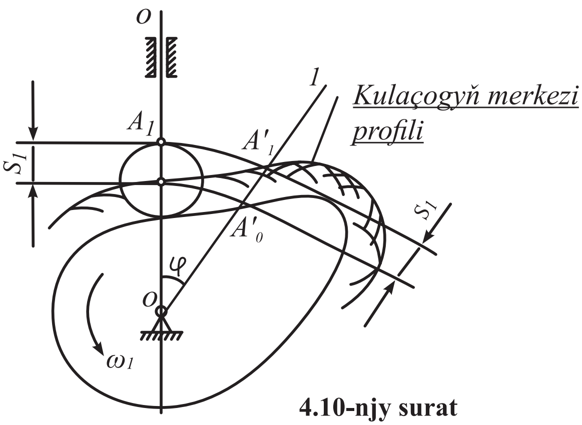
Iterijisi tigirçekli, merkezi kulaçokly mehanizm

Mysalyň bu görnüşinde kulaçogyň φ burçdaky öwrüminde iterijiniň ýagdaýyny we süýşmesini aşakdaky görnüşde kesgitläris.



4.9-njy surat

Roligiň aýlanma merkezi (*A* nokat) hemişe kulaçogyň hakyky profilinden roligiň radiusyna r_0 deň aralykda alynýar, çünki ol kulaçoga görä, r_0 ululykda onuň profilinden deň daşlyk, ýagny **kulaçogyň merkezi profili** diýlip atlandyrylýan **ekwidistant egrilik** boýunça süýşýär. Yzygiderlikde, iterijisi rolikli kulaçokly mehanizmi kinematiki derňemek üçin, haçanda kulaçok merkezi profili boýunça ýerine ýetirilýän bolsa, onda ýiti iterijili kulaçokly mehanizm bilen hem çalyşmak bolar.



4.10-njy surat

Merkezi profili (ekwidistant egrisi) aşakdaky ýaly gurulýar. Roligiň r_0 radiusy bilen duganyň tutuş hataryny geçireris. Merkezleri kulaçogyň hakyky profilinde ýatar. Daşyna aýlanan dugalar merkezi profili bolar (*4.9-njy surat*).

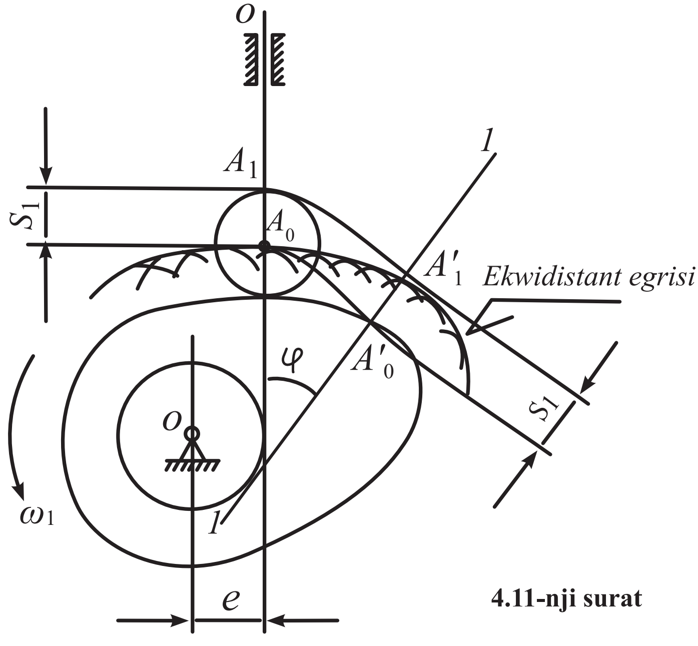
Bu görnüşde, kulaçogyň berlen öwrülme φ burçy boýunça rolikli iterijiniň ýagdaýyny we süýşmesini kesgitlemek meselesini çözmeklik, öňki meselelere aňsatlyk bilen getirilýär.

Iterijiniň ýagdaýyny we kulaçogyň φ burçda öwrülmesinde onuň süýşmesiniň kesgitlenişi 4.10-njy suratdan düşnükli.

Iterijisi tigirçekli merkezi däl kulaçokly mehanizm

Bu ýerde hem roligiň aýlanma merkezi (*A* nokat) kulaçoga görä merkezi profili boýunça süýşmeli bolar.

φ burçda kulaçogyň öwrülmesinde iterijiniň ýagdaýyny kesgitlemek üçin öwürme usulyny ulanarys, çünki kulaçok hereketsiz galar, iteriji bolsa daýanjy bilen bilelikde kulaçogyň aýlanma okuna görä, berlen φ burçda, garşy tarapa öwrüler. Çünki iterijiniň hereket çyzygy kulaçogyň aýlanma okundan *O* hemişelik aralykda e (ekssentrisitet) alynýar we öwrülmede *O* okdan bu aralykda saklanýar, ýagny e radiusyň töweregine galtaşmaly bolýar we *1–1* ýagdaý emele geler. Kulaçogyň merkezi profili bilen *1–1* çyzygyň kesişme nokady (A'_1 nokat) roligiň merkeziniň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar. Roligiň merkeziniň hakyky ýagdaýyny kesgitlemek üçin, OA'_1 radiusyny iterijiniň hakyky hereket çyzygynda bellik etmeli. Alnan A_1 nokat iterijiniň merkeziniň hakyky gözlenýän ýagdaýy bolar.

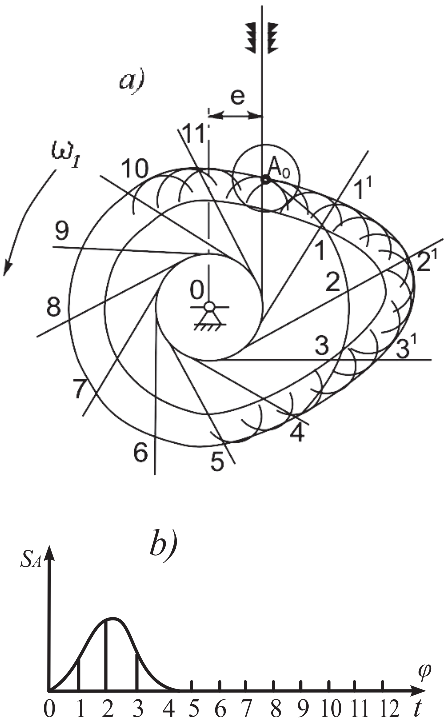


4.11-nji surat

Bu süýşmäni *1–1* çyzyk boýunça ölçemek bolar, munuň üçin roligiň okunyň başlangyç ýagdaýyny (A_0) OA_0 radius boýunça *1–1* çyzyga göçürmek gerek (A'_0 nokadyny alarys). Şeýle hem $A'_0A'_1$ kesim iterijiniň gözlenýän süýşmesi bolar:

$$s_1 = A_0A_1 = A'_0\,A'_1.$$

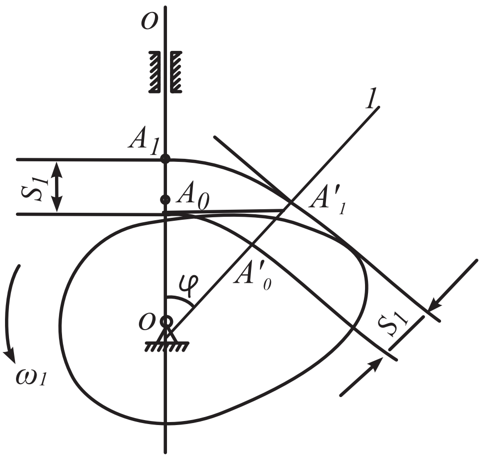
Kulaçogyň doly aýlawy üçin iterijiniň otnositel ýagdaýynyň we onuň süýşmesiniň (ýogyn çyzykly görkezilen *1–1′, 2–2′, 3–3′*, ... kesimlere degişlilikdäki süýşmesiniň) kesgitlenilişi 4.12-nji *a* suratda görkezilen. Bu maglumat boýunça iterijiniň s_A süýşmesiniň kulaçogyň öwrülme φ burçuna (ýa-da t wagta) baglylygy 4.12-nji *b* suratda gurlan.



4.12-nji surat

Ýasy iterijili kulaçokly mehanizm

Kulaçogyň berlen φ burçdaky öwrülmesinde ýasy iterijiniň ýagdaýyny kesgitlemek üçin öwürme usulyny ulanarys, ýagny kulaçogy hereketsiz galdyrarys, iterijini bolsa (daýanjy bilen bilelikde) φ burçda kulaçogyň aýlanma ugruna garşylyklaýyn ugur boýunça öwreris. Iterijiniň hereket çyzygyny *0–1* ýagdaýdan alarys.



4.13-nji surat

Iterijiniň çanagynyň ýagdaýyny kesgitlemek üçin kulaçogyň profiline şeýle ýagdaýda galtaşma geçirmek gerek, ýagny ol *0–1* çyzyga perpendikulýar bolmaly (adatça çanak iterijiniň hereket ugruna perpendikulýar. Eger çanak bilen iterijiniň hereket ugrunyň arasyndaky burç gönüden tapawutlansa, onda gurulýan galtaşmany *0–1* çyzyga şol burça baglylykda geçirmek gerek).

Geçirilen galtaşma iterijiniň çanagynyň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar. Iterijiniň hakyky ýagdaýyny kesgitlemek üçin OA'_1 radiusy boýunça (A'_1 nokat *0–1* göni bilen galtaşmanyň kesişme nokady bolar) iterijiniň hereketiniň hakyky ugrunda bellik etmeli (A_1 nokat). A_0A_1 kesim iterijiniň gözlenýän süýşmesi bolar. Bu süýşmegi *0–1* göni boýunça kesgitlemek bolar, munuň üçin OA_0 radiusy boýunça bu gönüde bellik etmek gerek (A'_0 nokat). $A'_0A'_1$ kesim hem gözlenýän şüýşme bolar:

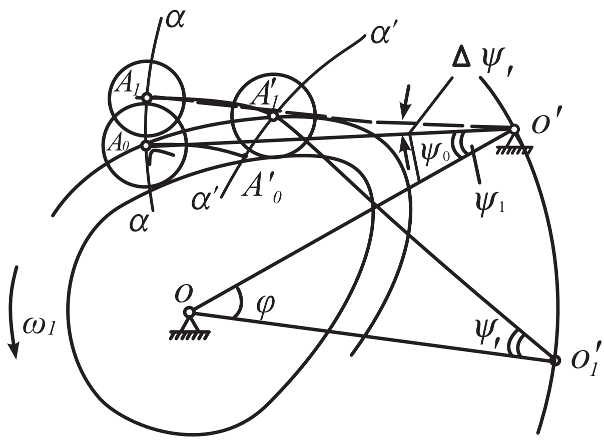
$$s_1 = A_0A_1 = A'_0A'_1.$$

Rolikli, yrgyldaýan iterijili kulaçokly mehanizm

Bu mehanizmde kulaçogyň profilinden we roligiň diametrinden başga-da, kulaçogyň we iterijiniň aýlanma oklarynyň arasy *OO'* we iterijiniň uzynlygy *O'A* belli bolýar.

Roligiň merkezi (*A* nokat) absolýut hereketde merkezi *O'* nokatda bolan $O'A$ radiusly αα töweregiň dugasy boýunça süýşýär. Kulaçoga görä roligiň merkezi profiliniň merkezine görä süýşýär.

Berlen φ burçda kulaçogyň öwrülmesinde iterijiniň ýagdaýyny we süýşmesini kesgitlemek üçin, hereketiň öwürme usulyny ulanarys, ýagny kulaçogy hereketsiz hasap edip, iterijini $O'A$ daýanjy bilen bilelikde (daýanjyň ýagdaýy OO' merkezi çyzygynyň ýagdaýy boýunça kesgitlenilýär) φ burça kulaçogyň aýlanma okuna O görä oňa garşylyklaýyn ugur boýunça öwreris.



4.14-nji surat

Şeýle öwrülmede iterijiniň aýlanma oky, merkezi O nokatda OO' radiusly töweregiň dugasy boýunça süýşmeli bolar we merkezi çyzyk täze OO'_1 ýagdaýy eýelär, çünki φ burçda O' merkezli çyzygyň hakyky ýagdaýyny düzýär. Soňra O'_1 nokatdan, ýagny iterijiniň aýlanma okunyň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolýan, iterijiniň uzynlygyna deň bolan $O'A$ radius boýunça merkezi profilde bellik ederis. Alnan A'_1 nokat roligiň merkeziniň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar. A'_1 nokat bilen O'_1 nokady birikdirip, iterijiniň gözlenýän otnositel ýagdaýyny alarys. Iterijiniň bir ýagdaýdan başga bir ýagdaýa süýşmesi (öwrülme burçy) iteriji bilen merkezi çyzygyň arasyndaky ψ_1 we ψ_0 burçlarynyň tapawutlaryndan kesgitlenýär:

$$\Delta\psi_1 = \psi_1 - \psi_0.$$

Roligiň merkeziniň hakyky gözlenýän ýagdaýy A_1 kesgitlemek aňsat, eger-de OA'_1 radiusy boýunça onuň hakyky hereket ýolunda – $\alpha\alpha$ dugada bellik etmeli (A_1 nokat). A_1 nokat bilen O' göni çyzygy birleşdirsek, iterijiniň gözlenýän hakyky ýagdaýyny alarys.

$\overset{\frown}{A_0A_1}$ duga, αα duga boýunça ölçenen, A nokadyň gözlenýän süýşmesi bolar, ýagny iterijiniň proporsional burç süýşmesi:

$$\overset{\frown}{A_0A_1} = O'A \cdot \Delta\psi_1 \,,$$

Bu süýşmäni $\alpha'\alpha'$ duga boýunça OA_0 radiusda, A (A'_0) nokadyň başlangyç ýagdaýyna geçirip, ölçäp bolar (*4.14-nji sur.*):

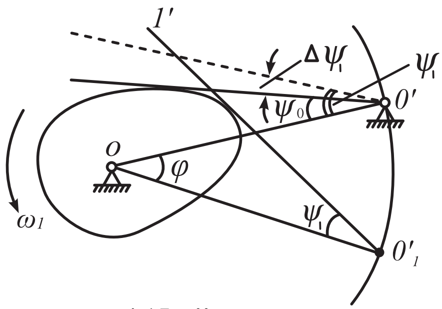
$$\overset{\frown}{A'_0A_1'} = \overset{\frown}{A_0A_1}.$$

Ýasy yrgyldaýan iterijili kulaçokly mehanizm

Bu kulaçokly mehanizmde, kulaçogyň profilinden başga-da, kulaçok bilen iterijiniň aýlanma oklarynyň arasyndaky aralyk OO' berlen.

Kulaçogyň berlen φ burçda öwrülmesinde iterijiniň süýşmesini we ýagdaýyny kesgitlemek üçin öwürme usulyny ulanarys, ýagny kulaçok hereketsiz galar, iteriji daýanjy bilen bilelikde φ burça kulaçogyň aýlanma O okuna görä garşy ugur boýunça öwrüler. Şeýle öwrülmede iterijiniň aýlanma oky OO' radiusly merkezi O nokatly töweregiň dugasy boýunça süýşmeli bolar we merkezi çyzyk OO_1' ýagdaýdan gelip çykar, ýagny berlen φ burçda merkezi OO' çyzygyň hakyky ýagdaýyny düzer. Soňra O'_1 nokatdan iterijiniň aýlanma okunyň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar, kulaçogyň profili bilen galtaşma geçireris (O'_1–$1'$ göni). Bu galtaşma iterijiniň gözlenýän otnositel ýagdaýy bolar.

Iterijiniň bir ýagdaýdan başga ýagdaýa süýşmesi (öwrülme burçy) iteriji bilen merkezi çyzygyň arasyndaky ψ_1 we ψ_0 burçlaryň tapawudyna, ýagny $\Delta\psi_1 = \psi_1 - \psi_0$ ýagdaýa baglylykda kesgitlenýär.



4.15-nji surat

Iterijiniň hakyky gözlenýän ýagdaýyny kesgitlemek üçin *O′* nokatdan merkezi *OO′* çyzyga ψ_1 burç astynda göni çyzyk geçirmek ýeterlikdir (bu göni çyzyk suratda punktir bilen görkezilen).

4.3. Iterijiniň tizligini we tizlenmesini kesgitlemek

Kulaçokly mehanizmiň iterijisiniň tizligini we tizlenmesini dürli usullar bilen kesgitläp bolýar:

1. Kinematik diagramma usuly. Bu usul iterijiniň süýşme diagrammasyndan $s=f(t)$ ýa-da $\psi=f(t)$ grafiki differensirleme usulynda iterijiniň tizliginiň diagrammasy $\upsilon=f(t)$ ýa-da $\omega_2=f(t)$ alnyp, soňra alnan tizligiň diagrammasyny ýene bir gezek grafiki differensirläp, iterijiniň tizlenmesiniň diagrammasynyň $a=f(t)$ ýa-da $\varepsilon=f(t)$ alynmagy bilen jemlenýär. Bu usul öň seredilip geçilen usul (2.5 bölüme seret).

2. Kulaçokly mehanizmleriň ýokary kinematik jübütlerini pes jübütlere çalyşmak we yzygiderlikde çalşylan mehanizm üçin tizliginiň we tizlenmesiniň planlaryny gurmak usuly.

3. Tizligiň we tizlenmäniň planlaryny gönüden-göni kulaçokly mehanizmiň hakyky shemasy boýunça gurmak usuly.

Bu usulda ýiti iterijili kulaçokly mehanizme serederis (4.16-njy *a* surat).

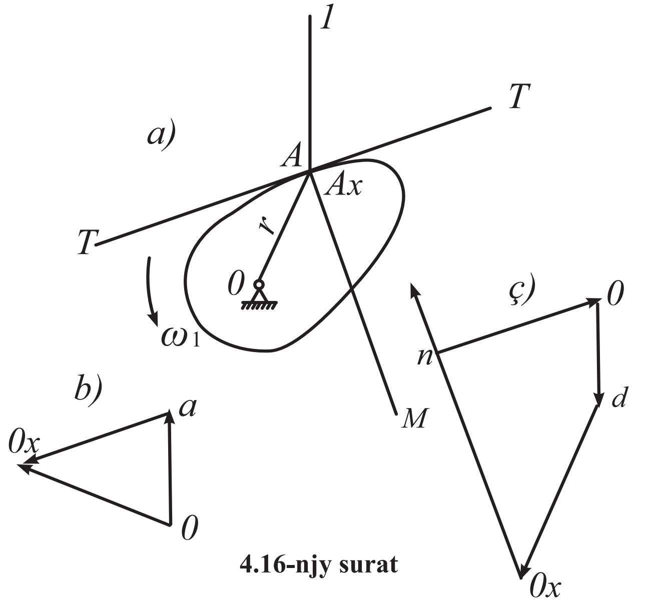
Tizligiň we tizlenmäniň planlaryny gurmak üçin wektor deňlemelerini düzmek gerek.

Iterijiniň ujunyň süýşmesi – A nokada kulaçogyň profiliniň A_x nokady bilen bilelikde göçürme hereketiniň (iterijiniň *A* nokady bilen kulaçogyň A_x nokady gabatlaşýar) we kulaçogyň profiliniň otnositel hereketleriniň jemi hökmünde seretmek bolar.

Degişlilikde, bu iterijiniň ujundaky tizlik bolar:

$$\underline{\overline{\nu}_A} = \underline{\underline{\overline{\nu}_{Ax}}} + \underline{\overline{\nu}_{AAx}}. \qquad (a)$$

Bu deňlemede bir wektor (ν_{Ax}) ululygy we ugry boýunça belli, beýleki ikisiniňki bolsa diňe ugry boýunça belli.



4.16-njy surat

Kulaçogyň A_x nokadynyň tizligi $\nu_{Ax} = \omega_1 \cdot r_{OAx}$ -e deň we ugry radiusyna perpendikulýar: $\overline{\nu}_{Ax} \perp \overline{r}_{OAx}$;

Otnositel tizligi $\overline{\nu}_{AAx}$ kulaçogyň profiline A nokatda galtaşma boýunça ugrukdyrylan, $\overline{\nu}_{AAx}$ II $\overline{TT}$;

Iterijiniň tizligi $\overline{v}_A$ *A–1* çyzyga parallel ugrukdyrylan.

Tizligiň planynyň masştabyny μ_v girizeris we v_A tizligiň wektoryny görkezýän [pa_x] kesimiň uzynlygyny kesgitläris:

$$[pa_x] = \frac{\nu_{Ax}}{\mu_v}.$$

Bu kesimi tizligiň planynyň polýusy – p nokat bilen birleşdirip alarys (*4.16-njy b surat*). (*a*) wektor deňlemesine degişlilikde, bu kesimiň soňundan (a_x nokatdan) $\overline{v}_{AA_x}(II\ \overline{TT})$ wektora parallel çyzyk geçireris, soňra bolsa başlangyçdan (p nokatdan)$\overline{v}_A(II\ \overline{A-1})$wektoryň ugruna parallel geçireris. Bu ugurlaryň kesişmesinde (a nokatda) masştabda $\overline{v}_{AA_x}$ we $\overline{v}_A$ wektorlary aňladylýan $[a_xa]$ $[pa]$ kesimleriň ululyklary kesgitlenilýär. Bu tizlikleriň ululyklary:

$$v_{AA_x} = \mu_v[a_xa],\ v_A = \mu_v[pa].$$

Tizlenmäniň planyny gurmaga başlaýarys.

Iterijiniň tizlenmesi:

$$\overline{a}_A = \overline{a}_{A_x} + \overline{a}_{AA_x}. \tag{b}$$

Şeýlelikde, otnositel hereketi egri çyzykly (kulaçogyň profili boýunça) bolýar, göçürmede bolsa – aýlanma, onda $\overline{a}_{AA_x}$ tizlenme üç tizlenmeden: koriolis, normal we galtaşma tizlenmelerden durýar:

$$\overline{a}_{AA_x} = \overline{a}^k_{AA_x} + \overline{a}^n_{AA_x} + \overline{a}^\tau_{AA_x}.$$

$\overline{a}_{AA_x}$ ululygy (b) deňlemede goýup alarys, onda:

$$\underline{\overline{a}_A} = \underline{\underline{\overline{a}_{A_x}}} + \underline{\underline{\overline{a}^k_{AA_x}}} + \underline{\underline{\overline{a}^n_{AA_x}}} + \underline{\overline{a}^\tau_{AA_x}}. \tag{ç}$$

Bu deňlemede üç wektor ($\overline{a}_{A_x}, \overline{a}^k_{AA_x}, \overline{a}^n_{AA_x}$)ululygy we ugry boýunça belli,($\overline{a}_A$ *we* $\overline{a}^\tau_{AA_x}$) ikisiniňki bolsa – diňe ugurlary boýunça belli:

$\overline{a}_{A_x}$ tizlenme ululygy boýunça $a_{A_x} = \omega_1^2 \cdot r_{OA_x}$ deň we ugry r_{OA_x} radiusy boýunça A nokatdan O merkeze;

koriolis tizlenmesi $\overline{a}^k_{AA_x}$ ululygy boýunça:

$$a^k_{AA_x} = 2\omega_1 \cdot v_{AA_x}.$$

Onuň ugruny kesgitlemek üçin $\overline{v}_{AA_x}$ otnositel tizligiň wektoryny ω_1 ugry boýunça 90°-a öwürmeli, ýagny koriolisiň tizlenmesi TT galtaşmadan perpendikulýar ýokaryk ugrukdyrylan;

normal tizlenme $\overline{a}^n_{AA_x}$ululygy boýunça $\overline{a}^n_{AA_x} = \dfrac{v^2_{AA_x}}{\rho}$, bu ýerde $\rho - A_x$ nokatda profiliň egrilik radiusy (egrilik radiusy belli bolmaly). $\overline{a}^n_{AA_x}$ tizlenme egrilik radiusy boýunça A_x nokatdan M egrilik merkezine tarap ugrukdyrylan;

galtaşma tizlenme $\overline{a}^\tau_{AA_x}$ TT galtaşma parallel ugrukdyrylan;

iterijiniň tizlenmesi $\overline{a}_A$, iterijiniň hereket çyzygynyň boýuna $A–1$ ugrukdyrylan.

Tizlenmäniň planyna masştab μ_a girizeris we tizlenmäniň planynyň wektorlaryna degişlilikde şekillendirilen kesimleriň ululyklaryny kesgitläris:

$$[\pi a_x] = \frac{a_{A_x}}{\mu_a};\ [a_x k] = \frac{a^k_{AA_x}}{\mu_a};\ [kn] = \frac{a^n_{AA_x}}{\mu_a}.$$

π nokady (tizlenmäniň planynyň polýusy) erkin ýerden saýlap alarys (*4.16-njy ç surat*) we ondan (*ç*) wektor deňlemä degişlilikde $\bar{a}_{A_x}$, $\bar{a}^k_{AA_x}$, $\bar{a}^n_{AA_x}$ wektorlary şekillendirýän $[\pi a_x]$, $[a_x k]$ we $[kn]$ kesimleri yzygiderlikde ýokarda görkezilen ugurlarda birleşdirip çykarys.

Soňra n nokatdan $\bar{a}^\tau_{AA_x}(\parallel \overline{TT})$ugruna, π polýusdan bolsa – $\bar{a}_A$ tizlenmäniň$(\parallel \overline{A-1})$ugruna geçireris. Bu ugurlaryň kesişmesi, alnan masştabda $\bar{a}^\tau_{AA_x}$ we $\bar{a}_A$ wektorlary şekillendirýän $[na]$ we $[\pi a]$ kesimleriň ululyklaryny kesgitleýär.

Bu tizlenmeleriň ululyklaryny şu formulalar boýunça hasaplarys:

$$a^\tau_{AA_x} = \mu_a \cdot [na]; a_A = \mu_a \cdot [\pi a].$$

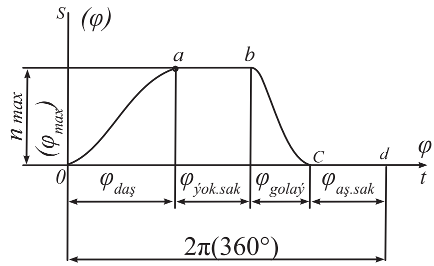
Biz ýiti iterijili kulaçokly mehanizme seredip geçdik. Eger iterijisi rolikli bolsa, onda ilki bilen kulaçogyň merkezi profilini (ekwidistant egriligi) gurmak gerek, galanlary öňki seredilip geçilenlere meňzeş.

4.4. Iterijiniň hereket kanunyny saýlamak

Kulaçokly mehanizmiň derňewi öňki seredilip geçilen meseleleri göz öňünde tutýar, ýagny iterijiniň berlen hereket kanuny boýunça kulaçogyň profili gurulýar. Bu meselä başgaça kulaçogy profilirlemek diýilýär.

Iterijiniň $s=f(t)$ häsiýetli hereket kanuny, ýagny iterijiniň wagta baglylykda süýşmeginiň grafiki diagrammanyň şekili 4.17-nji suratda getirilen. Bu egrilik kulaçogyň deňölçegli aýlanmagy bilen bir wagtda kulaçogyň öwrülme burçundan $s=f(\varphi)$ iterijiniň süýşmegine baglylykda bolar.

Iterijiniň hereketi, kulaçogyň bir aýlawyna baglylykda, umumy ýagdaýda dört faza emele getirýär.



4.17-nji surat

1. Iterijiniň daşlaşma (ýokary galma) fazasy, bu aralykda iteriji h_{max} gerim (bat almak) ululykda galdyrylar (ýa-da eger iteriji aýlanýan bolsa, ψ_{max} gerim burçda aýlanar). Bu faza kulaçogyň $\varphi_{daşl}$. burça $t_{daşl}$. aýlanma wagty üçin bolup geçýär.

2. Iterijiniň ýokarda saklanma fazasy, bu aralykda iteriji ýokarky ýagdaýda saklanýar. Bu faza kulaçogyň $\varphi_{ýok.sak.}$ burçda $t_{ýok.sak.}$ aýlanma wagty üçin bolup geçýär.

3. Iterijiniň golaýlaşma fazasy, bu aralykda iteriji başlangyç ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Bu faza kulaçogyň $\varphi_{golaý.}$ burçda $t_{golaý.}$ aýlanma wagty üçin bolup geçýär.

4. Aşakda saklanma fazasy, bu aralykda iteriji aşaky ýagdaýda saklanýar. Bu faza kulaçogyň $\varphi_{aş.sak.}$ burçda $t_{aş.sak.}$ aýlanma wagty üçin bolup geçýär.

Şeýlelikde, hemme fazalar kulaçogyň bir aýlawynda bolup geçýär, onda hemme fazalaryň burçlarynyň jemi 360°-a deň (ýa-da 2π radian):

$$\varphi_{daşl.} + \varphi_{ýok.sak.} + \varphi_{golaý.} + \varphi_{aş.sak.} = 2\pi\ (360^o) \qquad (4.1)$$

Hemme fazalaryň wagtlarynyň kesimleriniň jemi kulaçogyň bir aýlawynyň T periodyna deňdir:

$$t_{daşl.} + t_{ýok.sak.} + t_{golaý.} + t_{aş.sak.} = T \qquad (4.2)$$

Iterijiniň ýörişi h_{max} (ýa-da iterijiniň ψ_{max} gerimi), şonuň ýaly hem iterijiniň hemme fazalarynyň wagtlarynyň kesimleri we olara degişlilikde kulaçogyň aýlanma burçlary şol operasiýada dolulygyna kesgitlenýär, ýagny kulaçokly mehanizmi ýerine ýetirmeli.

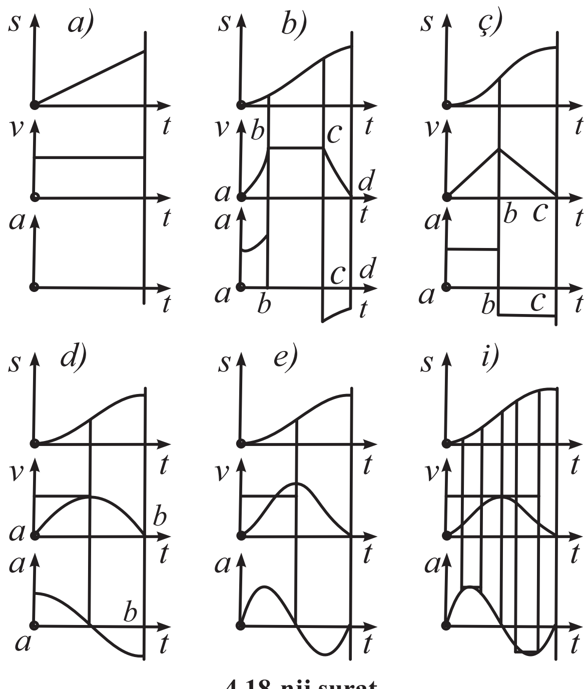
Daşlaşma we gaýdyp gelme fazalarda iterijiniň hereket kanuny, ýagny *s=f(t)* diagrammada *oa* we *bc* egrileriň häsiýetleri, şonuň ýaly-da köp ýagdaýlarda kulaçokly mehanizmiň ýerine ýetirýän operasiýalaryna bagly. Bu ýagdaýda iterijiniň hereket kanuny doly berlen bolýar.

Emma köplenç kulaçokly mehanizmden diňe iterijiniň kesgitli wagt üçin ýörişini h_{max} (ýa-da ψ_{max}) ululykda amala aşyrylmagy talap edilýär. Iteriji zweno haýsy kanun bilen hereket edende-de, tapawudy ýok. Bu ýagdaýda iterijiniň hereket kanunyny (*oa* we *bc* egrileriň häsiýetlerini) konstruktor özbaşdak saýlap biler.

Iterijiniň hereket kanuny saýlananda, onuň tizlenmesiniň birsydyrgynsyz (ýiti) üýtgäp aýlanmagyny dowam etdirýär, çünki tizlenmäniň beýle üýtgemesi, degişlilikde güýjüň (güýç $P = ma$ deň) birden ösmegine getirýär, munuň netijesinde kulaçokly mehanizm işlände urgy bolup geçýär.

Iterijiniň birnäçe hereket kanunynda tizlenmäniň nähili üýtgeýşine seredeliň:

4.18-nji suratda iterijiniň süýşmesiniň dürli kanunlarynyň (bir ugurda) diagrammalary we olara degişlilikdäki tizligiň we tizlenmäniň diagrammalary getirilen.



4.18-nji surat

4.18-nji *a* suratda iterijiniň deňölçegli süýşmesindäki (hemişelik tizlikde) diagrammalar görkezilen. Iterijiniň süýşmesiniň beýle kanunynda onuň hereketiniň başyndaky we ahyryndaky ýerde tizlenmäniň pursatlaýyn (mgnowen) (degişlilikde, güýjüň hem) ösmegi tükeniksizlige çenli bolýar. Şeýle pursatdaky tizlenmäniň (we güýjüň) tükeniksizlige çenli nazary üýtgemesine gaty urgy diýilýär. Elbetde, kulaçogyň we iterijiniň materiallarynyň maýyşgaklygynyň netijesinde önümçilikde tizlenmäniň we güýjüň tükeniksizlige çenli ösmegi bolup geçmeýär, ýöne olar ýeterlik ululykda galýar. Şonuň üçin iterijiniň deňölçegli hereketi bilen kulaçokly mehanizmi diňe kulaçogyň aýlanmasynyň uly bolmadyk tizliginde we kiçi massaly iterijide ulanmaga rugsat edilýär.

4.18-nji *b* suratda töweregiň dugasynyň hereketiniň başynda we ahyrynda göni, töwerek boýunça ýerine ýetirilen iterijiniň süýşmesiniň diagrammasy getirilen. Bu ýerde tizlik diňe hereket wagtynyň ortaky böleginde hemişelik. Bu tizligiň artmagy we onuň kemelmegi sähelçe wagtda däl-de, kem-kemden (*ab* we *cd* ýerdäki egri boýunça) bolup geçýär. Emma iterijiniň şeýle kanunda süýşmesinde dört ýagdaýda (*a, b, c* we *d* nokatlar) tizlenmäniň örän çalt üýtgeýän ýeri ahyrky ululykda bolar. Tizlenmäniň pursatlaýyn üýtgemegine we degişlilikde onuň dinamiki güýjüniň ahyrky ululygynda ösmegine ýumşak urgy diýilýär. Elbetde, ýumşak urguda gaty urgudan dinamiki basyşy ep--esli az. Şonuň üçin ýumşak urguly kulaçokly mehanizmleri kulaçogyň aýlawy *2000 aýl/min*-a çenli ulanmak mümkin.

4.18-nji *ç* suratda iterijiniň deň tizlenýän hereketi üçin tizligiň we tizlenmäniň üýtgeýiş diagrammalary getirilen. Hereketiň beýle kanunynda diagrammanyň birinji böleginde (*ab* ýeri) tizlik (položitel tizlenme) deňölçegli ösýär, diagrammanyň ikinji böleginde bolsa (*bc* ýeri) (otrisatel tizlenme) deňölçegli kemelýär. Tizlenmäniň diagrammasyndan görnüşi ýaly, şu ýerde hem geçenki ýagdaýdaky ýaly *a, b* we *c* nokatlarda ýumşak urgyny görmek bolýar.

4.18-nji *d* suratda, ýagny iterijiniň hereketiniň tizlenmesi kosinusoidal kanun boýunça üýtgeýän diagrammalary getirilen. Bu kanunda tizlik we tizlenme iterijiniň hereket edýän wagtynda endigan üýtgeýär, emma hereketiň başynda we ahyrynda (*a* we *b* nokatda) tizlenmäniň ahyrky ululykda bolýan ýeri, ýagny ýumşak urguly.

4.18-nji *e* suratda iterijiniň hereketiniň tizlenmesiniň sinusoidal kanun boýunça üýtgeýän diagrammalary görkezilen. Bu ýagdaýda tizlik we tizlenme endigan üýtgeýär we öz üýtgemesini nol ululykda başlaýar we soňlaýar. Şonuň üçin bu ýerde tizlenmäniň hiç hili çalt ösmesi ýok we kulaçokly mehanizm urgusyz işleýär. Tizlenmäniň sinusoidal kanunda üýtgemesi iterijiniň hereketiniň has endiganlygyny üpjün edýär we çalt ýöreýän kulaçokly mehanizmler üçin ulanmak bolýar. Bu kanunyň ýetmezçiligi, ýagny iterijiniň tizligi başlangyç hereketde örän haýal ösýär, onuň (ýokary) galmasy hereketiň başynda gijigýär.

4.18-nji *i* suratda tizlenmäniň grafigi iki sany deňtaraply trapesiýa boýunça ýerine ýetirilen iterijiniň hereketiniň diagrammasy görkezilen. Bu ýagdaýda iterijiniň tekiz deň tizlenýän hereketi bolup geçýär. Munuň üçin iterijiniň başlangyç hereketi (edil sinusoidal kanundaky ýaly) juda yza çekilmeýär, trapesiýanyň granynyň ýapgytlyk proeksiýasy t okda trapesiýanyň esasyndan $\frac{1}{4}\ldots\frac{1}{5}$ uly bolmadyk ýagdaýy alynýar. Ýagny tizlenmäniň egrisi çalt artyp bilmez we ol nolda başlar we gutarar, onda hereketiň şeýle kanunynda urgy bolmaz. Tizlenmesi trapeseidal kanunly üýtgeýän kulaçokly mehanizmler kulaçogyň ýokary aýlaw ýygylyklarynda doly ulanylýar.

Iterijiniň hereket kanunyny egri süýşme $s=f(t)$ boýunça subut etmek örän kyn, çünki bu egriler (4.18-nji *b, ç, d, e, i* sur.) daşyndan az tapawutlanýarlar. Diňe tizlenmeleriň egrileri iterijiniň hereketiniň, hususan-da urgularyň we ş. m. doly endiganlygyny berýär. Şonuň üçin hereket kanunlary saýlananda, adatça onuň tizlenmesiniň üýtgeme diagrammasy berilýär. Süýşme $s=f(t)$ diagrammasy kulaçogyň profilini gurmak üçin, tizlenmäniň $a=f(t)$ diagrammasyndan iki gezek integrirlemek usulynda almak zerur.

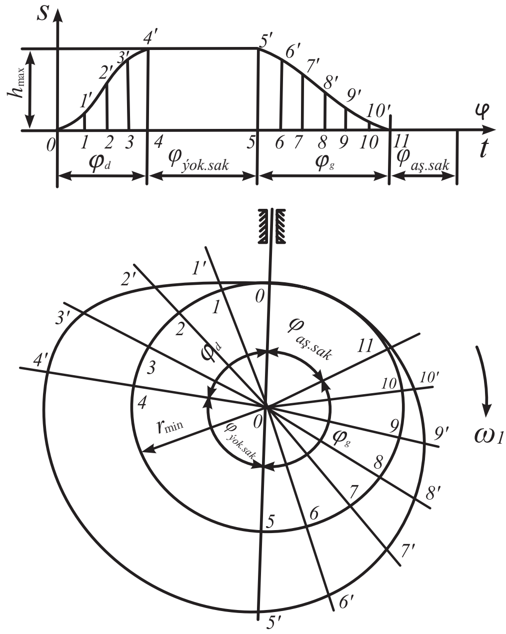
4.5. Kulaçoklaryň şekillerini gurmak

Kulaçogyň şekilini gurmak (profilirlemek), kulaçokly mehanizmi tersine derňemek, çünki berlen hereket kanuny boýunça iterijiniň hereketini üpjün etmegi üçin kulaçogyň şekilini gurmagy talap etmek meselesi bolup durýar.

Kulaçoklaryň şekillerini gurmagy (profilirlemegi) dürli kulaçokly mehanizmlerde serederis. Has ýönekeýden – süýşme hereketli ýiti iterijili merkezi kulaçokly mehanizmden başlarys.

Ýiti iterijili merkezi kulaçokly mehanizm

Berlen: iterijiniň hereket kanuny $s=f(t)$ ýa-da $s=f(\varphi)$, kulaçogyň minimal radiusy r_{min} we kulaçogyň aýlaw ugry (*4.19-njy surat*).



4.19-njy surat

Kulaçogyň şekilini gurmagyň tertibi:

1. $s=f(\varphi)$ diagrammada $\varphi_{daş.}$ daşlaşma we $\varphi_{golaý.}$ golaýlaşma burçlaryny birnäçe sany deň bölege bölýäris (biziňkide φ_d burç dört bölege bölünen, φ_g burç bolsa – alty bölege).

Iterijiniň saklanma $\varphi_{ýok.sak.}$ we $\varphi_{aşak.sak.}$ burçlaryny bölmek gerek däl, barybir kulaçogyň profili bu burçlaryň çäginde hemişelik radiusly töweregiň dugasy boýunça çyzylýar.

2. Dürli φ burçlara baglylykda iterijiniň süýşmesini aňladýan $s=f(\varphi)$ diagrammasy boýunça grafiki (ýa-da analitiki) taparys:

$s_1=\mu_s$ [1-1], $s_2=\mu_s$ [2-2], $s_3=\mu_s$ [3-3] we ş.m.

bu ýerde μ_s – süýşmek masştaby.

[1-1];[2-2] – dürli φ burça baglylykda, $s = f(\varphi)$ diagrammanyň ordinatalary.

Merkezi O nokat (kulaçogyň aýlanma oky) bilen kulaçogyň minimal radiusyna $r_{\min}$ töwerek we O okuň üstünden iterijiniň hereket $O – O$ çyzygyny geçireris.

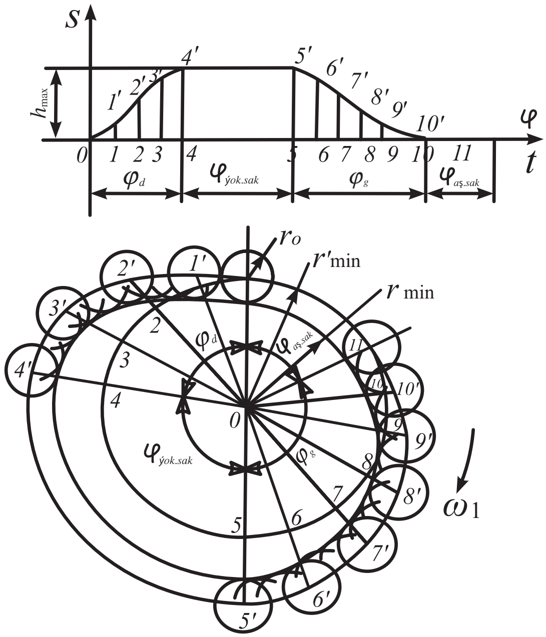
φ burçlaryň belliklerine degişlilikde $s=f(\varphi)$ diagrammada, iterijiniň hakyky hereket çyzygyndan başlap, kulaçogyň aýlanma ugruna garşylyklaýyn tarapa, ähli φ_i burçlaryny ($\varphi_{\text{daş}}$, $\varphi_{\text{ýok.sak.}}$, $\varphi_{\text{golaý.}}$, $\varphi_{\text{aşak.sak.}}$ we aralaryny) ölçäp goýarys we kulaçogyň aýlanma okunyň üstünden O–1, O–2, O–3 we ş.m. şöhleler geçireris, ýagny degişlilikde kulaçogyň berlen φi burçlara öwrülmegine görä, iterijiniň hereket çyzyklarynyň ýagdaýy bolýar.

Bu şöhleleriň boýuna $r_{\min}$ radiusly töwerekden 1–$1'$, 2–$2'$, 3–$3'$, ... kesimleri (bu kesimler ýogyn çyzyklarda görkezilen) ölçäp goýarys. Olar öňki hasaplanan s_1, s_2, s_3, ... süýşmelere deň. Alnan $1'$, $2'$, $3'$ we ş.m. nokatlary endigan egrilik bilen birleşdirip, kulaçogyň profilini alarys. Kulaçogyň profiliniň 0–4, 0–5 şöhleleriniň (olaryň arasyndaky burç $\varphi_{\text{ýok.sak}}$ deň) we 0–11, 0–0 şöhleleriniň arasynda (olaryň arasyndaky burç $\varphi_{\text{aşak.sak.}}$ deň) O merkezden töweregiň dugasy hemişelik radiusly çyzylýar.

Rolik iterijili merkezi kulaçokly mehanizm

Bu ýerde, öňki kulaçokly mehanizmiň berlenlerinden başga-da, r_o roligiň radiusy hem belli bolýar.

Beýle kulaçokda şekil gurmak usuly, roligiň aýlanma merkeziniň süýşmesine görä kulaçogyň hereketi boýunça merkezleşdiriji şekilini gurup başlamak bilen jemlenýär, soňra bolsa kulaçogyň hakyky şekili bolýan içki meňzeş aralykly (ekwidistantly) egrilik gurulýar. Kulaçogyň merkezleşdiriji şekili edil öňki seredilen kulaçogyň hakyky şekiliniň gurluşy ýaly gurulýar. Ýeke-täk aýratynlygy iterijiniň süýşmesiniň hasaby $r'_{\min}= r_{\min}+r_o$ töweregiň radiusyndan alynýar. Rolik iterijili merkezi kulaçokly mehanizmiň gurluşy 4.20-nji suratda görkezilen.



4.20-nji surat

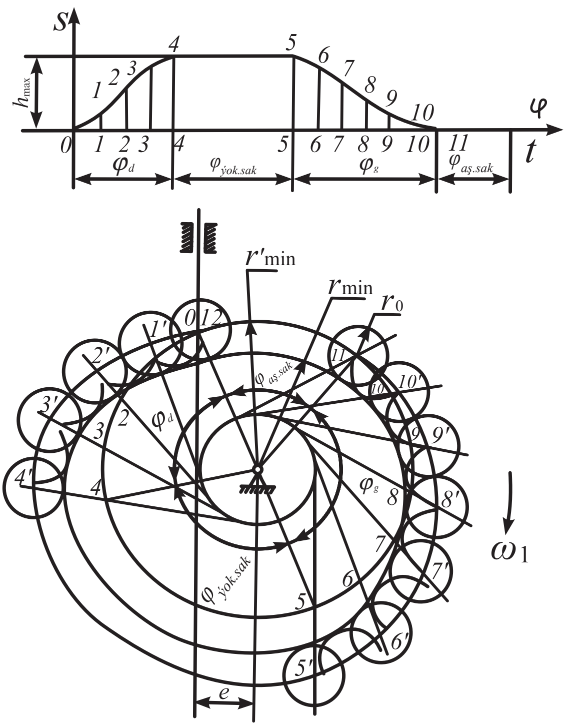
Rolik iterijili merkezi däl kulaçokly mehanizm

Berlen: Iterijiniň hereket kanuny $s=f(\varphi)$, kulaçogyň minimal radiusy r_{min}, iterijiniň roliginiň radiusy r_o, ekssentrisitet we kulaçogyň aýlaw ugry (*4.21-nji surat*).

Kulaçogyň şekiliniň gurluşy şeýle yzygiderlikde geçirilýär.

1 we 2. Birinji iki punkt edil ýiti iterijili merkezi kulaçokly mehanizmiňki ýaly ýerine ýetirilýär.

3.Merkezi *O* nokatda (kulaçogyň aýlanma okunda) $r'_{min}=r_{min}+r_o$ we *e* radiusly töwerek geçirmeli. *e* radiusly töwerekden dik galtaşma–iterijiniň hereket çyzygyny geçireliň. Bu çyzygyň r_{min} radiusly töwerek bilen kesişme nokady (A_0 nokat) roligiň aýlanma okunyň başlangyç (aşaky) ýagdaýy bolar. A_0 nokatdan, kulaçogyň aýlanma ugruna garşylyklaýyn ugra, berlen diagramma degişlilikde φ_i burçlarda r'_{min} radiusly töweregi böleris. Alnan *1, 2, 3, ...* nokatlaryň üstünden *e*



4.21-nji surat

töwerege galtaşma şöhlelerini geçireris. Bu şöhleler kulaçogyň öwrülmesiniň dürli burçlaryna degişlilikdäki iterijiniň hereket çyzygynyň otnositel ýagdaýy bolar.

4. Bu şöhleleriň boýuna r'_{min} radiusly töwerekden, öň hasaplananlara laýyklykda iterijiniň süýşmelerini (*1–1′, 2–2′, 3–3′*,... kesimleri) ölçäp goýarys. Alnan A_0, *1′, 2′, 3′* we ş.m. nokatlaryň üstünden endigan egriligi geçireris – bu kulaçogyň merkezleşdirilen şekili bolar. Merkezi şekiliň *4* we *5* şöhleleriniň (olaryň arasyndaky burç $\varphi_{\text{ýok.sak.}}$ deň) we *11* we *0* şöhleleriniň (olaryň arasyndaky burç $\varphi_{\text{aşak.sak.}}$ deň) aralarynyň dugasy hemişelik radiusda çyzylýar.

5. Kulaçogyň hakyky şekilini guralyň. Munuň üçin merkezi profiliň içinde bu şekiliň merkezi bilen, roligiň r_0 radiusly töwereginiň dugalarynyň hataryny geçireliň. Bu dugalaryň daşyna aýlanmasy (içki meňzeş aralykly egriligi) kulaçogyň hakyky şekili bolar. *4′* we *5′* şöhleleriň we *11′* we *0* şöhleleriň aralaryny bellesek, meňzeş aralyk-

lary (ekwidistanty) gurmagyň zerurlygy ýok, ýagny kulaçogyň şekiliniň bu çäklerinde duga hemişelik radiusly töwerekde çyzylýar.

Süýşme hereketli ýasy iterijili kulaçokly mehanizm

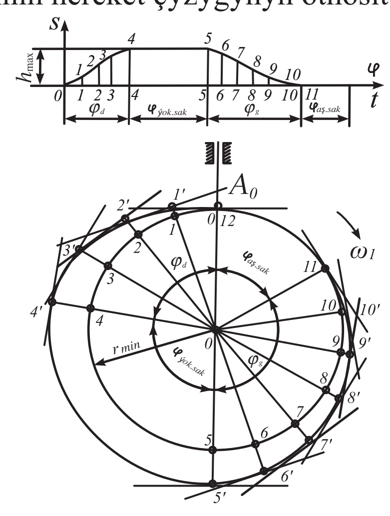
Bu kulaçokly mehanizm üçin berlen: iterijiniň hereket kanuny $s=f(\varphi)$, kulaçogyň minimal radiusy $r_{\min}$ we iterijiniň aýlanma ugry.

Kulaçogyň şekiliniň gurluşy şeýle yzygiderlikde geçirilýär (*4.22-nji surat*):

1 we 2. Birinji iki punkt edil ýiti iterijili merkezi kulaçokly mehanizmiňki ýaly.

3. Merkezi *O* nokatda (kulaçogyň aýlanma okunda) $r_{\min}$ radiusly töwerek geçireris we bu nokadyň üstünden *O–O* iterijiniň hereket ugruny geçireris. Bu göniniň töwerek bilen kesişme nokadynyň (*A* nokadynyň) üstünden perpendikulýar geçireris. Bu perpendikulýar iterijiniň tekizliginiň (ýasysynyň) başlangyç ýagdaýy bolar.

Ugry, kulaçogyň aýlanma ugrunyň tersine, *O–O* çyzykdan berlen diagrammasyndan φ_i ($\varphi_{\text{daş}}$, $\varphi_{\text{ýok.sak.}}$, $\varphi_{\text{golaý}}$, $\varphi_{\text{aşak.sak.}}$ we hemmesiniň aralarynyň) burçlaryny degişlilikde ölçäp goýarys. Degişlilikde kulaçogyň dürli burçlara öwrülmesine görä *O* nokadyň üstünden *0–1*, *0–2, 0–3* we ş. m. şöhleleri geçireris, kulaçogyň öwrülme burçlaryna baglylykda, iterijiniň hereket çyzygynyň otnositel ýagdaýy bolar.



4.22-nji surat

4. r_{min} radiusly töwerekden bu şöhleleriň boýuna, öň hasaplanan (*1–1′, 2–2′, 3–3′*, ... kesimler) iterijiniň süýşmesine baglylykda ölçäp goýarys. Alnan *1′, 2′, 3′* we ş. m. nokatlaryň üstünden degişli şöhlelere perpendikulýar geçireris. Bu perpendikulýarlar iterijiniň tekizliginiň otnositel ýagdaýy bolar (iterijiniň tekizligi (ýasysy) adatça iterijiniň hereket ugruna perpendikulýar).

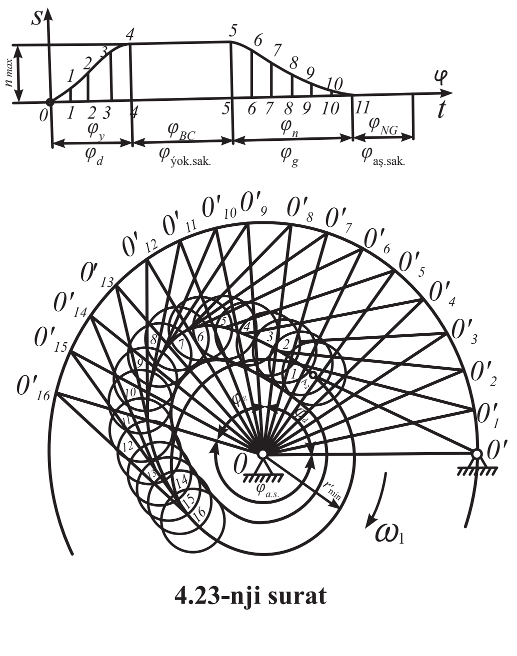
5. Iterijiniň tekizliginiň (ýasysynyň) otnositel ýagdaýynyň daşyna aýlanmasyny gurarys. Bu kulaçogyň şekili bolar.

Rolikli yrgyldaýan iterijili kulaçokly mehanizm

Bu kulaçokly mehanizm üçin berlen: iterijiniň hereket kanuny $\psi=f(\varphi)$, kulaçogyň minimal radiusy r_{min}, roligiň radiusy r_o, kulaçogyň aýlanma oky bilen iterijiniň arasy *OO′*, iterijiniň uzynlygy *O′A*, kulaçogyň aýlanma ugry (*4.23-nji surat*).

Kulaçogyň şekiliniň gurluşy şeýle yzygiderlikde geçirilýär:

1. Daşlaşýan $\varphi_{daş.}$ we golaýlaşýan $\varphi_{golaý.}$ burçlary $\psi=f(\varphi)$ diagrammada birnäçe sany deň böleklere böleris (bu ýagdaýda $\varphi_{daş.}$ burç dört bölege, $\varphi_{golaý.}$ burç bolsa alty bölege bölünen).



4.23-nji surat

$\varphi_{ýok.sak}$ we $\varphi_{aşak.sak.}$ saklanma burçlaryny bölmek gerek däl, ýagny kulaçogyň şekiliniň bu burçlarynyň çäginde hemişelik radiusly töweregiň dugasynda çyzylýar.

2. $\psi=f(\varphi)$ diagramma boýunça kulaçogyň dürli burçlarda öwrülmesine (bu burçlar iterijiniň aşaky ýagdaýyndan hasaplanýar) baglylykda iterijiniň burç süýşmesiniň grafiki (ýa-da analitiki) ululygyny taparys:

$$\psi_1 = \mu_\psi[1-1];\ \psi_2 = \mu_\psi[2-2] \text{ we ş. m.}$$

bu ýerde μ_ψ–iterijiniň süýşmesiniň masştaby, $\frac{grad}{mm}\left(\frac{rad}{mm}\right)$;

[*1–1*], [*2–2*], ... – φ_i burçlaryň dürlüligine baglylykda $\psi=f(\varphi)$ diagrammanyň ordinatalary (*mm*).

3. Kulaçogyň O we iterijiniň O' aýlanma oklarynyň ýagdaýlaryny belläris. Kulaçogyň aýlanma oky – O nokatdan $r'_{min} = r_{min} + r_0$ radiusly töwerek geçirýäris, iterijiniň aýlanma oky – O' nokatdan bolsa – iterijiniň uzynlygyna $O'A$ radiusda bu töwerekde bellik ederis. Alnan A_0 nokat roligiň merkeziniň başlangyç (aşaky) ýagdaýy bolar. Bu nokat bilen O' nokady birleşdirip, iterijiniň başlangyç ýagdaýy bolýan $O'A_0$ göni çyzygy alarys. Iterijiniň başlangyç ýagdaýy $O'A_0$ bilen merkezi OO' çyzygyň ýagdaýynyň arasyndaky ψ_0 burçy çyzgydan ölçäris.

4. Merkezi O nokatda OO' radiusly töwerek geçireris we OO' göni çyzykdan kulaçogyň aýlanmasyna garşylyklaýyn ugurda, hemme φ_i ($\varphi_{daş}$, $\varphi_{ýok.sak.}$, $\varphi_{golaý}$, $\varphi_{aşak.sak}$. we aralykdaky) burçlary alyp goýarys. Bu burçlaryň esasynda O nokatdan şöhleleri geçireris. Bu şöhleler bilen OO' radiusly töwerekleriň kesişme nokatlary ($O'_1, O'_2 O'_3$, ...), iterijiniň aýlanma okunyň otnositel ýagdaýy bolar, OO'_1, OO'_2, OO'_3, ... şöhleleriň özleri bolsa merkezi çyzygyň otnositel ýagdaýy bolýar.

5. Iterijiniň her bir ýagdaýy üçin iteriji bilen merkezi çyzyklaryň arasyndaky burçlary hasaplarys:

$$\psi_1' = \psi_0 + \psi_1;$$
$$\psi_2' = \psi_0 + \psi_2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

we bu burçlaryň esasynda $O'O_1$, OO'_2, OO'_3, ... merkezi çyzyklaryň otnositel ýagdaýyna degişlilikde O'_1, O'_2, O'_3, ... nokatlardan şöhleleri geçireris we iterijiniň uzynlygynda $O'A$ radiusda bellikler ederis.

Roligiň merkeziniň otnositel ýagdaýy bolýan *1', 2', 3'*, ... nokatlary alarys. $O'_1 1'$, $O'_2 2'$, $O'_3 3'$, ... göni çyzyklar iterijiniň degişlilikdäki otnositel ýagdaýlary bolýar. *1', 2', 3'*, ... nokatlary birleşdirip, endigan egrini, ýagny kulaçogyň merkezi şekilini alarys.

Kulaçogyň merkezi şekiliniň *1', 2', 3'*, ... nokatlarynyň ýagdaýyny başgaça-da kesgitläp bolar. Iterijiniň süýşme $\psi_1', \psi_2', \psi_3'$, ... burçlarynyň ýerine merkezi çyzyklardan hasaplanan (we alnyp goýlan), iterijiniň roliginiň merkeziniň göni süýşmesini s_i, onuň başlangyç ýagdaýyndan:

$$s_1 = O'A\ \psi_1;$$
$$s_2 = O'A\ \psi_2$$

(bu formulada ψ_i burçlaryny radianda hasaplamaly) hasaplananlardan kesgitlemek bolar.

Bu ýollary r'_{min} radiusly töwerekden $O'A$ radiusly O'_1, O'_2, O'_3, ... merkezlerden getirilen töweregiň dugasy boýunça ölçäp goýup, kulaçogyň merkezi şekiliniň nokatlaryny alarys. s_1, s_2, s_3, ... dugalar (*1–1', 2–2', 3–3'*, ... dugalar) suratda ýogyn çyzyklarda görkezilen.

6. Kulaçogyň hakyky şekilini gurarys. Munuň üçin merkezi şekiliň içinde roligiň r_0 radiusly, merkezi kulaçogyň merkezi şekilinde ýerleşen dugalaryň hataryna geçireris. Bu dugalaryň üstünden aýlanyp egriligi (ekwidistant egriligini) geçireris, bu kulaçogyň hakyky şekili bolar.

Yrgyldaýan ýasy iterijili kulaçokly mehanizm

Berlen: iterijiniň hereket kanuny $\psi = f(\varphi)$, kulaçogyň minimal radiusy r_{min}, kulaçogyň we iterijiniň aýlanma oklarynyň arasyndaky uzaklyk OO' we iterijiniň aýlaw ugry (*4.24-nji surat*).

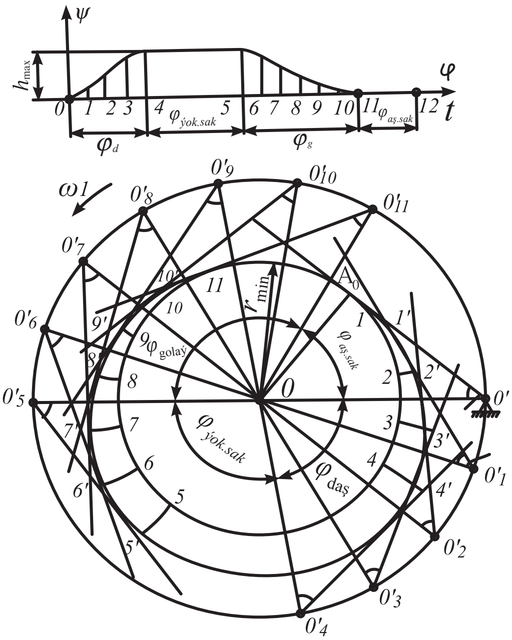
Kulaçogyň şekili şeýle yzygiderlikde gurulýar:

1. we 2. Birinji iki punkt edil öňküler ýaly geçirilýär.

3. Kulaçogyň O we iterijiniň O' aýlanma oklarynyň ýagdaýlaryny belleýäris. Merkezi O nokatda (kulaçogyň aýlanma okunda) r_{min} radiusly töwerek geçireris, O' nokatdan bolsa (iterijiniň aýlanma okundan) bu töwerek bilen galtaşma $O'A_0$ geçireris. Bu galtaşma iterijiniň başlangyç (aşaky) ýagdaýy bolar. Iterijiniň başlangyç

ýagdaýy $O'A_0$ bilen merkezi OO' çyzygyň ýagdaýynyň arasyndaky ψ_0 burçy çyzgydan ölçäris.

4. O merkezden OO' radiusly töwerek geçireris we OO' göni çyzykdan kulaçogyň aýlanmasyna garşylyklaýyn ugra, hemme φi ($\varphi_{daş}$, $\varphi_{ýok.sak.}$, $\varphi_{golaý}$, $\varphi_{aşak.sak}$. we aralykdaky) burçlary ölçäp goýarys we bu burçlara O nokatdan şöhleler geçireris.



4.24-nji surat

Bu şöhleler bilen OO' radiusly töwerekleriň kesişme nokatlary (O'_1, O'_2, O'_3, ...) iterijiniň aýlanma okunyň otnositel ýagdaýy bolar, şöhleleriň özleri bolsa merkezi çyzyklaryň otnositel ýagdaýy bolar.

5. Iterijiniň her ýagdaýy üçin iteriji bilen diregiň arasyndaky burçy hasaplaýarys:

$$\psi_1{}'=\psi_0+\psi_1;$$
$$\psi_2{}'=\psi_0+\psi_2$$
$$\ldots\ldots\ldots$$

we bu burçlaryň astynda merkezi çyzyklaryň ýagdaýlaryna görä OO'_1, OO'_2, OO'_3, ... degişlilikde O'_1, O'_2, O'_3, ... nokatlardan şöhleleri geçireris $O'_1 1'$, $O'_2 2'$, $O'_3 3'$, ... Bu şöhleler iterijiniň otnositel ýagdaýy bolýar. Şöhlelere galtaşdyryp daşyna aýlanyp çyksak, kulaçogyň hakyky şekilini alarys.

Iterijiniň otnositel ýagdaýyny başgaça-da kesgitlemek mümkin. Ýagny merkezi çyzykdan hasaplanan (we alnyp goýlan) iterijiniň süýşme burçuny ψ_i kesgitläp, iterijiniň A_0 nokadynyň (ýa-da haýsy hem bolsa başga nokadynyň) göni süýşmesini s_i-*ni* tapmak bolýar, onuň başlangyç ýagdaýyndan hasaplasak:

$$s_1 = O'A_0 + \psi_1;$$
$$s_2 = O'A_0 + \psi_2$$

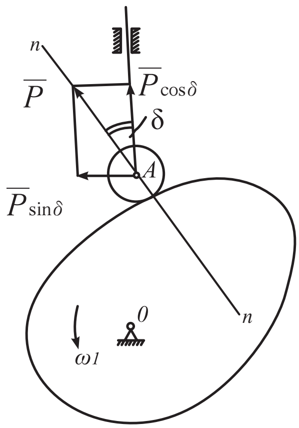
($O'A_0$ kesimi çyzgydan ölçemeli).

Bu süýşmäni $r_{\min}$ radiusly töwerekden $O'A_0$ radiusly O'_1, O'_2, O'_3, ... merkezlerden getirilen töweregiň dugasy boýunça ölçäp goýup, *1'*, *2'*, *3'*, ... nokatlary alarys. Bu nokatlaryň üstünden we olara degişlilikde iterijiniň aýlanma oklarynyň O'_1, O'_2, O'_3, ... otnositel ýagdaýlaryna göni çyzyklary geçireris we iterijiniň otnositel ýagdaýyny alarys. s_1, s_2, s_3, ... dugalar ($\overset{\frown}{1\text{–}1'}$, $\overset{\frown}{2\text{–}2'}$, $\overset{\frown}{3\text{–}3'}$, ... dugalar) çyzgyda ýogyn çyzyklar bilen getirilen.

4.6. Basyş burçuna baglylykda kulaçogyň şekiliniň iň kiçi radiusyny kesgitlemek

Kulaçokly mehanizmiň şekili kesgitlenende kulaçogyň iň kiçi (minimal) radiusy $r_{\min}$ berlen diýip hasaplapdyk. Iterijiniň berlen bir we şonuň ýaly hereket kanunlary bilen, dürli minimal radiusly köp kulaçoklary gurmak mümkin.

Bu kulaçoklardan haýsysyny saýlarys? Elbetde, konstruktiw düşünjelerden hemişe, mümkin boldugyça, kiçi ölçegli kulaçogy saýlarys. Emma kulaçogyň ölçeginiň ($r_{\min}$ ölçegi) kiçelmegi bilen, aşakda görşümiz ýaly, sürtülme güýjüniň bialaç ulalmagy bolup geçýär, has kiçi ölçegli kulaçokda bolsa iterijiniň ýelmeşmesi we döwülmesi ýüze çykýar.



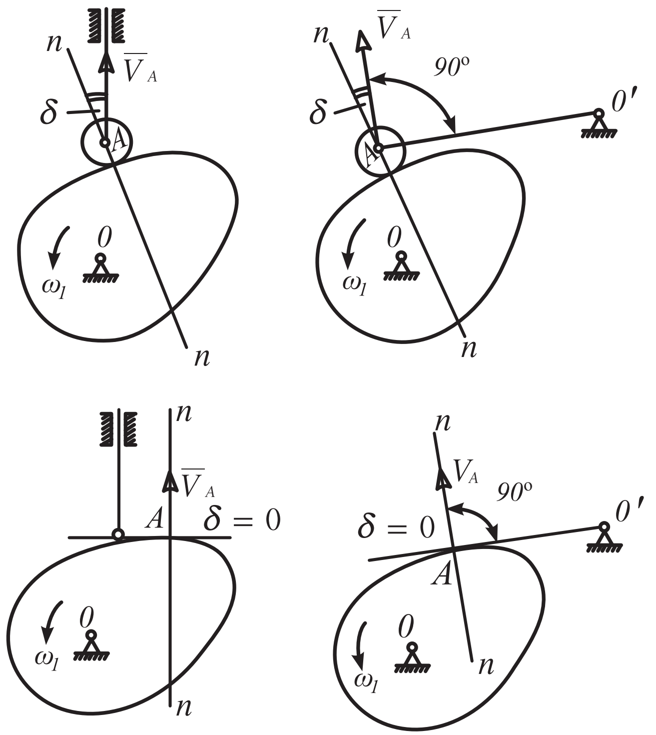
4.25-nji surat

4.25-nji suratda kulaçogyň iterijä P güýjüň basyşynyň ugry görkezilen. P güýç iteriji bilen kulaçogyň şekiliniň galtaşma nokadynda normal boýunça ugrukdyrylan (eger kulaçok bilen iterijiniň arasyndaky sürtülmäni hasaba almasak). Kulaçogyň şekili bilen iterijiniň galtaşma nokadynda, iterijiniň hereketiniň (tizliginiň) ugry bilen umumy *n-n* normalyň arasyndaky δ burça basyş burçy diýilýär. P güýji iki düzüji güýje paýlap, iterijiniň hereket çyzygynyň boýuna ugrukdyrylan $P'=P\cos\delta$ we iterijiniň hereket çyzygyna perpendikulýar ugrukdyrylan $P''=P\sin\delta$ güýçleri alarys. P' güýç peýdaly güýç bolar, peýdaly garşylygy ýeňmäge ugrukdyrylan, P'' güýç bolsa, zyýanly güýç bolar, ýagny iterijiniň gyşarmagyna getirýär, iterijiniň ugrukdyryjysynda sürtülme güýjüni döredýär. Eger bu güýç örän beýik bolsa, onda iterijide ýelmeşme we döwülme ýüze çykar. Şeýlelikde, basyş burçy δ näçe kiçi boldugyça, P'' güýji kiçeltmäge şonça-da amatly.

Emma beýleki tarapdan, basyş burçunyň kiçelmegi bilen kulaçogyň ölçeginiň ulalyşyny mundan soňra göreris. Şonuň üçin basyş burçy has kiçi bolmaly däl.

Bu ýagdaý göz öňüne tutulyp, üstün çykmaz ýaly iş ýüzünde basyş burçunyň maksimal ululygy δ_{max} goýulýar, çünki garşylykly ýagdaýda, ýokarda görkezilişi ýaly, uly sürtülme güýji döreýär, iterijiniň ýelmeşmegi we döwülmegi mümkin:

$$\delta \le \delta_{max} \tag{4.3}$$



4.26-njy surat

Iş ýüzünde basyş burçunyň δ_{max} ululygyny:

Süýşme hereketli iterijiler üçin $\delta_{max}=30^o$;

Aýlanýan iterijiler üçin $\delta_{max}=45^o$ kabul edilýär.

Kulaçokly mehanizmler üçin basyş burçlarynyň kesgitlenilişiniň dürli görnüşleri 4.26-njy suratda görkezilen. Görnüşi ýaly, bu gözýetim bilen has amatly ýasy iterijili kulaçokly mehanizm bolar, ýagny onuň basyş burçy nola deň.

Berlen maksimal basyş burçy δ_{max} boýunça kulaçogyň ölçeginiň nähili kesgitlenişine seredeliň. Öňi bilen, eger iterijiniň hereket kanuny we kulaçogyň aýlanma okunyň ýagdaýy belli bolsa, basyş burçunyň δ nähili goýluşyna serederis. Kulaçokly mehanizm üçin (*4.27-nji a surat*) tizligiň planyny gurýarys. Gurluş wektor deňleme boýunça erkin masştabda geçiriler:

$$\overline{v}_A = \overline{v}_{A_x} + \overline{v}_{AA_x},$$

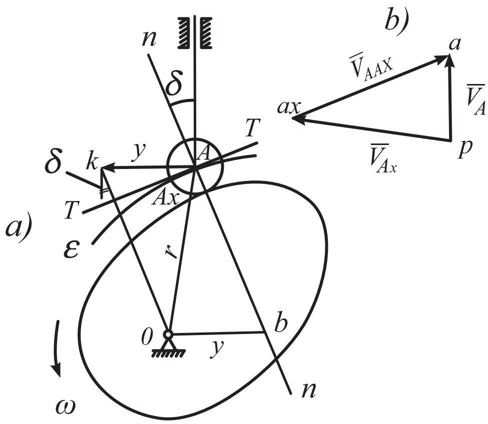
bu ýerde

$\overline{\upsilon}_A$ – iterijiniň (A nokadyň) tizligi, iterijiniň hereket çyzygyna ugrukdyrylan;

$\overline{\upsilon}_{A_x}$ – kulaçogyň merkezi şekiliniň A_x nokadynyň tizligi, berlen ýagdaýda A nokat bilen gabatlaşýar, bu tizlik r radiusa perpendikulýar ugrukdyrylan;

$\overline{\upsilon}_{AA_x}$ – A nokadyň A_x nokada görä tizligi; ol ekwidistant profile galtaşma boýunça (ýa-da n-n normala perpendikulýar) ugrukdyrylan;

Degişlilikde wektor deňleme boýunça alnan masştabda $\overline{\upsilon}_A(\perp \overline{OA})$ wektory ölçäp geçireris (*4.27-nji b surat*). Wektoryň aýak ujundan $\overline{\upsilon}_{AA_x}(\perp \overline{nn})$wektoryň ugruny geçireris, baş ujundan bolsa – $\overline{\upsilon}_A$ wektory geçireris. Bu ugurlaryň kesişme nokady (a nokat) $\overline{\upsilon}_{AA_x}$we $\bar{v}_A$ wektorlaryň ululyklaryny kesgitleýär.



4.27-nji surat

Kulaçogyň aýlanma O okundan (*4.27-nji a sur.*) iterijiniň hereket ugruna perpendikulýar, tä normal bilen kesişýänçä çyzyk geçirmeli (b nokat).

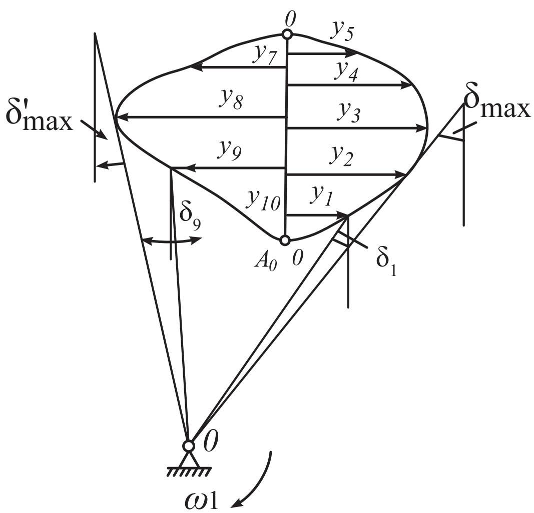
$$\frac{y}{r} = \frac{\upsilon_A}{\upsilon_{Ax}} = \frac{\frac{ds_A}{dt}}{r\,\omega} = \frac{ds_A}{r\,\omega dt} = \frac{ds_A}{rd\varphi},$$

bu ýerden

$$y = \frac{ds_A}{d\varphi} \tag{4.4}$$

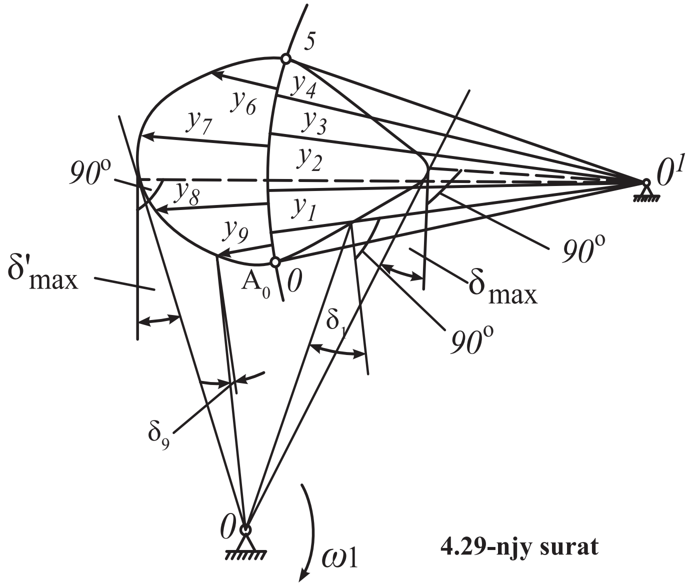
Eger y kesimi üýtgetmän, A nokatdan iterijiniň hereket ugruna perpendikulýar ugurda (çepde) goýsak, onuň soňy (k nokat) bilen kulaçogyň aýlanma oky O nokada göni çyzyk birleşdirer, onda iterijiniň hereket ugry bilen bu çyzygyň arasyndaky burç, çyzgydan görnüşi ýaly, basyş burçuna δ deň bolar.

Şeýlelikde, basyş burçuny kesgitlemek üçin kulaçogyň profilini bilmek hökman däl. Iterijiniň berlen hereket kanuny boýunça (4.4) formula bilen y kesimiň ululygyny hasaplamak ýeterlik, berlen ýagdaýyndan bu kesimi roligiň aýlanma okuna A, iterijiniň tizligine perpendikulýar ugra, ululygyny üýtgetmän geçirip we kesimiň aýak ujy bilen kulaçogyň aýlanma okuny birleşdirmek ýeterlikdir. Bu çyzyk bilen iterijiniň tizliginiň ugrunyň arasyndaky burç basyş burçy bolar. Belläp geçmeli, ýagny y kesimi, iterijiniň A nokadynyň tizliginiň wektory nirä ugrukdyrylan bolsa, ony kulaçogyň aýlanma ugruna 90° öwrüp, emele gelen ugruň üstünde y kesimi goýulýar. Biziň ýagdaýymyzda iterijiniň ýokaryk hereketinde y kesimi çepe ölçäp goýmak gerek, iterijiniň aşak hereketinde bolsa, saga goýarys.



4.28-nji surat

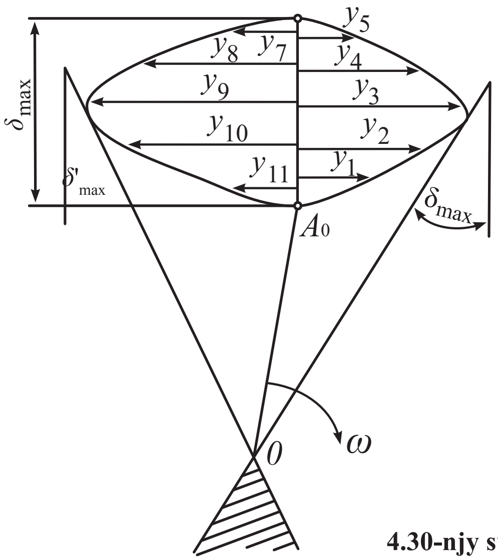
y ululygy, munuň (4.4) formuladan alnyşy ýaly, iterijiniň hereketiniň tizligine-de proporsional (kulaçogyň deňölçegli aýlanmasynda) we üýtgeýän ululykda bolýar.



4.29-njy surat

4.28, 4.29-njy suratlarda süýşme (*4.28-nji surat*) we aýlanýan (*4.29-njy surat*) iterijili kulaçokly mehanizmler üçin iterijiniň dürli ýagdaýlarynda basyş burçunyň kesgitlenişi görkezilen. Iterijiniň *A* nokadynyň hereket ýolundan sagda iterijiniň göterilmegindäki *y* ululygyny üýtgetmän belläris, iterijiniň düşürilmegindäkini bolsa çepde (aýlanýan iterijiler üçin *y* kesimler iterijiniň boýuna, ýagny *A* nokadyň tizligine perpendikulýar) ölçäp bellemeli. Göterilmede δ_{max} we düşürilmede δ'_{max} basyş burçunyň maksimal ululygy, kulaçogyň aýlanma okundan *O, y* kesimleriň uçlary birleşdirilip emele getirilen egrilige galtaşma geçirilip kesgitlenýär. Şeýlelikde, eger iterijiniň we kulaçogyň aýlanma okunyň hereket kanuny berlen bolsa, onda her ýagdaý üçin basyş burçlaryny we maksimal basyş burçlaryny δ_{max} we δ'_{max} aňsat kesgitlemek bolýar.

Meseläni yzlygyna-da goýmak bolýar: iterijiniň hereket kanuny we maksimal basyş burçlary δ_{max} we δ'_{max} berlen; kulaçogyň aýlanma okunyň ýagdaýyny we kulaçogyň minimal radiusyny kesgitlemegi talap edilýär. Munuň üçin berlen hereket kanuny boýunça y ululygynyň hemme ýagdaýy üçin gurnamaly, bu kesimler edil ýokarda (*4.30-njy surat*) görkezilişi ýaly alnyp goýulýar we olaryň uçlary endigan egri bilen birleşdirilip çykylýar.



4.30-njy surat

Soňra roligiň merkeziniň tizliginiň ugry bilen bu egrilige δ_{max} we δ'_{max} burçlaryň astynda galtaşma geçireris. Kulaçogyň aýlanma okuny galtaşma bilen ştrihlenen meýdançanyň arasynda islendik ýerde ýerleşdirmek bolýandygy aýdyň görünýär; garşydaş ýagdaýda basyş burçlarynyň ikisi δ_{max} we δ'_{max} (iterijiniň göterilmeginde we düşürilmeginde) ýa-da olardan birisi ygtyýarly bolar. Elbetde, kulaçogyň iň kiçi ölçegi alynmaly bolsa, onda onuň aýlanma okuny galtaşmalaryň kesişme *O* nokadynda almaly bolar. OA_0 kesim kulaçogyň merkezi şekiliniň minimal radiusyny görkezýär.

Kulaçogyň şekilini gurmaga degişli mysallara serederis.

4.1-nji mysal

Süýşme hereketli rolik iterijili, merkezi däl kulaçokly mehanizmiň kulaçogynyň şekilini gurmaly.

Berlen:

a) Iterijiniň tizlenmesiniň üýtgeme kanuny 4.31-nji *a* suratda şekillendirilen grafikden kesgitlenýär;

b) Faza burçlary $\varphi_{daş}=80^o$, $\varphi_{ýok.sak.}=45^o$, $\varphi_{golaý.}=60^o$, $\varphi_{aşak.sak.}=175^o$;

ç) Iterijiniň ýörişi (ýöriş aralygy) $h_{max}=30\ mm$;

d) Kulaçogyň iň kiçi radiusy $r_{min}=30\ mm$, roligiň radiusy $r_0=20\ mm$, ekssentrisitet $e=10\ mm$;

e) Kulaçogyň aýlanma ugry sagat diliniň ugruna.

Ç ö z ü l i ş i:

Meseläniň çözülişi şeýle yzygiderlikde geçirilýär:

Iterijiniň *a=f(t)* diagrammasyndan grafiki integrirleme usulynda tizligiň diagrammasyny *v=f(t)* gurarys (*4.31-nji b surat*).

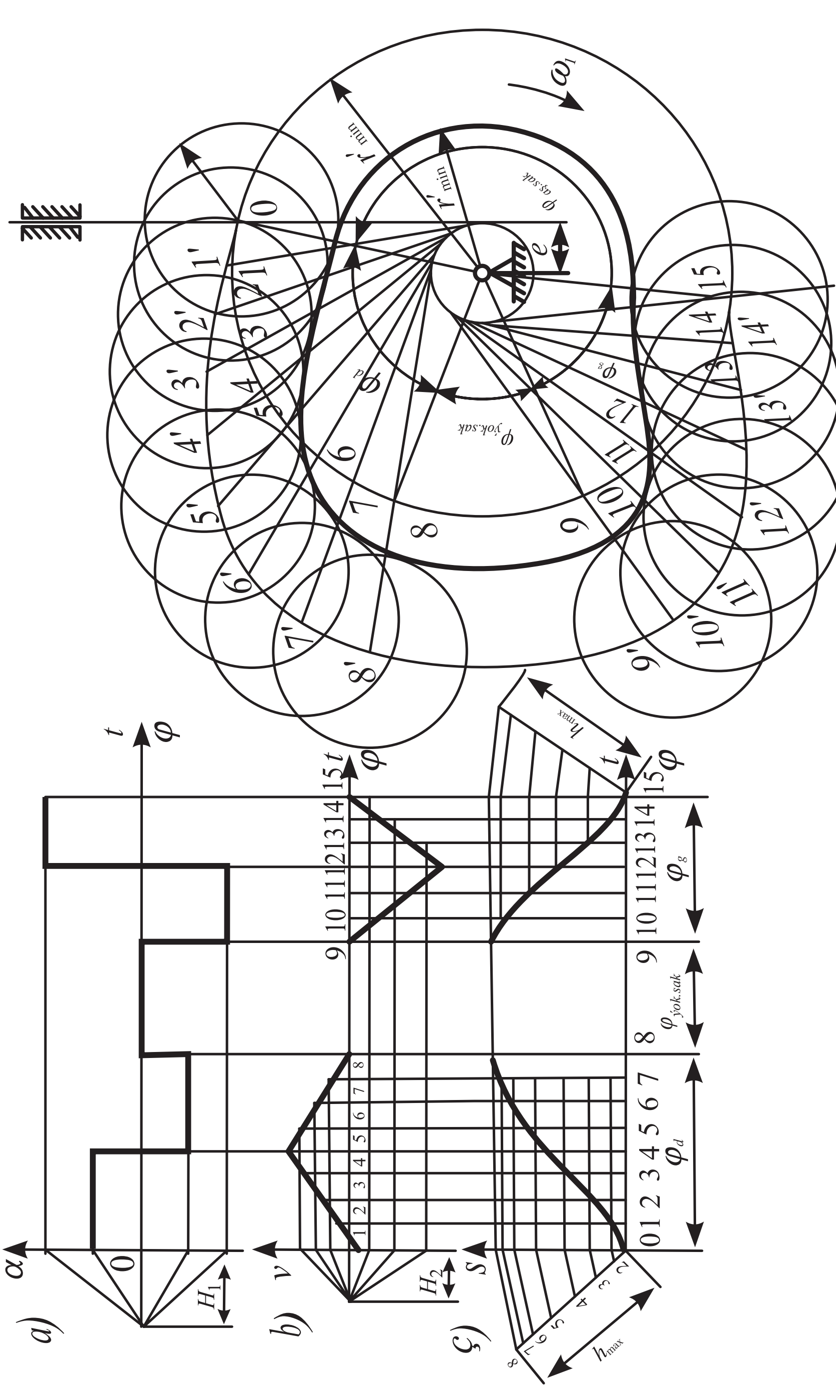
Iterijiniň *v=f(t)* diagrammasyndan grafiki integrirleme usulynda süýşme diagrammasyny *s=f(t)* gurarys (*4.31-nji ç surat*). Integrirlemede $\varphi_{daş} = 80^o$ burçy sekiz bölege, $\varphi_{golaý.} = 60^o$ burçuny bolsa alty bölege bölýäris.

Integrirleme usuly erkin masştabda geçirilýär. Şonuň üçin *s=f(t)* diagrammada alnan iň ýokary ordinata iterijiniň berlendäki ýörişine h_{max}*=30 mm* degişli däl. Iterijiniň hakyky süýşmesi kesgitlenende, kulaçogyň her ýagdaýy üçin iterijiniň hakyky ýörişini h_{max} süýşme diagrammasynyň degişlilikde proporsional ordinatalaryny bölmek gerek. Munuň üçin *s=f(t)* diagrammanyň koordinata başlangyjyndan erkin burçuň astyndan göni çyzyk geçireris we onda iterijiniň hakyky süýşmesini h_{max}*=30mm* ölçäp goýarys. Soňra ondan adaty usulda parallel göni çyzyklary proporsionallykda *s=f(t)* diagrammanyň ordinatasyna geçirişdireris. *0–1', 0–2', 0–3'*,... kesimler (*4.31-nji ç sur.*) her ýagdaý üçin hakyky süýşme bolýar.

9...15 ýagdaýlary üçin gurluşy meňzeş ýagdaýda diagrammanyň sag tarapynda geçirilýär.

3. Kulaçogyň aýlanma oky – merkezi erkin *O* nokatda (*4.31-nji d surat*) $r'_{min}=r_{min}+r_o=30+20=50mm$ radiusly we $e=10$ *mm* töwerek geçireris. Soňundan bolsa, iterijiniň hereket çyzygy bolýan dik galtaşma geçireris. Bu galtaşma bilen r'_{min} radiusly töweregiň kesişme nokady (A_0 nokat) roligiň aýlanma okunyň başlangyç (aşaky) ýagdaýy bolar.

A_0 nokat bilen kulaçogyň aýlanma *O* okuny göni çyzyk bilen birleşdireris we bu göni çyzykdan kulaçogyň aýlanma ugruna garşylyklaýyn tarapa $\varphi_{daş}$, $\varphi_{ýok.sak.}$, $\varphi_{golaý}$, $\varphi_{aşak.sak}$. burçlarda *0–8, 0–9, 0–15* şöhleleri ölçäp goýarys (berlen diagramma seret). Soňra r'_{min} radiusly töwerek boýunça $\overset{\frown}{A_0\text{–}8}$ dugany, degişlilikde iterijiniň daşlaşma fazasyny sekiz bölege, $\overset{\frown}{9\text{–}15}$ dugany, degişlilikde iterijiniň ýakynlaşma fazasyny alty bölege (10^o-dan) böleris.



4.31-nji surat

Bölünen *1, 2, 3,* ... nokatlardan *e* radiusly töwerege galtaşma geçireris. r'_{min} radiusly töwerekden bu galtaşmanyň boýuna *1–1', 2–2', 3–3',* ... kesimleri ölçäp goýarys, ýagny olar *s=f(t)* diagramma boýunça ölçenen hakyky süýşmesine *0–1', 0–2', 0–3'*, ... deň. A_0, *1', 2', 3', ..., 9', 10', 11',* ... endigan egri bilen birleşdirip, kulaçogyň merkezi şekilini alarys. *8'* bilen *9', 15'* bilen A_0 galtaşmalaryň arasynda kulaçogyň merkezi şekili hemişelik radiusly töweregiň dugasy boýunça çyzylýar.

4. r_0 radiusly merkezi kulaçogyň merkezi şekilinde ýerleşýän roligiň töwerekleriniň (ýa-da töweregiň dugasynyň) hataryny geçireris. Merkezi şekiliň içinde bu töwereklere endigan egri çyzyk aýlalyň. Bu emele gelen şekil kulaçogyň hakyky şekili bolar.

4.2-nji mysal.

Süýşme hereketli rolik iterijili kulaçokly mehanizmiň minimal ölçegini indiki berlenler boýunça taslamaly:

a) Iterijiniň tizlenmesiniň üýtgeme kanuny *a=f(t)* 4.32-nji *a* suratda görkezilen diagrammada kesgitlenýär;

b) Faza burçlary $\varphi_{daş}=60^o$, $\varphi_{ýok.sak.}=45^o$, $\varphi_{golaý.}=45^o$, $\varphi_{aşak.sak.}=210^o$;

ç) Iterijiniň ýörişi (ýöriş aralygy) $h_{max}=25\ mm$;

d) Iterijiniň göterilmede we düşürilmede birlikde basyşyň maksimal burçy $\delta_{max}=30^o$;

e) Iterijiniň roliginiň radiusy $r_0=15\ mm$;

f) Kulaçogyň aýlanma ugry sagat diliniň ugruna.

Ç ö z ü l i ş i:

Meseläniň çözülişi şeýle yzygiderlikde geçirilýär.

1. Grafiki integrirleme usulynda (erkin masştabda) *a=f(t)* diagrammadan iterijiniň tizliginiň *v=f(t)* diagrammasyny alarys (*4.32-nji b surat*). Bu diagramma bir wagtyň özünde

$$y = \frac{ds}{d\varphi} = f(\varphi)$$

diagrammasy-da bolar.

Grafiki integrirleme usulynda *v=f(t)* ýa-da *y=f(φ)* diagrammadan iterijiniň süýşme diagrammasyny *s=f(t)* alarys (*4.32-nji ç surat*).

Iň soňky diagrammany guranymyzdan soňra masştablary hasaplarys. Süýşme masştaby:

$$\mu_s = \frac{h_{max}}{[h_{max}]} = \frac{25}{18,5} = 1,35\frac{mm}{mm},$$

bu ýerde $[h_{max}]=18,5mm$–$s=f(\varphi)$ diagrammanyň maksimal ordinatasy, (çyzgy boýunça ölçenen).

Kulaçogyň öwrülme φ burçlarynyň masştaby

$$\mu_\varphi = \frac{\pi}{120} = 0,0262\frac{rad}{mm}.$$

(Bu masştab aslynda $a=f(t)$ diagramma gurlanda başda saýlanan – 180° üçin φ ok boýunça *120 mm* uzynlykda kesim saýlanan);

Birinji önümiň ululygynyň masştaby $y = \dfrac{ds}{d\varphi}$:

$$\mu_y = \frac{\mu_s}{\mu_\varphi H_2} = \frac{1.35}{0.0262 \cdot 15} = 3,44\frac{mm}{mm},$$

bu ýerde $H_2=15mm$ – polýus aralygy, ikinji integrirlemede kabul edilen.

Iterijiniň ýoluna bellik ederis, munuň üçin $s_i=[s_i]\cdot\mu_s$ (bu ýerde $[s_i]$ – $s=f(\varphi)$ diagrammanyň ordinatasyna degişlilikde ululygy (*mm*), çyzgy boýunça ölçenen) formula boýunça her ýagdaý üçin iterijiniň süýşmesiniň ululygyny hasaplarys.

Ugry, iterijiniň hereket ugruna perpendikulýar, $y_i=[y_i]\cdot\mu_y$, $[y_i]$ – $y=f(\varphi)$ diagrammanyň ordinatasyna degişlilikdäki ululygy (*mm*), çyzgydan ölçenen (y kesimler iteriji ýokaryk hereket edende sagda we aşak hereketinde çepde ölçenilip goýulýar) formuladan hasaplanan y ululygynyň her ýagdaýy üçin ölçäp goýarys.

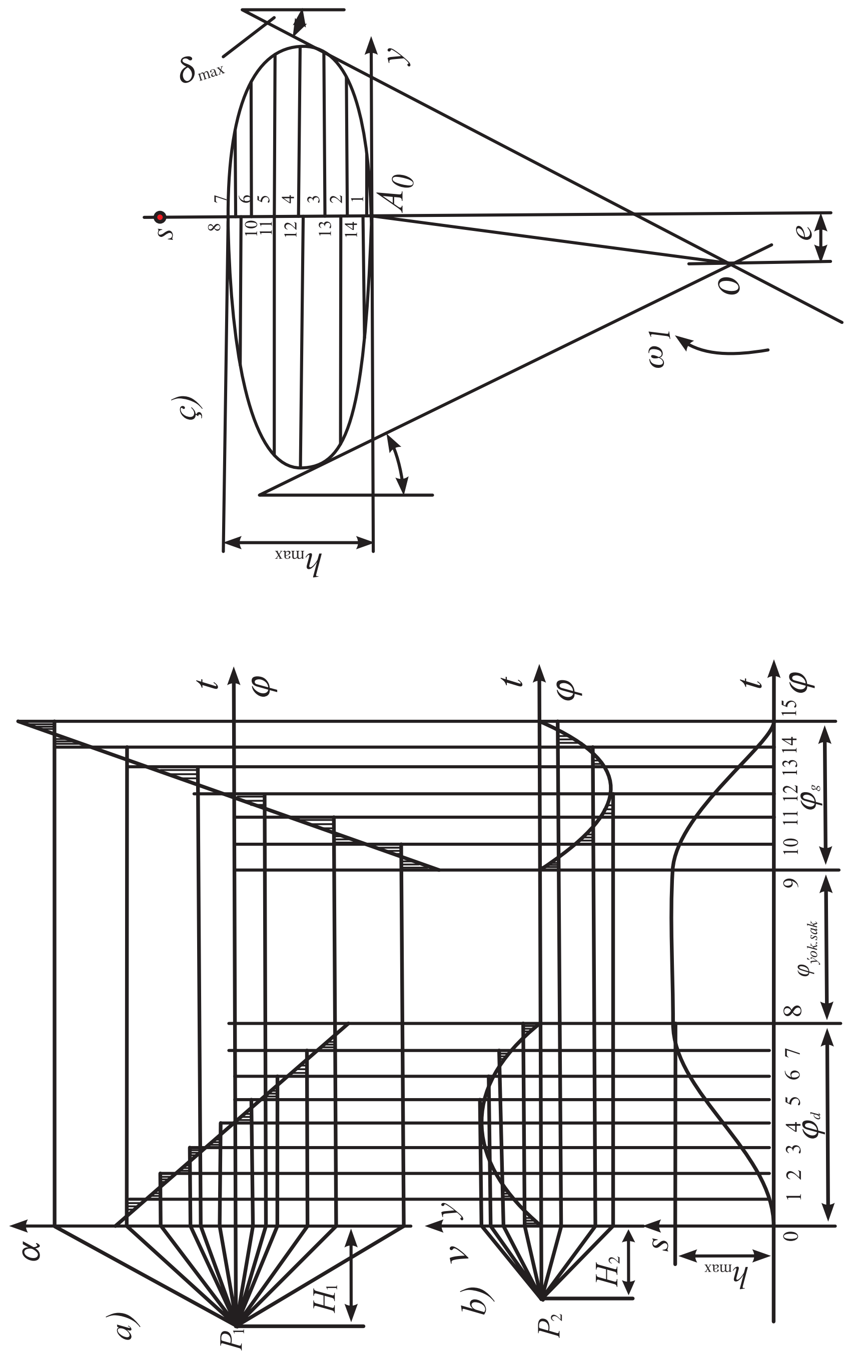
s we y ululyklar, görkezilen formula boýunça hasaplanan, 4.1-nji tablisada getirilen.

y kesimleriň uçlaryny endigan utgaşdyrylan egri boýunça birleşdirmeli. Iterijiniň hereket ugry bilen bu egrilige $\delta_{max}=30^o$ burç astynda galtaşma geçireris. Galtaşmalaryň kesişme (*O* nokady) nokady, kulaçogyň iň kiçi ölçeginde iterijiniň aýlanma okunyň ýagdaýyny kesgitleýär. OA_0 kesim kulaçogyň merkezi şekiliniň iň kiçi radius-wektory r'_{min} bolar. Bu kesimi çyzgydan ölçäris:

$$r'_{min} = OA_0 = 65\ mm.$$

Yzygiderlikde, kulaçogyň iň kiçi radiusy:

$$r_{min} = r'_{min} - r_0 = 65–15 = 50\ mm.$$



4.32-nji surat

Şeýle hem çyzgy boýunça ekssentrisiteti ölçäris:

$$e=10\ mm.$$

Bu ululyklary kesgitlänimizden soňra kulaçogyň şekilini gurmaga başlamak bolar. Gurluşy 4.33-nji suratda görkezilen.

4.1-nji tablisa

Ýagdaýy	Ululyklar		Ýagdaýy	Ululyklar	
	s, mm	*y, mm*		*s, mm*	*y, mm*
0	0	0	8	25,0	0
1	1,4	17,2	9	25,0	0
2	4,7	27,5	10	23,0	29,2
3	8,8	32,8	11	17,5	46,5
4	12,8	34,4	12	12,1	50,0
5	17,5	32,8	13	5,4	46,5
6	21,8	27,5	14	2,0	29,2
7	24,3	17,2	15	0	0

4.3-nji mysal

Rolikli aýlanýan iterijili kulaçokly mehanizm üçin kulaçogyň iň kiçi ölçegi indiki berlenler boýunça taslanýar:

a) Iterijiniň tizlenmesiniň üýtgeme kanuny $\varepsilon_2=f(t)$ 4.34-nji suratda görkezilen diagrammada kesgitlenýär;

b) Faza burçlary $\varphi_{daş}=80^o$, $\varphi_{ýok.sak.}=0^o$, $\varphi_{golaý.}=80^o$, $\varphi_{aşak.sak.}=200^o$;

ç) Iterijiniň hereket geriminiň burçy $\psi_{max}=15^o$;

d) Iterijiniň uzynlygy $O'A=100\ mm$;

e) Iterijiniň roliginiň radiusy $r_0=17\ mm$;

f) Iň uly basyş burçy $\delta_{max}=30^o$.

Ç ö z ü l i ş i:

Gurluşy şeýle yzygiderlikde geçirilýär:

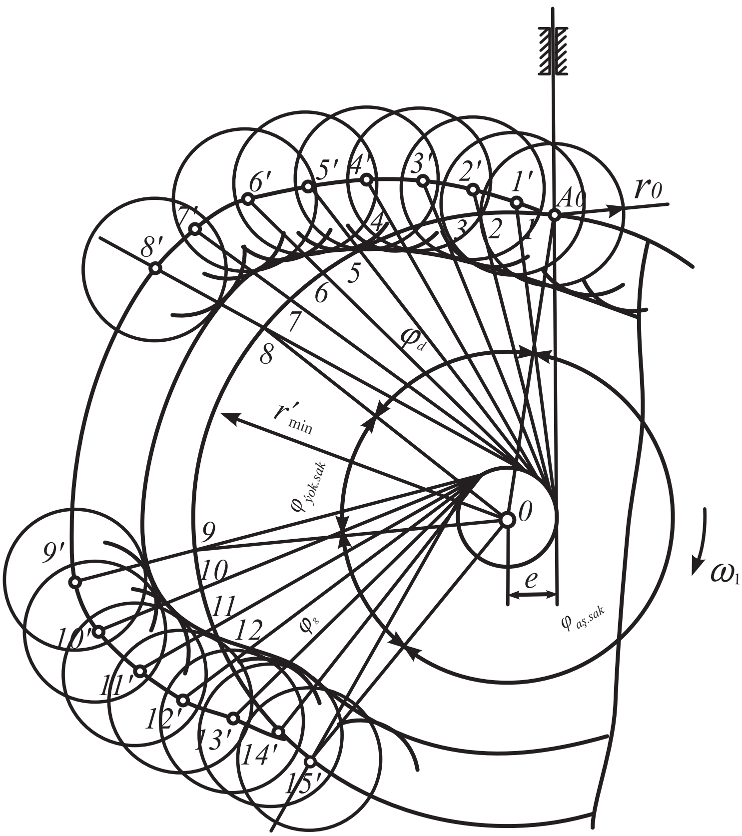
1. Grafiki integrirleme usulynda (erkin masştabda) iterijiniň aýlanma tizlenmesiniň diagrammasyndan: $\varepsilon_2=f(t)$ burç tizliginiň

diagrammasyny alarys: $\omega_2=f(t)$ (*4.34-nji b surat*). Bu diagramma bir wagtyň özünde iterijiniň roliginiň merkeziniň göni tizliginiň diagrammasy $v_A=f(t)$ (çünki roligiň merkeziniň tizligi ω_2 proporsional) ýa-da

$$y = \frac{ds_A}{d\varphi} = f(\varphi)$$

diagrammasy bolýar.

2.Tizligiň diagrammasyndan grafiki integrirleme usulynda iterijiniň burç süýşme diagrammasyny $\psi=f(t)$ alarys (*4.34-nji ç surat*). Bu diagramma bir wagtyň özünde roligiň merkeziniň göni süýşme diagrammasy $s_A=f(t)$ ýa-da $s_A=f(\varphi)$ bolýar.



4.33-nji surat

Iň soňky diagramma alnandan soňra masştablary hasaplaýarys:

Burç süýşmesiniň masştaby (grad):

$$\mu_\psi = \frac{\psi_{\max}}{[\psi_{\max}]} = \frac{15}{20} = 0,75\frac{grad.}{mm},$$

bu ýerde $[\psi_{max}]$=*20 mm* – diagrammanyň maksimal ordinatasy (çyzgydan ölçenen).

Iterijiniň burç süýşmesiniň masştaby (*rad*):

$$\mu'_\psi = \mu_\psi\frac{\pi}{180} = 0,75\frac{\pi}{180} = 0,013\frac{rad}{mm};$$

Iterijiniň roliginiň merkeziniň göni süýşmesiniň masştaby:

$$\mu'_s=\mu'_\psi\cdot O'A=0,013\cdot 100=1,3\ \frac{mm}{mm};$$

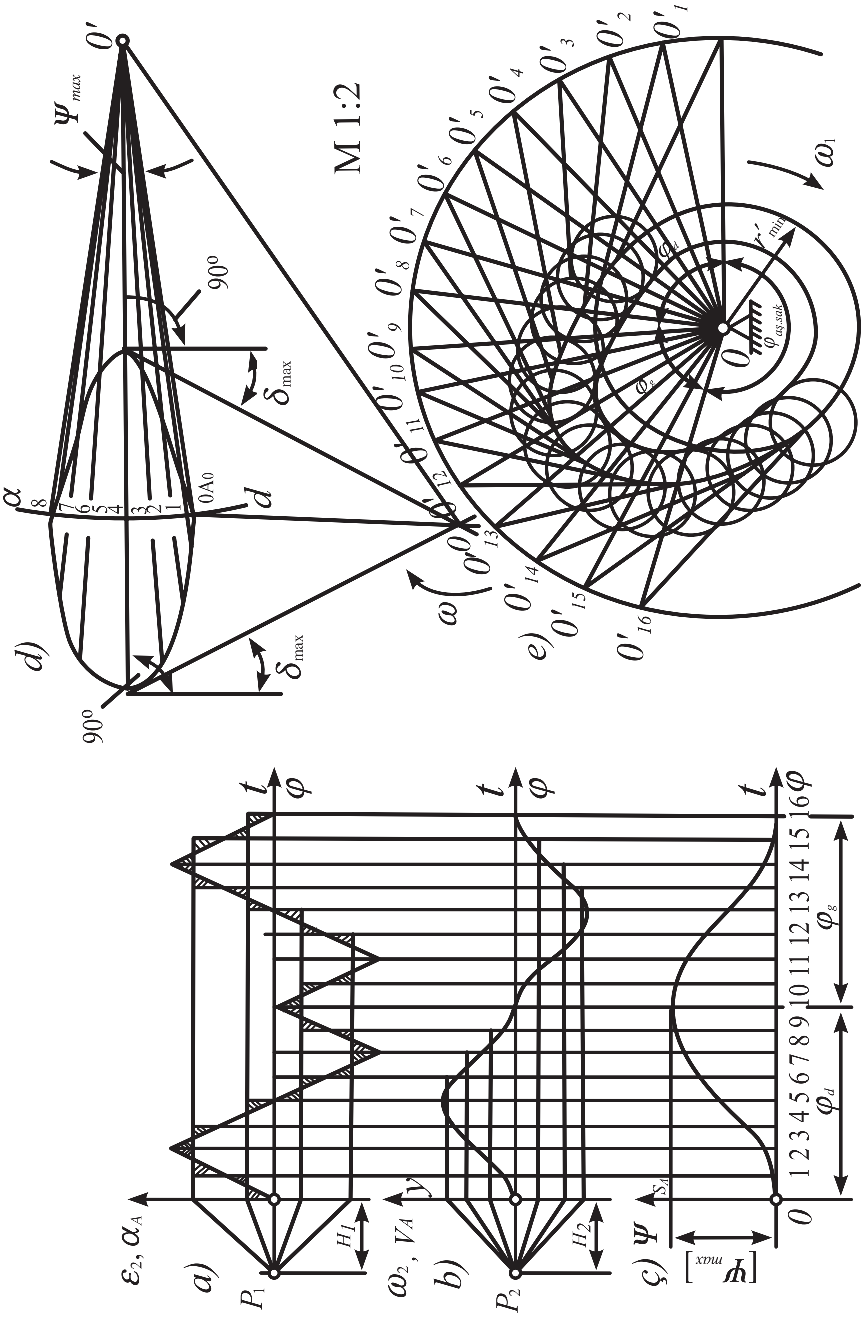
Kulaçogyň burç öwrülmesiniň masştaby:

$$\mu_\varphi = \frac{80}{40}\cdot\frac{\pi}{180} = 0,035\frac{rad}{mm}$$

(bu masştab başda $\varepsilon_2=f(\varphi)$ diagramma gurlanda saýlanyp alnan, ýagny 80° burç üçin φ ok boýunça kesimiň uzynlygy *40 mm*);

$y = \frac{ds_A}{d\varphi}$ ululygyň masştaby:

$$\mu_y = \frac{\mu_s}{\mu_\varphi H_2} = \frac{1,3}{0,035\cdot 15} = 2,5\frac{mm}{mm},$$



4.34-nji surat

bu ýerde $H_2=15\ mm$ – polýus aralygy, ikinji gezek integrirlemede kabul edilen.

Beýleki masştablar (meselem, ω, ε we t) kulaçogyň şekilini gurmak üçin gerek däl we biz olary hasaplap durmarys.

ψ_i we y_i ululyklar her ýagdaý üçin görkezilen formula boýunça hasaplanan we 4.2-nji tablisada getirilen. Bu tablisada hem aşakdaky formula boýunça hasaplanan roligiň merkeziniň göni süýşmesiniň ululygy berlen:

$$s_i=\psi_i \cdot O'A \quad ýa\text{-}da \quad s_i=\mu_s\ [\psi_i].$$

y kesimleriň uçlary endigan egri bilen birleşdirilýär. Bu egriniň iki tarapyndan hem roligiň merkeziniň tizliginiň ugruna δ_{max} burç astynda galtaşma geçireris, ýagny ol y ululygyň iň ýokarky (tizligiň ugry iterijä perpendikulýar) ýagdaýynda kabul edilýär. Belläp geçmeli, näme üçin gurluşyň takyklygy onçakly däl: haçanda galtaşma egrilige galtaşanda, galtaşma iterijiniň merkeziniň tizliginiň ugruna perpendikulýar bolmaly. Emma bu ýagdaýy tapmak kyn. Ol y-iň maksimal ululygynyň kabul edilýän ýagdaýyna örän ýakyn, şonuň üçin ygtyýar berilýän ýalňyşlyk ujypsyz.

4.2-nji tablisa

Ýagdaýy	Ululyklar				Ýagdaýy	Ululyklar		
	ψ^0	s_A, mm	y, mm			ψ^0	s_A, mm	y, mm
0	0	0	0		9	14,6	25,3	-5,0
1	0,4	0,7	5,0		10	13,1	22,7	-19,0
2	1,9	3,3	19,0		11	10,5	18,3	-31,2
3	4,5	7,8	31,2		12	7,5	13,0	-35,0
4	7,5	13,0	35,0		13	4,5	7,8	-31,2
5	10,5	18,2	31,2		14	1,9	3,3	-19,0
6	13,1	22,7	19,0		15	0,4	0,7	-5,0
7	14,6	25,3	5,0		16	0	0	0
8	15,0	26	0					

Galtaşmanyň kesişme nokady (O nokat) iň kiçi ölçegli kulaçogyň aýlanma okunyň ýagdaýy bolar.

OA_0 we OO' kesimleri ölçäris, ýagny degişlilikde merkezi şekiliň iň kiçi radius-wektory $r'_{\min}$ we kulaçok bilen iterijiniň aýlanma oklarynyň arasyndaky uzaklyk bolar:

$$r'_{\min}=OA_0=50\ mm,\ OO'=120\ mm.$$

Kulaçogyň hakyky şekiliniň iň kiçi radius-wektory:

$$r_{\min}=r'_{\min}-r_0=50\text{–}17=33\ mm.$$

Ölçegleri kesgitlenenden soňra kulaçogyň şekilini gurarys. Gurluşy 4.34-nji *e* suratda görkezilen.

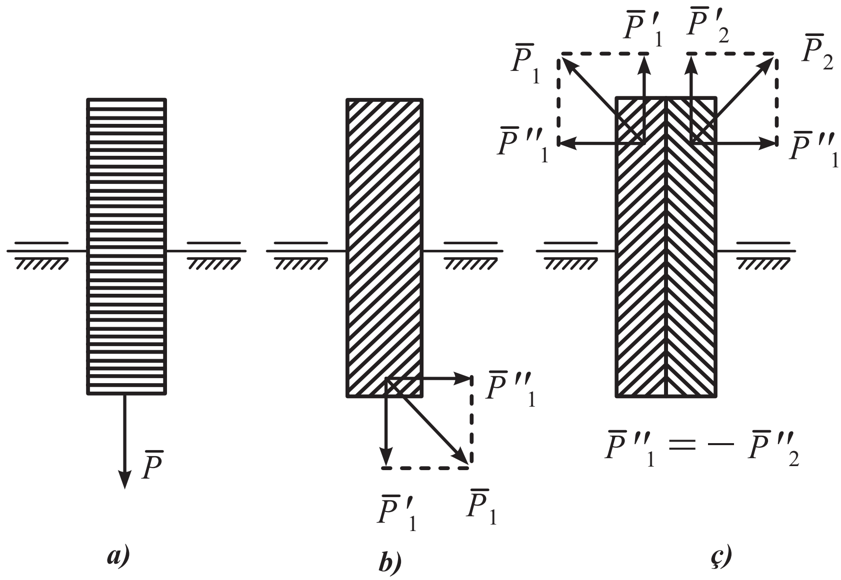
V BÖLÜM
DIŞLI ILIŞMEGIŇ NAZARYÝETI

5.1. Umumy düşünjeler

Hereket geçirijileriň arasynda dişli geçirijiler geçirijilik sanynyň hemişeligi bilen tapawutlanýar. Friksion we çekili geçirijilerde zwenolaryň arasynda typmak hereketi bolýar, zynjyrly geçirijide zwenolarynyň sany köp bolansoň, aralary geçirijilik sanyna täsir edýär. Dişli geçirijiler mehanizmleriň we maşynlaryň köpüsinde ulanylýar. Olaryň ululyklary birnäçe millimetrden birnäçe metre çenli bolup bilýär. Aýlaw ýygylyklary bir aýlaw/minutdan birnäçe müň aýlaw/minuta çenli bolup bilýär. Geçirijilik sany birnäçeden birnäçe müňe çenli bolup bilýär.

Parallel oklaryň arasynda silindr şekilli dişli tigirler boýunça hereket geçirilýär.

Olaryň dişleri silindriň göwrümine parallel, gyýa we toýnuk şekilli (şewron) bolup bilýär (*5.1-nji surat*).



5.1-nji surat

$\overline{P}$ – ýörediji güýç, bu dişli tigirleriň daýançlarynda ýönekeý podşipnik goýulýar, oňa radial podşipnik diýilýär (*5.1-nji a surat*).

$\overline{P}_1$ – dişleriň arasyndaky güýç $\overline{P}'_1$ – ýörediji güýç.

$\overline{P}''_1$ – dişli tigri okuň ugruna süýşürýän güýç. Gyýa dişli tigirleriň daýançlarynda radial-ok ugra (upor) podşipnikler goýulýar. Konus rolikli podşipnikler (*5.1-nji b surat*).

Toýnuk şekilli dişli tigirlerde $\overline{P}''_1$=-$\overline{P}''_2$ güýçler deň. Tigri süýşürjek güýçler deň we özara garşy bolansoň, täsirleri nola deň bolar. Daýançlarynda ýönekeý tigirlenme podşipnikler goýulýar (*5.1-nji ç surat*).

Eger tigirleriň ikisi bir tarapa aýlansa, onda geçirijilik gatnaşygy-nyň alamaty goşmak (+) diýip alynýar (*5.2-nji a surat*).

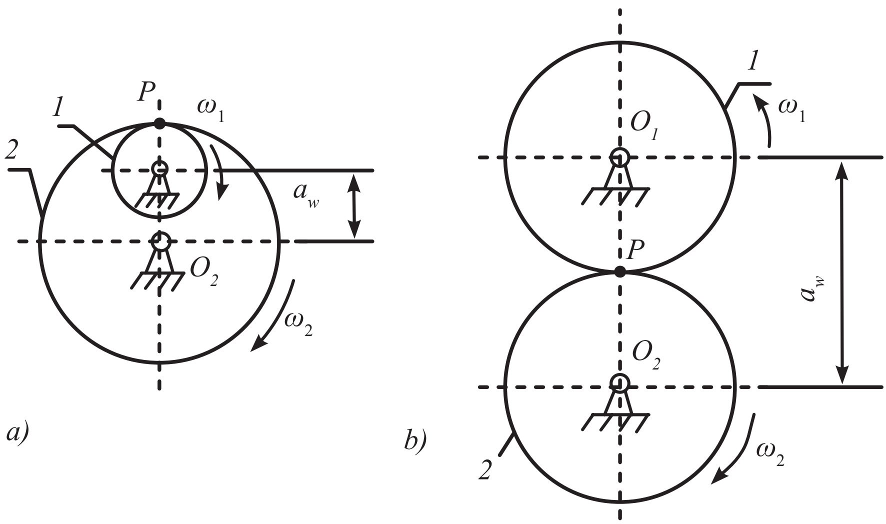
$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \qquad\qquad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Geçirijilik gatnaşygy goşmak alamatly bolanda, tigirler içki ilişmede bolýar.

Zwenolar bir-biriniň garşysyna aýlansa, geçirijilik gatnaşygy aýyrmak alamatly (-) diýip alynýar.

$$i_{12} = \frac{-\omega_1}{\omega_2} = \frac{-n_1}{n_2}; \qquad i_{21} = \frac{-\omega_2}{\omega_1} = \frac{-n_2}{n_1}.$$

Geçirijilik gatnaşygy aýyrmak alamatly bolanda tigirler daşky ilişmede bolýar. Geçirijilik gatnaşygyny kesgitlemek üçin aýlaw ýygylyklaryny bir-birine bölmeli.

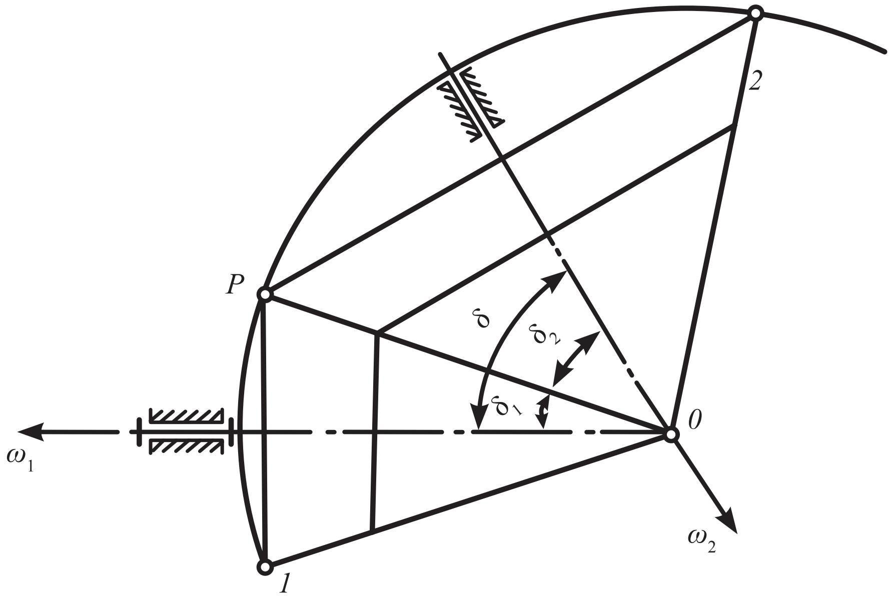


5.2-nji surat

Eger bir tigriň radiusy tükeniksiz bolsa, onda oňa reýkaly geçiriji diýilýär.

Aýlaw hereketini göni herekete geçirmek üçin reýkaly geçirijini ulanýarlar.

Reýkaly geçirijiniň geçirijilik sany tükeniksizlige deň $i_{12} = \infty$ ýa-da $i_{21} = 0$, sebäbi $\omega_2 = 0$.



5.3-nji surat

Näme üçin dişli tigirleriň dişleri gyýa we toýnak şekilli edýärler? Göni dişli tigirleri ýasamak aňsat. Göni dişli tigirlerde iki diş birlikde ilişip bilenok, sebäbi dişler döwlüp bilýär. Şonuň üçin uly tizlik bilen işlände, göni dişli tigirler seslenýär.

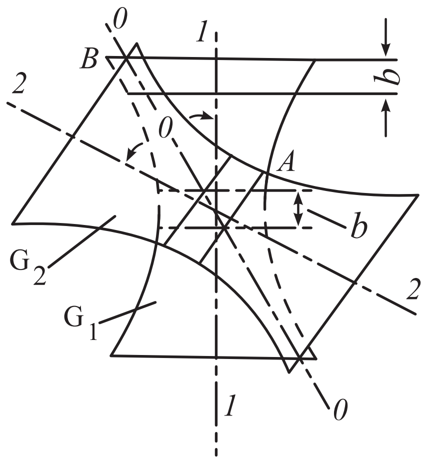
Iki tigir bir ululykda bolanda, gyýa dişli tigirlerde galtaşma ýoly uly bolup bilýär.

Gyýa dişli tigirlerde üç diş birden galtaşýar, şonuň üçin olar işlände, sessiz işleýär.

Kesişýän oklaryň arasynda aýlanma hereket geçirijiler konus şekilinde bolýar.

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \qquad\qquad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

Alamatlar hasaba alnanok, sebäbi aýlaw hereketi kesişýän tekizliklerde geçirilýär. Hereketiň ugry şertli peýkamlaryň kömegi bilen aňladylýar. Tigirleriň oklary islendik burçda kesişip bilýärler, ýöne köplenç burçlar 90°-da ýerine ýetirilýär.



5.4-nji surat

Atanaklaýyn ýatan (çapraz duran) oklaryň arasynda aýlanma hereket giperboloid görnüşli dişli tigirler boýunça geçirilýär (*5.4-nji surat*).

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \qquad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Alamatlar hasaba alnanok, sebäbi nokatlaryň hereket ýoly kesişýän tekizliklerde.

Giperboloid geçirijileriň görnüşleri:

1. Burumly geçiriji

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{k},$$

bu ýerde z_2 – ikinji zwenonyň dişiniň sany;

k – burumyň wintiniň giriş sany.

Birinji zweno – burum hemişe ýörediji, yzlygyna hereket geçirilenok.

2. Giperboloidli geçiriji (*5.6-njy surat*):

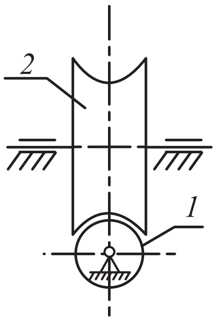
$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \qquad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1};$$

Iki dişli tigir ilişýär.

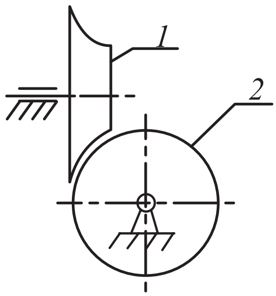
3. Wintli geçiriji (*5.7-nji surat*).

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \qquad\qquad i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1};$$

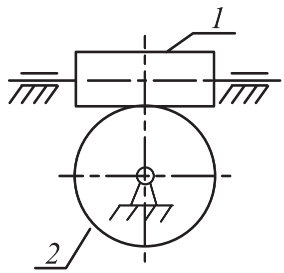
Iki burum ilişýär.



5.5-nji surat



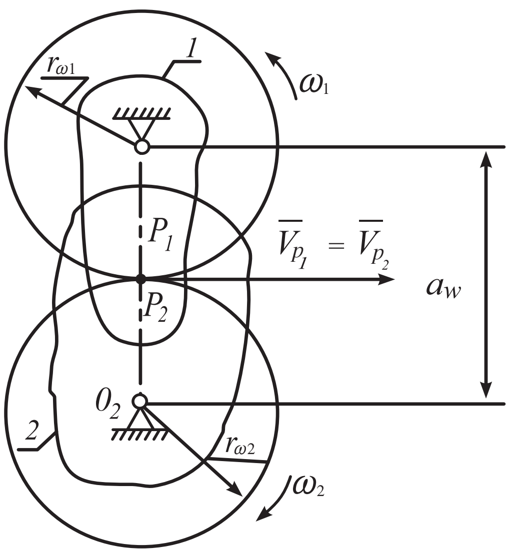
5.6-njy surat



5.7-nji surat

5.2. Başlangyç töwerekler

Aýlanma hereketi iki zwenonyň arasynda geçirilýär (*5.8-nji surat*).



5.8-nji surat

Geçirijilik gatnaşygy: $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$.

Iki okuň arasynda diňe bir nokatda tizlikler deň: $V_{P1} = V_{P2}$.
bu ýerde P_1 – birinji zweno degişli nokat;
P_2 – ikinji zweno degişli nokat;
P – nokada polýus diýilýär.

$$V_{P1} = \omega_1 \bullet O_1P_1 \ \ m/s; \quad V_{P2} = \omega_2 \bullet O_2P_2 \ \ m/s;$$

$$V_{P1} = V_{P2} = \omega_1 \bullet O_1P_1 = \omega_2 \bullet O_2P_2$$

ýa-da
$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P_2}{O_1P_1} = i_{12}.$$

Geçirijilik gatnaşygynyň hemişelik bolmagy üçin $i_{12} = const$;
$\frac{O_2P_2}{O_1P_1} = const; \frac{O_2P_2}{O_1P_1}$ – hemişelik bolmaly. Onda iki zwenoda töwerek bolmaly, radiuslary

$$r_{b1} = O_1P_1; \quad r_{b2} = O_2P_2$$

$i_{12}=\omega_1/\omega_2 = r_{b2}/r_{b1}$ geçirijilik gatnaşygynyň hemişelik bolmagy üçin töwerekler bir-biriniň üstünden typman aýlanmaly.

Bir-biriniň üstünden typman aýlanýan we radiuslarynyň gatnaşygy burç tizlikleriniň gatnaşygyna ters proporsional töwereklere başlangyç töwerek diýilýär.

5.3. Ilişmäniň esasy teoremasy (Willisiň teoremasy)

Geçirijilik gatnaşygynyň hemişelik bolmagy üçin, dişleriň ilişme nokadyndan geçirilen normal çyzyk boýunça, iki ok aralygynyň gatnaşygy burç tizlikleriniň gatnaşygyna ters proporsiýada bolmagy gerek we ýeterlik şertdir.

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P} = const.$$

Aýlanma hereketi iki zwenonyň (*1* we *2)* arasynda geçýär. A nokat zwenolaryň ilişme nokady. Şol nokatda iki nokat bar, biri A_1 – birinji zweno degişli, beýlekisi A_2 – ikinji zweno degişli (*5.9-njy surat*).

Olaryň tizliklerini kesgitleýäris:

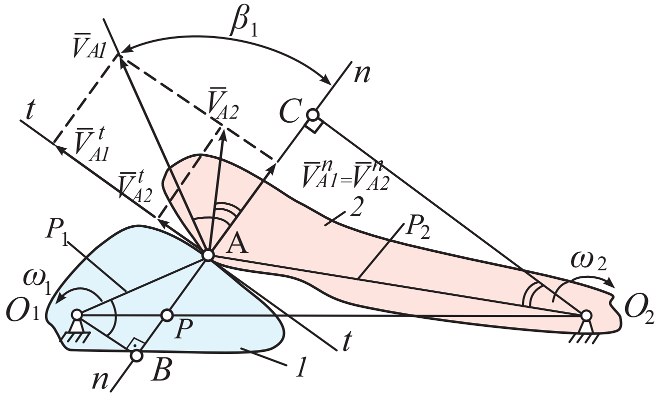
$$V_{A_1} = \omega_1 O_1 A, \frac{m}{s}; \quad V_{A_2} = \omega_2 O_2 A, \frac{m}{s};$$

$$\overline{V}_{A_1} \perp \overline{O_1 A}, \quad \overline{V}_{A_2} \perp \overline{O_2 A}.$$

Wektorlary geçirip, normala we galtaşýana bölýäris.

$$V_{A1}^n = V_{A1}\cos\beta_1 = \omega_1\rho_1\cos\beta_1; \quad V_{A2}^n = V_{A2}\cos\beta_2 = \omega_2\rho_2\cos\beta_2;$$

$$V_{A1}^t = V_{A1}\sin\beta_1 = \omega_1\rho_1\sin\beta_1; \quad V_{A2}^t = V_{A2}\sin\beta_2 = \omega_2\rho_2\sin\beta_2;$$



5.9-njy surat

β_1 we β_2 – normal bilen wektorlaryň arasyndaky burçlar.

$V_{A1}^n = V_{A2}^n$ deň bolmaly, sebäbi hereket normal boýunça.

Meselem. 1) $V_{A1}^n > V_{A2}^n$ bolsa, onda birinji zweno çaltrak ugrap, ikinji zwenony ýaryp içine girmeli. Ol gadagan.

2) $V_{A1}^n < V_{A2}^n$ bolsa, onda ikinji zweno çaltrak ugrap zwenolaryň arasy açylar, indiki iki diş urlup duşuşýarlar, onuň ýaly işleýän dişler uzak işlemez. Normal tizlikler deň bolmaly:

$$V_{A1}^n = V_{A2}^n;$$

$$\omega_1\rho_1 \cos\beta_1 = \omega_2\,\rho_2 \cos\beta_2$$

ýa-da

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{p_2 \cos\beta_2}{p_1 \cos\beta_1}.$$

O_1 we O_2 nokatlardan normal n-n çyzyga perpendikulýar çyzyklar geçirip, B we C nokatlary belleýäris. Burçlar $\angle AO_1\ B=\beta_1$; $\angle AO_2\ C=\beta_2$; (burçlaryň taraplary bir-birine perpendikulýar). Üçburçluklar meňzeş $\Delta O_1PB \infty \Delta O_2PC$. Meňzeşlikden proporsiýa düzýäris:

$$\frac{O_2P}{O_1P} = \frac{O_2C}{O_1B} = \frac{PC}{PB};$$

$$O_1B=\rho_1\cos\beta_1; \qquad O_2C=\rho_2\cos\beta_2;$$

onda

$$\frac{O_2P}{O_1P} = \frac{p_2 \cos\beta_2}{p_1 \cos\beta_1};$$

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P} = const.$$

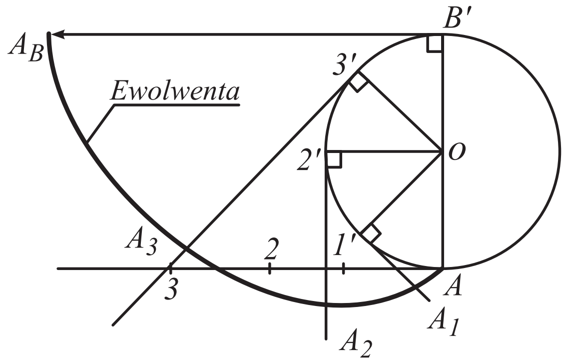
Esasy ilişmek teoremasynyň manysy, dişleriň egriligi şonuň ýaly çyzyk bilen geçirilmeli, ilişýän nokatda geçirilen normal töwerekleriň radiuslarynyň arasyndaky gatnaşyklaryny aýlaw tizlikleriniň gatnaşyklaryna ters proporsiýada bölmeli. Esasy ilişmek teoremasyna gabat gelýän çyzyklaryň birnäçesi bar, iň ýönekeýi töweregiň ewolwentasy. Dişleriň egriligi ewolwenta boýunça ýasalýar.

5.4. Ewolwenta deňlemesi we häsiýetleri

Göni çyzyk töweregiň üstünde typman aýlananda, ewolwenta emele gelýär.

Radiusy r_e, AB çyzygy dörediji töwerege esasy töwerek diýilýär. AB çyzygy deň dörde bölýäris (*5.10-njy surat*).

AB çyzyk töweregiň üstünde typman aýlananda, 1-nji nokat *1′* bolýar.



5.10-njy surat

A nokat – *A′* geçýär, $1\text{-}A = 1'\text{-}A = 1'\text{-}A_1$;

2-nji nokat – *2′* geçýär, $2\text{-}A = 2'\text{-}A_1 = 2'\text{-}A_2$;

3-nji nokat – *3′* geçýär, $3\text{-}A = 3'\text{-}A_2 = 3'\text{-}A_3$;

B nokat – *B′* geçýär, $B\text{-}A = B'\text{-}A_3 = B'\text{-}A_B$.

A_1; A_2; A_3; A_B – nokatlary lekal boýunça birleşdirsek, ewolwenta emele geler.

1′; 2′; 3′; B′ – radiuslardan töwerege galtaşýan çyzyklar geçirmeli, olaryň üstünde nokatlar bellemeli.

Esasy töwerege galtaşýan çyzyk ewolwentanyň radiusyny kesgitleýär ýa-da töwerege galtaşýan çyzyk ewolwenta normal bolýar.

Ewolwentanyň deňlemelerini kesgitleýäris (*5.11-nji surat*).

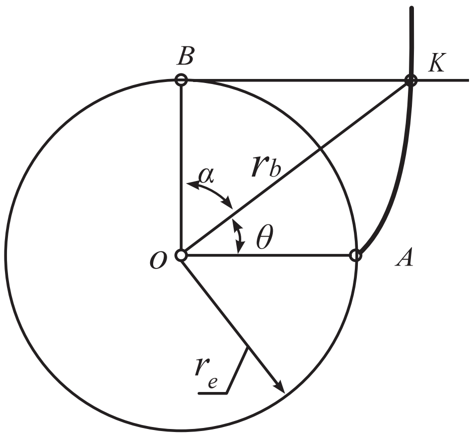
$$\overset{\frown}{AB} = BK;$$
$$\overset{\frown}{AB} = r_e(\alpha + \theta);$$
$$BK = r_e \operatorname{tg}\alpha;$$
$$r_e(\alpha + \theta) = r_e \operatorname{tg}\alpha;$$
$$\operatorname{tg}\alpha = \alpha + \theta.$$

1) $\theta = \operatorname{tg}\alpha - \alpha = inv\ \alpha$;

Bu ýerde (tgα-α) aňlatma inv α bilen aňladylýar we inwalýuta α diýlip okalýar. Oňa α-nyň inwalýutaly funksiýasy diýilýär. Onuň üçin ýörite tablisa düzülen. Eger θ=*inv* α, onda α=*arc inv* θ.

$$r_b = \frac{r_e}{\cos\alpha}.$$

K nokadyň koordinatalaryny kesgitledik.



5.11-nji surat

5.5. Ewolwentaly ilişmek

Dişleriň egriligi ewolwenta şekilli bolanda, geçirijilik gatnaşygynyň hemişelik boljaklygyny kesgitläliň (*5.12-nji surat*).

n-n – birinji tigriň esasy töweregine galtaşýan bolsa, onda birinji ewolwenta E_1 normal bolar.

n-n – ikinji tigriň esasy töweregine galtaşýan bolsa, onda ikinji ewolwenta E_2 normal bolar.

n-n – ewolwentalaryň ikisine-de normal.

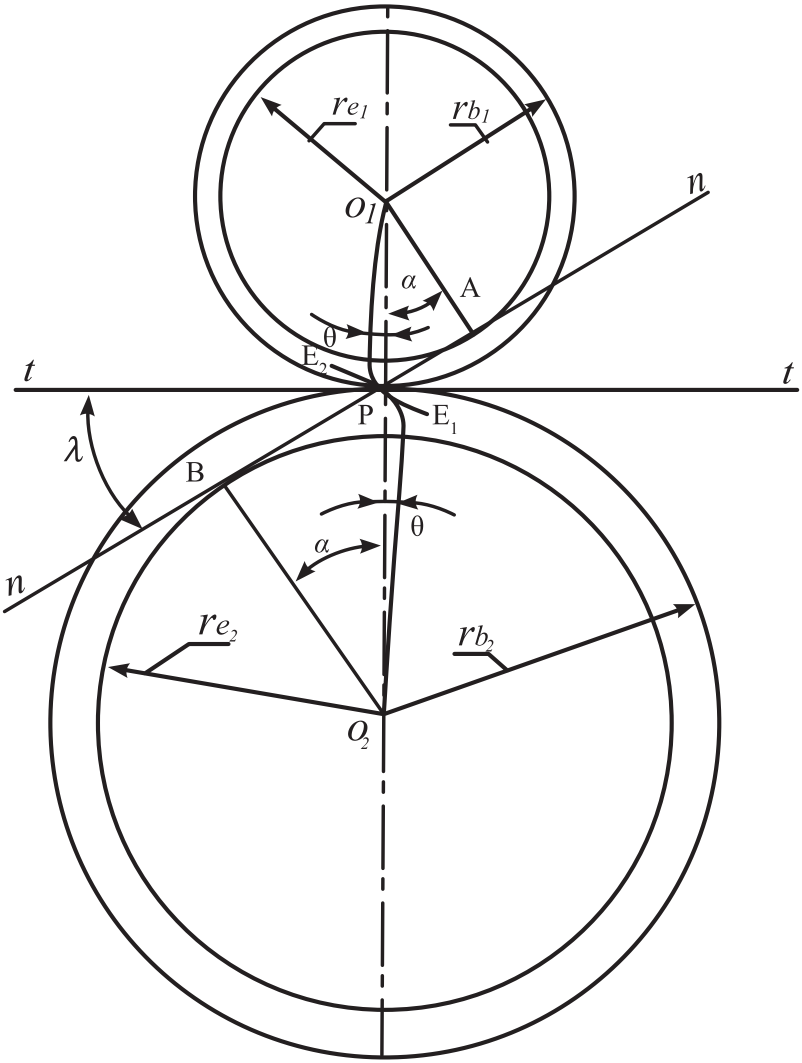
n-n normal *P* nokatdan geçýär. *P* nokatda başlangyç töwerekler bir-birine degşip, typman aýlanýarlar.

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = const$$

Geçirijilik gatnaşygynyň hemişelikligi belli.

Tigirler aýlananda *n-n* normal öz ýerini üýtgedenok, onda geçirijilik gatnaşygy elmydama hemişelik. Dişler *AB* aralykda bir-birine diňe *n-n* normal boýunça ilişýär. *AB* aralyga nazary ilişme çyzygy diýilýär.

$$a_w = r_{b1} + r_{b2}$$

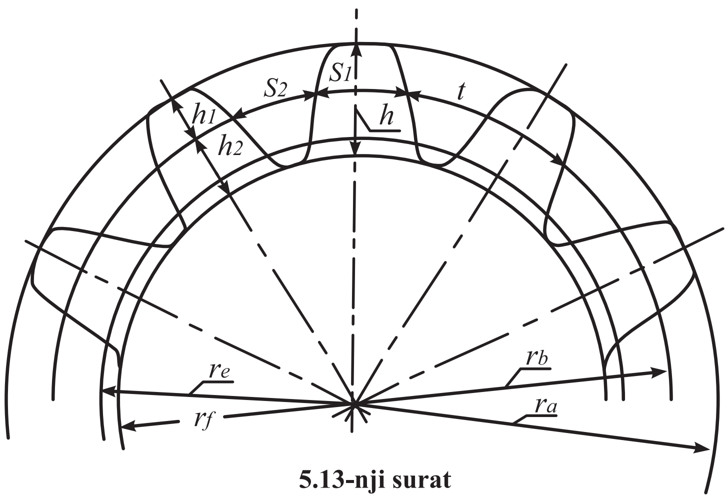


5.12-nji surat

5.6. Standart dişli tigirleriň ululyklary

5.13-nji suratdan t – dişleriň ädimi;

S_1 – dişiň galyňlygy;
S_2 – iki dişiň aralygy;
h – dişiň beýikligi;
h_a – dişiň başjagazynyň beýikligi;
h_f – dişiň aýajygynyň beýikligi;
r_a – dişleriň depesinden geçýän töweregiň radiusy;
r_b – başlangyç töweregiň radiusy;
r_e – esasy töweregiň radiusy;
r_f – dişleriň düýbünden geçýän töwereginiň radiusy.



5.13-nji surat

Başlangyç töweregiň uzynlygy, $S=2\pi r_b=zt$

z – diş sany.

$$2r_b = \frac{zt}{\pi}.$$

$\frac{t}{\pi}$ – ulanmaga amatsyz, şonuň üçin ony m diýip belleýäris.

m – ilişmäniň moduly, m – standart ölçegler boýunça alynýar.

Dişiň beýikligi $h = 2,25m$ standart boýunça, $h_a=m;\ h_f=1,25m.$

Dişleriň depesinden geçýän töweregiň radiusy:

$$r_a = r_b + h_a = \frac{mz}{2} + 1m = \frac{mz + 2m}{2} = \frac{m(z+2)}{2};$$

$$r_a = \frac{m(z+2)}{2}.$$

Esasy töweregiň radiusy: $r_e = r\cos\alpha_\omega$; $r_e = \frac{mz}{2}\cos\alpha_\omega$

Dişleriň düýbünden geçýän töweregiň radiusy:

$$r_f = r_b - 1{,}25m = \frac{mz - 2{,}5m}{2}; \qquad r_f = \frac{m(z-2{,}5)}{2}.$$

Iki tigriň oklarynyň aralygy:

$$a_\omega = r_{b1} + r_{b2} = \frac{mz_1}{2} + \frac{mz_2}{2};$$

$$a_\omega = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}.$$

Standart dişli tigirlerden başga gysgaldylan dişli tigirler hem ýasalýar.

$h=1{,}8m$; $h_a=0{,}8m$; $h_f=1m$; m – *modul*.

$$r_b = \frac{mz}{2}; \qquad r_e = \frac{mz}{2}\cos\alpha_\omega;$$

$$a_\omega = \frac{m(z_1 + z_2)}{2};$$

$$r_a = \frac{m(z+1{,}6)}{2}; \qquad r_f = \frac{m(z-2)}{2}.$$

5.7. Ewolwent dişli tigirli ilişmäniň taslamasy

Ilişmäniň taslamasyny geçirmek üçin berilmeli ululyklar: m – ilişme moduly (*mm*), z_1, z_2 – tigirleriň dişleriniň sany.

Deňlemeleri ulanyp, dişli tigirleriň ululyklaryny kesgitlemeli (*5.14-nji surat*).

$$r_{b1} = \frac{mz_1}{2}; \qquad r_{b2} = \frac{mz_2}{2};$$

$$r_{e1} = \frac{mz_1}{2}\cos\alpha_\omega; \qquad r_{e2} = \frac{mz_2}{2}\cos\alpha_\omega.$$

$$a_\omega = \frac{m(z_1+z_2)}{2}; \qquad r_{a1} = \frac{m(z_1+2)}{2}; \qquad r_{a2} = \frac{m(z_2+2)}{2};$$

$$r_{f1} = \frac{m(z_1 - 2,5)}{2}; \quad r_{f2} = \frac{m(z_2 - 2,5)}{2};$$
$$h = 2,25m;\ h_a = 1m;\ h_f = 1,25m;\ t = \pi m;$$
$$S_1 = S_2 = \frac{\pi m}{2}$$

Masştab boýunça dişli tigirleriň ululyklaryny kesgitlemeli.

Dişiň beýikligi 40–50 *mm*-den kiçi bolmaly däl.

$$\mu_l = \frac{h}{50}\frac{mm}{mm}, \quad A_\omega = \frac{a_\omega}{\mu_l} mm.$$

Dik çyzyk geçirip, a_ω aralygy A_ω ululygy boýunça belleýäris:

$a_\omega = O_1 O_2$, O_1 – nokatdan birinji tigriň başlangyç töweregini geçirýäris.

$$\frac{r_{b1}}{\mu_l} = R_{b1}, mm,$$

O_2 – nokatdan ikinji tigriň başlangyç töweregini geçirýäris.

Başlangyç töwerekleriň galtaşýan ýerini P diýip belleýäris. Şol nokat IV klas kinematik jübüt. P nokatda iki başlangyç töwereklere umumy galtaşýan çyzyk *t-t* geçirýäris, ol wertikal çyzyga perpendikulýar. Umumy galtaşýan çyzyga ilişmek burçy α_ω boýunça *n-n* çyzygy geçirýäris. *n-n* iki tigirleriň dişlerine umumy normal çyzyk bolýar. Standart dişli tigirler üçin ilişmek burçy $\alpha_\omega = 20^0$*-a* deň. Normal *n-n* çyzyga O_1 we O_2 nokatlardan perpendikulýar çyzyk geçirip, *n-n* bilen kesişýän nokatlaryny A we B diýip belgileýäris. O_1A we O_2B radiuslar bilen esasy töwerekleri geçirýäris. AP aralygy deň bölüp, ýagny, A nokatdan P nokada tarap deň aralyklara bölüp, birnäçe nokatlary belleýäris (*1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9*). *1–2; 2–3; .....8–9;* aralyklar bir-birine deň bolmaly (çyzgyda *1-2=7 mm*) (*5.14-nji sur.*).

A nokat *1, 2, ..., 9* nokatlary birinji tigriň esasy töweregine geçirip, *1', 2', ..., 9'* nokatlary belleýäris. Ştrih nokatlary O_1 nokat bilen birleşdirip, şol nokatlarda esasy töwerege galtaşýan çyzyklary geçirýäris. *8'* nokatda geçirilen galtaşýan çyzygyň üstünde *8–9* aralygy belleýäris, *7'* nokatdan geçirilen galtaşýan çyzygyň üstünde *7–9* aralygy belleýäris. Şoňa görä hemme ştrih nokatlardan geçirilen galtaşýan çyzyklaryň üstünde *n-9* aralyklary belläp, şol nokatlary lekal bilen birleşdirip, birinji tigriň dişiniň ewolwentasyny E_1 gurýarys. Dişi doly gurmak üçin, onuň galyňlygyny kesgitleýäris. Başlangyç töwerek boýunça dişiň galyňlygy S_1 bilen iki dişiň aralygy S_2-*ä* deň bolmaly:

$$S_1 = S_2 = \frac{\pi m}{2}.$$

Dişiň galyňlygynyň ýarysyny kesgitläp, alarys: $\frac{1}{2} S_1 = \frac{\pi m}{4}$,

P nokatdan başlangyç töweregiň üstünde şol aralygy belläp, O_1 nokat bilen birleşdirip, birinji tigriň dişiniň ýarysyny gurarys. Ikinji ýarysyny simmetriýa kanuny boýunça gurýarys. Dişleriň düýbünden geçýän töweregi $r_{f1} = \frac{m(z_1 - 2,5)}{2}; R_{f1}$ *mm*-de we dişleriň depesinden geçýän töweregi $r_a = \frac{m(z + 2)}{2}; R_a,$ *mm*-de geçirsek, dişiň ýarysynyň çyzgysyny göreris. Dişiň ortasyny bölýän çyzykdan r_e, r_b, r_a we r_f radiuslar bilen geçirilen töwereklerde dişiň beýleki ýarysyny belläp, dört nokatdan lekal bilen dişiň beýleki tarapyny gurýarys. Birinji tigriň ýene iki dişini simmetriýa boýunça gurarys. Ikinji tigriň dişlerini gurmak üçin *BP* aralygy deň aralyklara bölüp, *10, 11, 12, 13, 14, 15* nokatlary normal *n-n* çyzygyň üstünde belleýäris. *B* – nokatdan çep tarapa *16, 17, 18, 19, 20* nokatlary belleýäris. (*9–10=7mm*). Birinji tigirdäki bölünişe deň bolmaly. Normal çyzykda, *B* nokatdan başlap ikinji tigriň esasy töwereginiň üstüne *9″, 10″, ..., 20″* nokatlary geçirýäris. Ştrih nokatlary O_2 nokat bilen birleşdirip, esasy töwerege galtaşma çyzyklary geçirip, olaryň üstünde *10″* nokatdan *9–10* aralygy belläp, *11″* nokatdan *9–11* aralygy belläp we şoňa meňzeş *20″* nokatdan *9–20* aralygy belleýäris.

Şol bellenen nokatlary lekal boýunça birleşdirip, ikinji tigriň dişiniň ewolwentasyny E_2 gurýarys (*5.14-nji sur.*).

Ikinji tigriň başlangyç töweregi boýunça dişiň galyňlygy birinji tigriň başlangyç töweregi boýunça dişiň galyňlygyna deň, sebäbi başlangyç töwerekler bir-biriniň üstünde typman aýlanýarlar.

$$S_I^1 = S_{II}^1 = \frac{\pi m}{2}$$

bolar we şoňa görä iki dişleriň aralyklary hem deň:

$$S_I^2 = S_{II}^2 = \frac{\pi m}{2}.$$

P nokatdan başlangyç töweregiň üstünde dişiň ýarysyny belläp, O_2 nokat bilen birleşdirýäris. Bu dişiň simmetriýa oky bolýar. Dişleriň düýbünden geçýän $r_{f2} = \dfrac{m(z_2 - 2,5)}{2}$ we dişleriň depesinden geçýän $r_a = \dfrac{m(z_2 + 2)}{2}$ töwerekleri $R+2$, R_{a2} geçirip, dişiň ýarysyny belleýäris. Ikinji ýarysyny simmetriýa boýunça gurýarys. Ikinji tigirde ýene-de iki dişi simmetriýa boýunça gurmaly. Birinji dişli tigir sagat ugruna garşy tarapa aýlananda, ikinji tigir sagat ugruna aýlanýar. Birinji tigriň ilki ilişmä girýän nokady *«a»* dişleriň depesinden geçýän töwerek bilen normal *n – n* kesişýän nokady.

Ilişmekden çykýan *b* nokat ikinji tigriň dişleriniň depesinden geçýän töweregiň normal *n-n* bilen kesişme nokady.

ab – hakyky ilişmek çyzygy. Şol çyzygyň *a* nokadynda iki dişler ilişmä girip, *b* nokadynda ilişmeden çykýarlar.

AB – nazary ilişmek çyzygy diýilýär.

Dişleriň ilişmä giren we ilişmeden çykan ýagdaýlary ştrih çyzyk bilen görkezilen. Dişler ilişmä giren we çykan ýagdaýlarynda birinji tigriň dişiniň başlangyç töweregi bilen kesişýän nokatlaryny c_1 we d_1 diýip belleýäris.

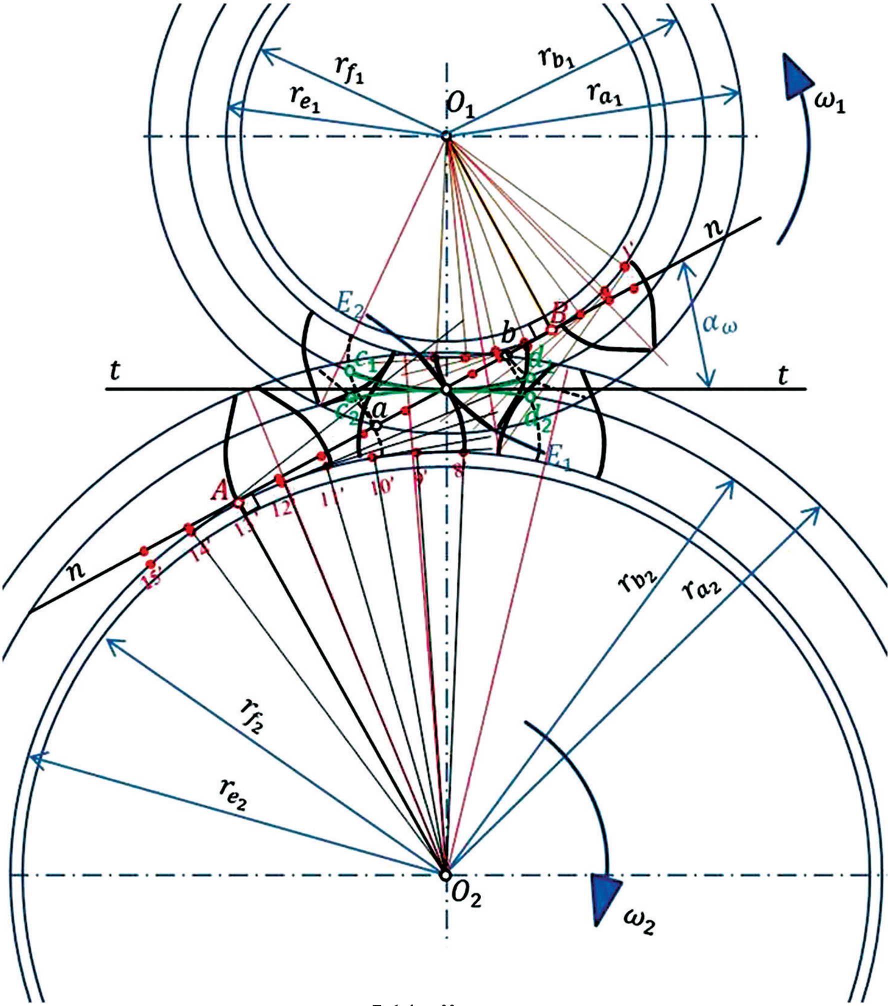
$\overparen{c_1d_1}$ – duga, birinji tigriň dişiniň başlangyç töwerek boýunça iki dişiň ilişmeginde geçýän ýoly.

$\overparen{c_2d_2}$ – duga, ikinji tigriň dişiniň başlangyç töwerek boýunça dişler ilişende geçýän ýoly.

Şol ýollar deň bolmaly, sebäbi başlangyç töwerekler typman aýlanýarlar. $\overparen{c_1d_1} = \overparen{c_2d_2}$ oňa ilişme dugasy diýilýär.

Ilişme dugasy ilişme ädiminden uly bolmaly.

$$\overparen{c_1d_1} > t \text{ ýa-da } \overparen{c_1d_1} > \pi m.$$



5.14-nji surat

Eger $\overset{\frown}{c_1d_1} < t$ ilişme ädiminden kiçi bolan ýagdaýynda, iki dişler ilişmä girip çykanda, yzyndaky dişler ilişmä girip ýetişenok, olar urgy bilen duşuşýarlar. Urgy bilen işleýän dişler uzak işläp bilenok.

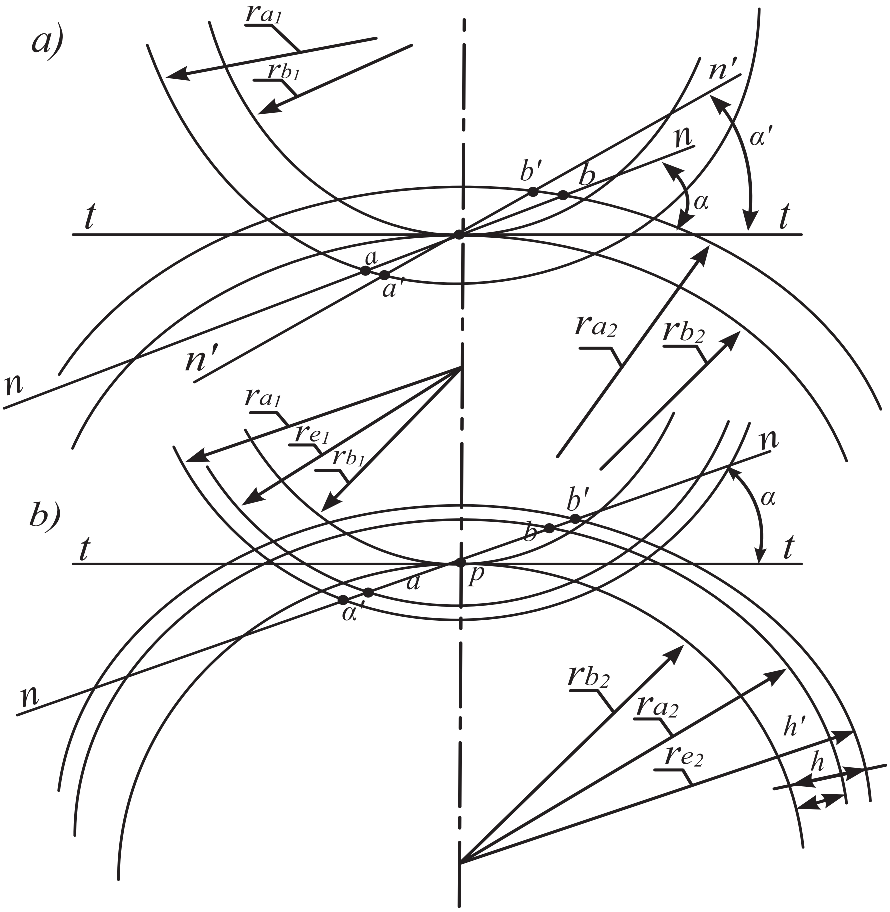
Eger-de $\overset{\frown}{c_1d_1} = t$ bolanda, iki dişler ilişmeden çykjak bolan ýagdaýynda yzyndaky iki dişler ilişmä girjek bolup duşuşýarlar. Mehanizmiň iş pursadynda yrgyldy ýüze çykanda, mehanizm uzak işläp bilenok.

Ilişme dugasynyň ilişme ädimine gatnaşygyna örtme koeffisi- ýenti diýilýär:

$$\varepsilon = \frac{\widetilde{c_1 d_1}}{t}$$

Örtme koeffisiýenti *1,1*< *ε* <*1,8* aralykda bolmaly. Örtme koeffisiýenti *ε=1,1*-e deň bolanda, iki dişler ilişmede bolan ýagdaýynda, beýleki iki dişleriň *0,1* uzynlygy ilişmede bolmaly.

Her tigirden doly iki diş ilişmede bolup bilenok, olar gaňrylyp döwülmegi mümkin.



5.15-nji surat

Örtme koeffisiýenti mehanizmiň birsydyrgyn işleýşini görkezýär:

$$\varepsilon = \frac{ab}{t\cos\alpha};$$

bu ýerde ab – hakyky ilişme çyzygy;
t – ilişme ädimi;
α – ilişme burçy.

Ilişme burçy üýtgände ilişme çyzygynyň uzynlygy üýtgeýär (başga ululyklary üýtgemedik ýagdaýynda). 5.15-nji *a* suratda hakyky ilişme burçuna görä görkezilen. Çyzgydan görünýär, ilişme burçy ulaldygyça, ilişme çyzygy kiçelýär, şonuň bilen birlikde örtme koeffisiýenti hem kiçelýär. Örtme koeffisiýenti dişiň beýikligine--de bagly (başga ululyklarynyň üýtgemedik ýagdaýynda). 5.15-nji *b* suratdan görnüşi ýaly: dişiň depesiniň beýikligi h' ulalanda $h'>h$ bolanda $a'b'>ab$ bolýar.

5.8. Dişler ýasalanda düýbünden ýa-da depesinden ýonulma hadysasy

Daşky ilişmede dişler diňe güberçek taraplary bilen galtaşýarlar. Ýöne güberçek taraplary bilen dişler nazary ilişmek çyzygynyň *AB* aralygynda galtaşyp bilýärler. *AB* çyzygyň daşynda ewolwentalar – biri güberçek, biri oý taraplary bilen galtaşýarlar. 5.16-njy *a* suratda *K* nokatda şol ýagdaý görkezilen. *K* nokatda ewolwentalaryň egrilik merkezleri galtaşýan nokatdan bir tarapda durýarlar. *A* we *B* nokatlar E_1 we E_2 ewolwentalaryň egrilik merkezleri. Eger galtaşýan nokat *AB* çyzygyň içinde bolsa, onda egrilik merkezleri galtaşan nokadyň iki tarapynda bolýarlar, şol sebäpli ewolwentalar güberçek taraplary bilen galtaşýarlar. Diýmek, dişli ilişmede dişleriň hakyky ilişmek çyzygy *ab* nazary ilişmek çyzygynyň *AB* içinde bolmaly. Başgaça aýdylanda, dişleriň depesinden geçýän töwerek nazary ilişme çyzygynyň içinde normal *n-n* çyzyk bilen kesişmeli. Kiçi dişli tigriň ululyklary kiçelende, *ab* çyzyk *AB* çyzygyň daşyna çykyp bilýär (*5.16-njy b surat*). Kiçi tigriň radiuslary kiçelip, *a* nokat *A* nokadyň sag tarapyndan (*5.16-njy b surat*) daşyna çykanda, stanokda dişleri kesilen şol tigriň dişleri düýbünden ýonulýar (*5.17-nji surat*). Diş gowşap, çalt döwülýär. Şol sebäpli diş ýasalanda düýbünden ýonulmaz ýaly bolmaly.

Tigriň iň kiçi ululygy *a* we *A* nokatlar gabat gelende, dişleriň düýpleri ýonulmaz (*5.16-njy b surat*) $\Delta\, O_2 PA$ üçburçlukdan:

$$O_2A^2 = O_2P^2 + PA^2 - 2O_2P \cdot PA \cdot \cos(90^o + \alpha),$$

$O_2A = r_{b2} + m; \quad O_2P = r_{b2}; \quad PA = r_{b1}\sin\alpha$ hasaba alyp,

$$r_{b2} + m = \sqrt{r_{b2}^2 + r_{b1}^2 \sin^2\alpha + 2r_{b1}r_{b2}\sin^2\alpha}$$

ýa-da:

$$r_{b2} + m = r_{b2}\sqrt{1 + \left(\frac{r_{b1}}{r_{b2}}\right)^2 \sin^2\alpha + 2\left(\frac{r_{b1}}{r_{b2}}\right)\sin^2\alpha},$$

$\frac{r_{b1}}{r_{b2}} = -\,i_{12}$ – geçirijilik gatnaşygy, daşky ilişmek üçin aýyrmak alamatly.

$$r_{b2} + m = r_{b2}\sqrt{1 + i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha},$$

Nýutonyň binom hataryna paýlananda bolýar:

$$\sqrt{1 + i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha} = 1 + \frac{1}{2}i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha - \frac{1}{8}[i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha]^2 + \ldots$$

$|i| < 1$ sebäpli hatar çalt azalýar, onda:

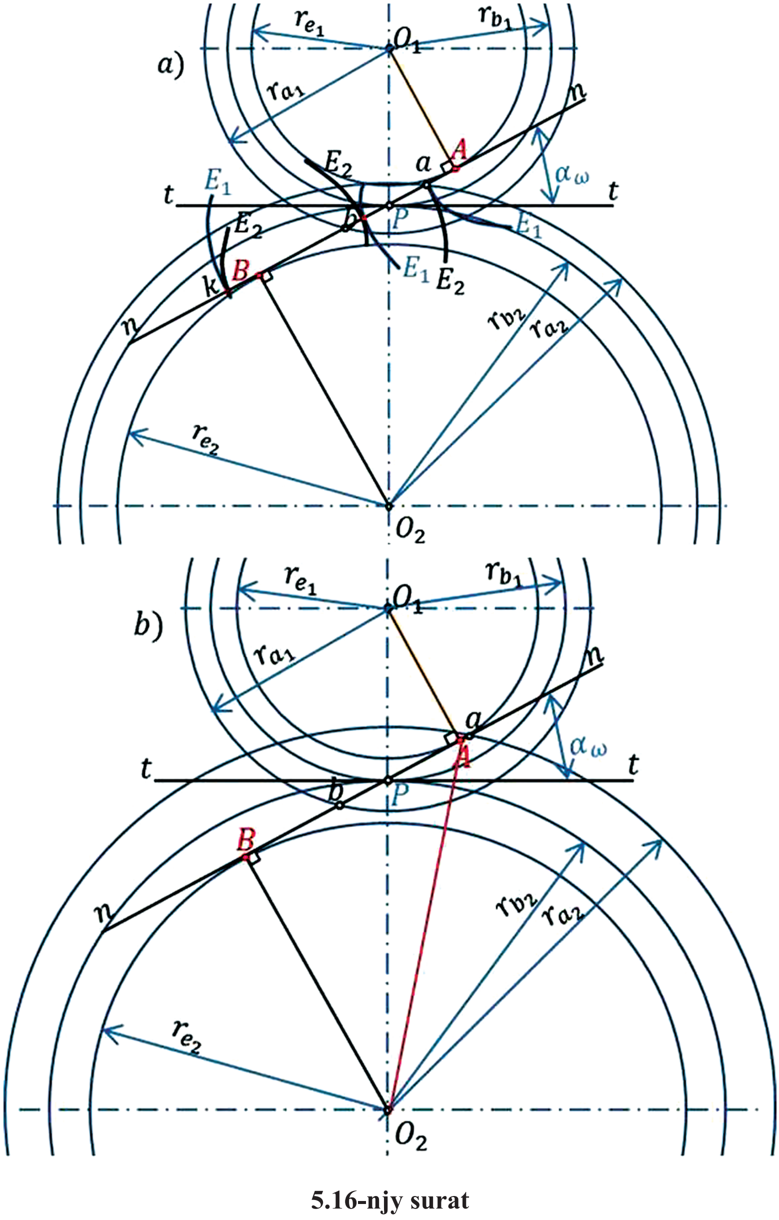
$$r_{b2} + m = r_2 + \frac{1}{2}r_{b2}i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha$$

ýa-da:

$$m = \frac{1}{2}r_{b2}i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2\alpha$$

Moduly, diş sany we radiusy boýunça tapylanda:

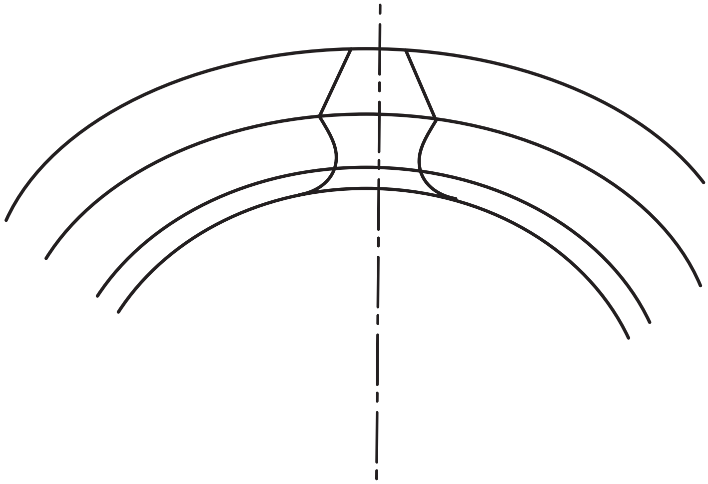
$$m = \frac{2r_{b1}}{z_1}.$$



5.16-njy surat

Onda

$$\frac{2r_{b1}}{z_1} = \frac{1}{2} r_{b2} i_{12}(i_{12} - 2)\sin^2 \alpha$$



5.17-nji surat

z_1 – görä çözülende:
$$z_1 = \frac{4r_{b1}}{r_{b2}i_{12}(i_{12}-2)\sin^2\alpha},$$

ýöne
$$-i_{12} = \frac{r_{b1}}{r_{b2}},$$

onda
$$z_1 = z_{\min} = \frac{4}{(2-i_{12})\sin^2\alpha}.$$

Standart dişli tigirleriň ilişme burçy $\alpha_\omega=20^0$. Kiçi tigir reýka guraly bilen ýasalanda iň az diş sany $z_{\min}=17$, şonda *a* we *A* nokatlar gabat gelýär. Eger-de iki ilişmä giren tigirler deň ululykda bolan ýagdaýynda $z_{\min}=12$ diýip alyp bolýar.

Ilişme burçy $\alpha' =15^0$ bolanda, dişli tigirleriň ululyklary esli ulalýar. Şol sebäpli 1948-nji ýylda $\alpha' =15^0$-dan $\alpha_\omega=20^0$-*a* geçirildi.

Dişleriň ýonulmagyna dişleriň beýikligi hem täsir edýär (*5.15--nji b surat*).

Käbir ýagdaýda diş sanyny azaltmak üçin gysgaldylan dişli tigirleri hem ulanýarlar.

Standart dişleriň beýikligi $h=2,25\cdot m$, başjagazynyň beýikligi $h_a=1\cdot m$, aýajygynyň beýikligi $h_f=1,25\cdot m$, gysgaldylan dişiň beýikligi $h'=1,8\cdot m$, başjagazynyň beýikligi $h_a'=0,8\cdot m$, aýajygynyň beýikligi $h_f'=m$ *bolar*.

5.9. Dişli tigirleri korrigirlemek

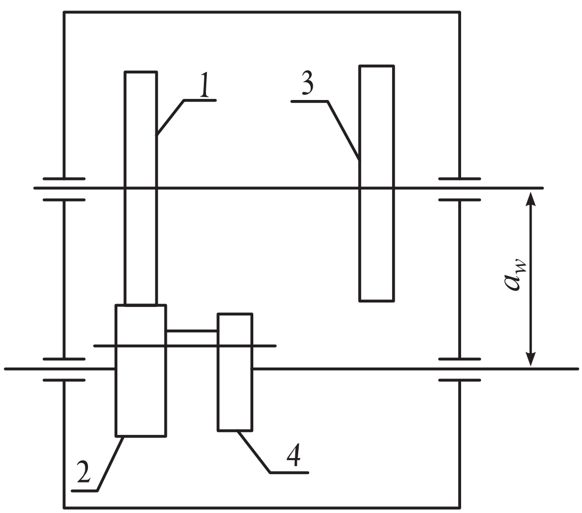
Standart dişli tigirleri käbir konstruksiýalarda ulanyp bolanok, sebäbi olaryň parametrleri birtopar çäklendirme döredýär (meselem, diş sanyny saýlap alanyňda). Diş sany näçe az bolanda, konstruksiýanyň ululygy kiçelýär, mehanizm kompakt bolýar, bahasy arzan bolýar. Ýöne diş sanyny belli bir derejä çenli azaldyp bolýar ($z_{min}=17$), ondan hem azaltsaň, dişler ýasalanda düýbünden ýonulýar. Eger-de diş sanyny hökman azaltmaly bolan ýagdaýynda, dişli tigriň başga ululyklaryny üýtgetmeli bolýar, onda dişli tigirler standart ululykda bolanok, olara düzedilen (ýa-da korrigirlenen) dişli tigirler diýilýär.

Käbir parallel okly mehanizmlerde standart parametrli dişli tigirleri ulanyp bolanok.

5.1-nji mysal. 5.18-nji suratda reduktoryň shemasy görkezilen. Dişleri $z_1=40$; $z_2=20$; $z_3=42$; $z_4=19$. Hemme tigirleriň moduly deň bolmaly.

Standart dişli tigirler ulanylanda, oklarynyň aralygy deň bolanok:

$$a_{w12} = \frac{m}{2}(z_1 + z_2) \neq a_{w34} = \frac{m}{2}(z_3 + z_4).$$

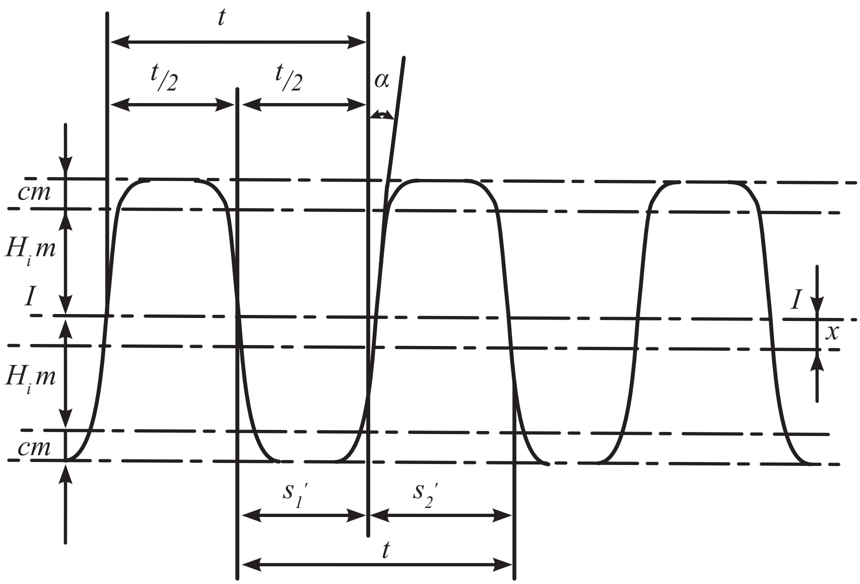


5.18-nji surat

Şol agzalan reduktorda standart parametrli dişli tigirleri ulanyp bolanok. Şonuň ýaly ýagdaý köp döreýär. Başga meselelerde örtme koeffisiýenti kiçi bolany sebäpli ýa-da typma koeffisiýenti uly bolany sebäpli dişli tigirleriň käbir ululyklaryny üýtgetmeli bolýar, başgaça aýdylanda, dişli ilişmäni düzetmeli bolýar. Gowulandyrmak üçin dişli ilişmäniň düzedilmegine korrigirleme diýilýär.

Düzedilme (korrigirleme) aşakdakylar ýaly bolup bilýär:

1. Ilişme burçuny üýtgetmek;
2. Dişleriň beýikligini üýtgetmek;
3. Ikisini bilelikde üýtgetmek;
4. Dişler ýasalanda diş kesýän guraly (reýkany) süýşürmek.



5.19-njy surat

1. Ilişme burçuny (*5.15-nji a surat*) üýtgedip, hakyky ilişme çyzygyny *ab* üýtgedip, örtme koeffisiýentini üýtgedip bolýar. Ilişme burçy kiçelende, örtme koeffisiýenti ulalýar.

Dişiň beýikligini kiçeldip (*5.15-nji b surat*), hakyky ilişmek çyzygyny *ab* ulaldyp, örtme koeffisiýentini ulaldyp bolýar.

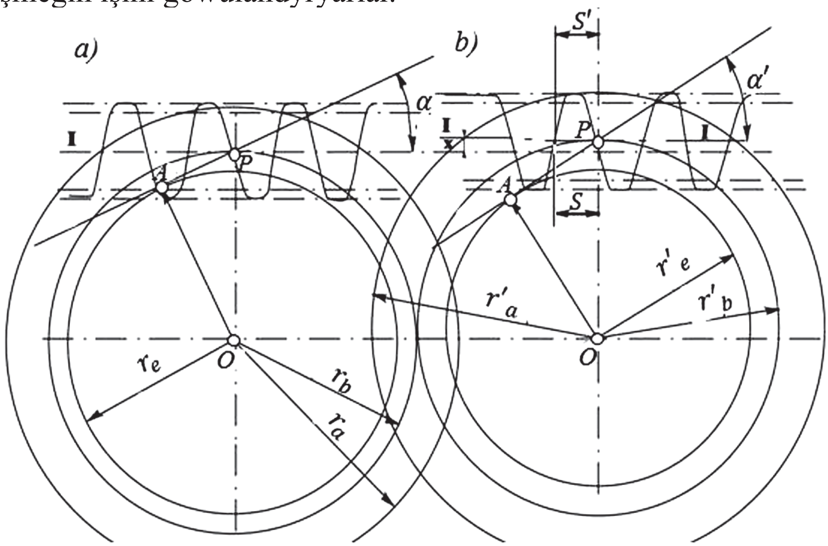
$h'=1,8\cdot m$; $h'_a=0,8\cdot m$; $h'_f=1\cdot m$ – beýikligi kiçelende,

$h=1,25\cdot m$; $h_a=1\cdot m$; $h_f=1,25\cdot m$ – standart beýiklik.

Bu usuly ulanmak üçin diş kesýän guraly täzeden ýasamaly bolýar, şol sebäpli bu usul köp ulanylanok.

2. Standart diş kesýän gural bilen iş edilende dişleriň başjagazynyň beýikligini kiçeldeňde, aýajygynyň beýikligi ulalýar, dişiň umumy beýikligi üýtgänok. Bu usula dördünji usulda serederis.

3. Ilişme burçuny we dişiň beýikligini bilelikde üýtgedip, dişli ilişmegiň işini gowulandyrýarlar.



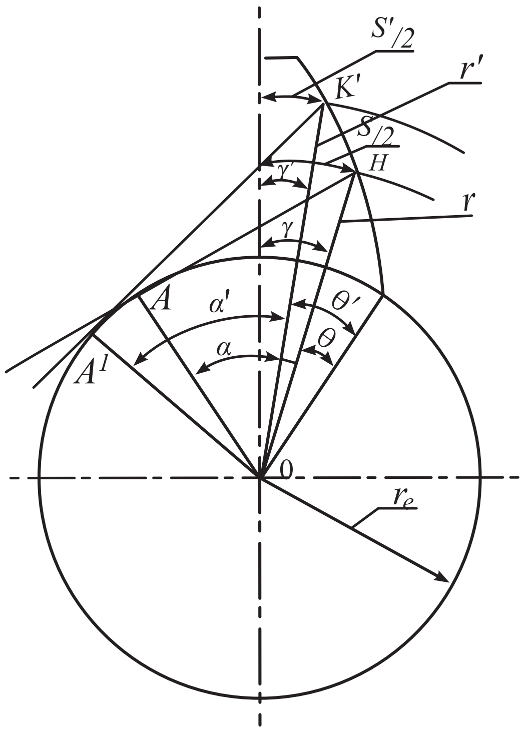
5.20-nji surat

5.10. Diş kesýän guraly süýşürip düzetmek usuly

5.20-nji suratda standart instrumental gural görkezilen. Şol gural bilen dişler kesilýär. Islendik keseligine ilişme ädimi $t=\pi \cdot m$-e deň. Şol sebäpli diş kesilende, obkatka usuly bilen, taýynjyň (zagatowkanyň) $D=m \cdot z$ diametrinden instrumental guralyň islendik çyzygyny aýlap bolýar. Guralyň islendik keseligine ädimi deň bolany sebäpli $D=m \cdot z$ diametrli töwerekde ilişme ädimi we diş sany her bir ýagdaýda-da deň bolýar. Dişleriň galyňlygy we iki dişiň aralygy deň bolmaz.

Dişleriň depesinden we düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary standart ölçeglere deň gelmez. Dişleriň galyňlygy S_1 we iki dişiň aralygy S_2 diňe ortadaky *I–I* çyzykda deň. Oňa modul çyzygy diýilýär.

Standart ölçegli dişli tigriň dişleri kesilende başlangyç töwerekden $D=m \cdot z$ guralyň modul çyzygy *I–I* aýlanýar, şol sebäpli başlangyç töwerek boýunça dişleriň galyňlygy S_1-e we iki dişiň aralygy S_2-ä deň bolýar. Taýynjyň başlangyç töwereginde başga bir çyzyk aýlananda $S_1 \neq S_2$ deň bolmaýar, dişli tigir üçin $D=m \cdot z$ töwerek başlangyç bolmasa, olara düzedilen dişli tigirler diýilýär. $D=m \cdot z$ diametrli töwerege bölüji töwerek diýilýär. Standart we düzedilen dişli tigirler ýasalanda reýkanyň ýerleşişi görkezilen (*5.20-nji surat*).



5.21-nji surat

Çyzgyda guralyň x aralyga süýşmesi görkezilen. x – absolýut süýşmesi diýilýär:

$$x=\xi \cdot m$$

ýa-da

$$\xi = \frac{x}{m},$$

bu ýerde ξ – otnositel süýşmesi.

Süýşmek iki tarapa edilýär. Töweregiň merkezinden daşyna süýşürilende (+), merkezine süýşürilende (-). Diş kesýän guralyň, instrumental guralyň üýtgemesi we guralyň süýşeni bilen esasy tözerek üýtgänok, onda dişleriň ewolwentalary hem üýtgänok. $D = m \cdot z$ töwerek boýunça instrumental gural süýşende dişiň galyňlygy S'_1 tapylýar (*5.20-nji b surat*).

$$S'_1 = S_1 + 2x \text{ tg } \alpha,$$

ýa-da
$$S'_1 = \frac{\pi m}{2} + 2\xi \text{tg}\alpha,$$

$$S'_1 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \text{tg}\alpha\right).$$

Iki düzedilen dişli tigirler ilişmä girende, şol tigirleriň dişleri her hili süýşme bilen kesilip bilinýär.

Iki tigirleriň süýşmeleri deň bolmadyk ýagdaýynda, $D_1 = m \cdot z_1$ we $D_2 = m \cdot z_2$ diametrli töwerekler başlangyç töwerek bolup bilenok.

Başlangyç töwerekler typman aýlanmaly, olaryň diňe ädimleri deň bolmaly däl-de, birinji tigriň dişiniň galyňlygy ikinji tigriň iki dişiniň arasyna deň bolmaly. Süýşmeler deň bolmadyk ýagdaýynda şol şertler ýerine ýetirilenok. Umuman alanyňda, başlangyç töwerekler $D = m \cdot z$ töwereklerden tapawutlanýar. Diametri $D = m \cdot z$ bolan töwerege bölüji töwerek diýilýär. Şol töwerek tigirler ýasalýan wagty başlangyç töwerek bolýar. Dişler ýasalýan wagty, şol töweregiň üstünden diş kesýän guralyň başlangyç çyzygy typman aýlanýar.

Eger-de tigirleriň dişleri deň süýşme bilen kesilen bolsa, düzedilen ilişmede bölüji we başlangyç töwerekler gabat geler we ($\xi_1 = -\xi_2$) bolar.

Umuman alanyňda, süýşmeler deň bolmadyk, başlangyç we bölüji töwerekler gabat gelmedik ýagdaýlarynda iki tigirleriň oklarynyň aralygy a'_w, standart dişli tigirleriň oklarynyň aralygy a_w-dan tapawutlanýar. Oklaryň aralygynyň üýtgeýänligi bilen hereket geçirijilik gatnaşygy üýtgänok.

Bu ýagdaýda diňe ilişme burçy α' üýtgeýär. Oňa montaž ilişme burçy diýilýär. Dişler standart instrumental gural bilen kesilende-de, montaž ilişme burçy standart ilişme burçundan tapawutlanýar.

Korrigirlenen dişli ilişmegiň ululyklary we ewolwentaly dişiň ýarysy çyzgyda görkezilen (*5.21-nji surat*).

$$\gamma'+\theta'=\gamma+\theta$$

Burçy radianda hasaplananda:

$$\gamma' = \frac{S'}{2r'}; \quad \gamma = \frac{S}{2r};$$

$$\theta' = inv\,\alpha'; \quad \theta = inv\,\alpha.$$

Onda:

$$\frac{S'}{2r'} + inv\alpha' = \frac{S}{2r} + inv\alpha$$

ýa-da:

$$S' = r'\frac{S}{r} + 2r'(inv\alpha - inv\,\alpha').$$

Bölüji töwerek boýunça dişiň galyňlygy:

$$S = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \operatorname{tg}\alpha\right),$$

bu ýerde $r = \frac{mz}{2}$ – bölüji töweregiň radiusy;

$r' = \frac{m'z}{2}$ – başlangyç töweregiň radiusy,

m – standart moduly,

m' – başlangyç töwerek boýunça moduly.

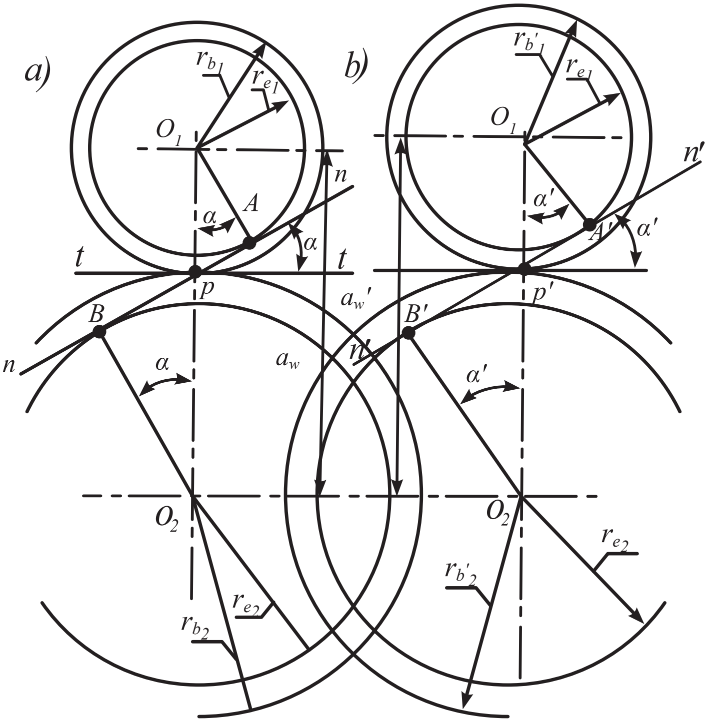
$$S' = m'\left[\frac{\pi}{2} + 2\xi \operatorname{tg}\alpha + z(inv\alpha - inv\alpha')\right]$$

Iki düzedilen dişli tigirler ilişmä girende, olaryň dişleriniň galyňlygy başlangyç töwerekler boýunça tapylýar:

$$S'_1 = m'\left[\frac{\pi}{2} + 2\xi_1 \operatorname{tg}\alpha + z_1(inv\alpha - inv\alpha')\right]$$

$$S'_2 = m'\left[\frac{\pi}{2} + 2\xi_2 \operatorname{tg}\alpha + z_2(inv\alpha - inv\alpha')\right]$$

Iki tigriň başlangyç töwerekleri boýunça ädimi t', onda şol töwerekler boýunça moduly m' deň bolmaly, sebäbi başlangyç töwerekler typman aýlanýarlar.



5.22-nji surat

Bölüji töwerekler boýunça ilişme burçlary deň, olar standart ilişme burçuna deň $\alpha=20^0$. Başlangyç töwerekler boýunça ilişme burçy α' deň. Şol burç montaž ilişme burçuna deň. Başlangyç töwerekler boýunça iki dişiň galyňlygynyň jemi şol töwerekler boýunça ädimine deň:

$$S'_1 + S'_2 = t' = \pi m'.$$

Onda

$$S'_1+S'_2=m' [\pi+2(\xi_1+\xi_2)\text{tg } \alpha+(z_1+z_2)(inv\alpha-inv\alpha')]=\pi m'$$

ýa-da

$$2(\xi_1+\xi_2)\text{tg } \alpha+(z_1+z_2)(inv\alpha-inv\alpha')=0,$$

ýa-da

$$inv\alpha' = \frac{2(\xi_1+\xi_2)\text{tg } \alpha}{z_1+z_2} + inv\alpha.$$

Şu deňlemede z_1, z_2 we ξ_1,ξ_2 berlende, montaž ilişme burçuny tapyp bolýar. Montaž ilişmegi tapylandan soňra, düzedilen ilişmegiň galan ululyklaryny tapmak aňsat.

Düzedilen tigriň başlangyç töwereginiň radiusy:

$$r'_b = \frac{r_e}{\cos\alpha'}.$$

Esasy töweregiň radiusy üýtgänok:

$$r_e = r_b \cos\alpha = \frac{mz}{2}\cos\alpha.$$

Onda $$r'_{b1} = \frac{mz_1}{2}\frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha}; \qquad r'_{b_2} = \frac{mz_2}{2}\frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha}.$$

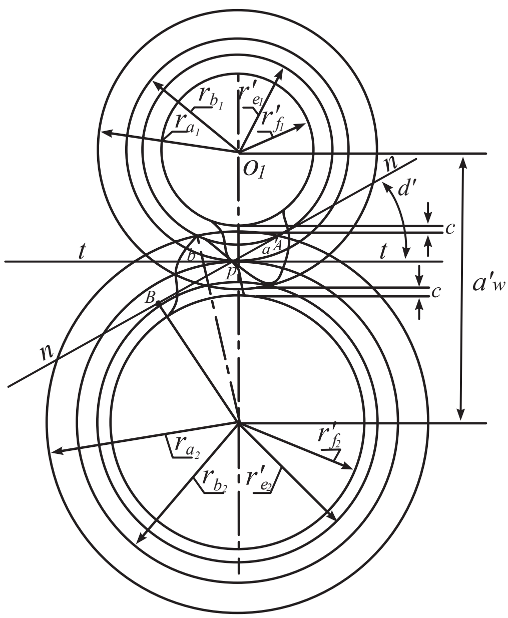
Düzedilen ilişmegiň oklarynyň aralygy:

$$a'_\omega = r'_{b1} + r'_{b2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}\frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha}.$$

Başlangyç töwerekler boýunça ädimi t':

$$\frac{t'}{t} = \frac{r'}{r}$$

ýa-da $$t' = \frac{r't}{r} = t\frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha} = \pi m\frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha}.$$



5.23-nji surat

Dişleriň düýbünden geçýän töwereginiň radiusy düzedilen tigirlerde üýtgeýär (*5.23-nji b surat*).

$x = \xi \cdot m$ ölçege, onda

$$r'_f = r_f + x = \frac{m(z-2,5)}{2} + \xi\, m$$

ýa-da
$$r'_f = \frac{m(z-2,5+2\xi)}{2}.$$

Dişleriň depesinden geçýän töweregiň radiusy hem ξ süýşmege görä üýtgeýär. Ýöne umumy ýagdaýda oklaryň aralygynyň üýtgeýşi süýşmeleriň jemine deň däldigi sebäpli

$$a'_w - a_w \neq m(\xi_1 + \xi_2)$$

dişleriň beýikligi standart dişleriň beýikliginden biraz tapawutlanýar.

Düzedilen dişli tigriň dişleriniň depesinden geçýän töweregiň radiusyny iki dişiň aralyk radial yşyny (zazoryny) hasaba alyp tapýarlar:

$$r_{a_1} = a'_\omega - r_{f_2} - c,$$

$$r_{a_2} = a'_\omega - r_{f_1} - c,$$

bu ýerde a'_w – dişli tigirleriň oklarynyň aralygy;

r_{f1} we r_{f2} – birinji we ikinji dişli tigirleriň dişleriniň düýbünden geçýän töwerekleriniň radiuslary;

$c = 0,25 \cdot m$ – radial yş.

5.11. Diş sany z<17 bolan ýagdaýynda instrumental guralyň (reýkanyň) süýşmegi

Standart ululykly dişli tigir ýasalanda (kesilende), diş sany $z_{min} < 17$ bolan ýagdaýynda, dişler düýbünden ýonulýar, sebäbi hakyky ilişme çyzygy nazary ilişme çyzygynyň daşyna çykýar (*5.24-nji surat*).

Çyzgyda 1-nji ýagdaýy instrumental reýka süýşürilmän, çyzylan $z_{min} < 17$ bolan ýagdaýy üçin. Instrumental reýkanyň dişleriniň depesinden geçýän çyzyk normal çyzyk bilen *a* nokatda kesişýär. Şol nokat hakyky ilişme ç yzygynyň çetki nokady, ol nazary ilişme *AB* çyzygynyň daşyna çep tarapdan çykýar. Şol sebäpli tigriň dişleri düýbünden ýonulýar.

Diş ýasalanda düýbünden ýonulmazlygy üçin, hakyky ilişme çyzygy *ab* nazary ilişme çyzygyndan (*AB*) daşyna çykmaz ýaly, diş kesýän guraly taýynjyň (zagatowkanyň) okundan ýokary süýşürmeli. *a* we *A* nokatlar gabat gelende, iň az süýşmek *x* bolýar. Guralyň süýşürilen ýagdaýy (2) ştrih çyzyklar bilen görkezilen.

Guraly süýşürilip ýasalan dişiň düýbi ýonulanok, diş doly, berk ýasalan, ony çyzgyda görmek bolýar. Dişiň ewolwenta tarapy üýtgänok, sebäbi diş kesýän gural üýtgänok. Ewolwentany emele getirýän esasy töweregiň radiusy üýtgänok.

Diametri $d = m\,z$ töwerek boýunça dişiň galyňlygy S, iki dişiň aralygyna S_2 deň bolmaýar, şol sebäpli $d = m\,z$ töwerege bölüji diýilýär.

Dişiň depesinden we düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary üýtgeýär.

Diş ýonylman ýasalan ýagdaýy üçin guralyň süýşmegini kesgitleýäris.

Çyzgyda görünýär, guralyň absolýut süýşmegi (x) deň:

$$x = \chi_i m - c.$$

Standart gural üçin x_i=1, onda

$$\xi = 1 - \frac{z}{2}\sin 2a, \tag{5.1}$$

onda
$$x = m\left(1 - \frac{z}{2}\sin^2 a\right), \tag{5.2}$$

ýöne
$$c = AP\sin a = r_b \sin^2 a = \frac{mz}{2}\sin^2 a \tag{5.3}$$

guralyň otnositel süýşmegi:

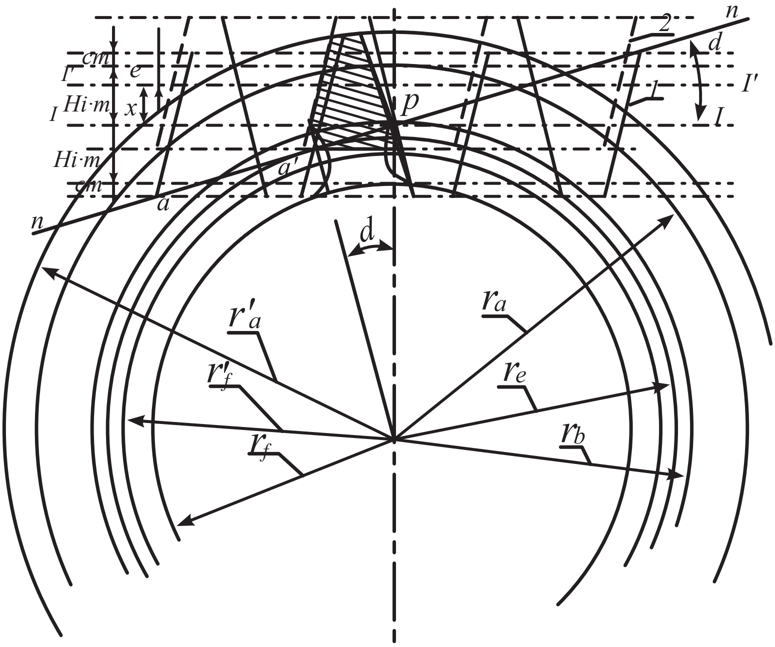
$$\xi = \frac{x}{m},$$

onda

$$x = m - c. \tag{5.2'}$$

Standart gural üçin $\alpha=20°$, onda

$$\xi = 1 - \frac{Z}{17}. \qquad (5.1a)$$



5.24-nji surat

Eger $z>17$ bolsa, onda deňleme aýyrmak alamatyny berýär. Diýmek, guraly iki tarapa-da süýşürip bolýar. Ýöne köplenç $z>17$ bolanda guraly süýşürenoklar.

5.12. Diş kesýän guralyň süýşmegini saýlap almak

Süýşmek koeffisiýentleriniň bahalaryna görä, dişli ilişmeler indikilere bölünýärler:

1. *Normal ilişmek ýa-da standart ilişmek*. Bu ilişmekde $\xi_1+\xi_2=0$, ýöne $\xi_1=\xi_2=0$, ilişmä girýän iki tigir süýşmesiz ýasalan.

2. *Deňölçegli ilişmek*. Bu ilişmede $\xi_1+\xi_2=0$, ýöne $\xi_1=-\xi_2$, diş kesýän gural birinji kiçi tigirde aýlanma okundan daşyna süýşürilen

$+\xi_1$, ikinji uly tigirde aýlanma okuna $-\xi_2$ tarap süýşürilen, bahalary boýunça ikisi deň.

Deňölçegli süýşürilen ilişmede başlangyç we bölüji töwerekler gabat gelýär, ilişme burçy $\alpha=20°$ we oklaryň aralygy a_w üýtgänok. Dişleriň depesinden we düýbünden geçýän töwerekler üýtgeýär, bölüji töwerek boýunça dişleriň galyňlygy we iki dişiň aralygy üýtgeýär.

3. *Goşmak (položitel) ilişmede bolup bilýän ýagdaýlar*:

a) $\xi_1>0; \xi_2=0,$

b) $\xi_1>0; \xi_2>0,$

ç) $\xi_1>0; \xi_2<0$, ýöne $|\xi_1|>|\xi_2|$

Goşmak ilişmäniň hemme görnüşlerinde ilişme burçy α' we oklarynyň aralygy a_w standart ululyklardan uly bolýar.

$$\alpha' >\alpha ; \quad a'_w > a_w$$

4. *Aýyrmak (otrisatel) ilişmek*. Bu ilişmede $\xi_1+\xi_2<0$, süýşme koeffisiýentleriň jemi aýyrmak alamatda (-). Bu ilişmede oklaryň aralygy a'_w we montaž ilişme burçy α' standart ilişmäniňkiden kiçi bolýar:

$$\alpha'<\alpha; \quad a'_w<a_w .$$

Süýşmek koeffisiýenti ξ_1 we ξ_2 dişli ilişmäniň hil görkezmelerine, örtme koeffisiýentine we dişleriniň düýbünden ýonulyşyna uly täsiri bar. Şol sebäpli süýşme koeffisiýentleriniň dogry saýlanyp alnyşy wajyp mesele bolýar. Süýşme koeffisiýentleriniň saýlanyp alnyşynyň birnäçe usullary bar.

Biz iki usulyny ulanýarys:

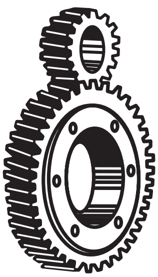
1. Düzetmek W.N.Kudrýawsew usuly boýunça;

2. RGMK (Reduktor gurluşygynyň merkezi konstruktorçylyk býurosy) usuly.

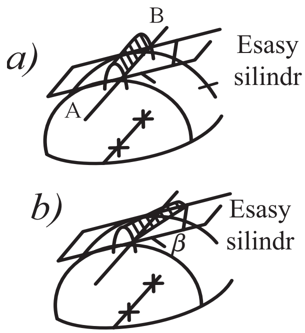
1-nji usul boýunça süýşmek koeffisiýentleri ξ_1 we ξ_2 dişleriň galtaşma (kontakt) berkligi esasynda saýlanýar. Ýörite tablisada dişleriň sany boýunça süýşmek koeffisiýentleri tapylan. Şu usulda başga-da goşundylar göz öňünde tutulan: dişleriň düýbünden ýonulyşy, örtme koeffisiýentiniň ýeterlik derejesi, iki dişleriň udel typmasynyň deňligi we ş.m. Şu usul boýunça dişli ilişmäniň taslamasy geçirilende agzalan häsiýetlerini barlamak hökman däl. Taslama geçirip önümçilige hödürläýmeli, esasanam ýapyk dişli hereket geçiriji mehanizmler üçin. Şol mehanizmlerde iň wajyby galtaşma berkligi.

RGMK usuly boýunça süýşmek koeffisiýentleri dişleriň udel typma koeffisiýentleriniň deňligi esasynda saýlanyp alnan. Tigirleriň dişleriniň sanyna görä ýörite tablisalarda süýşme koeffisiýentleri ξ_2 we $\xi_i=\xi_1+\xi_2$ we montaž ilişme burçlary berlen.

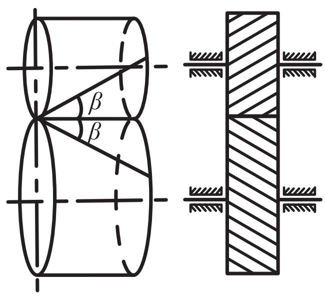
Montaž ilişme burçuny hasaplamak zerur bolmaýar. Tablisada deňölçegli $\xi_1=-\xi_2$ we deňölçegsiz süýşmeli ilişmeler üçin maglumatlar berlen.



5.25-nji surat



5.26-njy surat



5.27-nji surat

Daşky ilişmekde kiçi tigriň diş sany $z_{min}<17$ bolanda, dişleri ýasalan wagtynda düýbünden ýonulýar, şol sebäpli diş kesýän guraly süýşürip düzetmeli bolýar. Içki ilişmede iç tarapynda dişleri bolan tigriň ýasalan wagtynda diş sany $z_{min}<85$ bolanda, dişleriň depesinden ýonulyp uçlanýar.

5.13. Gyýa dişli silindrik tigirler

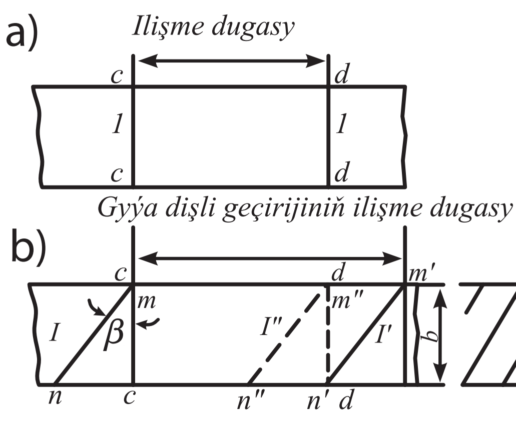
Öň seredilen dişli tigirleriň dişleri silindriň okuna parallel, dişleriň galtaşýan çyzyklary şol oka parallel bolany sebäpli, olara göni dişli tigir diýilýär. Şol dişli tigirleriň dişleriniň bütin uzynlygy bir wagtda ilişmä girip çykýar. Aýlanma okuna perpendikulýar tekizliklerde ilişmäniň suraty geometriýa ýa-da wagta görä deň. Şol sebäpli dişli tigirler ýasalanda goýberilen ýalňyşlyklar (ädiminiň deň dälligi, ewolwentanyň ýalňyşlygy we ş.m.) olaryň işini ýaramazlaşdyryp biler (sesini ulaldyp, iş möhletini peseldip we ş.m.). Ondan başga-da göni dişli ilişmäniň örtme koeffisiýenti pes (ikiden kiçi) bolanlygy sebäpli birsydyrgyn işleýşi ýaramazlaşýar.

Şol agzalan kemçilikleriň täsirini azaltmak üçin gyýa dişli silindr tigirleri ulanýarlar (*5.26-njy surat*).

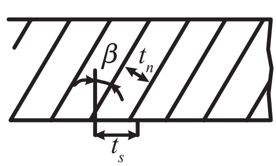
Dişleriň gapdal üstleriniň emele gelşi görkezilen (*5.27-nji surat*).

Silindriň okuna parallel tekizligiň *AB* çyzygy, silindriň üstünde typman aýlananda göni dişiň gapdal üstüni emele getirýär. *AB* çyzygyň hemme nokatlary ewolwenta boýunça hereket edip, dişiň silindriki ewolwentaly üstüni emele getirýär. Gyýa dişleriň gapdal üstüni emele getirýän çyzyk *cd* silindriň okuna parallel däl, şol ok bilen aralyk burçy *β*. *cd* çyzygy emele getirýän ewolwentasy silindrik däl, dişiň üsti wintli çyzykly ewolwenta bolýar.

Gyýa dişiň gapdal üstüniň başlangyç silindr bilen kesişýän ýeri wintli çyzyk bolýar. Şol çyzygyň silindriň okuna ýapgytlyk burçy *β* gyýa dişli hereket geçirijiniň gapdal görnüşi görkezilen (Başlangyç silindrler we dişleriň yzy görkezilen) (*5.28-nji surat*). Wint çyzyklarynyň bir-birine girişi iki tigirde dürli. Biri sag tarapdan, beýlekisi çepden girýär. Wint çyzygynyň tigirleriň okuna ýapgytlygy iki tigirde-de deň bolmaly.



5.28-nji surat



5.29-njy surat

Gyýa dişli hereket geçirijiniň ilişmek suraty göni dişliniňki ýaly kesesinden seredeniňde deň. Ýöne göni dişlide dişleriň hemme nokatlary birwagtda ilişmä girse, gyýa dişli ilişmekde dişleriň nokatlary dişiň uzynlygy boýunça yzygiderli ilişmä girýär (*5.29-njy surat*). Göni dişli we gyýa dişli tigirleriň başlangyç silindrleriniň yzy görkezilen. Kese-kesigine görä ilişme dugasynyň başlangyç *c-c* we soňky *d-d* çyzyklary görkezilen. *I* we *I'* dişleriň ilişmä giren we çykan ýagdaýy görkezilen. Kese-kesigine gyýa dişli tigriň ilişme dugasyna deň bolanda-da, gyýa dişli tigriň ilişmek dugasy, umuman alanyňda, göni dişli tigriň ilişmek dugasyndan uzyn. Hakykatda alanyňda, ýokary kesilende gyýa dişler ilişmä *m* nokatda girip, *m''* nokatda çykýar. Ýöne aşaky kesikde diş ilişmä girmändir. Ol *n'* nokatda ilişmä girer, diş *I'* ýagdaýda doly ilişmekden çykýar. Gyýa dişli tigriň ilişmek dugasy *m'' m'* ölçegi göni dişli tigriň ilişmek dugasyndan uly.

$$m'' m' = b \operatorname{tg}\beta,$$

bu ýerde b – silindriň ini.

Gyýa dişli tigriň örtme koeffisiýenti hem göni dişliniňkiden uly bolýar:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_g + \frac{b \operatorname{tg}\beta}{t_s}, \qquad (5.4)$$

bu ýerde ε_g – göni dişli ilişmegiň örtme koeffisiýenti.

t_s – silindriň kese-kesigi boýunça ädimi.

Şu deňlemeden, tigriň inini b we dişiň ýapgytlyk burçyny β ulaldyp, örtme koeffisiýentini ulaldyp bolýanlygy görünýär.

Käbir dişli hereket geçirijileriň örtme koeffisiýenti 8÷10-a çenli bolup bilýär.

Dişleri gyýa bolan tigirlerde ädimine we modulyna kese--kesiginden we normal kesiginden seretmeli (*5.30-njy surat*). Çyzgydan ädimleriň başlangyjy:

$$t_s = \frac{t_n}{\cos\beta}. \qquad (5.5)$$

Şoňa görä kese we normal kesiklerde modullaryň başlangyjy:

$$m_s = \frac{m_n}{\cos\beta}. \qquad (5.6)$$

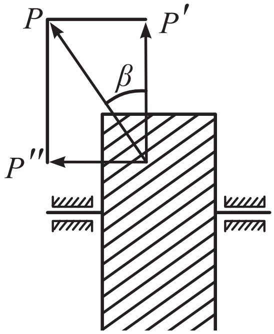
Normal modul m_n (dişli tigirleriň ýasalyşyna bagly) standart modul diýip alynýar. Şonuň üçin diş kesýän guralyň standart ululyklaryna görä, normal kesiginde ululyklary standart bolýar.

Gyýa dişli tigriň başlangyç töwereginiň diametri kese-kesigine m_s moduly boýunça kesgitlenýär:

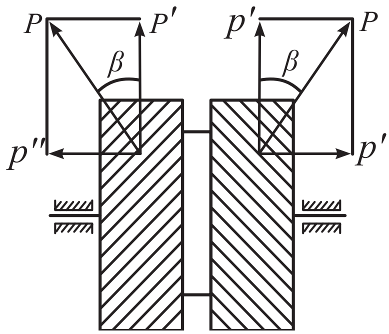
$$D = m_s \cdot z \tag{5.7}$$

ýa-da

$$D = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot z\,. \tag{5.7a}$$



5.30-njy surat



5.31-nji surat

Dişleriň beýikligi *h* normal we kese-kesiklerde deň bolany sebäpli dişleriň depesinden we düýbünden geçýän töwerekleriň diametrleri aşakdaky ýaly bolýar:

$$D_a = D + 2h' = m_s z + 2m_n \tag{5.8}$$

$$D_f = D - 2h'' = m_s z - 2{,}5m_n \tag{5.9}$$

Gyýa dişli tigirlerde iş pursadynda ok boýunça süýşürýän ok ugry güýç emele gelýär. Ýapgytlyk burçy β ulaldygyça, düşýän güýç ulalýar. Şol güýji kabul eder ýaly wallaryň daýançlarynda daýanç, radial-daýanç konus tigirçekli podşipnikler goýulýar (*5.30-njy surat*). Şol kemçiligiň garşysyna iki tarapy garşylyklaýyn gyýa dişli tigirleri ulanýarlar. Oňa şewron dişli tigir diýilýär (*5.31-nji surat*). Şewron tigirlerde ok ugruna täsir edýän güýçler bir-birini deňagrama getirýär. Ýöne iki taraply gyýa şewron dişli tigirleri ýasamak gaty çylşyrymly we gymmat.

5.2-nji mysal. Düzedilen dişli hereket geçirijiniň taslamasyny düzmeli (*5.32-nji surat*).

Berlen: $z_1 = 14,\ z_2 = 47,\ m = 8\ mm,\ \alpha = 20^o$.

1. Bölüji töwerekleriň radiusy deňölçegli süýşmede başlangyç töwerekler bilen gabat gelýär:

$$r'_{b1} = r_1 = \frac{mz_1}{2} = \frac{8 \cdot 14}{2} = 56mm,$$

$$r'_{b2} = r_2 = \frac{mz_2}{2} = \frac{8 \cdot 47}{2} = 188mm.$$

2. Tigirleriň oklarynyň aralygyny kesgitleýäris:

$$a_w = r'_{b1} + r'_{b2} = 56 + 188 = 244\ mm.$$

3. Esasy töwerekleriň radiuslary:

$$r_{e1} = r'_{b1} \cos\alpha = 56 \cos 20^o = 52,6\ mm,$$

$$r_{e2} = r'_{b2} \cos\alpha = 188 \cos 20^o = 176,7\ mm.$$

4. RGMK usulynyň tablisasyndan:

z_2 / z_2	*40*	*50*
14	*0,395*	*0,427*

Interpolýasiýany ulanyp, $z_2 = 47$-ä deň bolanda:

$$\xi_1 = -\xi_2 = 0,395 + \frac{(0,427 - 0,395)}{50 - 40} = 0,418,$$

$$\xi_1 = 0,418; \quad \xi_2 = -0,418.$$

5. Dişleriň düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$$r_{f1} = r_1 + m(\xi_1 - 1,25) = 56 + 8(0,418 - 1,25) = 49,35\ mm,$$

$$r_{f2} = r_2 + m(\xi_2 - 1,25) = 188 + 8(-0,418 - 1,25) = 174,65\ mm.$$

6. Dişleriň depesinden geçýän töwerekleriň radiuslary:

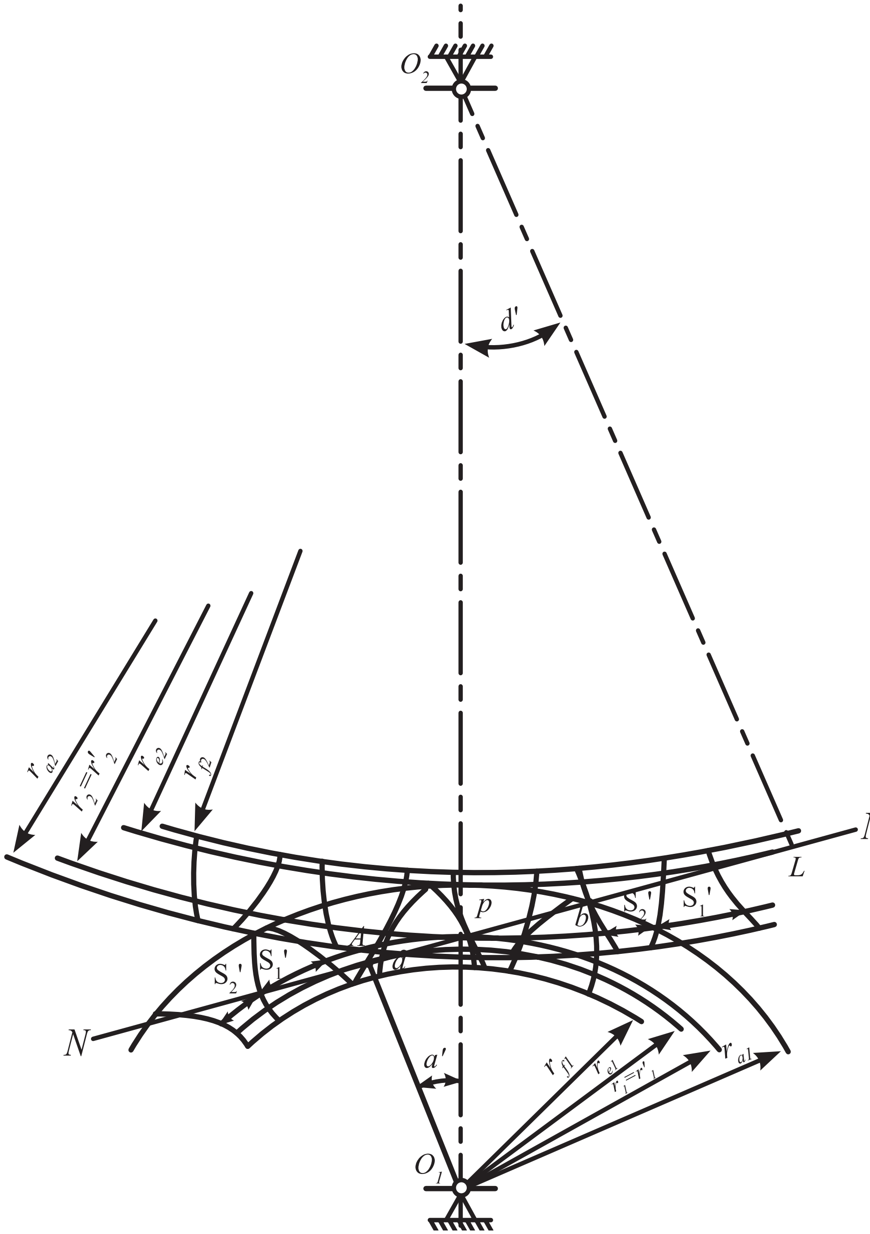
$$r_{a1} = r_1 + m(\xi_1 + 1) = 56 + 8(0,418 + 1) = 67,35\ mm,$$

$$r_{a2} = r_2 + m(\xi_2 + 1) = 188 + 8(-0,418 + 1) = 192,65\ mm.$$

7. Bölüji töwerek boýunça ädimi:

$$t = \pi\, m = 3,14 \cdot 8 = 25,12\ mm.$$

8. Bölüji töwerek boýunça dişleriň galyňlygy:



5.32-nji surat

$$S'_1 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_1 \operatorname{tg} a\right) = 8\left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0,418 \operatorname{tg} 20^{\circ}\right) = 15mm,$$
$$S'_2 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_2 \operatorname{tg} a\right) = 8\left(\frac{3,14}{2} - 2 \cdot 0,418 \operatorname{tg} 20^{\circ}\right) = 10,12mm.$$

9. Dişli tigirleriň hemme ululyklary kesgitlenenden soňra, öň düşündirilişi ýaly, dişli ilişmäniň şekilini gurýarys (*5.32-nji surat*).

10. Örtme koeffisiýenti:

$$\varepsilon = \frac{ab}{\pi \cdot \cos\alpha} = \frac{35}{3,14 \cdot \cos 20^{\circ}} = 1,49$$

ab = 35 mm çyzgydan alnan.

5.3-nji mysal. Daşky ilişmeli dişli hereket geçirijiniň taslamasyny düzmeli.

Berlen: $z_1=9$, $i_{12}=1,2$, $m=12$ mm, $\alpha=20°$ (*5.33-nji surat*).

Ç ö z ü l i ş i :

1. Iki dişli tigriň diş sany:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = 1,2,$$

$$z_2=i_{12}\cdot z_1=1,2\cdot 9=10,8.$$

Kabul edýäris: $z_2 = 11$

2. Bölüji töwerekleriň radiuslary:

$$r_1 = \frac{mz_1}{2} = \frac{12 \cdot 9}{2} = 54mm,$$
$$r_2 = \frac{mz_2}{2} = \frac{12 \cdot 11}{2} = 66mm.$$

3. Esasy töwerekleriň radiuslary:

$$r_{e1} = r_1 \cos\alpha = 54 \cos 20^o = 50,75\ mm,$$
$$r_{e2} = r_2 \cos\alpha = 66 \cos 20^o = 62\ mm.$$

4. Dişleriň sany 17-den az bolsa, diş kesýän guraly süýşürmeli:

$$\xi_1 = \frac{17 - z_1}{17} = \frac{17 - 9}{17} = 0,470,$$
$$\xi_2 = \frac{17 - z_2}{17} = \frac{17 - 11}{17} = 0,352.$$

Ilişmek goşmak alamatly, deňölçegsiz süýşürilen $\xi_1+\xi_2>0$.

5. Montaž ilişmek burçy:

$$inv\alpha' = \frac{2(\xi_1+\xi_2)}{z_1+z_2}\mathrm{tg}\alpha + inv\alpha = \frac{2(0,470+0,352)\mathrm{tg}20^\circ}{9+11} + + inv20^\circ = 0,0448248.$$

Tablisadan $\alpha' = 28^\circ\ 21'$.

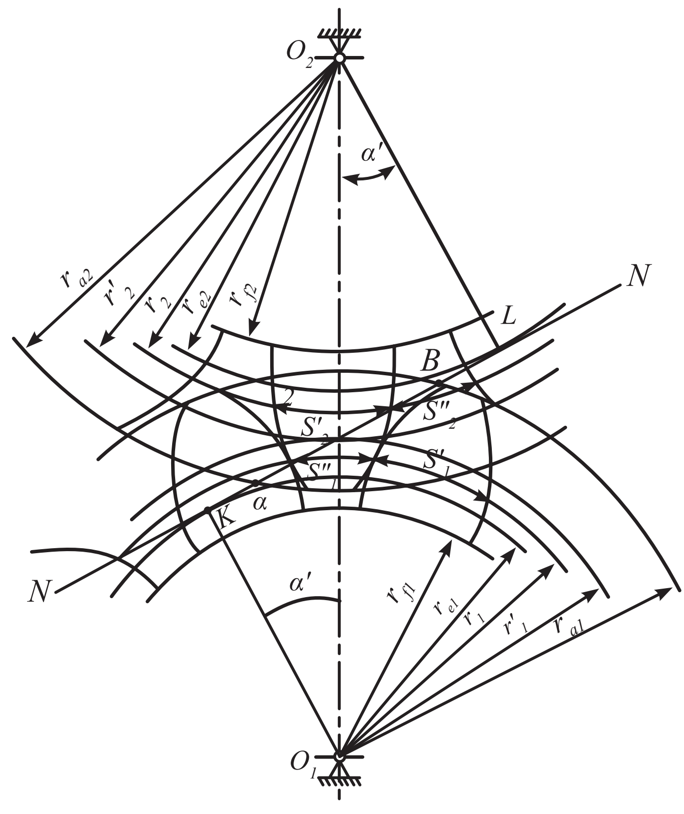
6. Başlangyç töwerekleriň radiuslary:

$$r_{b1} = r_1\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = 54\frac{\cos 20^\circ}{\cos 28^\circ 21'} = 57,65mm,$$

$$r_{b2} = r_2\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = 66\frac{\cos 20^\circ}{\cos 28^\circ 21'} = 70,5mm.$$

7. Oklarynyň aralygy:

$$a'_w = r'_{b1} + r'_{b2} = 57,65 + 70,5 = 128,55\ mm.$$



5.33-nji surat

Dişleriň düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$r_{f1}=r_1+m(\xi_1\text{-}1,25)=54+12(0,47\text{-}1,25)=44,64\ mm,$

$r_{f2}=r_2+m(\xi_2\text{-}1,25)=66+12(0,352\text{-}1,25)=55,22\ mm.$

Dişleriň depesinden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$r_{a1} = a'_w - r_{f2} - c = 128,15 - 55,22 - 0,2512 = 69,9\ mm,$

$r_{a2} = a'_w - r_{f1} - c = 128,15 - 44,64 - 0,25\ 12 = 80,5\ mm.$

Bölüji töwerek boýunça ädimi:

$$t = \pi m = 3,14 \cdot 12 = 37,7\ mm.$$

11. Bölüji töwerek boýunça dişleriň galyňlygy:

$$S'_1 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_1 \mathrm{tg}\alpha\right) = 12\left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0,47\mathrm{tg}20^\circ\right) = 22,95mm,$$

$$S'_2 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_2 \mathrm{tg}\alpha\right) = 8\left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0,352\mathrm{tg}20^\circ\right) = 21,95mm.$$

12. Bölüji töwerek boýunça iki dişiň aralygy:

$$S''_1 = t - S'_1 = 37,7 - 22,95 = 14,75\ mm,$$

$$S''_2 = t - S'_2 = 37,7 - 21,95 = 15,75\ mm.$$

13. Dişli ilişmäniň şekilini gurýarys (*5.33-nji surat*).

14. Başlangyç töweregi boýunça ädimi:

$$t' = t\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = 37,7\frac{\cos 20^\circ}{\cos 28^\circ 21'} = 40,25mm$$

15. Örtme koeffisiýenti:

$$\varepsilon = \frac{ab}{t'\cos\alpha'} = \frac{38,5}{40,25 \cdot \cos 28^\circ 21'} = 1,1.$$

ab – hakyky ilişme çyzygynyň çyzgysyndan alnan, $ab=38,5\ mm.$

5.4-nji mysal. Dişli hereket geçirijiniň taslamasyny düzmeli: oklaryň aralygy üýtgemeli däl $a_w=120\ mm,$ moduly $m=6\ mm$, geçirijilik gatnaşygy $i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = 2$ (*5.34-nji surat*).

Ç ö z ü l i ş i :

1. *Ok* aralygynyň formulasyndan dişleriň sanyny kesgitläris:

$$a_\omega = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$$

ýa-da $$z_1 + z_2 = \frac{2a_\omega}{m} = \frac{2 \cdot 120}{m} = 40.$$

Başga tarapdan:

$$\frac{z_2}{z_1} = 2.$$

Iki deňlemeleri bilelikde işläp:

$$z_1 = 13\frac{1}{3}; \quad z_2 = 26\frac{2}{3}.$$

Diş sany bitin bolmaly, onda kabul edýäris:

$$z_1 = 13; \; z_2 = 26.$$

Dişleriň jemi: $z_1 + z_2 = 39$, öňki 40 standart ilişmekden az, şol sebäpli düzetmeli bolýar, oklaryň aralygy üýtgemeli däl.

Diýmek, düzedilen ilişmede oklaryň aralygy $a'_w = 120\ mm$.

1. Standart ilişmäniň oklarynyň aralygy bolýar:

$$a_\omega = \frac{m}{2}(z_1 + z_2) = \frac{6}{2}(13 + 26) = 117 mm.$$

2. Montaž ilişme burçy:

$$\cos\alpha' = \frac{a_\omega \cos\alpha}{a_\omega} = \frac{117 \cdot \cos 20^\circ}{120} = 0,9161.$$
$$\alpha' = 23^\circ 28'.$$

3. Otnositel süýşmek koeffisiýentleri:

$$\xi_1 + \xi_2 = \frac{(inv\alpha' - inv\alpha)(z_1 + z_2)}{2\mathrm{tg}\alpha} = \frac{(0,0251 + 0,0149)(13 + 26)}{2\mathrm{tg}20^\circ} = 0,546$$

$$inv\alpha' = inv23^o\ 38' = 0,0251$$

$inv\alpha = inv20^o = 0,0149$, bu tablisadan alnan.

I usul:

$$\xi_1 = \frac{17 - z_1}{17} = \frac{17 - 13}{17} = 0,235,$$

onda $$\xi_2 = (\xi_1 + \xi_2) - \xi_1 = 0,546 - 0,235 = 0,311.$$

II usul: $$\xi_1 = \xi_2 = \frac{\xi_1 + \xi_2}{2} = \frac{0,546}{2} = 0,273.$$

Dişli ilişmäniň ululyklaryny II usul boýunça hasaplaýarys.

4. Bölüji töwerekleriň radiuslary:

$$r_1 = \frac{mz_1}{2} = \frac{6 \cdot 13}{2} = 39mm,$$

$$r_2 = \frac{mz_2}{2} = \frac{6 \cdot 26}{2} = 78mm.$$

5. Esasy töwerekleriň radiuslary:

$$r_{e1} = r_1 \cos\alpha = 39 \cos 20° = 36{,}7\ mm,$$
$$r_{e2} = r_2 \cos\alpha = 78 \cos 20° = 73{,}4\ mm.$$

6. Başlangyç töwerekleriň radiuslary:

$$a'_w = r'_{b1} + r'_{b2} = 120\ mm,$$

$$\frac{r'_{b2}}{r'_{b1}} = i_{12} = 2.$$

Onda $r'_{b1}=40\ mm;\ r'_{b2}=80\ mm.$

Dişleriň düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$$r_{f1}=r_1+m(\xi_1-1{,}25)=39+6(0{,}273-1{,}25)=33{,}14\ mm,$$
$$r_{f2}=r_2+m(\xi_2-1{,}25)=78+6(0{,}273-1{,}25)=72{,}14\ mm.$$

Dişleriň depesinden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$$r_{a1} = a'_w - r_{f2} - c = 120 - 72{,}14 - 0{,}25 \cdot 6 = 46{,}36\ mm,$$
$$r_{a2}=a'_w - r_{f1} - c = 120 - 44{,}64 - 0{,}25 \cdot 6= 85{,}36\ mm.$$

Bölüji töwerek boýunça ädimi:

$$t = \pi m = 3{,}14 \cdot 6 = 18{,}84\ mm.$$

Bölüji töwerek boýunça dişleriň galyňlygy deň, sebäbi deňölçegli süýşmek:

$$\xi_1=\xi_2=0{,}273.$$

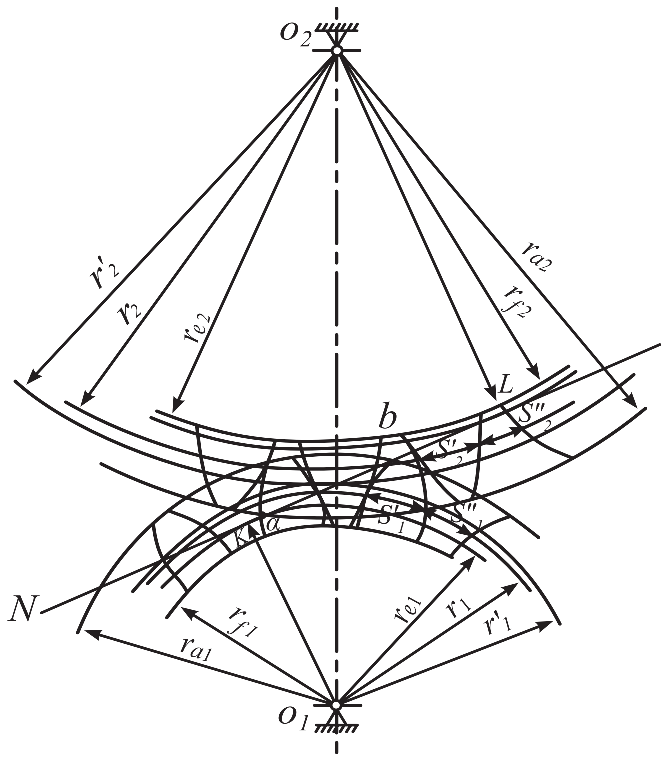
$$S'_1 = S'_2 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \mathrm{tg}\alpha\right) = 6(0{,}5\pi + 2 \cdot 0{,}273\mathrm{tg}20°) = 10{,}6mm.$$

Bölüji töwerek boýunça iki dişiň aralygy:

$$S''_1=S''_2=t - S'_1=t - S'_2=18{,}84-10{,}6=8{,}24\ mm.$$

Dişli ilişmäniň şekilini gurýarys (*5.34-nji surat*).

5.5-nji mysal. Dişli hereket geçirijiniň $z_1=10,\ z_2=12,\ m=10\ mm,$ $\alpha=20^o$ berlenler boýunça taslamasyny düzmeli (*5.35-nji surat*).



5.34-nji surat

Ç ö z ü l i ş i :

1. RGMK usuly boýunça korrigirleýäris. Ýyllyk taslamany ýerine ýetirmek üçin gollanmanyň tablisasyndan: Birinji tigriň süýşmek koeffisiýenti:

$$\xi_1=0,558,$$
$$\xi_j=\xi_1+\xi_2=1,083.$$

Ilişme burçy: $\alpha'=29°30'19''$.

Ikinji tigriň süýşmek koeffisiýenti:

$$\xi_2=\xi_j-\xi_1=1,083-0,558=0,525.$$

2. Bölüji töwerekleriň radiuslary:

$$r_1=\frac{mz_1}{2}=\frac{10\cdot10}{2}=50mm,$$

$$r_2=\frac{mz_2}{2}=\frac{10\cdot12}{2}=60mm.$$

3. Esasy töwerekleriň radiuslary:

$$r_{e1} = \frac{mz_1}{2}\cos\alpha = 50\cos 20^{\circ} = 47mm,$$

$$r_{e2} = \frac{mz_2}{2}\cos\alpha = 60\cos 20^{\circ} = 56,4mm,$$

4. Başlangyç töwerekleriň radiuslary:

$$r_{b1} = r_1\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = 50\frac{\cos 20^{\circ}}{\cos 29^{\circ}30'19''} = 54mm,$$

$$r_{b2} = r_2\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = 60\frac{\cos 20^{\circ}}{\cos 29^{\circ}30'19''} = 64,8mm.$$

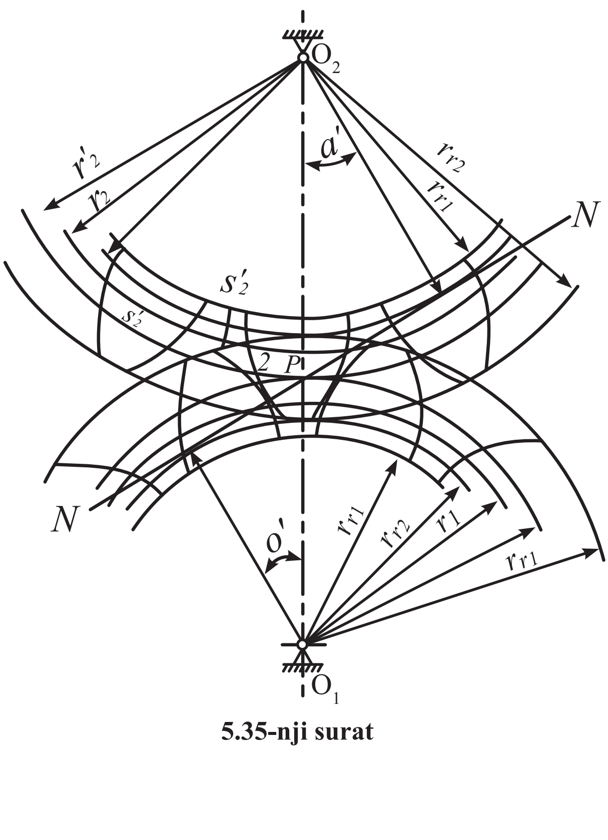
5. Oklaryň aralygy:

$$a_w = r'_{b1} + r'_{b2} = 54 + 64,8 = 118,8\ mm.$$

6. Dişleriň düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$$r_{f1}=r_1+m(\xi_1-1,25)=50+10(0,558-1,25)=43,08\ mm,$$

$$r_{f2}=r_2+m(\xi_2-1,25)=60+10(0,525-1,25)==52,75\ mm.$$



5.35-nji surat

7. Dişleriň depesinden geçýän töwerekleriň radiuslary:

$$r_{a1} = a'_w - r_{f2} - c = 118{,}8 - 52{,}75 - 0{,}25 \cdot 10 = 63{,}5\ mm,$$
$$r_{a2} = a'_w - r_{f1} - c = 118{,}8 - 43{,}08 - 0{,}251 \cdot 10 = 73{,}22\ mm.$$

8. Bölüji töwerek boýunça ädimi:

$$t = \pi m = 3{,}14 \cdot 10 = 31{,}4\ mm.$$

9. Bölüji töwerek boýunça dişleriň galyňlygy:

$$S'_1 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_1 \mathrm{tg}\alpha\right) = 10\left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0,558\mathrm{tg}20^\circ\right) = 19,76mm,$$
$$S'_2 = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_2 \mathrm{tg}\alpha\right) = 10\left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0,525\mathrm{tg}20^\circ\right) = 19,52mm.$$

Bölüji töwerek boýunça iki dişiň aralygy:

$$S''_1 = t - S'_1 = 31{,}4 - 19{,}76 = 11{,}64\ mm,$$
$$S''_2 = t - S'_2 = 31{,}4 - 19{,}52 = 11{,}88\ mm.$$

Dişli ilişmäniň şekilini gurýarys (*5.35-nji surat*).

5.6-njy mysal. Gyýa dişli hereket geçirijiniň a_w*=140 mm,* geçirijilik gatnaşygy $i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = 1,5,$ ilişmek moduly *m=5mm,* berlenler boýunça taslamasyny düzmeli.

Ç ö z ü l i ş i :

Ilki göni dişli tigirler üçin işleýäris.

Diş sanlaryny kesgitleýäris:

$$z_1 + z_2 = \frac{2a_{\dot{E}}}{m} = \frac{2 \cdot 140}{5} = 56.$$

Başga tarapdan:

$$\frac{z_2}{z_1} = 1,5.$$

Iki deňlemäni bilelikde işläp:

$$z_1 = 22{,}4;\ z_2 = 33{,}6.$$

Diş sany bitin bolmalydygy sebäpli z_1*=22;* z_2*=33* diýip kabul edýäris.

Diş sanynyň jemi $z_1 + z_2 = 22 + 33 = 55,$ hakykatda ($z_1 + z_2 = 56$) standart dişli ilişmäniňkiden azlygy sebäpli göni dişli ilişmäni ýerine ýetirip bolanok. Şol sebäpli gyýa dişli düzedilen ilişmäni alýarys.

2. Gapdal kese-kesiginden moduly:

$$m_s = \frac{2a_\omega}{z_1 + z_2} = \frac{2 \cdot 140}{22 + 33} = 5,1mm.$$

3. Normal kese-kesiginden standart moduly $m_n=5\ mm$ diýip alyp, dişleriň gyýalyk burçuny kesgitleýäris:

$$\cos\beta = \frac{m_n}{m_s} = \frac{5}{5,1} = 0,981,$$

$$\beta = 11^o10'.$$

4. Başlangyç silindrleriň diametrleri:

$$D_1 = m_s z_1 = 5,1 \cdot 22 = 112\ mm,$$
$$D_2 = m_s z_2 = 5,1 \cdot 33 = 168\ mm.$$

Dişleriň depesinden geçýän silindrleriň diametrleri:

$$D_{a1} = D_1 + 2m_n = 112 + 2 \cdot 5 = 122\ mm,$$
$$D_{a2} = D_1 + 2m_n = 168 + 2 \cdot 5 = 178\ mm.$$

Dişleriň düýbünden geçýän silindrleriň diametrleri:

$$D_{f1} = D_1 – 2,5m_n =112 – 2,5 \cdot 5 = 99,5\ mm,$$
$$D_{f2} = D_2 - 2,5m_n = 168 – 2,5 \cdot 5 =155,5\ mm.$$

5.14. Giňişlikde hereket edýän dişli tigirler. Konusly dişli tigirler

Kesişýän oklaryň arasynda aýlaw hereketini geçirmek üçin konus dişli tigirlerini ulanýarlar. Olaryň kesişýän burçy 90^0 bolan hereket geçiriji mehanizmleri köp ulanýarlar, ýöne kesişýän burçy islendik ululykda bolup bilýär (*5.36-njy surat*). Silindr dişli geçirijilerdäki ýaly, konusly dişli geçirijilerde-de başlangyç konus diýlen düşünjäni ulanýarlar. Başlangyç konuslar biri-birine galtaşyp, typman aýlanyp, geçirijilik gatnaşygynyň hemişeligini saklaýarlar (*5.36-njy surat*).

Eger-de birinji we ikinji konuslar biri-biriniň üstünde typman aýlanýan bolsa, iki konusa degişli ýörediji (*OP*) çyzygyň islendik (*P*) nokadynda tizlikleri deň bolýar:

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 \qquad (5.10)$$

ýa-da

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}. \qquad (5.11)$$

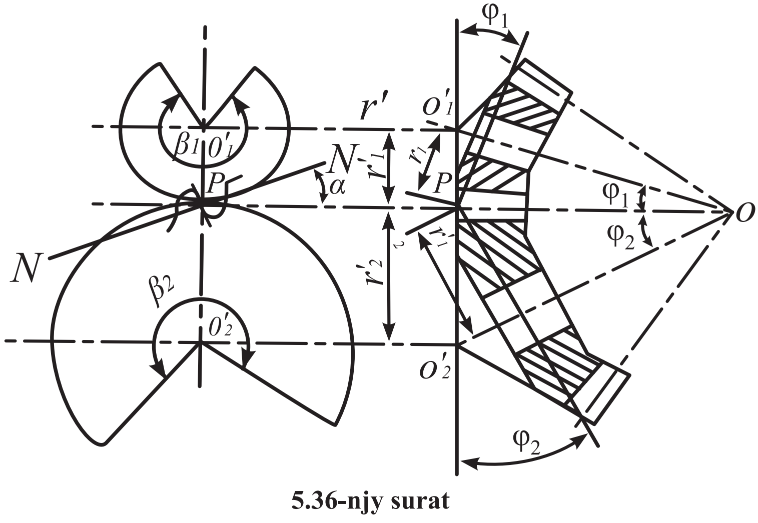
Çyzgydan $\quad r_1 = OP \sin\varphi_1$ we $r_2 = OP \sin\varphi_2, \qquad (5.12)$

onda $$i_{12} = \frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1}. \tag{5.13}$$

Seredilen konuslarda φ_1 we φ_2 hemişelik bolanlygy sebäpli, geçirijilik gatnaşygy hem hemişelik bolýar.

Konusly dişli hereket geçirijileriň köpüsiniň
$$\varphi_1 + \varphi_2 = 90^o \tag{5.13a}$$
bolanlygy sebäpli (5.13) deňleme bolýar:
$$i_{12} = \frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1} = \mathrm{tg}\varphi_2 = \frac{1}{\mathrm{tg}\varphi_1}. \tag{5.13b}$$

OP çyzyk bir tigriň beýleki tigre görä şol pursatdaky aýlanma oky bolýar, sebäbi *OP* çyzykdaky iki konusa degişli nokatlaryň tizlikleri deň. Konusyň gapdalynda ýerleşýän dişler bilen konuslar herekete getirilýär. Dişleriň ini (*b*) konusly dişli hereket geçirijileriň dişleriniň profili ewolwentaly ýa-da sikloidalnyý bolup bilýär. Önümçilikde köplenç ewolwentaly dişli tigirleri ulanýarlar. Dişiň profili ewolwentaly bolanda ilişmek meýdany (dişleriň galtaşýan çyzyklarynyň geometriki ýeri) *NN* tekizlik bolýar (*5.36-njy surat*). *NN* tekizlik bilen *TT* tekizlikleriň arasyndaky burça (α) ilişmek burçy diýilýär. *NN* tekizlikde şol pursatdaky aýlanma oky (*OP*) ýerleşýär. *TT* tekizlik iki başlangyç konuslara umumy galtaşýan tekizlik. Standart konusly dişli tigirlerde ilişmek burçy $\alpha=20^o$.



5.36-njy surat

NN tekizlige galtaşýan oklary başlangyç konuslaryň oklary bilen gabat gelýän bolsa, oňa esasy konus diýilýär. Depesindäki burçlarynyň ýarysy φ_{e1} we φ_{e2}. Çyzgyda punktir çyzyklar bilen görkezilen *NN* tekizlige ilişmek tekizligi diýilýär. Esasy konuslaryň üstünden ilişmek tekizligi (*NN*) typdyrman aýlanda, konus tigirleriniň dişleriniň gapdal üsti emele gelýär. Olaryň ilişmek tekizliginde döredýän çyzyklary esasy konuslary döredýän çyzyklar bilen gabat gelýär. Konus dişli tigriň dişiniň gapdal üstüniň emele gelşini göz öňüne getirmek üçin *b* inli list kagyzy esasy konusa dolap, listi açyp başlanyňda *ab* gyrasynyň hereket ýoly a_1b_1 geçende, ewolwentaly konusly üsti emele gelýär. *ab* çyzyk esasy konusy dörediji çyzyklar bilen gabat gelmeli we açylýan kagyzyň tekizligi esasy konusa mydama galtaşýan bolmaly. Şonda *ab* gyranyň her bir nokady sferaly ewolwentany bölýär, sebäbi şol nokat bilen konusyň depesiniň (*O* nokat) aralygy mydama hemişelik.
Başlangyç konus dişi, beýikligi boýunça, ikä bölýär: I – dişiň düýbi, II – dişiň depesi (*5.37-nji surat*).

Konusly dişli tigirleriň içki we daşky gapdal üstleri başlangyç konuslara goşmaça konuslar boýunça ýasalýar. Şol konuslary dörediji çyzyklaryň aralyk burçy 90^{o}.

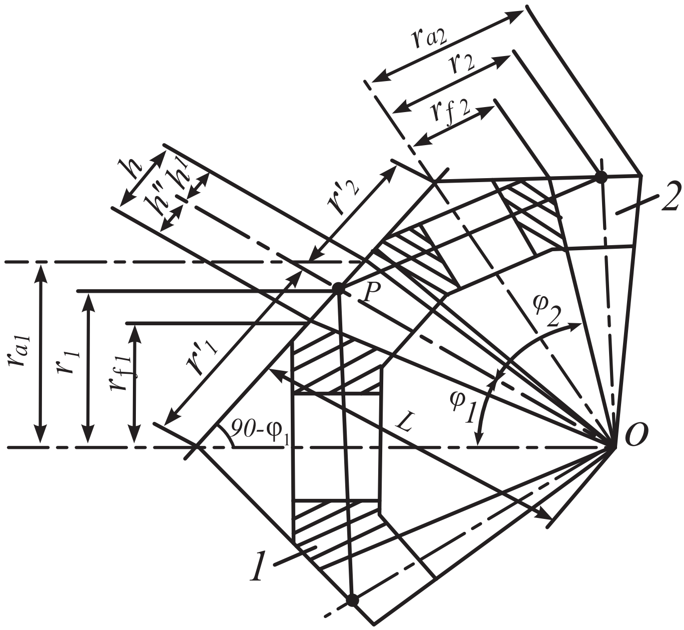
Konusly dişli tigirleriň ädimi we moduly hemişelik däl. Olar başlangyç konuslaryň depesine golaýlaşýança kiçelýär. Başlangyç konuslaryň goşmaça konuslar bilen kesişýän töwerekleriniň radiuslary r_1 we r_2. Şol töwereklere başlangyç töwerek diýilýär, olar boýunça alnan modul standart hasaplanýar. Standart konusly dişli tigirleriň başlangyç töwerekler boýunça radiuslary r_1 we r_2, ädimi *t,* dişleriň galyňlygy S' we iki dişiň aralygy S'' silindr dişli tigirleriň deňlemelerine meňzeş:

$$r_1 = \frac{mz_1}{2}; \qquad r_2 = \frac{mz_2}{2};$$

$$t = \pi m; \quad S' = S'' = \frac{\pi m}{2}.$$

Dişiň depesiniň beýikligi h_a we düýbüniň beýikligi h_f daşky goşmaça konusy dörediji çyzyk boýunça ölçenilýär.

$$h_a = m; \quad h_f = 1{,}25\ m; \quad h = h_a + h_f = 2{,}25\ m.$$



5.37-nji surat

$$h_a = m; \quad h_f = 1{,}25\ m\ ; \quad h = h_a + h_f = 2{,}25\ m.$$

Dişleriň depesinden we düýbünden geçýän töwerekleriň radiuslary daşky konus boýunça ölçenilýär, olary kesgitleýän deňlemeler silindr dişli tigirleriň deňlemelerinden tapawutlanýar, sebäbi başlangyç töwerekleriň radiuslarynyň we dişleriň beýikliginiň ölçenilýän ugurlary gabat gelenok. Dişleriň depesinden geçýän töwerekleriň radiuslary deň:

$$r_{a1} = r_1 + h'_a \cos\varphi_1 = m\left(\frac{z_1}{2} + \cos\varphi_1\right); \qquad (5.14)$$

$$r_{a2} = r_2 + h'_a \cos\varphi_2 = m\left(\frac{z_2}{2} + \cos\varphi_2\right).$$

Dişiň düýbünden geçýän töweregiň radiuslary deň:

$$r_{f1} = r_1 - h''_f = m\left(\frac{z_1}{2} - 1{,}25\cos\varphi_1\right); \qquad (5.15)$$

$$r_{f2} = r_2 - h''_f = m\left(\frac{z_2}{2} - 1{,}25\cos\varphi_2\right).$$

Konuslaryň aralyk uzynlygy deň:

$$L = \frac{r_1}{\sin\varphi_1} = \frac{r_2}{\sin\varphi_2}. \tag{5.16}$$

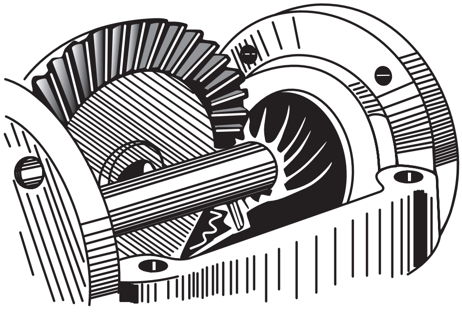
Konusly hereket geçirijiniň ilişmeginiň suratyny doly we dogry görkezmek kyn, sebäbi dişleriň ewolwentalary sferanyň üstünde ýerleşýär. Sferanyň ýazylan şekilini dogry görkezip bolanok. Ilişmegiň suratyny çen boýunça görkezýärler.

Daşky goşmaça konuslarda dişleriň profilleri *OP* radiusly sferanyň üstündäki dişleriň ewolwentaly profiline golaý. Şol sebäpli ilişmegiň suratyny, eger-de daşky goşmaça konuslaryň gapdal üstüni tekizligiň üstüne ýazsaň, çen boýunça görüp bolýar (*5.37-nji surat*).

Çyzgynyň sag tarapynda konusly geçiriji tigirleriň oklary boýunça kesilişi görkezilen. Çep tarapynda goşmaça konuslaryň ýazylan şekili gurlan. r'_1 we r'_2 radiusly töwerekler goşmaça konuslary döredýän çyzyklaryň uzynlygyna deň:

$$r_1' = \frac{r_1}{\cos\varphi_1}; r_2' = \frac{r_2}{\cos\varphi_2}.$$

Olar başlangyç kömekçi töwerekler bolýar. Şol töwerekler boýunça ädimi *t,* dişiň galyňlygy *S',* iki dişiň aralygy *S''* we moduly *m*, hakyky başlangyç töwerekler boýunça ululyklary deň. Konusyň ýazylan şekilinde, dişiň beýikligi *h*, dişiň depesiniň beýikligi h_a we dişiň düýbüniň beýikligi hem üýtgänok. Dişiň ewolwent profili biraz üýtgeýär, goşmaça başlangyç töwerekden daşlaşdygyça üýtgeýşi ulalýar. Şol agzalan töwereklerde profiller üýtgedilmän gurulýar, şol sebäpli ilişmek burçy α hem üýtgemän görkezilen.



5.38-nji surat

Kömekçi başlangyç töwerekler doly däl, olaryň merkezi burçlary β_1 we β_2 deň:

$$\beta_1 r'_1 = 2\pi r_1; \quad \beta_2 r'_2 = 2\pi r_2$$

ýa-da

$$\beta_1 = \frac{2\pi r_1}{r'_1}; \qquad \beta_2 = \frac{2\pi r_2}{r'_2},$$

ýa-da

$$\beta_1 = 2\pi \cos\varphi_1; \quad \beta_2 = 2\pi \cos\varphi_2. \tag{5.18}$$

töwerekler doly çyzylanda, diş sany bolmalysyndan köpeler. Diş sany deň:

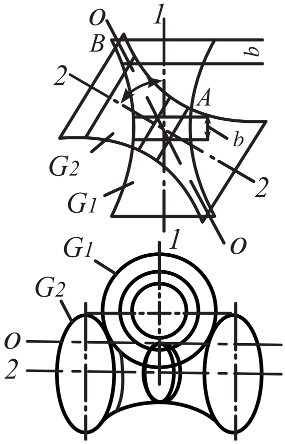
$$z_1 = \frac{2\pi r'_1}{t} = \frac{2\pi' r_1}{t\cos\varphi_1} = \frac{t' z_1}{t\cos\varphi_1} = \frac{z_1}{\cos\varphi_1}; \tag{5.19}$$

$$z'_2 = \frac{z_2}{\cos\varphi_2}$$

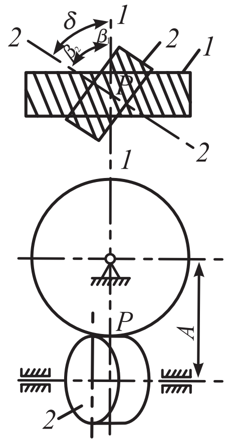
Konusly dişli hereket geçirijiniň ilişmek şekiline seredeniňde, ony silindrli dişli ilişmegiň şekiline çen boýunça çalşyp bolýar. Başlangyç töwerekleriň radiuslary daşky goşmaça konuslary dörediji çyzyklaryň uzynlyklaryna deň diýip almaly. Olaryň modullary we ilişmek burçlary deň bolmaly. Çalşylan silindrli hereket geçirijiniň häsiýet görkezijileri konusly hereket geçirijiniň häsiýet görkezijilerine golaý bolýar. Konusly dişli geçirijileriň dişleri diňe göni däl-de, gyýa hem bolup bilýär (*5.38-nji surat*).

Giperboloidli hereket geçirijiler

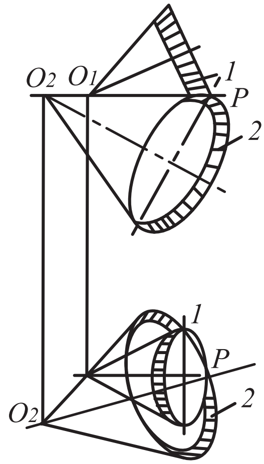
Tigirleriň oklary atanakly geçýän wallaryň arasynda aýlanma hereketini geçirmek üçin giperboloidli dişli tigirleri ulanýarlar. Geçirijilik gatnaşygynyň hemişelik bolmagy üçin: silindr dişli geçirijilerde – konus, giperboloidli dişli geçirijilerde başlangyç üsti giperboloide-de bolýar. Aýlanma hereketi geçirilende başlangyç giperboloidler göni çyzyk boýunça galtaşyp, biri-biriniň üstünden typman hereket edýärler.



5.39-njy surat



5.40-njy surat



5.41-nji surat

Giperboloidleriň galtaşýan göni çyzygy şol pursatda bir giperboloidiň beýlekä görä aýlaw wintli oky bolýar (*5.39-njy surat*).

Çyzgyda iki tigriň oklary *1–1* we *2–2* atanakly geçýän ýerinde giperboloidler G_1 we G_2 görkezilen. Tigriň otnositel hereketinde giperboloidleriň galtaşma *O – O* çyzygy, şol pursatdaky wintiň oky bolýar. Çyzykda giperboloidler şeýle görkezilen: gorizontal proeksiýasynda *1–1* aýlanma oky *O* nokada düşýär, beýlekiniňki *2 – 2* aýlanma oky bilen *O–O* galtaşma çyzygy gorizontal çyzyk bolýar. Ilişme üçin giperboloidiň belli bir aralygy ulanylýar. Giperboloidiň iň dar ýerinde (*A* aralykda) ýa-da şol ýerden daşrakda şol aralyklar ýerleşip bilýär (*b* aralyk) (*5.40-njy surat*).

Ilişmek *A* aralykda bolanda, şol ýerini silindre meňzeş diýip alyp bolýar, başlangyç giperboloidleri başlangyç silindrlere çalşyp bolýar. Şonuň ýaly dişli tigirlere wintli diýilýär. Wintli dişli tigirlerde, gyýa dişli silindrli tigirler ýaly, dişleriň ugry bilen tigirleriň oky *β* burçuny emele getirýär. Dişleriň ýapgytlyk ugurlary dişleriň otnositel typmak tizliginiň ugry bilen gabat gelmeli, başgaça aýdylanda, ýapgytlyk ugurlary şol pursatdaky wintli okuň aýlanmasy bilen gabat gelmeli.

Şol sebäpli dişleriň ýapgytlyk burçlary tigirleriň oklaryna görä, şol pursatdaky wintli okuň aýlanma oky bilen tigirleriň ok aralyk burçlary deň bolmaly. *b* aralygy çen boýunça konusly diýip alyp bolýar. Başlangyç giperboloidleri başlangyç konuslara çalşyp bolýar. Şonuň ýaly dişli geçirijilere gipoidli diýilýär (*5.41-nji surat*).

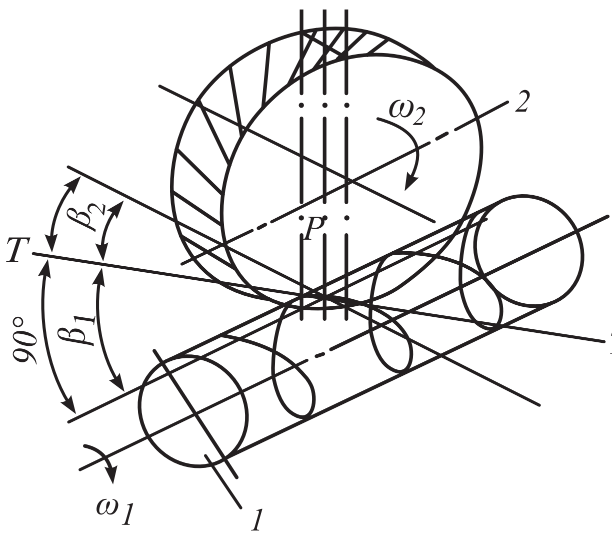
Wintli we gipoidli geçirijileriň geçirijilik gatnaşyklary deň:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}.$$

Wintli we gipoidli geçirijileriň kemçilikleri: güýçler oklary boýunça täsir edýär, otnositel typmalary uly bolany sebäpli sürtülmesi uly bolýar.

Burumly dişli geçirijiler

Atanakly oklaryň arasynda aýlanma hereketini geçirmek üçin burumly dişli geçirijileri ulanýarlar. Köplenç oklarynyň arasyndaky burç 90° bolýar.



5.42-nji surat

Belli bir şert bilen, burumly geçirijä wintli diýip seredip bolýar, dişleriniň oklara ýapgytlyk burçlary β_1 we β_2 bir-birinden ep-esli tapawutlanýarlar (*5.42-nji surat*). Başlangyç silindrleriň we şol töwereklerde dişleriň wint çyzyklarynda ýerleşeni çyzgyda görkezilen.

Birinji silindrde wint çyzygy bilen okunyň aralyk burçy uly. Şol sebäpli wint çyzygy silindriň daşynda birnäçe gezek aýlanýar. Ikinji silindrde β_2 burç has kiçi bolany sebäpli wint çyzygynyň bir bölejigi silindriň üstünde ýerleşýär. Birinji tigriň başlangyç töwereginde wint çyzyk birnäçe gezek aýlanany sebäpli burum diýip atlandyrylýar, ikinji tigre burumly tigir diýilýär. Dişli ilişmege burumly diýip atlandyrylýar. Burum trapeseidal hyrly wint (*5.43-nji surat*). Burumyň hemme ululyklary modul boýunça kesgitlenýär:

Ädimi: $t = \pi m$.
Dişiň başjagazynyň beýikligi: $h_a = 1\ m$.
Dişiň aýajygynyň beýikligi: $h_f = 1,25\ m$.

Başlangyç silindriň radiusy:

$$r = \frac{q \cdot m}{2}; \qquad d = q \cdot m. \tag{5.20}$$

$q = 8 \div 13$ aralykda bitin san.
Burumyň içki silindriniň radiusy:

$$r_f = \frac{m(q - 2,5)}{2}. \tag{5.21}$$

Daşky silindriň radiusy:

$$r_a = \frac{m(q + 2)}{2}. \tag{5.22}$$

Diametri boýunça okuna perpendikulýar kesiginde, burumly ilişmek ewolwentaly reýkaly ilişmegiňki ýaly. Şol kesige – baş kesik diýilýär (*5.43-nji surat*). Tigriň başlangyç töwereginiň diametri:

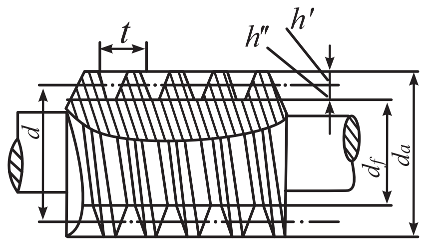
$$D = m\, z_{ç.t}.$$

Dişleriň depesinden geçýän töweregiň diametri:

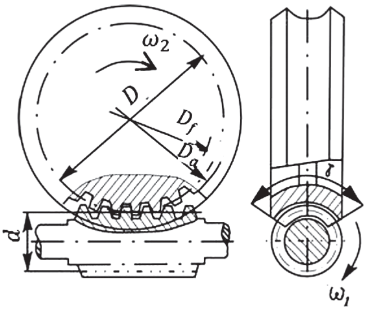
$$D_a = m(z_{ç.t} + 2).$$

Dişleriň düýbünden geçýän töweregiň diametri:

$$D_f = m(z_{ç.t} - 2,5).$$



5.43-nji surat



5.44-nji surat

Standart normal ululykda ýasalan burumly ilişmekde tigriň dişi burumyň dişini duga boýunça gurşaýyş burçy γ (*5.44-nji surat*). Dişler çyzyk boýunça galtaşýanlygy sebäpli, uly tizliklerde işlände, dişlerde typmak uly bolanda-da burumly geçirijiler özüni gowy duýýar. γ burçy 90^o-dan 120^o-a çenli hödürlenilýär. Burumlar hyrly wintler ýaly köp girişli bolup bilýär. Köp girişli burumyň ädimi kesgitlenýär:

$$t' = k\,\pi\, m,$$

bu ýerde k – burumyň hyrynyň giriş sany.

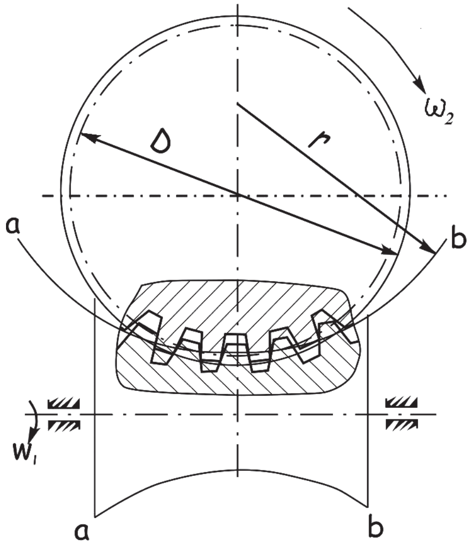
Geçirijilik gatnaşygyny kesgitleýäris. Bir girişli burumyň bir aýlawynda burum tigriniň bir dişiniň burçuna aýlanýar, $\frac{1}{z_{b.t}}$ – aýlaw bölegiçe aýlanýar, onda bir girişli burumyň geçirijilik gatnaşygy bolýar:

$$i_{12} = 1 \div \frac{1}{z_{ç.t}} = \frac{z_{ç.t}}{1}.$$

Burumyň giriş sany k deň bolanda, burumyň bir aýlawynda tigriň aýlawy $\frac{k}{z_{c.t}}$ deň bolýar. Onda geçirijilik gatnaşygy:

$$i_{12} = \frac{z_{c.t}}{k}.$$

Geçirijilik gatnaşygy tigriň diş sanynyň burumyň giriş sanynyň gatnaşygyna deň bolýar. Giriş sany (*k =1*) kiçi bolany sebäpli, geçirijilik gatnaşygy uly bolýar. Önümçilikde burumly geçirijileriň geçirijilik gatnaşygyny 100 -e çenli alýarlar. Ýönekeý mehanizm bilen uly geçirijilik gatnaşygyny ýerine ýetirmek üstünlik hasaplanýar. Burumly geçirijini gowulandyrmak üçin dişler silindrli üstde ýasalanok, olar *ab* dugany aýlanyňda emele gelen üste kesilýär



5.45-nji surat

(*5.45-nji surat*). Şol üste globoid diýilýär. Burumly ilişmege – globoidal ilişmek diýilýär. Bu ilişmekde tigriň we burumyň arasyndaky boşluk silindrli burumdakydan kiçi. Şol sebäpli sürtülme peselýär, ýaglanyş şerti gowulanýar, peýdaly täsir koeffisiýenti ýokarlanýar.

Burumly geçirijileriň kemçiligi: tigirde we burumda oklary boýunça täsir edýän güýçler döreýär we şonuň üçin şu mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti kiçi bolýar.

VI BÖLÜM
ÇYLŞYRYMLY DIŞLI MEHANIZMLER

6.1. Köp basgançakly dişli mehanizmler

Iki dişli tigirleriň arasynda geçirijilik gatnaşygy bolup bilýär:
Elektrik hereketlendiriji bilen herekete getirilende – $i = 5...7;$
El bilen herekete getirilende – $i = 7...10.$
Hereket geçirijilik gatnaşygyny ulaldyp bolanok, sebäbi:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}; \qquad (6.1)$$

n_1 – 1-nji dişli tigriň aýlanma ýygylygy;
n_2 – 2-nji dişli tigriň aýlanma ýygylygy;
ω_1 – 1-nji tigriň burç tizligi;
ω_2 – 2-nji tigriň burç tizligi;
r_1 – 1-nji tigriň radiusy;
r_2 – 2-nji tigriň radiusy;
z_1 – 1-nji dişli tigriň diş sany;
z_2 – 2-nji dişli tigriň diş sany.

Meselem: $$i_{12} = \frac{r_2}{r_1} = 10.$$

Ikinji tigriň ululygy birinjiden on esse uly bolmaly. Mundan artyk ululyklary ulaltmak bolanok, maşyngurluşykda ulanylanok. Maşyngurluşykda gaty uly geçiriji sany gerek bolanda (*i = 100* çenli) çylşyrymly dişli mehanizmler ulanylýar.

Eger-de şol mehanizmlerde başlangyç zwenonyň aýlaw ýygylygy ahyrky zwenonyň aýlaw ýygylygyndan uly bolan mehanizme reduktor diýilýär. Eger-de tersine, başlangyç zwenonyň aýlaw ýygylygy ahyrky zwenonyň aýlaw ýygylygyndan az bolsa, bu mehanizme multiplikator diýilýär.

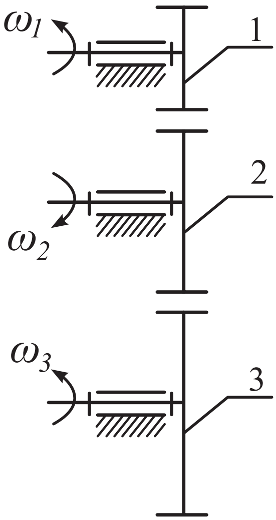
Meseleler:

Tigirler ters tarapa aýlananda deňlemäniň öňünde (-) goýulýar. Iki tigriň hem dişleri daşky tarapynda bolsa, tigirler ters tarapa aýlanýar – oňa daşky ilişmek diýilýär (*6.1-nji surat*). Eger-de bir tigriň dişleri içki tarapynda bolsa, tigirleriň ikisi hem bir tarapa aýlanýar – oňa içki ilişmek diýilýär (*6.2-nji surat*). Hereket geçirijilik gatnaşygy kesgitlenende (-) goýlanok.

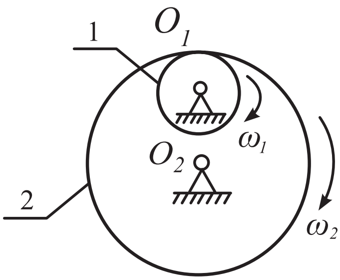
Birinji meselede birinji tigirden üçünji tigre geçirijilik gatnaşygyna ikinji tigriň ululyklary täsir edenok. Ikinji tigir diňe üçünji tigriň aýlaw ugruna täsir edýär. Şonuň ýaly mehanizmler maşynlarda ulanylýar. Maşyn öňe gidende, maşynyň tizlik üýtgedýän gutusynda hemme wallar bir tarapa aýlanýar. Maşyny yza ýöretmek üçin ikinji tigir ýaly tigirleri gutuda ilişmede görkezmeli (*6.1-nji surat*).

1-nji mesele.

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{z_2}{z_1} \tag{6.2}$$



6.1-nji surat



6.2-nji surat

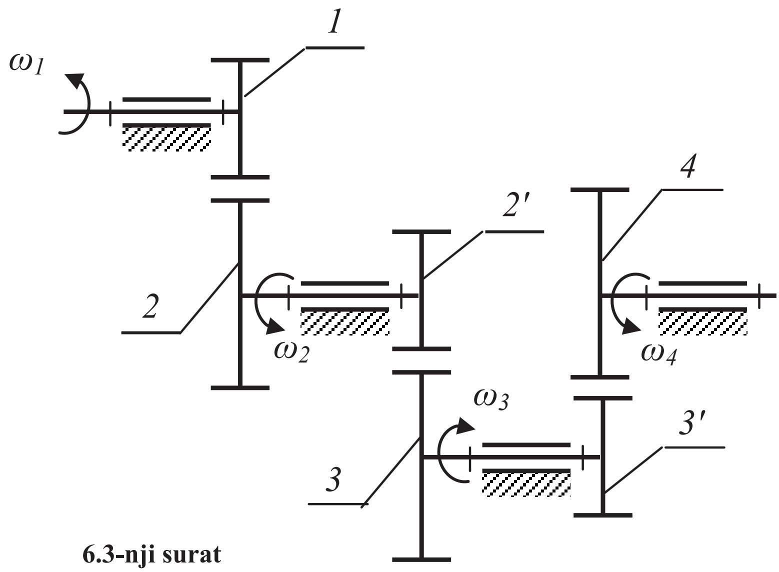
$$i_{23} = -\frac{\omega_2}{\omega_3} = -\frac{z_3}{z_2}. \tag{6.3}$$

$$i_{13} = i_{12} \cdot i_{23} = \left(-\frac{\omega_1}{\omega_2}\right) \cdot \left(-\frac{\omega_2}{\omega_3}\right) = \frac{\omega_1}{\omega_3}. \tag{6.4}$$

$$i_{13} = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \cdot \left(-\frac{z_3}{z_2}\right) = \frac{z_3}{z_1}. \tag{6.5}$$

$$i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_1}. \quad \text{(6.1-nji surat üçin)} \tag{6.6}$$

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}. \quad \text{(6.2-nji surat üçin)}$$



6.3-nji surat

2-nji mesele

$$i_{12} = \left(-\frac{\omega_1}{\omega_2}\right) = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right). \tag{6.7}$$

$$i_{2'3} = \left(-\frac{\omega_2}{\omega_3}\right) = \left(-\frac{z_3}{z_{2'}}\right). \tag{6.8}$$

$$i_{3'4} = \left(-\frac{\omega_3}{\omega_4}\right) = \left(-\frac{z_4}{z_{3'}}\right). \tag{6.9}$$

$$i_{14} = i_{12} \cdot i_{2'3} \cdot i_{3'4} = -\frac{\omega_1}{\omega_4}. \tag{6.10}$$

$$i_{14} = -\frac{z_2 \cdot z_3 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_{2'} \cdot z_{3'}}. \tag{6.11}$$

6.10 we 6.11 deňlemelerde öňündäki (-) dördünji tigriň birinjä görä ters aýlanýanyny görkezýär.

3-nji mesele

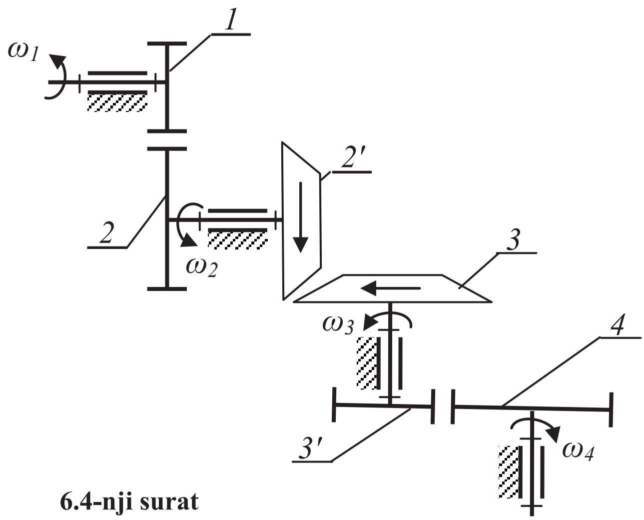
$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}. \tag{6.12}$$

$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_{2'}}. \qquad (6.13)$$

$$i_{34} = \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{z_4}{z_{3'}}. \qquad (6.14)$$

$$i_{14} = \frac{\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3}{\omega_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4} = \frac{\omega_1}{\omega_4}. \qquad (6.15)$$

$$i_{14} = \frac{z_2 \cdot z_3 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_{2'} \cdot z_{3'}}. \qquad (6.16)$$



6.4-nji surat

Ikinji meselede hemme tigirleriň oklary parallel tekizliklerde ýerleşýär, şonuň üçin ol tekizlikde hereket edýän mehanizm, üçünji meselede tigirleriň oklary kesişýän tekizliklerde ýerleşýär, şonuň üçin ol giňişlikde hereket edýän mehanizm. Şol sebäpli bu meselede deňlemeleriň öňünde (-) goýman, aýlanma ugurlary peýkam (strelka) bilen görkezilýär. Islendik mehanizmiň geçirijilik gatnaşygyny kesgitlemek üçin deňleme:

Tekizlikde hereket edýän mehanizm üçin

$$i_{1n} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot \ldots \cdot i_{(n-1)n} \cdot (-1)^m, \qquad (6.17)$$

bu ýerde m – basgançak sany.

Giňişlikde hereket edýän mehanizm üçin

$$i_{1n}=i_{12}\cdot i_{23}\cdot\ldots\cdot i_{(n-1)}. \qquad (6.18)$$

Birinji, ikinji we üçünji meselelerde seredilen mehanizmleriň oklary hereket edenok. Gaty uly (10000 çenli) geçirijilik gatnaşygy gerek bolanda, oklary hereket edýän dişli mehanizmleri ulanýarlar. Olara differensial mehanizmler diýilýär.

Differensial mehanizmler

Silindr tigirli differensial mehanizmler esasy dört görnüşde bolýar.

Çebyşewiň deňlemesi boýunça edýän hereketini kesgitlesek:

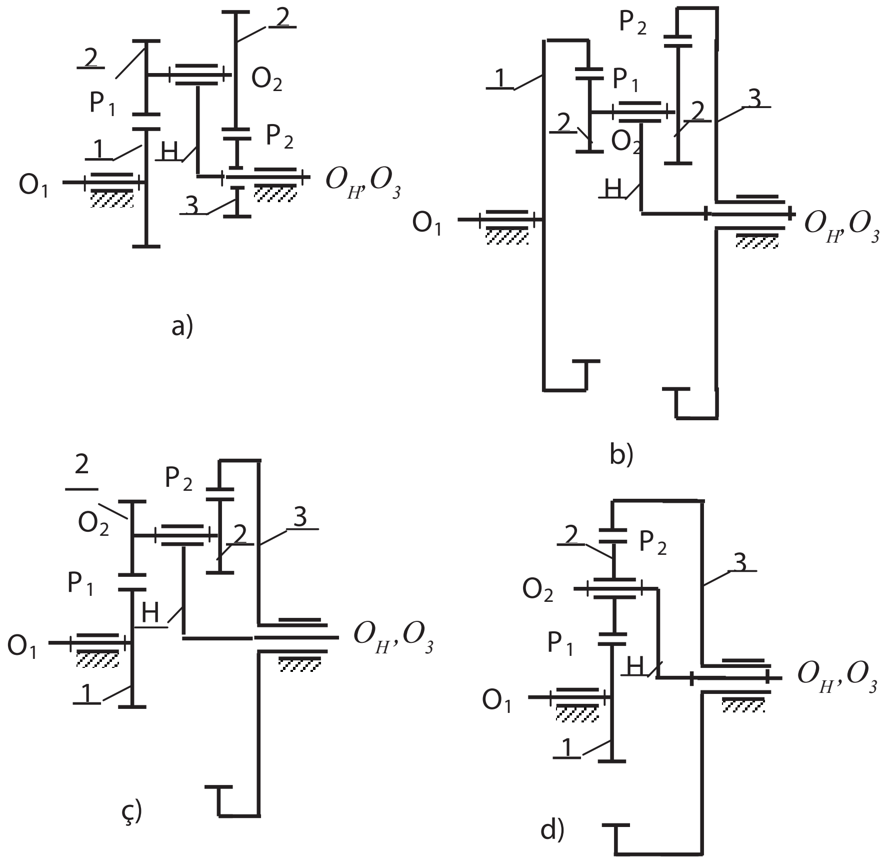
$$W = 3n - 2P_5 - 1P_4$$
$$W = 3\cdot 4 - 2\cdot 4 - 1\cdot 2 = 12 - 10 = 2.$$

Differensial mehanizm iki hereketli mehanizm. Çyzgylarda görkezilen dört planetar dişli, iki hereketli mehanizmlere dişli differensial mehanizmler ýa-da dişli differensial diýilýär. Dişli differensiallary bir-birine birleşdirip, islendik çylşyrymly differensial mehanizmi düzüp bolýar.

Iň ýönekeý (*6.5-nji d surat*) mehanizme seretsek, şol mehanizmde iki giriş, bir çykyş (meselem, hasaplaýjy, jemleýji mehanizm) ýa-da bir giriş, iki çykyş (awtomobiliň yzky mostunyň differensialy, giriş – kardan waly, çykyş – iki tekerleriň ýarym oklary bir-birine dahylsyz aýlanýar).

Birinji ýagdaýda differensial iki hereketi goşup, bir herekete öwürýär, ikinjide bir hereketi ikä bölýär, differensial – paýlamak sözünden gelip çykýar.

Differensial mehanizmiň tizliklerini we geçirijilik gatnaşygyny kesgitlemek üçin ters aýlaw usulyny ulanýarys: mehanizme, şert boýunça ($-\omega_H$) tizlik berlende, ýörediji zweno durýar, mehanizmiň oklary hereketsiz, ýönekeý mehanizm ýaly işleýär:



6.5-nji surat

$$\begin{cases} \omega_1^H = \omega_1 - \omega_H \\ \omega_2^H = \omega_2 - \omega_H \\ \omega_3^H = \omega_3 - \omega_H . \end{cases} \tag{6.19}$$

Onda geçirijilik gatnaşyklary kesgitlenýär:

$$\begin{cases} i_{12}^H = \dfrac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} \\ i_{23}^H = \dfrac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} \\ i_{13}^H = \dfrac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} . \end{cases} \tag{6.20}$$

Geçirijilik gatnaşygy diňe diş sanyna bagly:

$$i_{13}^{H} = -\frac{z_3}{z_1}. \qquad (6.21)$$

Planetar reduktorlar

Eger-de dört sany görkezilen differensial mehanizmlerde (*6.5-nji surat*) üçünji zweno hereketsiz bolanda,

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

bir hereketli mehanizm bolýar. Oňa planetar reduktor diýilýär. Geçirijilik gatnaşyklary aşakdaka deň bolýar:

$$\begin{cases} i_{12}^{H} = \dfrac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} \\ i_{23}^{H} = \dfrac{\omega_2 - \omega_H}{-\omega_H} = 1 - \dfrac{\omega_2}{\omega_H} \\ i_{13}^{H} = \dfrac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = 1 - \dfrac{\omega_1}{\omega_H}. \end{cases} \qquad (6.22)$$

6.2. Dişli mehanizmleriň grafiki usul boýunça derňewi

Dişli tigriniň aýlaw merkezi hereketsiz bolanda, onuň radiusy ulaldygyça, nokatlarynyň tizlikleri ulalýar (*6.6-njy surat*).

A we B nokatlaryň tizlikleri deň:

$$V_A = V_B = \omega_1 \cdot r, \ \ m/s.$$

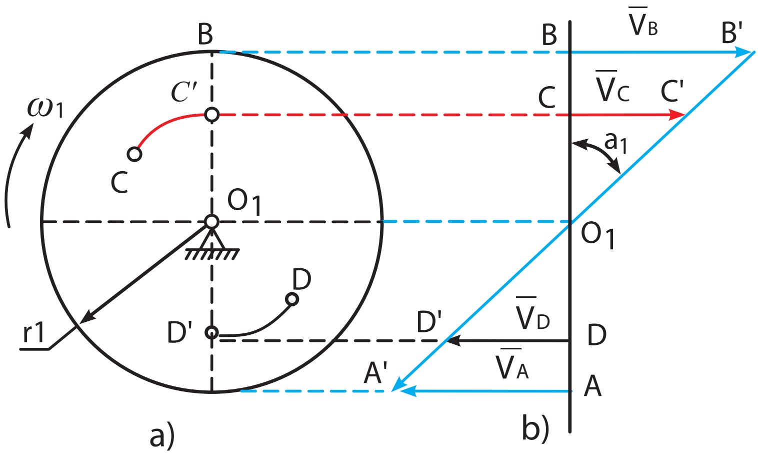
Dişli tigriň gapdalyndan dik çyzyk geçirip, O_1, A we B nokatlary çyzykda belläp, şol nokatlaryň tizliklerini islendik masştab boýunça belleýäris:

$$\mu_v = \frac{V_A}{[A - A']}; \frac{m/s}{mm}.$$

$[A–A']$ we $[B–B']$ aralyklar tigriň aýlaw ugry boýunça bellenýär.

$A - A' - O_1$ we $O_1 - B - B'$ iki üçburçluklara *tizligiň suraty* diýilýär.

Dişli tigriň C we D nokatlarynyň tizliklerini kesgitlemek üçin, şol nokatlary tigriň $A - B$ çyzgysyna sirkul bilen geçirip, göni çyzyk



6.6-njy surat

bilen tizlikleriň suratyna geçirsek, şol nokatlaryň tizlikleri bolýar:

$$V_D = \mu_V (D - D'),\ \ m/s,$$
$$V_C = \mu_V (C - C'),\ \ m/s.$$

6.7-nji *a* suratda ýönekeý dişli ilişmek, masştaby $\mu_l \frac{mm}{mm}$ boýunça iki dişli tigriň ilişmegi görkezilen. Tigirler başlangyç töwerekleri boýunça çyzylan.

O_1O_2 çyzyga parallel $y - y$ oky geçirýäris we onuň üstüne O_1; O_2; P nokatlary belleýäris.

P nokatda $P - P'$ aralygy $y - y$ 90^o burç boýunça geçirýäris (*6.7-nji b surat*). P nokat iki başlangyç töwerekleriň galtaşýan nokady, onuň tizligi deň:

$$V_P = \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 = \mu_V (P\text{-}P'),\ \ m/s.$$

Soňra P' nokady O_1 we O_2 nokatlar bilen birleşdirip, şol çyzyklary dowam etdirip, $A - A$ we $B - B$ çyzyklar bilen kesişen nokatlaryny A' we B' diýip bellesek, onda:

$V_A = \mu_V (A\text{-}A'),\ m/s$ we $V_B = \mu_V (B\text{-}B'),\ m/s$ bolar.

$A\text{-}A'\text{-}O_1\text{-}P\text{-}P\text{-}O_2\text{-}B\text{-}B'$ nokatlary birleşdirsek, dişli ilişmegiň suraty bolýar.

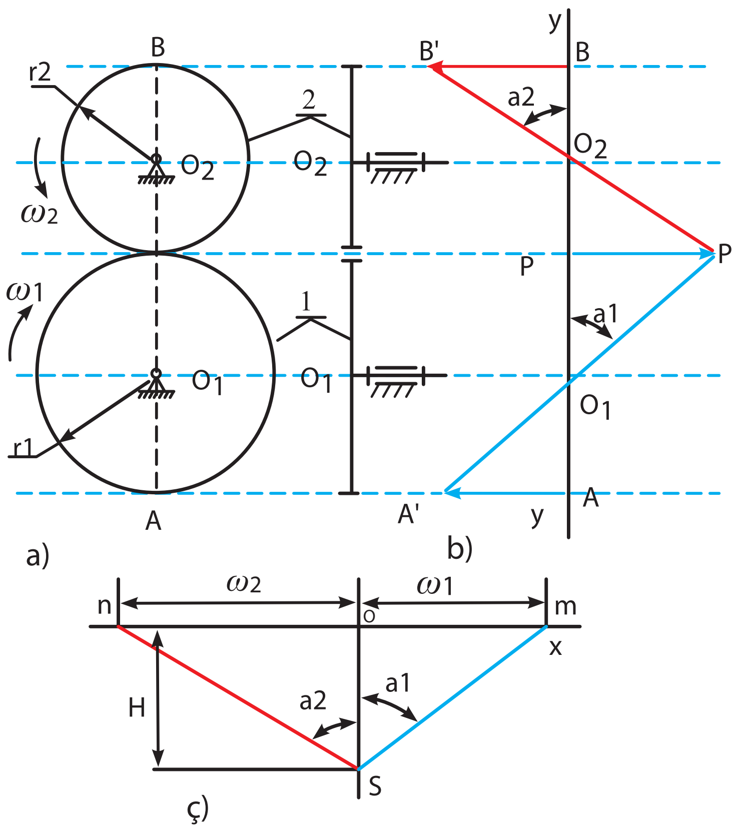
Tigirleriň burç tizliklerini kesgitlesek:

$$\omega_1 = \frac{V_{P1}}{r_1} = \mu_V \frac{(P-P')}{\mu_l r_1} = \frac{\mu_v}{\mu_l}\,\mathrm{tg}\alpha_1,$$

$$\omega_2 = \frac{V_{P2}}{r_2} = \frac{\mu_V (P-P')}{\mu_l r_2} = \frac{\mu_v}{\mu_l}\,\mathrm{tg}\alpha_2.$$

Koordinata oklaryny alyp (*6.7-nji ç surat*), ordinata okunyň islendik S nokadyndan α_1 we α_2 burçlar boýunça çyzyklar geçirip abssisa oky bilen kesişen nokatlaryny m we n diýip bellesek, onda:

$$\mathrm{tg}\alpha_1 = \frac{om}{os}; \qquad \mathrm{tg}\alpha_2 = \frac{on}{os};$$



6.7-nji surat

$$\omega_1 = \frac{\mu_v}{\mu_l}\frac{(om)}{os}; \qquad \omega_2 = \frac{\mu_v}{\mu_l}\frac{(on)}{(os)};$$

$$os = H; \qquad \omega_1 = \mu_\omega (om); \qquad \mu_\omega = \frac{\mu_v}{\mu_l H};$$

$$\omega_2 = \mu_\omega (on);$$

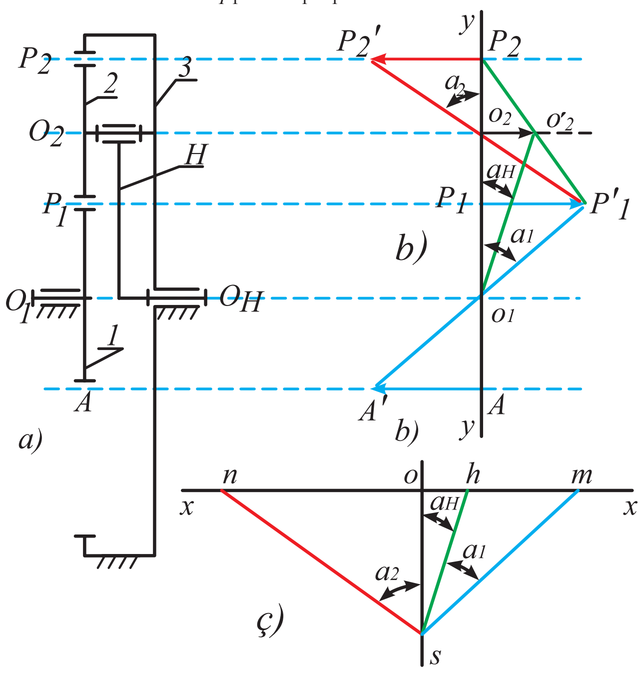
m we *n* nokatlar *o* nokadyň bir tarapynda bolanda dişli tigirler bir tarapa aýlanýar, şol nokatlar *o* nokadyň iki tarapynda bolanda, dişli tigirler bir-birine garşy aýlanýar.

s-o-m-n – burç tizlikleriniň suraty diýilýär.

Bir hereketli planetar reduktoryň kinematiki shemasy 6.8-nji *a* suratda görkezilen, masştaby $\mu_l = \frac{mm}{mm}$; *1* – tigir, *2* – planetar tigir, *3* – orbital tigir; *H* – ýörediji zweno.

6.8-nji *b* suratda mehanizmiň tizlik suratlary görkezilen. *y–y* oka mehanizmiň hemme nokatlaryny geçirip, P_1 nokadyň tizligini kesgitlemeli:

$$V_{P1} = \omega_1 \cdot r_1, \quad m/s$$



6.8-nji surat

$\bar{V}_{P1}$ wektory (P_1-P'_1) aralykda belläp, O_1 nokat bilen birleşdirip dowam etsek, A nokadyň tizligini kesgitleýäris. Üçünji tigir hereketsiz, şonuň üçin P'_1 nokady P_2 nokat bilen birleşdirsek, O_2 nokatdan göni çyzygy P'_1P_2 çyzyk bilen kesişýänçä dowam edip, kesişen nokady O'_2 diýip bellesek:

$$V_{O2} = \mu_V \ (O_2 \ O_2'), \quad m/s;$$

$$\mu_v = \frac{V_{P1}}{[P_1P_2]} \frac{m/s}{mm}.$$

O'_2 nokady O_1 bilen birleşdirsek, ýörediji zwenonyň tizliginiň suraty bolýar. Eger P'_1 nokady O_2 nokat bilen birleşdirip dowam etsek, ikinji tigriň öz okunyň daşyndan aýlanýan ýagdaýynyň tizliginiň suraty bolýar:

$$V_{P2} = \mu_V \ (P_2 \ P_2'), \ m/s.$$

6.9-njy suratda iki hereketli differensial reduktor görkezilen.

Mehanizm $\mu_l = \frac{mm}{mm}$; masştabda gurlan.

Öňki planetar reduktordan tapawudy üçünji tigir hem hereketli, şonuň üçin şu mehanizmiň hereketi ikä deň. Tizliklerini kesgitlemek üçin hökman iki zwenonyň hereket kanunlary berilmeli. Şu meselede ω_1 we ω_H berlen.

$$V_{P1} = \omega_1 \cdot r_1, \ \ m/s, \quad \bar{V}_{P1} \perp \overline{OP_1};$$

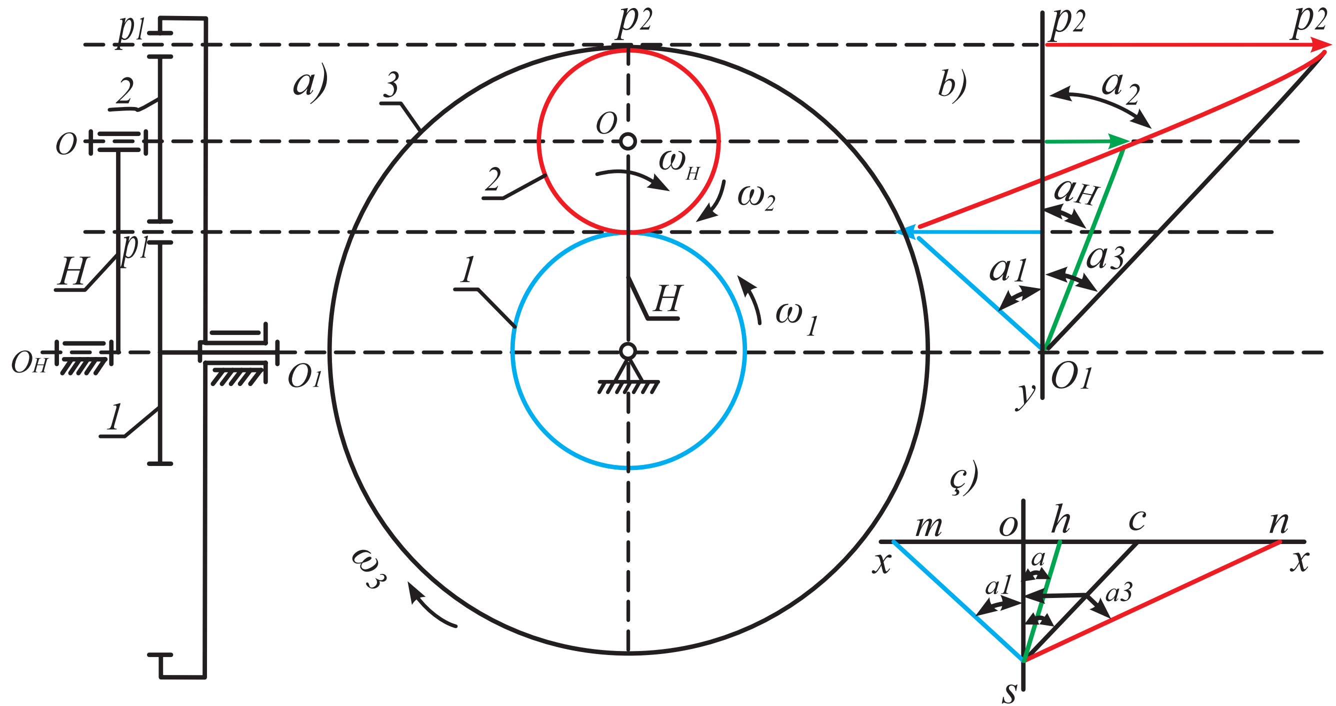
$$V_{O2} = \omega_H \cdot r_H, \ \ m/s, \bar{V}_{O2} \perp \overline{O_1O_2}.$$

Şol wektorlary $\mu_v = \frac{V_{P1}}{[P_1P_1']} \frac{m/s}{mm}$. $y-y$ oka 90°, iki tarapa $P_1P'_1$ we $O_2O'_2$ diýip belläris.

Iki tarapa bolan zwenolar bir-birine garşy aýlanýarlar. O_1 nokady P'_1 bilen birleşdirsek, birinji tigriň tizlikleriniň suraty $O_1P_1P'_1$ emele geler. P'_1 nokat bilen O'_2 birleşdirip, çyzygy dowam edip P'_2 nokady bellesek, ikinji tigriň tizliginiň suraty bolar. Üçünji tigir O_1 nokadyň daşynda aýlanýar, P'_2 nokady O_1 nokat bilen birleşdirsek, üçünji tigriň tizliginiň suraty gelip çykar. O_2' nokady O_1 bilen birleşdirsek, ýörediji zwenonyň H tizliginiň suraty gelip çykar.

6.9-njy *ç* suratda burç tizlikleriň suraty. Islendik bir S nokatdan $x-x$ oka α_1; α_2; α_3 we α_H boýunça çyzyklar geçirip, nokatlary *m, o, h, ç, n* diýip bellesek, burç tizlikleriň çyzgysy bolýar.

Differensial mehanizmiň kinematiki shemasy



6.9-njy surat

6.3. Planetar mehanizmleriň taslamasy

Planetar mehanizmleriň taslamasy geçirilende, esasy şert geçirijilik gatnaşygyny ýerine ýetirmek. Ondan başga-da:

1) peýdaly täsir (iş) koeffisiýenti ýokary bolmaly;

2) 1-nji, 3-nji we ýörediji (*H*) zwenonyň aýlanma oklary bir çyzykda bolmaly;

3) goňşulyk şerti;

4) mehanizmiň ýygnalyş şerti.

6.5-nji suratda görkezilen *a,b,ç,d* mehanizmlerde üçünji zweno hereketsiz bolsa, bir hereketli mehanizme öwrülýär, olara planetar reduktorlar diýilýär.

1) Peýdaly täsir koeffisiýenti boýunça mehanizmiň saýlap alnyşy: 6.5-nji *a,b,ç,d* suratlarda esasy mehanizmler, olary bir-birine goşup, islendik çylşyrymly mehanizmi düzüp bolýar. Şol mehanizmler bilen islendik geçirijilik gatnaşygyny ýerine ýetirip bolýar, ýöne şol mehanizmler peýdaly täsir koeffisiýenti, massalary we ululyklary boýunça gaty tapawutlanar.

6.5-nji suratda görkezilen mehanizmleriň geçirijilik gatnaşyklary *a,b* goşmak, *ç,d* aýyrmak alamatlarynda bolýar.

$$i_{13}^{(H)} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}, \qquad \text{ýa-da} \qquad i_{1H} = \frac{z_1 z_{2'} - z_2 z_3}{z_1 \cdot z_2}.$$

Meselem, $z_1 = z_2' = 100;\ z_3 = 101;\ z_2 = 100$ bolýar.

$$i_{13}^{(H)} = \frac{9999}{10000}; \qquad i_{1H}^{3} = \frac{1}{10000}.$$

Eger birinji tigir ýörediji bolsa, onda mehanizmi herekete getirip bolmaýar; η^H=0,98 bolanda, öz-özüni duruzmak (samotormoženiýe) $i_{1H}^{(3)} = 0{,}02$ ýüze çykýar.

$$\eta_{H1} = \frac{0{,}0001}{0{,}0001 \cdot 0{,}98 + 0{,}02} = 0{,}005$$

Şonuň üçin *a,b* mehanizmleri pes kuwwatly ýagdaýlarda ulanylýar.

Geçirijilik gatnaşygy minus bolan *ç,d* mehanizmler aşakdaka deňdir:

$$i_{13}^{(H)} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} \qquad \text{ýa-da} \qquad i_{1H}^{(3)} = -\frac{z_1 z_{2'} + z_2 z_3}{z_1 z_{2'}},$$

bu ýerde $i_{13}^{(H)}$; $i_{1H}^{(3)}$ bir-birinden tapawudy moduly boýunça bire deň, ýöne peýdaly täsir koeffisiýenti, öňkä seredeniňde, has ýokary.

2) Tigirleriň oklarynyň bir çyzykda bolmaly şerti:

a) $r_1 + r_2 = r'_2 + r_3$ $\qquad r_1 = \frac{mz_1}{2};$

$$r_2 = \frac{mz_2}{2};$$

$$r_{2'} = \frac{mz_{2'}}{2};$$

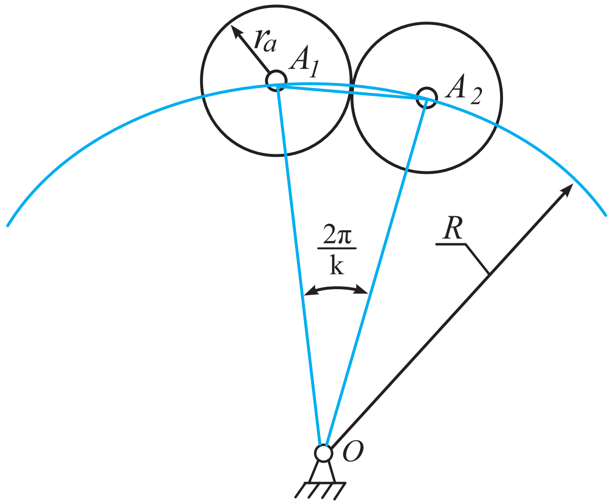
$$r_3 = \frac{mz_3}{2};$$

$$z_1 + z_2 = z_{2'} + z_3,$$

b) z_1-z_2=z_3-z_2,
ç) z_1+z_2=z_3-z_2,
d) z_1+z_2=z_3-z_2

3) Goňşuçylyk şerti:

Satellit sany *K* sany bolup bilýär, ýöne olar işlän wagtynda bir-birine degmeli däl.



6.10-njy surat

R – satellitleriň aýlaw merkeziniň ýerleşýän töwereginiň radiusy;

r_a – satellitleriň radiusy;

K – satellit sany.

ΔOA_1A_2-dan;

$$2r_a < 2R\sin\frac{\pi}{k}.$$

$$m(z_2+2) < m(z_1+z_2)\sin\frac{\pi}{k}$$

6.10-njy surat üçin.

ýa-da: $\sin\frac{\pi}{k} > \frac{z_2+2}{z_1+z_2}$.

4) Ýygnalyş usulynyň şerti:

Planetar mehanizmi ýygnalanda birinji goýlan satellit (ikinji tigir) birinji we üçünji tigirleriň ýagdaýlaryny kesgitleýär. Meselem, ikinji tigriň diş sany jübüt, onda çyzgyda görkezilişi ýaly, ikinji tigriň dişleri *a* we *b* simmetrik durýar. Birinji tigri bir burç ädimine φ_1 burça aýlanyňda $\varphi_1 = \frac{2\pi}{z_1}$ z_1 – birinji tigriň diş sany ikinji tigriň aýlaw merkezi O_2 nokat φ_H burça aýlanýar: $\varphi_H = \varphi_1 \cdot i_{H1}^3$.

Şonda birinji tigriň birinji dişiniň ýerinde ikinji dişi ýerleşýär. Birinji we ikinji tigriň oklary bir çyzygyň üstünde ýatýar. Şol ýagdaýda birinji we üçünji tigriň arasyna ýene bir satellit iki tigir ýerleşdirip bolýar. Onda satellit sanyny kesgitlemek üçin deňleme ýazyp bolýar.

$$K_S = \frac{2\pi}{\varphi_H}$$

ýa-da
$$K_S = \frac{2\pi z_1}{2\pi i_{H1}^{(3)}} = \frac{z_1}{i_{H1}^{(3)}}.$$

1-nji tablisadan
$$i_{H1}^{(3)} = \frac{1}{1+\frac{z_3}{z_1}} = \frac{z_1}{z_1+z_3};$$

onda
$$K_S = \frac{z_1(z_1+z_3)}{z_1} = z_1 + z_3.$$

K_S – nazaryýet boýunça goýup boljak satellit sany.

Biz birinji tigri bir diş aýlap, K_S kesgitledik. Eger bir diş däl-de, *n* dişe aýlasak, satellit sanynyň deňlemesi bolýar:

$$K = \frac{2\pi}{n\cdot\varphi_H} = \frac{z_1+z_3}{n}.$$

Şu deňlemä mehanizmiň *ýygnalyş şertiniň deňlemesi* diýilýär. Ikinji tigriň diş sany täk bolanda deňleme hakyky bolýar.

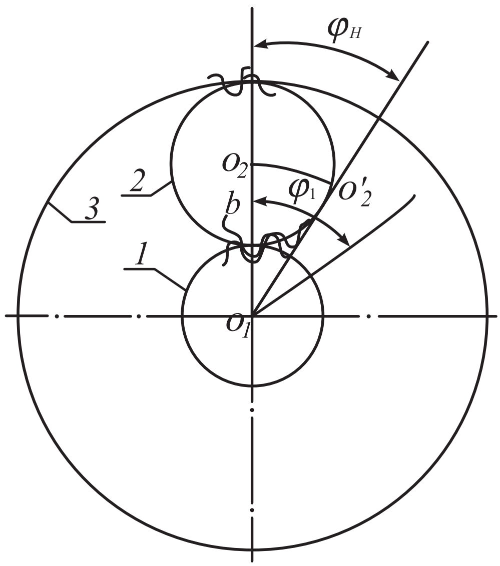
Mesele: Geçiriji gatnaşygy $i_{1H}^{(3)} = 4{,}5$ bolan planetar mehanizmiň taslamasyny geçirmeli.

2-nji tablisadan $i_{1H}^{(3)} = 4{,}5$ bolan ýagdaýa *ç* – görnüşli mehanizm gelýär; başlangyç zwenony 1-nji zweno, ahyrky zwenony – *H* zweno diýip belleýäris:

$$i_{13}^{H} = 1 - i_{1H}^{(3)} = 1 - 4,5 = -3,5.$$

Onda . $$i_{13}^{H} = -\frac{z_3}{z_1} = -3,5.$$

$$z_3 = 3{,}5 z_1$$



6.11-nji surat

Şerti boýunça, oklar bir çyzykda bolmaly.

$$z_1 + z_2 = z_3 - z_2$$

ýa-da $2z_2 = z_3 - z_1$; $z_2 = \frac{z_3 - z_2}{2}$;

$$z_2 = \frac{3,5z_1 - z_1}{2} = \frac{2,5z_1}{2} = 1,25z_1;$$

$$z_2 = 1,25 z_1,$$

ýa-da
$$\frac{z_3}{z_2} = \frac{3,5 z_1}{1,25 z_1} = 2,8.$$

Eger $z_2 = 20$ diýip alsak, onda $z_3 = 2,8 \cdot 20 = 56$. Üçünji tigriň diş sany $z_3 > 60$ bolmaly, şol şert ýerine ýetirilmese, dişler stanokda ýasalanda ujundan kesilýär. Ikinji tigriň diş sany $z_2 > 20$ bolmasa, dişler ýasalanda dişiň düýbünden ýonulýar.

Şol şertleri göz öňüne tutup $z_2 = 25$ diýip alýarys. Onda

$$z_3 = 2,8 \cdot 25 = 70,$$

$$z_1 = \frac{z_3}{3,5} = \frac{70}{3,5} = 20.$$

Satellit sany bolýar:

$$K < \frac{\pi}{\arcsin \frac{z_2 + 2}{z_1 + z_2}} = \frac{\pi}{\arcsin \frac{25+2}{20+25}} = \frac{\pi}{\arcsin 0,6} = 4,87.$$

Satellit sany $K=4$-e deň.

Mehanizmiň ýygnalyş şerti boýunça:

$$K = \frac{z_1 + z_3}{n} = \frac{20 + 70}{n} = \frac{90}{n}.$$

n bitin san bolmaly, onda $n=30$, $K=3$.

Satellit sany $K=3$ diýip alýarys.

6.1-nji tablisa

Planetar mehanizmleriň geçirijilik gatnaşyklaryny kesgitlemek üçin deňlemeler

Geçirijilik gatnaşyklary	*a*	*b*	*ç*	*d*
1	2	3	4	5
i_{13}^{H}	$\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$	$\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$	$-\frac{z_3}{z_1}$	$-\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$
i_{31}^{H}	$\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$	$\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$	$-\frac{z_1}{z_3}$	$-\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$

6.1-nji tablisanyň dowamy

1	2	3	4	5
$i_{1H}^{(3)}$	$1-\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$	$1-\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$	$1+\frac{z_3}{z_1}$	$1+\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}$
$i_{H1}^{(3)}$	$\frac{1}{1-\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}}$	$\frac{1}{1-\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}}$	$\frac{1}{1+\frac{z_3}{z_1}}$	$\frac{1}{1+\frac{z_2 z_3}{z_1 z_{2'}}}$
$i_{3H}^{(1)}$	$1-\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$	$1-\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$	$1+\frac{z_1}{z_3}$	$1+\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}$
$i_{H3}^{(1)}$	$\frac{1}{1-\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}}$	$\frac{1}{1-\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}}$	$\frac{1}{1+\frac{z_1}{z_3}}$	$\frac{1}{1+\frac{z_1 z_{2'}}{z_2 z_3}}$

6.2-nji tablisa

Geçirijilik gatnaşyklarynyň ýörediji zweno görä bahalary

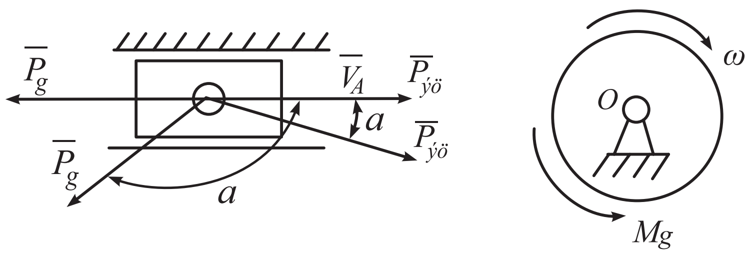
Geçirijilik gatnaşyklary		*a*	*b*	*ç*	*d*
Ýönekeý mehanizmler	i_{13}^{H}	-	-	- 1,3 ... -8	-1 ... -14
	i_{31}^{H}	-	-	0,77...-0,125	-1...-0,071
Planetar mehanizmler	$i_{1H}^{(3)}$	32-den – 1500-e çenli	32-den – 1500-e çenli	2,3 ... 9	2,0 ... 15
	$i_{H1}^{(3)}$	32-den – 1500-e çenli	32-den – 1500-e çenli	0,445...0,111	0,5...0,067
	$i_{3H}^{(1)}$	32-den – 1500-e çenli	32-den – 1500-e çenli	1,77...1,125	20...1,071
	$i_{H3}^{(1)}$	32-den – 1500-e çenli	32-den – 1500-e çenli	0,565...0,888	0,5...0,933

VII BÖLÜM
TEKIZLIKDE HEREKET EDÝÄN PES JÜBÜTLI MEHANIZMLERIŇ GÜÝÇ DERŇEWI

7.1. Kinetostatika. Daşky güýçler

Güýç derňewiniň maksady kinematik jübütlerde peýda bolan güýçleri (reaksiýalary) kesgitlemekdir. Derňewde daşyndan täsir edýän güýçleri we mehanizmiň hereket kanunyny belli diýip hasaplamaly.

Güýç derňewiniň uly ähmiýeti bar, sebäbi zwenolaryň we kinematik jübütleriň gatylygyny, sürtülmesini we işläp biljek möhletini kesgitlemek üçin reaksiýa güýçlerini hökman bilmeli. Mehanizmlere daşyndan täsir edýän güýçleri iki uly toparlara bölýäris:



7.1-nji surat

1.Ýörediji güýçler $\overline{P}_{ýö}$ ýa-da ýörediji güýjüň momenti $M_{ýo}$.

Ýörediji güýçler peýdaly iş bitirýär. Olaryň ugry tizligiň ugry bilen gabat gelýär ýa-da tizligiň ugry bilen burçy $\alpha < 90°$ kiçi. Ýörediji güýçler tizligi ulaltmanyň ugrunda.

2. Herekete garşy güýçler $\overline{P}_g$ ýa-da olaryň momentleri M_g.

Garşy güýçler zyýanly iş edýärler. Olaryň ugry herekete garşy ýa-da tizligiň ugruna $\alpha > 90°$-dan uly burçly.

Garşy güýçler ikä bölünýär:

1. Peýdaly garşy güýçler $\overline{P}_{pg}$;
2. Zyýanly garşy güýçler $\overline{P}_{zg}$.

$$\overline{P}_g = \overline{P}_{pg} + \overline{P}_{zg}$$

Diýmek, peýdaly garşy güýçler – tehnologiki garşy güýçler. Olar maşynyň ýa-da mehanizmiň öňünde goýlan işleri bitirýän güýçler.

Zyýanly güýçlere esasy sürtülme güýçleri degişli. Maşynlaryň we mehanizmleriň taslamasy düzülende, zyýanly güýçleriň azalmagyna üns berýärler.

Daşky güýçleriň hasabyna agyrlyk güýçleri hem goşulýar. Agyrlyk güýçleri öz gezeginde ýörediji hem-de garşy bolup bilýärler. Eger-de zwenonyň agyrlyk merkezi ýokarlygyna hereket etse, agyrlyk güýji garşy güýç bolýar, eger-de aşak hereket etse, ýörediji güýç bolýar. Agyrlyk güýçleri hemişelik güýçlerdir.

Daşky güýçler hemişelik we üýtgeýän bolup bilýärler, ol maşyna bagly. Maşynyň käbirinde güýçleriň üýtgeýşi zwenolaryň ýagdaýyna bagly (dwigatelde–gazlaryň porşene täsiri), käbirinde bolsa tizligine bagly (elektrodwigatelde – aýlaw momentine).

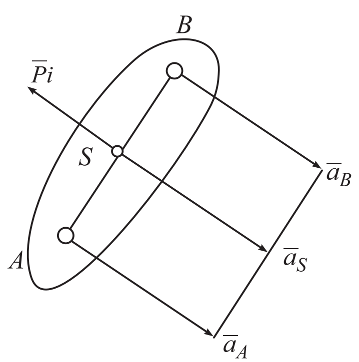
7.2. Inersiýa güýçleri

Mehanizmleriň güýç derňewini Dalamberiň usuly boýunça geçirýärler. Iş pursadynda mehanizmleriň tizlikleri üýtgäp durýar, tizlenmäniň emele gelmegi bilen, inersiýa güýçleri hem ýüze çykýar.

Eger-de, şert boýunça, inersiýa güýçlerini zwenolara geçirsek, onda hemme täsir edýän güýçleriň jemi nola deň bolýar. Şol usul mehanizmleriň güýç derňewini statika deňlemeleri boýunça geçirmäge şert döredýär. Şonuň üçin mehanizmleriň güýç derňewine **kinetostatika** diýilýär.

Zwenolaryň hereketine görä inersiýa güýçlerini kesgitleýäris.

1. Öňe bolan hereket (postupatel hereket) (*7.2-nji surat*).



7.2-nji surat

Öňe bolan hereketde hemme nokatlaryň tizligi we tizlenmesi deň:

$$\bar{a}_A=\bar{a}_B=\bar{a}_S \quad m/s^2;$$
$$\bar{P}_i=-m\bar{a}_A=-m\bar{a}_B=-m\bar{a}_S\,,\ (N),$$

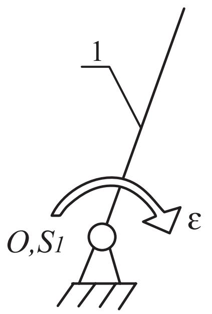
bu ýerde m – zwenonyň massasy (kg).

Aýyrmak alamaty (-) güýjüň tizlenmä garşylygyny görkezýär.

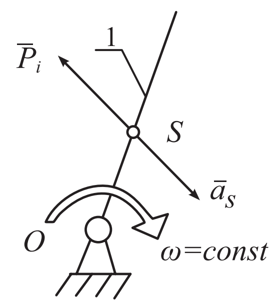
$$M_i=-I_S\cdot\varepsilon\ ,Nm,$$

I_s – agyrlyk merkezinden geçýän oka görä inersiýa momenti ($kg{\cdot}m^2$),

ε – burç tizlenmesi ($1/s^2$).



7.3-nji surat



7.4-nji surat

2. Zweno aýlanýar, tizligi hemişelik däl (*7.3-nji surat*). $\omega \neq const$, agyrlyk merkezi hereket etmeýär:

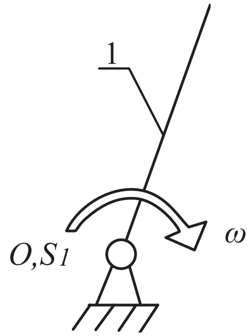
$$\bar{P}i=-m\bar{a}_S$$
$$M_i=-I_S\cdot\varepsilon\ ,Nm \ \ sebäbi \ \ a_S=0.$$
$$\omega \neq const.$$

Diýmek, inersiýa güýçleriniň momenti burç tizlenmesine garşy.

3. Zweno aýlanýar, tizligi hemişelik, agyrlyk merkezi hereketde (*7.4-nji surat*).

$$\bar{P}_i=-m\bar{a}_S\ ,(N)$$
$$M_i=-I_S\cdot\varepsilon=0\ \ N{\cdot}m \ \ \text{sebäbi} \ \ \varepsilon=\frac{d\omega}{dt}=0.$$

4. Zweno aýlanýar, tizligi hemişelik, agyrlyk merkezi hereketde däl (*7.5-nji surat*).

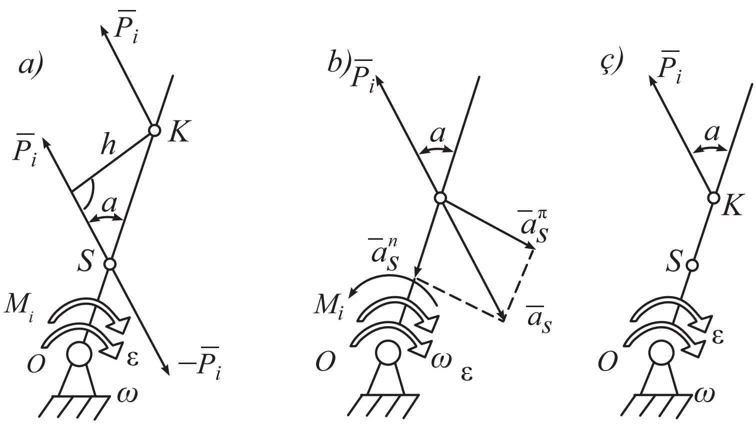


7.5-nji surat

$$\overline{P}_i = -m\overline{a}_S = 0, \qquad M_i = -I_s \cdot \varepsilon = 0$$
$$\omega = const.$$

Zweno doly deňagram ýagdaýynda.

5. Zweno aýlanýar, tizligi hemişelik däl, agyrlyk merkezi hereketde (*7.6-njy surat*).



7.6-njy surat

$$\overline{P}_i = -m\overline{a}_S \quad (N),$$
$$M_i = -I_S \cdot \varepsilon \quad (Nm).$$

Ikisini bir güýje getirmeli:

$$\overline{a}_s = \overline{a}_s^n + \overline{a}_s^\tau$$

Inersiýa güýçleriniň momentini iki güýje (jübüt güýje) çalyşýarys.

$M_i = P_i \ h$; $\overline{P}_i = -\overline{P}_i$ gysgalýar, k nokatda täsir edýän bir güýç alynýar.

bu ýerde k – yrgyldy nokady.

$$h = \frac{Mi}{Pi} = \frac{I_S \varepsilon}{m a_S};$$

$$\varepsilon = \frac{a_S^\tau}{l_{OS}},$$

onda

$$h = \frac{I_S a_S^\tau}{m l_{OS} a_S^\tau} \sin\alpha.$$

Agyrlyk merkezinden yrgyldy nokada çenli aralygyň ululygyny ýokarky deňlemede ýerinde goýup alarys: $l_{SK} = \frac{h}{\sin\alpha}$.

Netijede: $$l_{SK} = \frac{I_S}{m l_{OS}} m.$$

Şu deňlemeden çykan netije boýunça $\ell_{SK} = const$ hemişelik, zwenolaryň ýagdaýy täsir etmeýär.

6. Zweno çylşyrymly (tekiz-parallel) hereket edýär.

Inersiýa güýji we onuň momenti döreýär:

$$P_{\bar{i}} = -m\bar{a}_S \quad (N),$$
$$M_i = -I_S \cdot \varepsilon \quad (Nm).$$

Ikisini bir güýje getirýäris.

Tizlenme plany berlen (*7.7-nji b surat*).

Çylşyrymly hereketi iki herekete bölýäris:

Göni hereket, A we B nokatlar bilen göni hereketde (*7.2-nji surat*).

A nokat B daşynda aýlanýar (*7.3-nji surat*).

Agram merkeziň tizlenmesi iki tizlenmeden durýar: $\bar{a}_s = \bar{a}_S^n + \bar{a}_{SA}^\tau$

onda inersiýa güýji hem ikä bölünýär:

$$\bar{P}_i = -m\bar{a}_S = -m(\bar{a}_A + \bar{a}_{SA}) = -m\bar{a}_A - m\bar{a}_{SA}.$$

Inersiýa güýji göni hereketde A nokat bilen:

$$\bar{P}'_i = -m\bar{a}_A, \ (N).$$

Inersiýa güýji aýlanma hereketde:

$$\bar{P}''_i = -m\bar{a}_{SA}, \ (N).$$

Inersiýa güýji $\bar{P}'i = -m\bar{a}_A$ göni hereketde S nokatdan, agyrlyk merkezinden geçýär. Eger-de $M_i = -I_S \cdot \varepsilon$ (Nm) bilen ikisini bir güýje çalyşsak, inersiýa güýji $\bar{P}''_i = -m\bar{a}_{SA}$ aýlanma hereketde k nokatdan geçer.

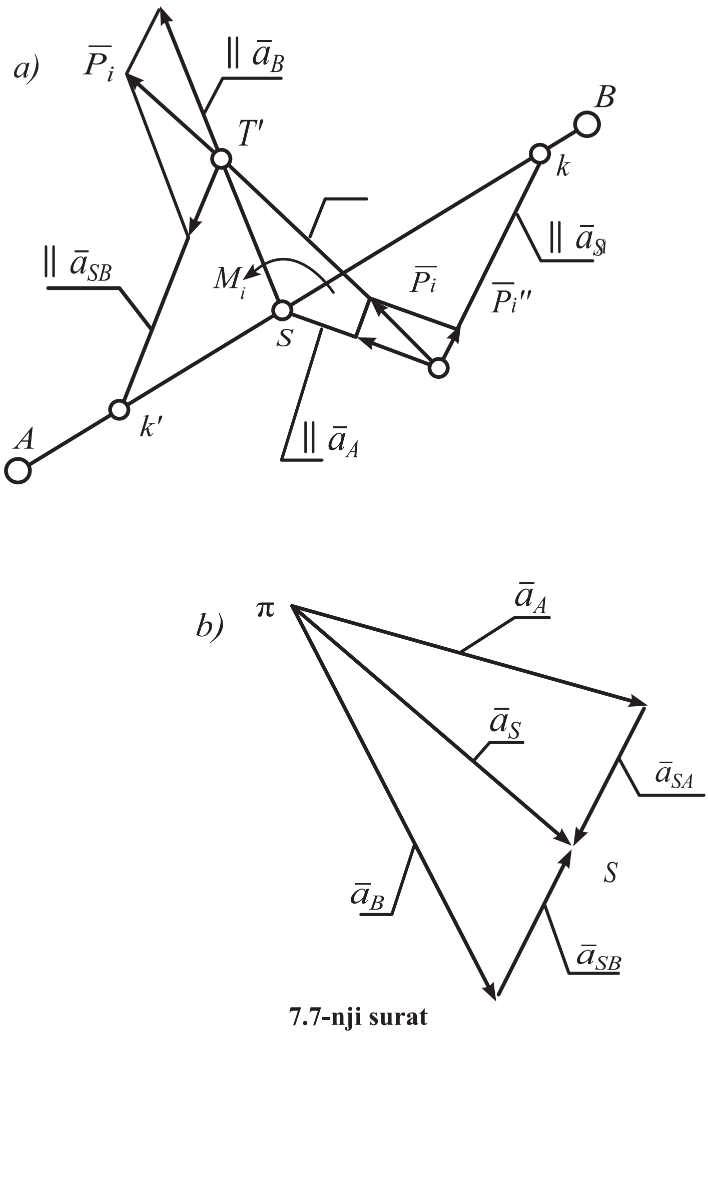
Iki güýji jemläp alarys:

$$\bar{P}'_i+\bar{P}''_i=\bar{P}_i;$$

bu ýerde $\bar{P}_i$ – ugry T nokatdan geçýär, $\bar{a}_S$ – garşy.

P_i güýji kesgitlemek üçin $\bar{P}'_i, \bar{P}''_i$ güýçleri we olaryň täsir edýän nokatlaryny tapmak hökman däl.

T nokady tapmak üçin S agyrlyk merkezinden $\bar{a}_A$ – tizlenmä parallel geçirmeli, k – nokatdan $\bar{a}_S$ – tizlenmä parallel geçirmeli, ikisiniň kesişýän ýeri T nokat bolýar.



7.7-nji surat

Ondan $\overline{P}_i = -ma_S$ – tizlenmä parallel geçirsek, inersiýa güýjüniň ugruny alarys:

$$l_{SK} = \frac{I_S}{ml_{AS}},$$

$$P_i = -ma_S.$$

7.3. Statika deňlemeleriniň ulanylyş şerti

Biziň maksadymyz, berlen daşky güýçler we berlen ýörediji zwenonyň hereket kanuny boýunça mehanizmiň güýç derňewini geçirmek, kinematik jübütleriň reaksiýa güýçlerini kesgitlemek. Bu ýerde ýalňyşlyk bar, sebäbi şol güýçleriň täsiri boýunça ýörediji zweno berlen kanuny ýerine ýetirip bilenok. Ýerine ýetirmek üçin, berlen daşky güýçlere ýörediji zwenony deňagram ýagdaýyna getirýän güýji goşmaly.

Güýç derňewiniň maksady deňagram ýagdaýyna getirýän güýji ýa-da onuň momentini reaksiýalar ýaly kesgitlemek.

Kinematik zynjyrlaryň güýç hasabyny geçirmek üçin, ol statika boýunça kesgitlenýän bolmaly, näbelliniň sany deňlemeleriň sanyna deň bolmaly.

Güýç üç ululykda häsiýetlendirilýär:

1. Täsir edýän nokady;
2. Ugry;
3. Bahasy.

Tekizlikde hereket edýän kinematik jübütlerde şol ululyklaryň bellisine we näbellisine seredýäris:

1) Aýlanýan V klas (P_5) kinematik jübütlerde reaksiýa güýçleriň ugry (sürtülme güýçler hasaba alynmasa) degişýän meýdançalara normal boýunça.

Şonuň üçin aýlanýan V klas (P_5) kinematik jübütlerde reaksiýalaryň täsir edýän nokady kinematik jübütiň ortasy (*7.8-nji a surat*).

Aýlanýan kinematik jübütlerde hemme reaksiýalary bir reaksiýa getirsek, täsir edýän nokady belli, bahasy we ugry näbelli bolar.

2) V klas (P_5) süýşme (postupatel) hereket edýän kinematik

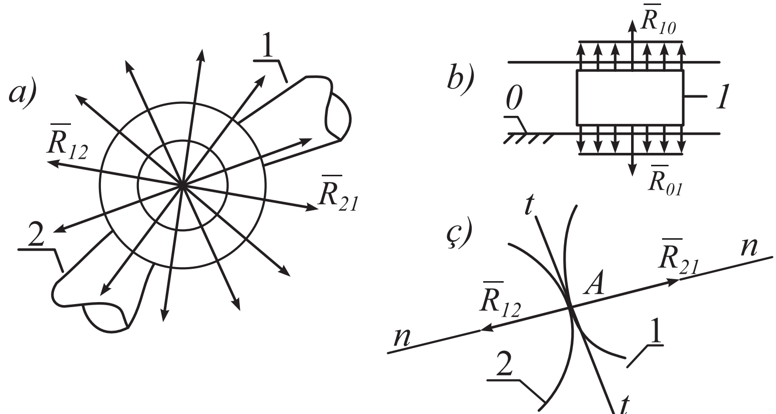
jübütlerde reaksiýalaryň ugry belli, täsir edýän nokady we bahasy näbelli (*7.8-nji b surat*).

V klas kinematik jübütlerde näbelliniň sany ikä deň, eger-de V klas kinematik jübütleriň sanyny P_5 diýip bellesek, onda kinematik zynjyra girýän V klas kinematik jübütlere degişli näbellileriň sany $2P_5$ bolar.

3) IV klas ýokary kinematik jübütlere seredýäris (*7.8-nji ç surat*). Iki zweno bir-birine A nokatda degişýär. Şol nokatda galtaşýan çyzyk geçirýäris, $t – t$, oňa 90° çyzyk geçirsek, $n – n$ normal bolýar.

Zwenolaryň reaksiýalarynyň ugry normal boýunça. Täsir edýän nokady A nokat. IV klas kinematik jübütlerde bir näbelli – reaksiýanyň bahasy. Eger kinematik jübütleriň sanyny P_4 diýip bellesek, onda näbelli sany $1P_4$ bolýar.

Tekizlikde hereket edýän n zwenoly kinematik zynjyra 3 sany deňleme düzüp bolýar.



7.8-nji surat

Kinematik zynjyryň statika boýunça kesgitlenýän deňlemesi şeýle bolup çykýar:

$$3n = 2P_5 + 1P_4.$$

Näbellileriň sany deňlemeleriň sanyna deň:

$$3n – 2P_5 – P_4 = 0.$$

Bu deňleme Assuryň toparlary üçin Çebyşewiň deňlemesi, onda Assuryň toparlarynyň güýç derňewini statika deňlemeleri boýunça geçirip bolýar.

7.4. II klas 1-nji görnüş Assuryň toparynyň güýç derňewi

Zwenolaryň massalary we agyrlyk merkezine görä inersiýa momentleri berlen.

Inersiýa we agyrlyk güýçlerini kesgitleýäris:

$G_2 = m_2 q$, $(kgm/s^2 = N)$; $q = 9,81\ m/s^2$;

$G_3 = m_3 q$, (N);

$P_{i2} = - m_2 a_{S2}$, (N); $\qquad M_{i2} = -I_{S2}\, \varepsilon_2$, $(N{\cdot}m)$;

$P_{i3} = - m_3 a_{S3}$, (N); $\qquad M_{i3} = -I_{S3}\, \varepsilon_3$, $(N{\cdot}m)$;

$\ell_{S2K2} = I_{S2}/m_2\ell_{BS2}$, (m); $\quad \ell_{S3K3} = I_{S3}/m_3\ell_{BS3}$, (m).

P_{i2} inersiýa güýjüni we onuň M_{i2} momentini bir P_{i2} güýje öwürýäris, täsiri T_2 nokatda. P_{i3} inersiýa güýjüni we onuň M_{i3} momentini bir P_{i3} güýje öwürýäris, täsir edýän nokady T_3.

Kinematik jübütlerde reaksiýalary tapmaly.

A nokatda– 1-nji zweno tarapyndan täsir edýän güýç R_{12} diňe täsir edýän nokady belli. Ugruny we bahasyny tapmaly. R_{12} reaksiýany ikä dargadýarys:

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

$\overline{R}^n_{12}$ zwenonyň ugry boýunça, $\overline{R}^\tau_{12}$ zwenonyň ugruna perpendikulýar ugrukdyrýarys (*7.9-njy surat*).

C nokatda – 4-nji zweno tarapyndan täsir edýän güýç R_{43} hem ikä bölýäris:

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

$\overline{R}^n_{43}$ zwenonyň ugry boýunça, $\overline{R}^x_{43}$ zwenonyň ugruna perpendikulýar.

1) 2-nji zweno aýratyn seredýäris.

Hemme güýçleriň täsiri boýunça 2-nji zweno deňagram ýagdaýynda işläp, *B* nokat boýunça hemme güýçleriň momentleriniň jemi nola deň bolmaly. *B* nokada görä hemme güýçlerden moment alýarys:

$$\Sigma_i^n = {}_1M_B(Pi) = 0$$

$\overline{R}^n_{12}$ -iň ugry *B* nokadyň üstünden geçýär, sonuň üçin onuň momenti nola deň:

$$-R^t_{12}\,AB + G_2\, h_2 - P_{i2}\, h_{i2} = 0.$$

Momentiň ugry sagat ugruna bolsa (-) aýyrmak alamatda alýarys, eger-de sagat ugruna garşy bolsa (+) goşmak diýip alýarys. Onda

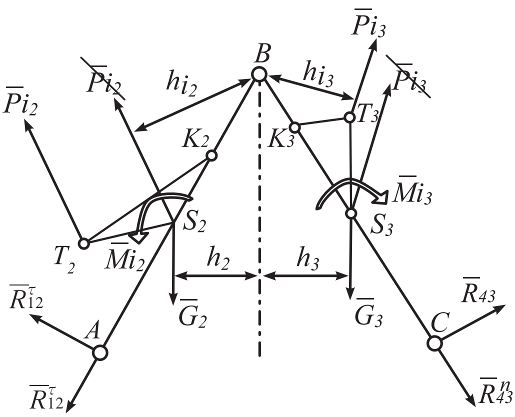
$$R_{12}^{t} = \frac{G_2 h_2 - P_{i2} h_{i2}}{AB}, \frac{Nmm}{mm} = N.$$

Eger netijesi aýyrmak (-) bolup çyksa, onda $\overline{R}_{12}^{t}$ – reaksiýanyň ugruny garşy tarapa ugrukdyrmaly.

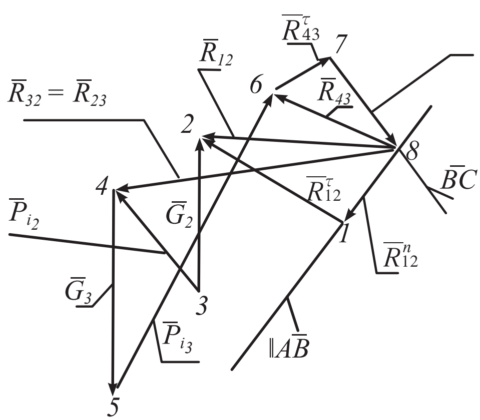
2) 3-nji zweno aýratyn seredeliň.

Hemme güýçleriň momentlerini B nokada görä alýarys:

$$\Sigma_{i=1}^{n} M_B(P_i) = 0,$$
$$R_{43}^{t} BC + P_{i3} h_{i3} - G_3 h_3 = 0,$$
$$R_{43}^{t} = \frac{-P_{i3} h_{i3} + G_3 h_3}{BC}, (N).$$



7.9-njy surat



7.10-njy surat

Eger netijesi (-) aýyrmak bolsa, onda $\overline{R}^{t}_{43}$ ugruny garşy tarapa öwürmeli.

3) 2 – 3 zwenolara bilelikde seredýäris we wektor deňlemesini düzýäris.

$$\overline{R}^{n}_{12} + \overline{R}^{t}_{12} + \overline{G}_{12} + \overline{P}_{i2} + \overline{G}_{3} + \overline{P}_{i3} + \overline{R}^{t}_{43} + \overline{R}^{n}_{43} = 0.$$

Iki çetdäkiler näbelli bolmaly. Ilki bir zweno täsir edýän güýçleri, soň beýleki zweno täsir edýän güýçleri ýazmaly (*7.10-njy surat*).

Şol deňleme boýunça güýçleriň planyny gurmaly. Ilki $\overline{R}^{n}_{12}$ ugruny $\|\overline{AB}$ geçirýäris. Şol çyzykda bir nokady *1* diýip belleýäris. Şol nokatdan $\overline{R}^{\tau}_{12}$ ugruny ($\perp$ $\overline{AB}$) geçirýäris. Islendik uzynlykda *1 – 2* aralygy alyp, masştaby tapmaly.

Meselem: *[1 – 2] = 50 mm* bolsa,

onda $$\mu_p = \frac{R^{t}_{12}}{[1-2]}, \frac{N}{mm}.$$

2-nji nokatdan $\overline{G}_2$ güýjüň ugruny geçirýäris:

$$[2-3] = \frac{G_2}{\mu_p} = \frac{N}{N/mm} = mm.$$

3-nji nokatdan $\overline{P}_{i2}$ güýjüň ugruny geçirýäris:

$$[3-4] = \frac{P_{i2}}{\mu_p} = mm.$$

4-nji nokatdan $\overline{G}_3$ ugruny geçirýäris:

$$[4-5] = \frac{G_3}{\mu_p} = mm.$$

5-nji nokatdan $\overline{P}_{i3}$ ugruny geçirýäris:

$$[5-6] = \frac{P_{i3}}{\mu_p} = mm.$$

6-njy nokatdan $\overline{R}$ ugruny geçirýäris:

$$[6-7] = \frac{R^{t}_{43}}{\mu_p} = mm.$$

7-nji nokatdan $\overline{R}^{n}_{43}$ ugruny ($\|\overline{BC}$) geçirýäris.

Birinji çyzyk ($\|\overline{AB}$) bilen soňky çyzygyň ($\|\overline{BC}$) kesişýän nokadyny *8* diýip belleýäris:

$$R^{n}_{12} = \mu_p (8-1) \frac{N}{mm} \cdot mm = N;$$

$$R_{12} = \mu_p (8-2) N;$$

$$R^{n}_{43} = \mu_p (7-8) N;$$

$$R_{43} = \mu_p(6-8)N;$$
$$R_{23} = -\overline{R}_{32} = \mu_p(8-4)N.$$

B nokatdaky 2-nji zwenodan 3-nji zweno täsir edýän güýji (Nýutonyň ikinji kanunyny) kesgitlemek üçin *4–8* nokatlary birleşdirmeli. Sebäbi zwenolara aýratyn seredeniňde, hemme güýçleriň täsiri boýunça *2* zweno (ýa-da *3*) deňagram ýagdaýynda diýipdik, onda her bir zweno täsir edýän güýçleriň jemi nola deň bolmaly, güýçleriň wektorlary başlanan nokatda gutarmaly. 8-nji nokatda ikinji zweno täsir edýän güýçler başlandy, 4-nji nokatda gutardy. *4* bilen *8-i* birleşdirsek: $R_{32} = \mu_p (4\text{-}8)\ N$ bolar, onda:

$R_{23} = -\ R_{32} = \mu_p(4\text{-}8)\ N.$

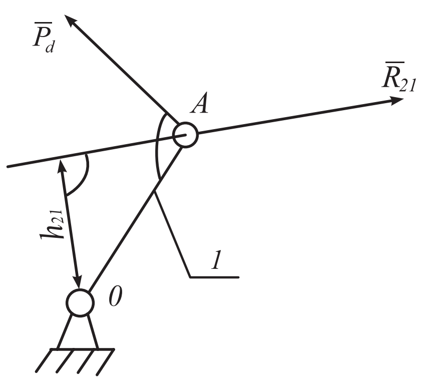
II klas 1-nji görnüş Assuryň toparynyň güýç derňewini doly geçirdik (*7.10-njy surat*).

7.5. Ýörediji zwenonyň güýç derňewi

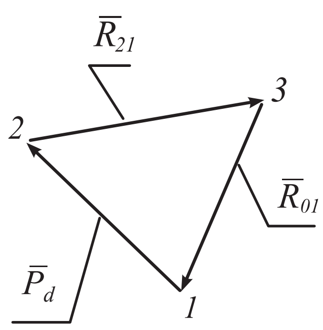
Ýörediji zwenonyň hereket sanyny kesgitlesek:

$$W = 3n - 2P_5,$$
$$W = 3 \bullet 1 - 2 \bullet 1 = 1.$$

Hereket sany bire deň bolanda, statika deňlemeleri ulanyp bolanok, sebäbi R_{21} güýjüň täsiri boýunça zweno deňagram ýagdaýynda däl. Deňagram ýagdaýyna getirmek üçin P_d – deňagrama getirýän güýji ulanýarys (*7.11-nji surat*).



7.11-nji surat



7.12-nji surat

O nokada görä güýçlerden moment alsak, deňagrama getirýän güýjüň bahasyny taparys:

$$\Sigma_{i=1}^{n} M_0(P_i) = 0;$$
$$P_d \cdot OA - R_{21} \cdot h_{21} = 0;$$
$$P_d = \frac{R_{21}h_{21}}{OA}, \frac{Nmm}{mm} = N.$$

O nokatda duran zweno tarapyndan täsir edýän reaksiýa güýjüni kesgitlemek üçin wektor deňleme düzýäris:

$$\overline{P}_d + \overline{R}_{21} + \overline{R}_{01} = 0.$$

Wektor deňleme boýunça güýç planyny gurýarys (*7.11-nji surat*). Ilki deňagram ýagdaýa getirýän güýji islendik uzynlykda geçirýäris, *1–2* aralyk.

Meselem: *[1–2]= 50mm,*

onda $$\mu_p = \frac{P_d(N)}{[1-2](mm)}.$$

2-nji nokatdan $\overline{R}_{21}$ güýjüň ugruny geçirýäris, *2–3* aralyk:

$$2-3 = \frac{R_{21}}{\mu_p} \frac{N}{N/mm} = mm.$$

3-nji nokady 1 bilen birleşdirsek, $\overline{R}_{01}$ gelip çykýar (*7.12-nji surat*).

$$R_{01} = \mu_p \cdot (3-1) \frac{N}{mm} \cdot mm = N.$$

7.6. Žukowskiniň teoremasy

90°-a öwrülen tizligiň plany mehanizmiň hemme güýçleriniň täsiri boýunça deňagram ýagdaýynda. Güýçleri mehanizmiň planyndan tizligiň 90°-a öwrülen planyna ugruny üýtgetmän geçirmeli.

Meselem: zwenonyň B nokadynda $\overline{F}$ güýç täsiri esasynda $\overline{V}_B$ tizlik bilen hereket edýär diýeliň (*7.13-nji a surat*).

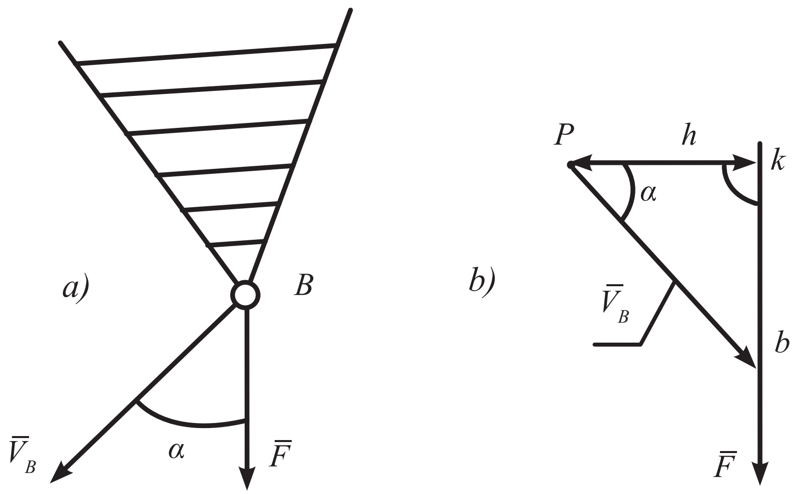
Güýç bilen tizligiň arasyndaky burçy α diýip belleýäris.

B nokadyň tizliginiň planyny 90°-a öwrüp guranymyzdan soň, *b* nokada güýjüň ugruny üýtgetmän geçirýäris (*7.13-nji b surat*). Güýjüň *P* polýusa görä momenti:

$$M_p(F) = F \cdot h;$$
$$h = [Pb] \cdot \cos \alpha$$
$$M_p(F) = F \cdot [\mathrm{Pb}] \cdot \cos \alpha;$$

ýa-da $N = F \cdot V_B \cdot \cos \alpha$ – güýjüň kuwwaty;

onda $M_p(F) = N.$



7.13-nji surat

Hemme maşynlaryň işleýiş usuly boýunça – maşyna täsir edýän güýçleriň kuwwatynyň jemi nola deň:

$$\Sigma_{i=1}^{n} N_i = 0,$$

ýa-da

$$\Sigma_{i=1}^{n} M_p(F_i) = 0.$$

Maşyna täsir edýän güýçleriň momentleriniň jemi nola deň ýa-da güýçleriň täsiri boýunça 90°-a öwrülen tizligiň plany deňagram ýagdaýynda. Eger-de deňagram ýagdaýynda bolmasa, deňagrama getiriji güýji P_d ýa-da momenti M_d tapyp deňagrama getirmeli.

VIII BÖLÜM
SÜRTÜLME

8.1. Sürtülmäniň görnüşleri

Iki zweno bir-birine görä hereket edende, olaryň galtaşýan meýdanlarynda sürtülme güýji emele gelýär. Şol güýç ugry boýunça otnositel tizlige garşy, herekete garşylyk görkezýär.

Sürtülmäni iki görnüşe bölýärler:

Typma sürtülmesi;

Tigirlenme sürtülmesi.

Typma sürtülmede jisimiň her bir nokatlary yzygiderli beýleki jisimiň nokatlary bilen galtaşýar.

Tigirlenme sürtülmede jisimiň nokatlary bilen beýleki jisimiň nokatlary bir-biriniň yzyndan yzygiderli galtaşýarlar.

Önümçilikde köp ýagdaýda iki sürtülme birden bolup bilýär.

Typma sürtülmede bolýar:

1. Gury sürtülme;
2. Ýarym gury sürtülme;
3. Suwuklyk sürtülme;
4. Ýarym suwuk sürtülme.

1. Gury sürtülmede iki zwenonyň arasynda hiç hili ýaglanma ýok.

Ýaglanma diýip ulanýarlar: grafiti, goýy ýaglary, suwuk ýaglary, howany ýa-da başga gazlary.

2. Ýarym gury sürtülmede ýaglanma bar, oňa garamazdan köp meýdanlary galtaşmada bolýarlar.

3. Suwuk sürtülmede ýaglanma zwenolary doly aýyrýar, zwenolar bir-birine galtaşman hereket edýär.

4. Ýarym suwuk sürtülmede zwenolaryň arasynda ýaglanma bar, ýöne käbir meýdançalary bilen zwenolar galtaşýar. Ýaglanma sürtülme güýjüni peseldýär.

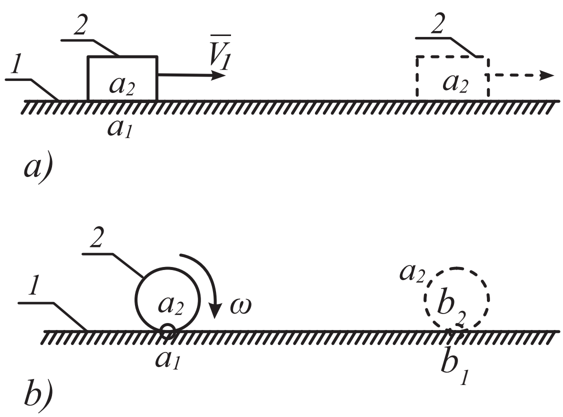
8.2. Typma sürtülmäniň esasy kanunlary

Sürtülme çylşyrymly hadysa, şu wagta çenli doly öwrenilenok, şol sebäpli her ýagdaý üçin doly sürtülme güýçlerini tapmak kyn, ýöne inžener hasaplamalarynda önümçilige gerekli çeni bilen XVIII asyrda Kulonyň oýlap tapan kanunlaryny ulanýarlar.

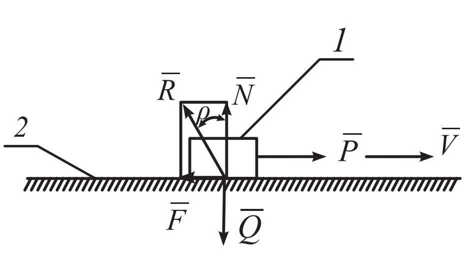
8.2-nji suratda görkezilişi ýaly 1-nji zweno hereket edende, $\vec{Q}$ güýç bilen 2-nji zweno basylýar. 1-nji zwenony herekete getirýän güýç $\vec{P}$. Zwenolaryň galtaşýan ýerinde $\vec{F}$ sürtülme güýji emele gelýär, 1-nji zwenonyň süýşmegine garşylyk görkezýär. Iki zwenolaryň arasynda emele gelýär, normal güýç $\vec{N}$, şu ýagdaýda $\vec{N} = \vec{Q}$, onda

$$F=f\cdot N.$$

Sürtülme güýji normal güýje proporsional. Proporsional koeffisiýente *sürtülme koeffisiýenti diýilýär*.



8.1-nji surat



8.2-nji surat

Sürtülme koeffisiýenti zwenolaryň materialyna, meýdançalaryň arassa işlenişine we ulanylýan ýaglanma bagly.

Başlangyç hereketdäki sürtülme koeffisiýenti f_0, hereketiň dowamyndaky sürtülme koeffisiýentinden uly:

$$f_0 > f.$$

bu ýerde f_0 – hereketsiz ýagdaýdaky sürtülme koeffisiýenti.

$$F_0 = f_0 N.$$

Materiallara görä sürtülme koeffisiýentler ýörite kitaplarda berlen, Kulon boýunça sürtülme koeffisiýenti zwenolaryň tizligine, udel basyşyna we wagta bagly däl. Onuň kanunlary şol döwürdäki tizliklere, basyşlara we sürtülme wagtyna görä dogry. Onuň kanunlary geçiren tejribe synaglary $V=0,3–3$ m/s, basyş < 10 $\frac{kg}{sm^2}$ ýagdaýy üçin.

Gaty uly tizliklerde we basyşlarda Kulonyň kanunlary dogry çykanok, ýöne biz öz hasaplamalarymyzda Kulonyň kanunlaryny ulanarys.

8.3. Sürtülme burçy

Sürtülme güýji F reaktiw güýçlere girýär. 2-nji jisimiň 1-nji jisime görä P güýji 1-nji jisimiň 2-njä görä süýşürilendäki reaksiýasy (*8.2-nji surat*).

Eger-de P güýç kiçi bolanda, jisimler hereketsiz – $F = P$ bolýar. P güýç ulalyp $P = F_0 = f_0 N$ ýetende, otnositel hereket başlaýar, şol wagtda $F_0 = P$ bolýar. P güýç ýene-de ulalanda, sürtülme güýji ulalanok, ol $F = f N$ deň bolup durýar. $P > F$ bolan ýagdaýynda hereket tizlenýär.

Reaksiýa N 2-nji zwenodan 1-njä, Q güýjüň täsiri boýunça döreýär. N we F güýçleri wektor görnüşde jemläniňde $\vec{R}$ – reaksiýa tapylýar. $\vec{R}$ güýç bilen $\vec{N}$ güýjüň aralygyndaky ρ burç tapylýar.

$$\operatorname{tg}\rho = \frac{F}{N}, \text{ öňki deňlemede: } f = \frac{F}{N},$$

$$\text{onda } \operatorname{tg}\rho = f.$$

8.1-nji tablisa

Sürtülýän meýdanlar	**Sürtülme koeffisiýenti**
Polat–poladyň üstünde, aralykda ýag	0,04
Polat–çoýnuň üstünde ýa-da polat–poladyň üstünde, ýagy az bolanda	0,1
Polat–çoýnuň üstünde, gury	0,15...0,18
Polat–poladyň üstünde, gury	0,18
Bürünç–poladyň üstünde, ýagy az bolanda	0,15
Bürünç–poladyň üstünde, gury	0,18
Bürünç–çoýnuň üstünde	0,3
Plastmassa–poladyň üstünde, ýagy köp	0,09...0,10
Rezin–poladyň üstünde	0,6...0,8
Polat–buzuň üstünde	0,014

Şu deňlemeden görünýär, ρ burç sürtülme koeffisiýentine deň bolup, bu materiallar üçin hemişelik bolýar. Zwenolar bir-birine görä hereket edende, doly reaksiýa normaldan otnositel hereketden garşy tarapa $\rho = const$ burça gyşarýar. Şol burç diňe sürtülme koeffisiýentine bagly bolýar.

Köp meselelerde sürtülme burçy, sürtülme güýji belli bolmanda-da, ony hasaba almaga mümkinçilik berýär.

8.4. Ýapgyt tekizligiň sürtülmesi

Jisim ýapgyt tekizlikde hereket edýär. Ýapgytlyk burçy α. *I ýagdaý*. Gorizontal güýjüň $\vec{P}$ täsiri boýunça jisim ýokarlygyna hereket edýär (*8.3-nji a surat*). Wertikal güýç $\vec{Q}$ garşylyk görkezýär. Ýapgyt tekizlik tarapynda R – reaksiýa täsir edýär:

$$\vec{R}=\vec{N}+\vec{F}.$$

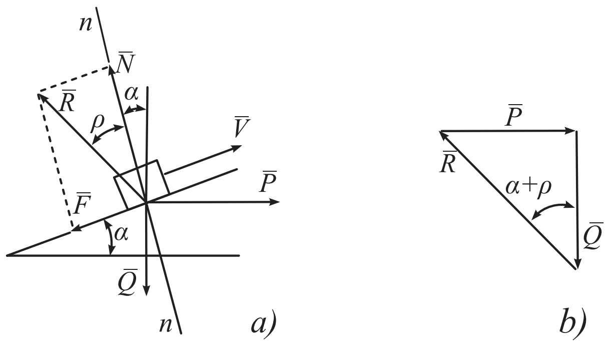
$\vec{R}$ Reaksiýa $\vec{N}$ normal we $\vec{F}$ sürtülme wektoryň jemine deň. Ugry boýunça $\vec{R}$ – reaksiýa normal $n - n$ çyzyk bilen ρ – herekete ters tarapyndan sürtülme burçuny emele getirýär. Deňölçegli hereket edende, hemme güýçleriň jemi nola deň bolýar:

$$\vec{P} + \vec{Q} + \vec{R} = 0.$$

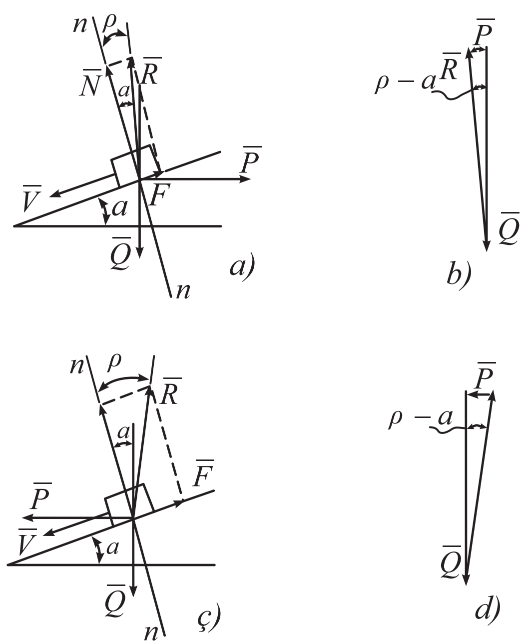
Şu deňleme boýunça güýçleriň plany gurlan (*8.3-nji b surat*).

Şu üçburçlukdan:

$$P = Q\,\mathrm{tg}(\alpha+\rho).$$



8.3-nji surat



8.4-nji surat

Şu deňleme boýunça gorizontal ýapgyt tekizlikde jisimi ýokarlygyna herekete getirýän güýç tapylýar.

II ýagdaý. Jisim ýapgyt tekizlikde aşak hereket edýär. Bu ýerde wertikal güýç $\vec{Q}$ ýörediji, gorizontal $\vec{P}$ herekete garşy güýç (*8.4-nji a surat*). Tekizlikden täsir edýän reaksiýa $\vec{R}=\vec{N}+\vec{F}$, normal N we sürtülme $\vec{F}$ güýçleriň wektor jemine deň.

$\vec{R}$ –reaksiýa herekete ters tarapyndan *n-n* normal bilen ρ sürtülme burçuny emele getirýär. Jisimiň hereketi deňölçegli bolanda (*8.4-nji a surat*):

$$\vec{P}+\vec{Q}+\vec{R}=0.$$

Üçburçlukdan alarys:

$$P = Q\,\mathrm{tg}(\alpha-\rho).$$

Şu deňleme $\rho < \alpha$ bolanda, P güýç aýyrmak alamatly bolýar, diýmek, jisim hereket etmek üçin P güýç ters tarapa ýa-da ýörediji bolmaly.

Başga ýagdaýda jisim hereket edip bilenok. Şonuň ýaly ýapgyt tekizlige ($\rho < \alpha$) öz-özüni duruzýan diýilýär (*8.4-nji d surat*).

Onda: $$P = Q\,\mathrm{tg}(\rho+\alpha).$$

III ýagdaý. Jisim ýapgyt tekizlikde ýokarlygyna hereket edýär. Herekete getirýän güýç P ýapgytlyga parallel, Q garşy güýç. Tekizlik tarapyndan täsir edýän reaksiýa

$$\vec{R}=\vec{N}+\vec{F},$$

$\vec{\mathrm{R}}$ – reaksiýa bilen *n-n* normal çyzygyň arasyndaky burç sürtülme burçy ρ, herekete ters tarapyndan (*8.5-nji a surat*). Hereket deňölçegli bolanda (*8.5-nji b surat*):

$$\vec{P}+\vec{Q}+\vec{R}=0\ .$$

Sinuslar teoremasyny ulanyp, güýçleriň planyndan tapýarys:

$$\frac{P}{\sin(\alpha+\rho)}=\frac{Q}{\sin(90-\rho)}$$

ýa-da

$$P=\frac{Q\sin(\alpha+\rho)}{\cos\rho}.$$

Bu deňleme boýunça ýapgytlyga parallel ýörediji güýç tapylýar.

8.5. Pahna görnüşli zwenonyň süýşmesindäki sürtülme

1-nji jisimiň kese-kesigi trapesiýa, 2-nji zwenoda gorizontal boýunça hereket edýär. 1-nji jisime Q–wertikal güýç täsir edýär.

1-nji jisim *ab* we *çd* tekizlikleri bilen 2-nji jisime galtaşýar. Şol tekizliklerde hereket edilende sürtülme güýçler döreýär. Sürtülme güýçleriň jemini tapmak üçin normal reaksiýany N sürtülme koeffisiýentine f köpeltmeli.

$$F = 2 \cdot N \cdot f$$

N güýji tapmak üçin wertikal oka görä hemme güýçleriň proeksiýasyny alýarys:

$$Q - 2N\sin\gamma = 0$$

ýa-da:

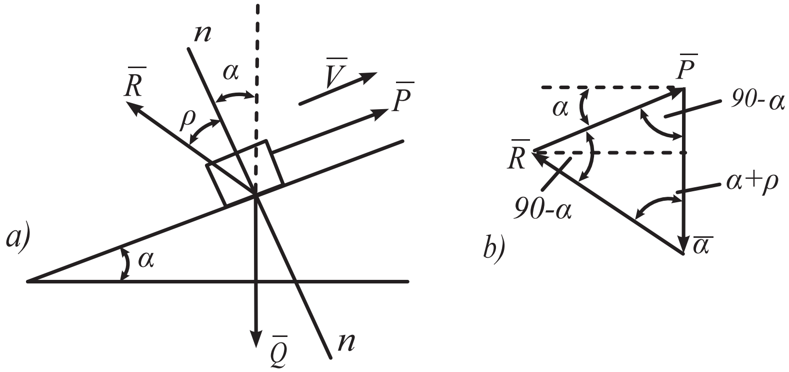
$$2N = \frac{Q}{\sin\gamma},$$

onda sürtülme güýç: $F = \dfrac{Qf}{\sin\gamma};$

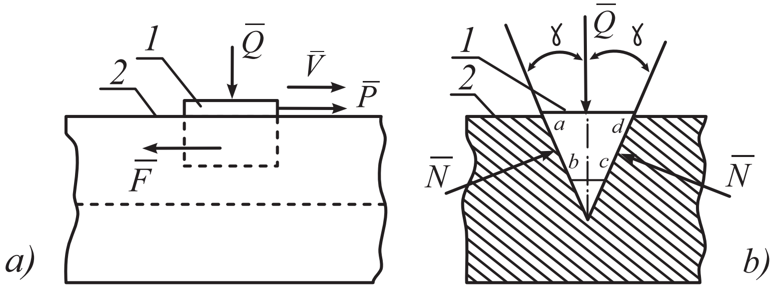
$\dfrac{f}{\sin\gamma} = f'$ diýip bellesek:

$$F = Qf',$$

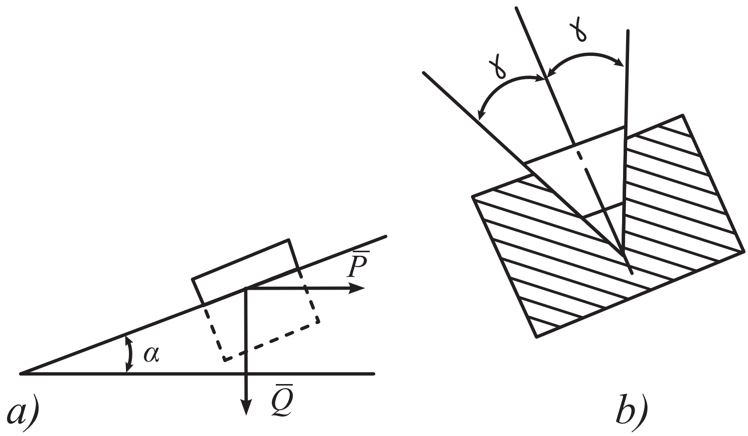
f' –getirilen sürtülme koeffisiýenti diýilýär.



8.5-nji surat



8.6-njy surat



8.7-nji surat

Öňki deňlemeler bilen deňleşdireniňde, üýtgeşik ýeri ýok.

Ýapgyt tekizlikde sürtülme güýjüni tapmak üçin hakyky sürtülme koeffisiýentini almaly, pahna görnüşli jisimiň sürtülme güýjüni tapmak üçin getirilen sürtülme koeffisiýentini almaly.

Hakyky sürtülme koeffisiýenti f we pahnaly zwenonyň burçy γ berlen ýagdaýda, getirilen sürtülme koeffisiýentini tapmak aňsat:

$$f' = \frac{f}{\sin\gamma},$$

onda getirilen sürtülme f burçy ρ deň bolýar:

$$\rho' = \mathrm{arctg}\, f'.$$

Jisimi pahnaly ýapgyt tekizlik bilen ýokary galdyrmak üçin gorizontal ýörediji güýç P tapylýar:

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha+\rho'),$$

$$\sin\gamma < 1 \text{ sebäpli } f' > f.$$

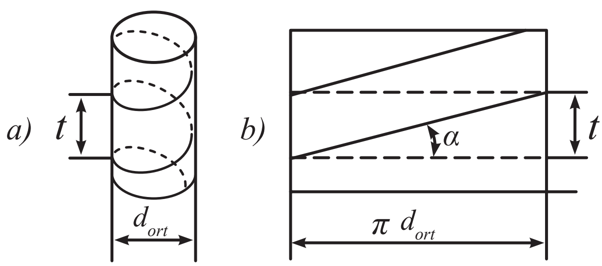
Şu häsiýetini önümçilikde sürtülme güýjüni ulaltmaly bolan ýagdaýynda ulanýarlar.

8.6. Hyrly kinematik jübütiň sürtülmesi

Gaýkanyň winte görä hereketini jisimiň ýapgyt tekizligiň üstünde hereketine meňzeş diýip alyp bolýar. Tekizligiň ýapgytlygy hyryň göteriliş burçuna deň diýip alýarys.

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha+\rho).$$

Wint çyzygynyň göteriliş burçy α-ny kesgitlemek üçin ortaky silindriň çöwürmesini (razwertkasyny) gurýarys (*8.8-nji surat*).



8.8-nji surat

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{t}{\pi d_{\text{ort}}},$$

bu ýerde t – hyryň ädimi;

d_{ort} - silindriň ortaça diametri.

$$d_{\text{ort}} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

bu ýerde d_1 – hyryň daşky diametri.

d_2 – hyryň içki diametri (*8.9-njy a surat*).

Hyrly hereket geçirijilerde güýji ortaky diametrine täsir edýär diýip alynmaýar. Güýç belli bir eňňidine täsir edýär diýip alynýar. Ol köplenç açaryň eňňidine deň bolýar. Hyrly hereket geçirijileriň hasaplamasy geçirilende, aýlaýjy moment M täsir edýär diýip alynýar:

$$M = P\frac{d_{\text{ort}}}{2}$$

ýa-da

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\alpha + \rho).$$

Hyryň ululygy we sürtülme koeffisiýenti berlende, bu deňleme boýunça gaýkany aýlamak üçin gerek bolan güýji aňsat tapyp bolýar. Meselem, hyrynyň ululyklary we sürtülme koeffisiýenti berlende, domkrat bilen ýüki götermek üçin gerek bolan güýji tapmak aňsat.

Hyrly kinematik jübütde, ýapgyt tekizlikde hereket edilýän ýaly, özi saklaýan (tormozlaýan) ýagdaý döräp bilýär ($\alpha<\rho$ bolanda).

Bu ýagdaýda Q güýç garşy güýç däl-de, ýörediji bolýar (öňki seredilen ýagdaý). Meselem, ýüki domkrat bilen düşürmek üçin, wintine ýa-da gaýkasyna täsir etmeli moment:

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\rho - \alpha).$$

Hemme öňki aýdylanlar dörtburçly hyr üçin. Hyr üçburçly ýa-da trapesiýa görnüşde bolanda, hyrly kinematik jübüti ýapgyt tekizlikde pahnaly zweno hereket edýär diýip seretmeli.

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\alpha + \rho'),$$

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\rho' - \alpha),$$

ρ' – getirilen sürtülme burçy.

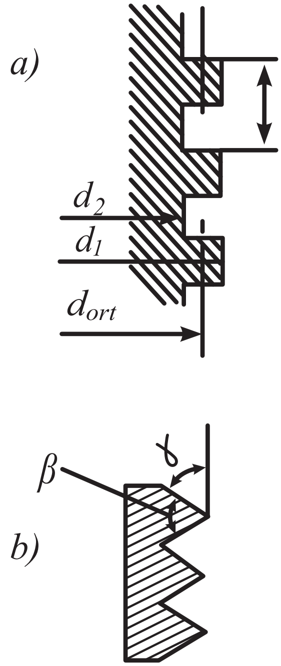
Üçburçly hyr üçin getirilen sürtülme burçy tapylýar:

$$\rho' = \operatorname{arctg} f' = \operatorname{arctg}\frac{f}{\sin\gamma} = \operatorname{arctg}\frac{f}{\cos\beta}.$$

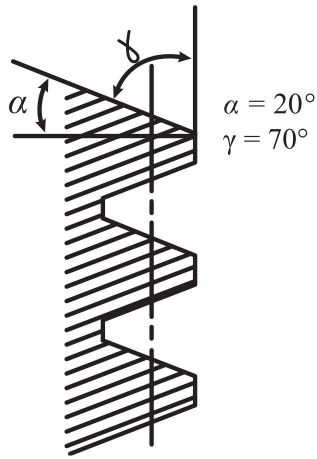
Burumly dişli hereket geçirijilerde sürtülmäni hasaplamak üçin trapesiýa görnüşli hyrlarda ulanylan deňlemeler gabat gelýär:

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\alpha + \rho'),$$

$$M = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\operatorname{tg}(\rho' - \alpha),$$



8.9-njy surat



8.10-njy surat

Bu deňlemelerde: *M*–burumdaky aýlaw momenti,

$d_{\text{ört}} = d$ – burumyň başlangyç diametri,

Q–burumyň başlangyç töweregine galtaşyp täsir edýän güýç.

Şu deňlemelere *Q* ýerine bahalaryny goýup tapýarys:

$$Q = \frac{2M_{B.a.}}{D}.$$

Bu deňlemede:

$M_{B.a.}$–burum wala täsir edýän aýlaw momenti,

D–burum tigriniň başlangyç töwereginiň diametri.

a) Burum tigrine täsir edýän moment garşylyk moment bolan ýagdaýy üçin:

$$M = M_{B.a.}\frac{d}{D}\operatorname{tg}(\alpha + \rho').$$

b) Burum tigrine täsir edýän moment ýörediji bolup, ýöne burumly hereket geçiriji öz-özüni saklaýan bolanda:

$$M = \frac{Qd_{ort}}{2}\mathrm{tg}(\rho' - \alpha),$$

Getirilen sürtülme burçy ρ' burumly hereket geçirijiniň ilişmek burçy $\alpha=20^o$ bolanda tapylýar:

$$\rho' = \mathrm{arctg}f' = \mathrm{arctg}\frac{f}{\sin\gamma} = \mathrm{arctg}\frac{f}{\sin 70^\circ} = \mathrm{arctg}1,06f.$$

8.7. Aýlanýan kinematik jübütlerde typma sürtülmesi

Walyň daýanjy-sapfa typma podşipnikde aýlanyp, $\vec{P}$ güýç bilen basylýar. Podşipnik tarapdan A nokatda $\vec{N}$ reaksiýa döreýär. $\vec{N}$ hemme basyş güýçleriniň jemleýji güýji. A nokatda $\vec{F}$ güýç täsir edýär, onuň ugry sapfanyň töweregine galtaşýan aýlawa garşy. $\vec{F}$ hemme sürtülme güýçleriniň jemleýji güýji. $\vec{N}$ we $\vec{F}$ jemläp, $\vec{R}$ reaksiýany tapýarys. $\vec{R}$ güýç $\vec{Q}$ güýje deň, ýöne ugry ters tarapa. $\vec{R}$ reaksiýa bilen $\vec{N}$ normal güýjüň arasyndaky burç getirilen sürtülme burça deň ρ'. Bu getirilen burç hakyky sürtülme burçdan tapawutlanýar, podşipnigiň we walyň materialyna görä, basyşyň paýlanyşyna bagly.

Galtaşýan meýdanlarda basyşyň paýlanyşy doly belli däl. Hasaplama işleri üçin alýarlar:

a) Täze, iýilmedik podşipnikler we sapfalar üçin basyşyň paýlanyşy meýdan boýunça deň (*8.12-nji a surat*), $P = const$.

b) Biraz wagt işläp, bir-birine sürtülip ýerleşen sapfa we podşipnikler üçin $P=P_0 \cos\alpha$ (*8.12-nji b surat*).

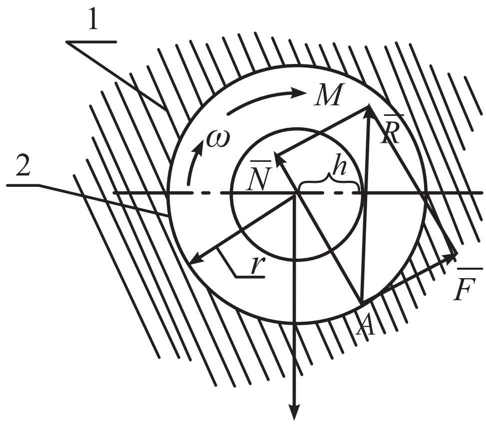
Agzalanlary hasaba alyp, sürtülme koeffisiýentlerini alýarlar.

Täze sapfalar üçin $f'=1,57f$.

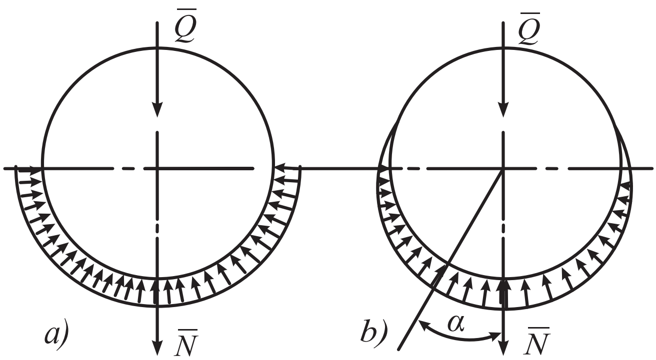
Işläp ýerleşen sapfalar üçin $f'=1,27f$.

Getirilen sürtülme koeffisiýenti f' hakyky sapfanyň we podşipnikleriň materiallarynyň sürtülme koeffisiýentinden « f » uly.

$$f' > f$$



8.11-nji surat



8.12-nji surat

Getirilen sürtülme burçy ρ' (umumy reaksiýa $\vec{R}$ bilen sapfanyň diametriniň aralyk burçy) tapylýar:

$$\rho' = \mathrm{arctg} f'$$

$\vec{R}$ reaksiýa aýlaw oka görä garşylyk momenti (sürtülme momenti) döredýär:

$$M_s = h\,R,$$

bu ýerde M_s – momentiň ugry aýlawa ters.
h – egni, çyzgydan (*8.11-nji surat*) görünýär,
$h = r \sin\rho'$, r – walyň radiusy.

Sürtülme burçy ρ' kiçi bolany sebäpli:

$\sin\rho' = \mathrm{tg}\,\rho'$,

onda
$$f' = \mathrm{tg}\,\rho'$$
$$h = rf'.$$

Sürtülme momenti aşakdaka deň bolýar:
$$M_s = R\,r\,f'.$$

Egni h walyň radiusyna r we getirilen sürtülme koeffisiýentine f' bagly, şu kinematik jübüt üçin hemişelik bolýar. Başgaça aýdylanda, doly reaksiýa R sürtülme güýçlerini hasaba alanyňda aýlanma okdan geçenok, okdan h aralykdan geçýär, h radius bilen geçirilen töwerege R galtaşýar. Şol töwerege sürtülme töweregi diýilýär.

8.8. Tigirlenme sürtülmesi

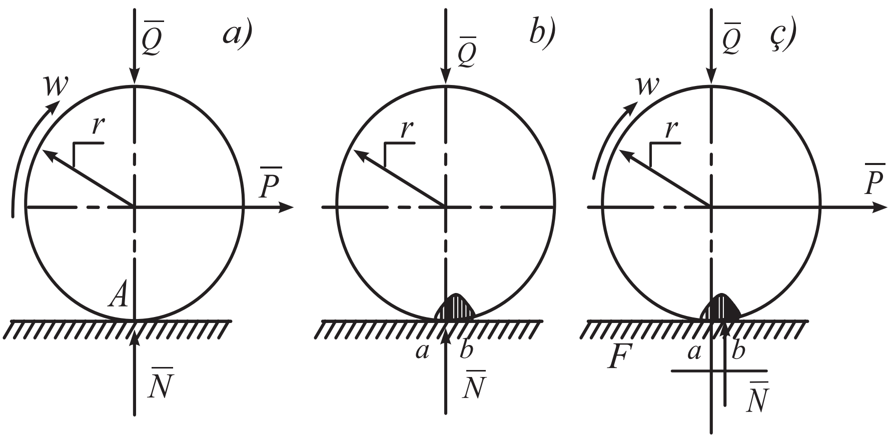
Typma sürtülmede bir jisimiň nokatlary başga jisimiň nokatlaryna görä süýşýärler. Bu sürtülme pes kinematik jübütlerde bolýar. Ýokary kinematik jübütler nokat ýa-da çyzyk boýunça galtaşýarlar. Bu ýerde tigirlenme sürtülmesi bolup bilýär.

Birinji jisimiň bir-biriniň yzynda duran nokatlary beýleki jisimiň bir-biriniň yzynda duran nokatlar bilen yzygiderli galtaşýarlar.

Meselem, aýlanýan silindre (ýa-da şara) wertikal güýç $\vec{Q}$ täsir edýär. $\vec{Q}$ güýjüň ugry silindriň okundan geçýär. Silindri we tekizligi absolýut gaty diýip alýarys. Silindr bilen tekizlik A nokatda galtaşýar. Normal reaksiýa $\vec{N}$ silindriň okundan geçýär. Bu ýagdaýda tigirlenmä garşylyk ýok (*8.13-nji a surat*), ýöne hakykatda alanyňda tigirlenmä garşylyk bolmaly. Jisimlerde näçe gaty bolanda-da, maýyşgaklyk we ýemşermeklik döreýär, şol deformasiýalara näçe iş harç edilýär.

Eger-de silindr hereketsiz tekizlikde ýatan bolsa, belli bir galtaşýan meýdançasynda (*ab*) deformasiýa we güýjenme emele gelýär. Olar belli bir kanun boýunça ýaýraýar. Maýyşgaklyk nazaryýeti boýunça, ýaýraýşy elliptiki kanun bolýar.

Hereketsiz silindrde ýaýraýşy, silindriň diametrine görä simmetriki bolýar (*8.13-nji b surat*). Silindri $\vec{P}$ güýç bilen aýlanyňda, silindriň öňünde deformasiýa ulalýar, yzynda kiçelýär (*8.13-nji ç surat*). Silindriň we tekizligiň materiallarynda içki sürtülme döräni sebäpli (görkezeris), silindriň öňündäki deformasiýa bilen yzyndaky deformasiýa deň bolanok, olary görkezýän çyzyklar hem simmetrik bolanok. Silindriň öňündäki güýjenme yzyndakydan uly bolýar. Şol sebäpli normal reaksiýa $\vec{N}$ silindriň wertikal diametrinden öňe biraz süýşýär (*8.13-nji ç surat*). Süýşmegi k diýip belleýäris. Q we N güýçleri moment döredýär. Moment tigirlenmä garşylyk görkezýär.



8.13-nji surat

Deňölçegli tizlenme üçin, hereketlendiriji güýç $\vec{P}$ bilen sürtülme güýjüň $\vec{F}$ döredýän momenti ($M = P\ r$) öňki ($M_{t.g.}$) momente deň bolmaly:

$$P = \frac{QK}{r},$$

bu ýerde K – ululyga tigirlenme sürtülmesiniň koeffisiýenti diýilýär. Onuň ölçeg birligi *mm*-de. Şol koeffisiýent galtaşýan jisimleriň materialyna bagly diýilýär.

Käbir materiallar üçin tigirlenme sürtülmesi:

$$M_{t.g.} = Q\ K.$$

8.2-nji tablisa

Materiallary	K, mm
Agaç – agajyň üstünde	0,5...0,6
Ýumşak polat – ýumşak poladyň üstünde	0,05
Agaç – poladyň üstünde	0,3...0,4
Zakalkaly şar – poladyň üstünde	0,01

Tablisada tigirlenme sürtülmesiniň koeffisiýenti gaty kiçi, diýmek, tigirlenme sürtülmesi typma sürtülmesinden kiçi. Şol sebäpli köp ýerlerde tigirlenme podşipniklerini ulanýarlar.

Arassa typma we arassa tigirlenme bolup bilýän şertlerine seredýäris. Jisimiň tekizligiň üstünde tigirlenmegi üçin jisime täsir etmeli güýç:

$$P = \frac{QK}{r}.$$

Şol hereketde tekizligiň üstünde typmazlygy üçin hereketlendiriji güýç P sürtülme güýjünden kiçi bolmaly.

$$P < f\,Q$$

Tersine bolanda ($P > f\,Q$), jisim typýar. Diýmek

$$\frac{QK}{r} < fQ$$

ýa-da

$$\frac{K}{r} < f.$$

Arassa tizlenme bolmak üçin $\frac{K}{r}$ gatnaşyk sürtülme koeffisiýentinden (f) kiçi bolmaly.

Jisim tekizligiň üstünde typar ýaly, oňa ýörediji güýç täsir etmeli:

$$P = f\,Q.$$

Tigirlenmez ýaly, jisimi tigirläp bilýän moment tigirlenmä garşy momentden kiçi bolmaly:

$$P\,r < Q\,K,$$

onda

$$f\,Q\,r < Q\,K$$

ýa-da

$$f < \frac{K}{r}.$$

Diýmek, arassa typma bolmagy üçin, typma sürtülme koeffisiýenti $\frac{K}{r}$ gatnaşykdan kiçi bolmaly.

$f = \frac{K}{r}$ bolan ýagdaýynda typma hem, tigirlenme hem bolup bilýär.

8.9. Getirilen sürtülme koeffisiýentleri we burçlary

Hemme seredilen hereketlerde sürtülme güýji $\vec{F}$ normal reaksiýalara proporsional:

$$F = f'\,N.$$

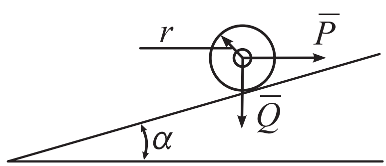
Gorizontal tekizlikde hereket edilende, ýörediji güýç $\vec{P}$ wertikal güýje proporsional:

$$P = f'\,Q$$

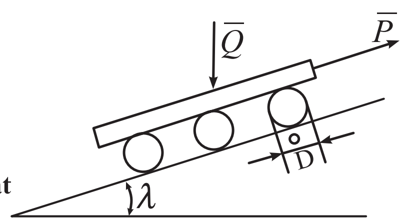
proporsional koeffisiýentine getirilen sürtülme koeffisiýenti,

$$\rho' = \mathrm{arctg} f'$$

getirilen sürtülme burçy diýildi.



8.14-nji surat



8.15-nji surat

Agzalyp geçilen deňlemeler gorizontal tekizlikde tigirlenme hereketi üçin. Eger hereket ýapgyt tekizlikde bolanda, hakyky sürtülme koeffisiýentiniň we burçunyň ýerine getirilen sürtülme koeffisiýenti we getirilen sürtülme burçy diýip alýarys. Meselem (*8.14-nji surat*), ýapgyt tekizlikde gorizontal güýjüň täsiri boýunça katok ýokary galýar. Katogyň ýüküni Q diýip alýarys, onda:

$$P = Q\,\mathrm{tg}(\alpha+\rho').$$

Şu deňlemäni typma hereketde-de ulandyk. Getirilen sürtülme burçy tapylýar:

$$\rho' = \mathrm{arctg} f',$$

bu ýerde $f' = \dfrac{K}{r}$.

Ýa-da başga mesele: Ýapgyt tekizlikde arabajyk bilen Q agramlygy ýokary galdyrýarys (*8.15-nji surat*), ýörediji güýç P ýapgyt tekizlige parallel:

$$p = Q\frac{\sin(\alpha+\rho')}{\cos\rho'},$$

bu deňlemeden: $\rho'=\mathrm{arctg} f'$

Hasaplama edil typma hereketdäki ýaly.

8.1-nji mysal. $Q=10000\ N$ ýüki ýükgöteriji (domkrat) bilen götermek üçin *M-i* tapmaly. Ýükgöterijiniň egni l, oňa täsir edýän güýç $P=200\ N$.

Berlen: Wintiň hyry daýançly (упорная), depesiniň burçy $\beta=30^o$, daşky diametri $d_1=50\ mm$, içki diametri $d_2=42\ mm$, hyryň ädimi $t=8\ mm$ (*8.16-njy surat*). Wint bilen gaýkanyň aralygynda sürtülme koeffisiýenti $f=0,12$. Wint bilen ýükgöterijiniň aýlanmaýan başjagazynyň aralygynda sürtülme koeffisiýenti *a–a* tekizlik boýunça $f_1=0,18$. Ýükgöterijiniň wint başjagazy bilen töwerek galtaşýan meýdanynyň ululyklary; daşky diametri $D=80\ mm$, içki diametri $D_1=40\ mm$.

Ç ö z ü l i ş i:

Ýük göterijä goýulmaly momenti M iki moment diýip almaly:

1-nji M_1 – sürtülme momenti gaýka bilen domkratyň arasynda.

2-nji M_2 – sürtülme momenti wintiň başjagazy bilen ýükgöterijiniň hereketsiz başjagazynyň aralygynda, *a–a* meýdan boýunça:

$$M = M_1 + M_2\,,$$

$$M_1 = \frac{Qd_{\mathrm{ort}}}{2}\mathrm{tg}(\alpha+\rho').$$

Hyryň ortaça diametri:

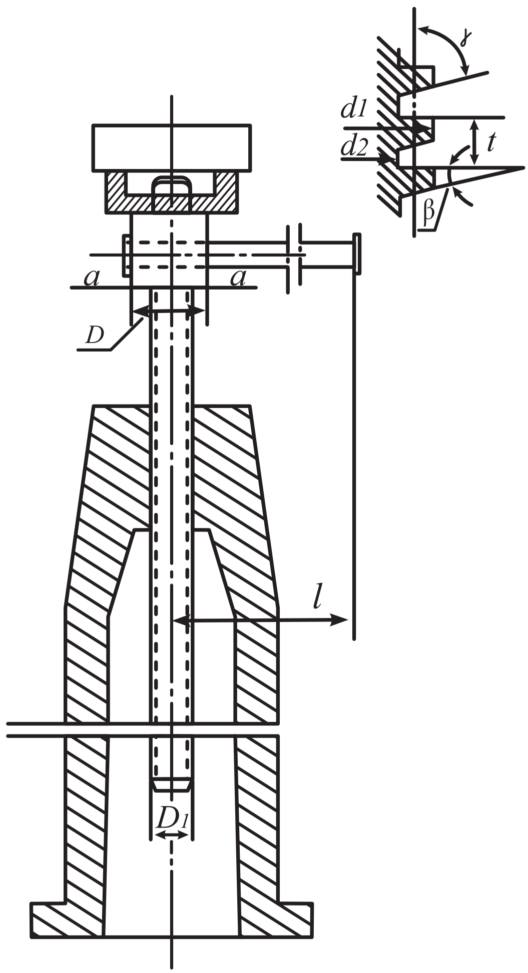
$$d_{ort} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{50 + 42}{2} = 46mm.$$

Wintiň ortaça diametrinde hyryň galýan burçy:

$$\alpha = \text{arctg}\frac{t}{\pi d_{ort}} = \text{arctg}\frac{8}{\pi 46} = \text{arctg}0,055 = 3^{\circ}10'.$$

Nurbat we wint aralykda getirilen sürtülme koeffisiýenti:

$$f' = \frac{f}{\sin\gamma} = \frac{f}{\cos\beta} = \frac{0.12}{\cos 30^{\circ}} = 0,139.$$



8.16-njy surat

Getirilen sürtülme burçy:

$$\rho'=\text{arctg}f'=\text{arctg}0.139=7^o55'.$$

Hyrdaky sürtülme moment deň bolýar:

$$M_1 = \frac{Qd_{\text{ort}}}{2}\text{tg}(\alpha + \rho') = \frac{10000 \cdot 4,6}{2}\text{tg}(3^\circ 10' + 7^\circ 55') = 4500\, N \cdot sm,$$

a–a meýdanda döreýän M_2 momenti sürtülme güýçden (F) döreýän moment diýlip alnanda:

$$M_2 = f_1 Q\frac{D_{\text{ort}}}{2} = f_1 Q\frac{D_1 + D_2}{4} = 0,18 \cdot 10000\frac{8+4}{4} = 5400\, N \cdot sm.$$

Aýlaýan moment M:

$$M = M_1 + M_2 = 4500+5400 = 9900\ N{\cdot}sm.$$

Onda egniniň uzynlygy l:

$$l = \frac{M}{P_0} = \frac{9900}{200} \approx 50\ sm.$$

8.2-nji mysal. Baraban *1* iki togtadyjy kolodkalary bilen saklanýar. Kolodkalar ikinji ryçaga berkidilen. Ryçaglar *A* we *B* kinematik jübütlerde aýlanyp bilýär, olar iki taraply wint bilen herekete getirilýär. Wintiň hyry çepden we sagdan girýär. Wint ýörite ryçagyň üstünden el bilen herekete getirilýär. Birinji barabany saklaýjy moment *M* döretmek üçin el güýjüni (*P = ?)* kesgitlemeli.

Berlen: moment $M=50\ Nm$, ryçagyň uzynlygy $l=300\ mm$, ryçagyň egni $a=120\ mm$, barabanyň diametri $D=180\ mm$, hyryň orta diametri $d_{\text{ort}}=20\ mm$, ädimi $t=60\ mm$, togtadyjy kolodkanyň sürtülme koeffisiýenti $f_k=0,3$, gaýka bilen wint aralykda sürtülme koeffisiýenti $f = 0,15$ (*8.17-nji surat*).

Ç ö z ü l i ş i:

Moment M saklamak üçin N_{21} güýçler bilen kolodkalary barabana gysmaly.

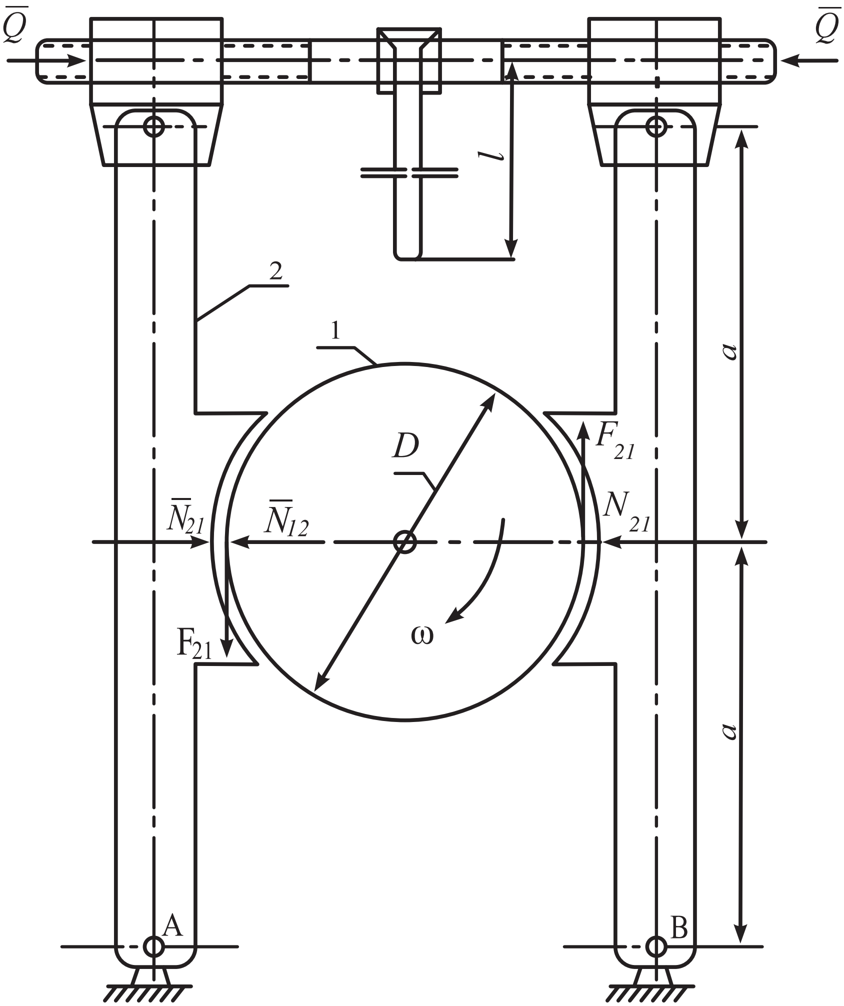
$$F_{21} = f_k N_{21}.$$

Sürtülme güýjüniň döreden sürtülme momenti M_s herekete getirýän moment M-e deň bolanda, baraban saklanýar.

$$M = M_s = F_M D = f_k N_{21} D,$$

onda

$$N_{21} = \frac{M}{f_k D}.$$



8.17-nji surat

A nokada görä momentleriň deňlemesini düzýäris, nokatlaryň deňagramlylygyny göz öňünde tutup alarys:

$$Q{=}2a - N_{12}\ a = 0,$$

onda

$$Q = \frac{N_{12}}{2} = \frac{M}{2f_k D},$$

bu ýerde Q – wint bilen kolodkalary barabana gysýan güýç.

Winti herekete getirmek üçin ryçaga P_0 güýç bilen täsir etmeli. Şol güýjüň döredýän momenti M_p:

$$M_p = P_0 l.$$

Şu moment wint–nurbat aralykda iki tarapynda döreýän sürtülme güýçleriň momentine deň bolmaly:

$$P_0 l = \frac{2Qd_{\text{ort}}}{2}\text{tg}(\alpha + \rho),$$

onda

$$P_0 = \frac{Md_{\text{ort}}}{2f_k Dl}\text{tg}(\alpha + \rho);$$

$$\alpha = \text{arctg}\frac{t}{\pi d_{\text{ort}}} = \text{arctg}\frac{60}{\pi 20} = 43^\circ 45';$$

$$\rho = \text{arctg} f_B = \text{arctg}0{,}15 = 8^\circ 32';$$

$$P_0 = \frac{Md_{\text{ort}}}{2f_k Dl}\text{tg}(\alpha + \rho) = \frac{50000 \cdot 20}{2 \cdot 0{,}3 \cdot 180 \cdot 300}\text{tg}(43^\circ 45' + 8^\circ 32') = 40\ N.$$

8.3-nji mysal. Araba täsir edýän güýç Q*=5000 N*. Tigirlenme sürtülmä garşy güýji P tapmaly (*8.18-nji surat*).

Berlen: tekerleriniň diametri *D=400 mm*, typma podşipnikleriniň diametri *d=60 mm*, tigirlenme sürtülme koeffisiýenti *k=0,04 mm*, podşipnikleriniň sürtülme koeffisiýenti *f = 0,1*.

Ç ö z ü l i ş i :

P güýji deňleme boýunça tapýarys:

$$P = f' Q.$$

Getirilen sürtülme koeffisiýenti

$$f' = \frac{1}{D}(2k + 1{,}27fd) = \frac{1}{400}(2 \cdot 0{,}04 + 1{,}27 \cdot 0{,}1 \cdot 60) = 0{,}019,$$

onda

$$P = f' Q = 0{,}019 \cdot 5000 = 95\ N.$$

8.4-nji mysal. Ýapgytlygy $\alpha=25^o$ tekizlikde araba täsir edýän güýç *Q=5000 N*, arabany ýokary galdyrýan güýji tapmaly, P (*8.19-njy surat*).

Berlen: tekerleriň diametri *D=400 mm*, typma podşipnikleriň diametri *d=60 mm*, tigirlenme sürtülme koeffisiýenti *k=0,04*, podşipnikleriň sürtülme koeffisiýenti *f=0,1*.

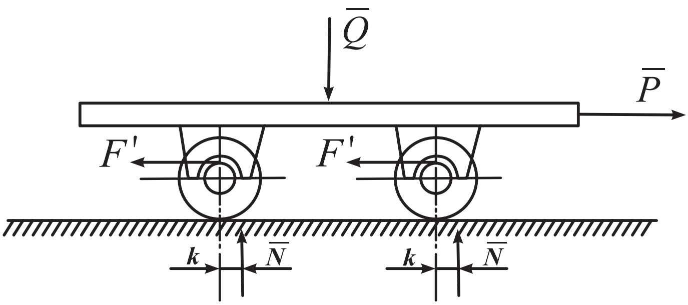
Ç ö z ü l i ş i :

Getirilen sürtülme koeffisiýenti $f' = 0{,}019$.
Getirilen sürtülme burçy ρ':

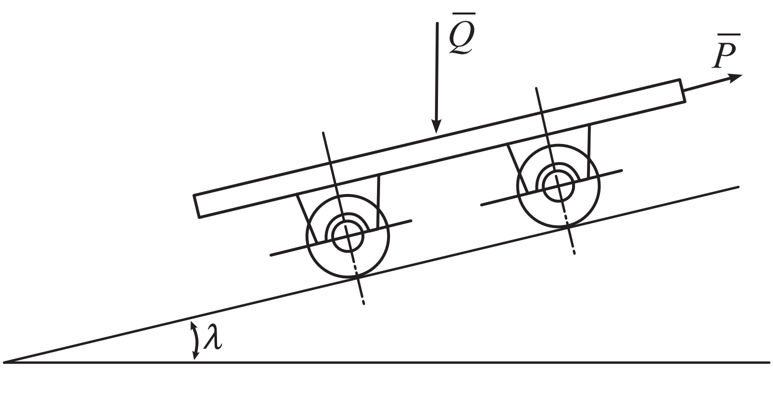
$$\rho' = \mathrm{arctg} f' = \mathrm{arctg}\ 0{,}019 = 1^{\circ}\ 6'.$$

Ýörediji güýç P deň bolýar:

$$P = Q\frac{\sin(\alpha + \rho')}{\cos\rho'} = 5000\frac{\sin(25^{\circ} + 1^{\circ}6')}{\cos 1^{\circ}6'} = 2200\ N.$$



8.18-nji surat



8.19-njy surat

IX BÖLÜM
PEÝDALY TÄSIR KOEFFISIÝENTI

9.1. Umumy düşünjeler

Maşynyň durnukly işlän döwründe ýörediji güýçleriniň işi ($A_{ýö}$) garşy güýçleriniň işine (A_g) deň bolmaly. Başgaça aýdylanda, ýörediji güýçleriň işi garşy güýçleriň işine harç edilýär:

$$A_{ýö} = A_g \tag{9.1}$$

ýa-da

$$A_{ýö}=A_{p.g.}+A_{z.g.}, \tag{9.2}$$

bu ýerde $A_{p.g.}$ – peýdaly garşy güýçleriň işi,
$A_{z.g.}$ – zyýanly garşy güýçleriň işi.

Ýörediji güýçleriň işiniň näçe köp bölegi peýdaly garşy güýçleriň işine harç edilse, maşyn ýa-da mehanizm şonça-da kämilleşdirilen diýlip hasap edilýär. Başgaça aýdylanda, kämilleşdirilen maşynlarda zyýanly garşy güýçleriň işi gaty kiçi bolmaly.

Peýdaly garşy güýçleriň işiniň ýörediji güýçleriň işine gatnaşygyna **peýdaly täsir koeffisiýenti** diýilýär.

$$\eta = \frac{A_{p.g.}}{A_{ýö}}, \tag{9.3}$$

bu ýerde η– *etta* diýip okalýar.
Şu deňlemede $A_{p.g.}$ we $A_{ýö}$ işleri absolýut bahasynda almaly.

Peýdaly täsir koeffisiýenti maşynlaryň esasy häsiýetini görkeziji ölçeg bolýar. Peýdaly täsir koeffisiýenti näçe uly bolsa, şonça maşyn kämilleşdirilen bolýar. Zyýanly güýçleriň işiniň ýörediji güýçleriň işine gatnaşygyna ýitiriş koeffisiýenti diýilýär:

$$\psi = \frac{A_{z.g.}}{A_{ýö}}, \tag{9.4}$$

bu ýerde ψ - psi (grek alfawitinden).
Onda

$$\eta = \frac{A_{ýö} - A_{z.g.}}{A_{ýö}} = 1 - \psi \tag{9.5}$$

peýdaly täsir koeffisiýentini (PTK) kesgitlemek üçin, sürtülme güýçleriň işini kesgitläp, ýitiriş koeffisiýentini hasaplap tapyp bolýar:

$$\eta=1-\psi, \qquad (9.6)$$

peýdaly täsir koeffisiýentini kuwwatlaryň üstünden hem tapyp bolýar:

$$\eta = \frac{N_{p.g.}}{N_{ýö}}, \qquad (9.7)$$

$$\psi = \frac{N_{z.g.}}{N_{ýö}}, \qquad (9.8)$$

bu ýerde $N_{ýö}$ – ýörediji güýçleriň kuwwaty,
$N_{p.g.}$ – peýdaly garşy güýçleriň kuwwaty,
$N_{z.g.}$ – zyýanly garşy güýçleriň kuwwaty.

9.2. Yzygiderli we parallel goşulan mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti

Çylşyrymly mehanizmler ýönekeý mehanizmlerden durýar. Ýönekeý mehanizmleriň goşulyşy yzygiderli, parallel we gatyşyk bolup bilýär. Yzygiderli goşulanda birinji mehanizme berilýär. Iş ýa--da kuwwat yzygiderli hemme mehanizmlerden geçip bir zwenony ýitirýär. Yzygiderli goşulan mehanizmleriň her biriniň öz peýdaly täsir koeffisiýenti bar (*9.1-nji surat*). η_1; η_2; η_3; ..... η_n 1-nji mehanizme $A_{ýö}$ iş gelýär, birinjiden çykýar A_1, şol mehanizm üçin peýdaly iş. 2-nji mehanizm üçin A_1 ýörediji iş bolýar, ikinjiden çykýan iş A_2 özi üçin peýdaly iş, 3-nji mehanizm üçin ýörediji. Şonuň ýaly yzygiderlikde her mehanizmden geçende, biraz peselýär. Iň soňky «n» mehanizmde A_n iş çykýar. Şol iş diňe «n» mehanizm üçin däl-de, hemme mehanizmlere peýdaly iş bolýar. Diýmek, yzygiderli goşulan mehanizmler üçin peýdaly täsir koeffisiýenti deň:

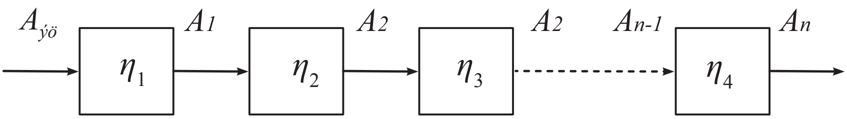
$$\eta = \frac{A_n}{A_{ýö}}, \qquad (9.9)$$

aýry-aýry ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýentleri aşakdakylara deň:

$$\eta_1 = \frac{A_1}{A_{ýö}}; \eta_2 = \frac{A_2}{A_1}; ....\eta_n = \frac{A_n}{A_{n-1}}. \qquad (9.10)$$

Hemme peýdaly täsir koeffisiýentleri bir-birine köpeldip alarys:

$$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot ..... \cdot \eta_n = \frac{A_1}{A_{ýö}} \cdot \frac{A_2}{A_1} \cdot ..... \cdot \frac{A_n}{A_{n-1}} = \frac{A_n}{A_{ýö}} = \eta \quad (9.11)$$



9.1-nji surat

ýa-da

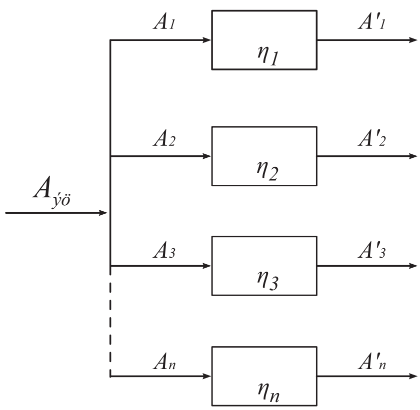
$$\eta=\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot ..... \cdot \eta_n . \quad (9.12)$$

Yzygiderli goşulan mehanizmlerde umumy peýdaly täsir koeffisiýenti tapmak üçin, ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýentlerini bir-birine köpeltmeli.

Her bir ýönekeý mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýenti birden kiçi (η_i<1), olary bir-birine köpeldeniňde umumy peýdaly täsir koeffisiýenti ýönekeý mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýentinden kiçi bolýar.

$$\eta<\eta_i . \quad (9.13)$$

Yzygiderli goşulanda, bir ýönekeý mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýenti has kiçi bolanda, umumy peýdaly täsir koeffisiýenti hem kiçi bolýar. Şol sebäpli mehanizmler yzygiderli goşulanda her bir ýönekeý mehanizm, hususan hem çylşyrymly mehanizm köp kuwwat harç edende, peýdaly täsir koeffisiýenti ýokary bolmaly.



9.2-nji surat

Çylşyrymly mehanizme berlen ýörediji iş $A_{ýö}$ ýönekeý mehanizmlere paýlanýar A_1; A_2; .... A_n. Olar her bir mehanizm üçin ýörediji iş bolýar (*9.2-nji surat*):

$$A_{ýö}=A_1+A_2+.....A_n. \qquad (9.14)$$

Her bir mehanizm peýdaly iş edýär:

$$A'_1=\eta_1 A_1;\ A'_2=\eta_2 A_2;\ ....\ A'_n=\eta_n A_n. \qquad (9.15)$$

Umumy peýdaly işi tapmak üçin, hemme mehanizmleriň peýdaly işine jemlemeli:

$$A_u=A'_1+A'_2+\ ....\ +A'_n=A_1\eta_1+A_2\eta_2+\ ...+A_n\eta_n=\sum_{i=1}^{n} A_i\eta_i \qquad (9.16)$$

Parallel goşulan çylşyrymly mehanizmiň umumy peýdaly täsir koeffisiýenti deň:

$$\eta_u=\frac{A_u}{A_{ýö}} \qquad (9.17)$$

ýa-da

$$\eta_u=\frac{\Sigma_{i=1}^{n} A_i\eta_i}{\Sigma_{i=1}^{n} A_i}. \qquad (9.18)$$

Käbir meselelerde her bir ýönekeý mehanizme berlen ýörediji güýçleriň işi A_i belli däl. Belli, diňe peýdaly garşy güýçleriň eden işi A'_i. Şol meselelerde peýdaly täsir koeffisiýenti

$$\eta=\frac{\Sigma_{i=1}^{n} A'_i}{\Sigma\frac{A'_i}{\eta_i}}. \qquad (9.19)$$

(9.18) deňlemeden görünýär: parallel goşulan mehanizmlerde umumy peýdaly täsir koeffisiýenti her ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýentine bagly däl, ýöne her ýönekeý mehanizme ýörediji işiň paýlanyşy bagly bolýar. Eger-de her ýönekeý mehanizmleriň arasynda ýörediji iş deň paýlananda, umumy peýdaly täsir koeffisiýentini tapmak üçin hemme mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýentleriniň jemini mehanizmiň sanyna bölmeli:

$$\eta_u=\frac{\Sigma_{i=1}^{n} A_i\eta_i}{\Sigma_{i=1}^{n} A_i}=\frac{A_i\Sigma_{i=1}^{n}\eta_i}{nA_i}=\frac{\Sigma_{i=1}^{n}\eta_i}{n} \qquad (9.20)$$

Eger hemme ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýentleri bir-birine deň bolsa, onda umumy peýdaly täsir koeffisiýenti islendik ýönekeý peýdaly täsir koeffisiýentine deň bolýar:

$$\eta = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} A_i \eta_i}{\Sigma A_i} = \frac{\eta_i \Sigma_{i=1}^{n} A_i}{\Sigma_{i=1}^{n} A_i} = \eta_i. \qquad (9.21)$$

(9.18) we (9.19) deňlemelerde işleriň ýerine kuwwatlaryny alyp bolýar.

9.3. Öz-özünden saklanýan hadysa

Peýdaly täsir koeffisiýenti nola deň ($\eta = 0$) bolan ýagdaýynda peýdaly garşy güýçleriň işi:

$$A_{p.g.} = 0.$$

Diýmek, mehanizm peýdaly iş edenok. Bu maşynyň boş hereketiniň ornuna eýedir. Peýdaly täsir koeffisiýenti noldan kiçi bolanda $\eta<0$ maşynyň ýörediji güýçleriniň işi zyýanly garşy güýçleriň işinden kiçi bolýar. Bu ýagdaýda maşyn hereket edip bilenok.

$\eta<0$ bolan ýagdaýda maşyny herekete getirmek üçin goşmaça ýörediji güýç harç edilýär.

Goşmaça ýörediji güýçsüz hereket edip bilmedik mehanizmlere, peýdaly garşy güýçler ýok ýagdaýynda öz-özüni saklaýjy mehanizm diýilýär.

Umuman alanyňda, mehanizm iki tarapa hereket edip bilýär, öňe we ters tarapa (*9.3-nji surat*). Hereket birinji waldan ikinjä ýa-da tersine ikinji waldan birinjä geçirilýär.

Peýdaly täsir koeffisiýenti öňe we tersine hereket edende deň däl. Bu ýerde iki ýagdaý bolup bilýär:

1. $\eta_{\text{öňe}}>0;\quad \eta_{\text{ters}}>0.$ (9.22)
2. $\eta_{\text{öňe}}>0;\quad \eta_{\text{ters}}<0.$

1-nji ýagdaýda iki tarapa-da hereket edip bilýär, sebäbi peýdaly täsir koeffisiýenti iki tarapa noldan uly.

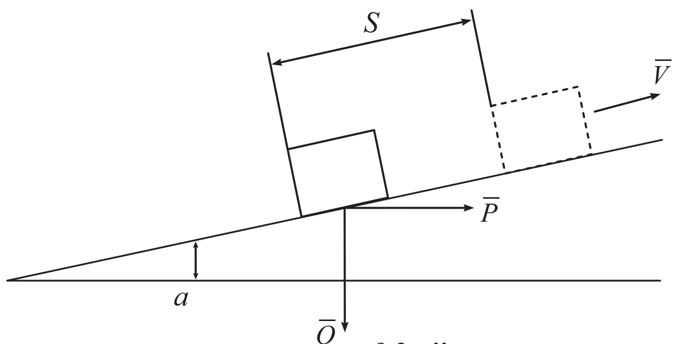
2-nji ýagdaýda mehanizm diňe öňe hereket edip bilýär. Ters tarapa hereket edip bilenok, sebäbi şol tarapyň peýdaly täsir koeffisiýenti noldan kiçi. Ters tarapyna öz-özüni saklaýan mehanizm diýilýär. Hiç hili peýdaly iş edip bilenok.

Öz-özüni saklaýan mehanizmleri ýük göteriji maşynlarda ulanýarlar. Meselem, burumly (çerwiýaçnyý) reduktory ýük göterýän maşynlarda ulanýarlar. Burumdan dişli tigre hereket geçýär. Dişli tigirden buruma hereket geçenok. Ýük göteriji baraban dişli tigriň walynda bolanda, ýüki göterip, islendik ýagdaýda elektrodwigatel işden çykanda ýük saklanýar. Öz-özüni saklaýan mehanizmler ýük göteriji maşynlarda ulanylanda ýörite togtadyjy mehanizmler gerek bolmaýar.

Ýöne öz-özüni saklaýan mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti pes bolýar, köplenç 0,5 kiçi bolýar. Şol sebäpli bu mehanizmleri kuwwaty pes we gysga wagt işleýän maşynlarda ulanýarlar.

9.4. Ýapgyt tekizligiň, hyrly kinematik jübütiň we burumly hereket geçirijileriň peýdaly täsir koeffisiýenti

Ýapgyt tekizlikde gorizontal güýjüň täsiri boýunça ýük ýokary we aşak hereket edende peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitleýäris (*9.3-nji surat*):



9.3-nji surat

Ýük $\vec{Q}$ (garşy güýç) ýapgyt tekizlikde gorizontal güýjüň $\vec{P}$ täsiri bilen ýokary galýar. Tekizligiň ýapgytlyk burçy α, ýüküň süýşmesi S, peýdaly garşy güýçleriň işi:

$$A_{p.g.} = Q\,S\cos(90+\alpha) = Q\,S\sin\alpha. \qquad (9.23)$$

Ýörediji güýjüň işi:

$$A_{ýö} = P\,S\cos\alpha. \qquad (9.24)$$

Peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$\eta = \frac{A_{p.g.}}{A_{ýö}} = \frac{Q\,S\sin\alpha}{P\,S\cos\alpha} = \frac{Q}{P}\operatorname{tg}\alpha. \tag{9.25}$$

$P = Q\ \operatorname{tg}(\alpha+\rho)$ deňlemäni hasaba alyp:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha+\rho)}. \tag{9.26}$$

9.4-nji suratda (9.26) deňleme boýunça peýdaly täsir koeffisiýentiniň α – ýapgyt burça görä diagrammasy gurlan ($f = 0,1,$ arctg $0,1 \approx 6^o$ bolanda).

Diagrammada iň uly peýdaly täsir koeffisiýenti $\alpha = 45^o - \frac{\rho}{2}$ bolanda, ýörediji güýji tapyp bolýar:

$$P_{ýö} = Q\ \operatorname{tg}(\alpha+\rho). \tag{9.27}$$

Ideal tekizlikde ýörediji güýç $P'_{ýö}$, sürtülme ýok diýlip alnanda, ($\rho=0$) deň bolýar:

$$P'_{ýö} = Q\ \operatorname{tg}\alpha, \tag{9.28}$$

Onda peýdaly täsir koeffisiýenti deň bolýar:

$$\eta = \frac{P'_{ýö}}{P_{ýö}} = \frac{Q\operatorname{tg}\alpha}{Q\operatorname{tg}(\alpha+\rho)} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha+\rho)}. \tag{9.29}$$

Ýük ýapgyt tekizlikde aşak süýşen ýagdaýynda peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitleýäris:

$$P = Q\ \operatorname{tg}(\alpha-\rho). \tag{9.30}$$

Ýük aşak süýşende, Q ýörediji güýç bolýar:

$$Q = \frac{P}{\operatorname{tg}(\alpha-\rho)}. \tag{9.31}$$

Ideal tekizlikde ýörediji güýç:

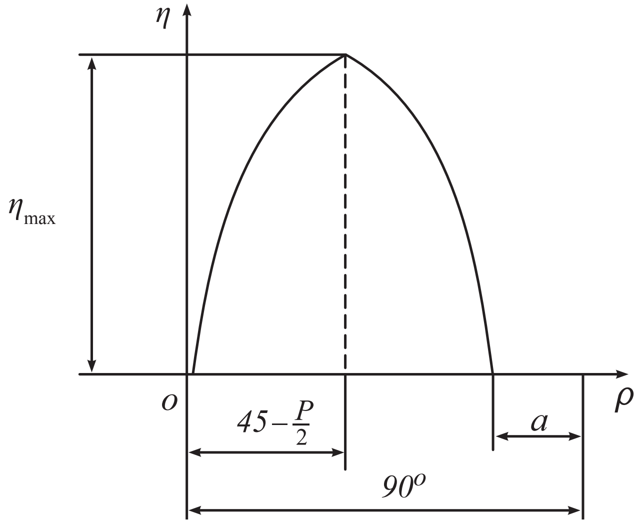
$$Q' = \frac{P}{\operatorname{tg}\alpha}. \tag{9.32}$$

Onda ýük aşak süýşende peýdaly täsir koeffisiýenti deň bolýar:

$$\eta = \frac{Q'}{Q} = \frac{\dfrac{P}{\operatorname{tg}\alpha}}{\dfrac{P}{\operatorname{tg}(\alpha-\rho)}} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha-\rho)}{\operatorname{tg}\alpha}. \tag{9.33}$$

Şu deňlemeden görünýär, $\alpha<\rho$ bolanda peýdaly täsir koeffisiýenti noldan kiçi bolýar, ol öz-özüni saklaýan ýapgyt tekizlik bolýar.

Eger-de ýük tekiz bolmadyk ýapgyt tekizlikde hereket edende, meselem, pahnaly zweno pazyň içinde hereket edende, peýdaly täsir koeffisiýenti tapylýar:



9.4-nji surat

1) Ýokary süýşende: $$\eta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho')}. \quad (9.34)$$

2) Aşak süýşende: $$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \rho')}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (9.35)$$

Bu deňlemelerde ρ' – getirilen sürtülme koeffisiýenti.

(9.29), (9.33), (9.34), (9.35) – deňlemeleri hyrly kinematik jübütleriň peýdaly täsir koeffisiýentlerini hasaplamak üçin ulanýarlar.

Hyr dörtburçly bolanda, (9.29), (9.33) deňlemeleri ulanmaly.

Hyr üçburçly ýa-da trapesiýa görnüşli bolanda (9.34), (9.35) deňlemeleri ulanmaly, (9.29), (9.34) – öňe-ýokary hereket eden ýagdaýynda, (9.33), (9.35) – yza-aşak hereket edende.

(9.34), (9.35) deňlemeleri burumly hereket geçirijiniň peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitlemek üçin ulanyp bolýar.

9.1-nji mysal. Nurbat (gaýka) bilen wintiň sürtülmesini we wintiň başjagazy bilen domkratyň hereketsiz başjagazynyň sürtülmesini hasaba alyp, domkratyň peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitlemeli.

Berlen: Ýüküň agramy $Q=10000\ N;\ P=200\ N;\ \beta=30^o;\ d_1=50\ mm;$

d_2=42 mm; t=8 mm; f=0,12, f_1=0,18; D=80 mm; D_1=40 mm.

Ç ö z ü l i ş i:

$$\eta = \frac{M_1}{M},$$

bu ýerde M – domkratyň hakyky ýörediji momenti,

M_1– sürtülme ýok diýip hasap etsek, ideal tekizlikde ýörediji momenti, $\rho'=0$.

Hakyky ýörediji momenti deň: $M = \frac{Qd_{ort}}{2}\mathrm{tg}(\alpha+\rho') + f_1 Q\frac{D+D_1}{4}$.

Ideal ýörediji momenti deň: $M_1 = \frac{Qd_{ort}}{2}\mathrm{tg}\alpha$.

$$\eta = \frac{\mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}(\alpha+\rho') + f_1\frac{D+D_1}{2d_{ort}}} = \frac{\mathrm{tg}3^\circ 10'}{\mathrm{tg}(3^\circ 10' + 7^\circ 5') + 0{,}18\frac{80+40}{2\cdot 46}} 0{,}132.$$

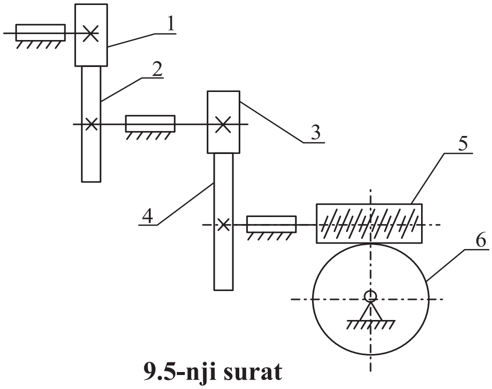
α, ρ' we d_{ort} – öňki meselede kesgitlenen.

9.2-nji mysal. (*9.5-nji surat*) görkezilen çylşyrymly dişli mehanizmiň peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitlemeli. Her basgançagyň peýdaly täsir koeffisiýenti berlen, η_{12}=0,96, η_{34}=0,94, η_{56}=0,72 . Podşipnikleriň sürtülmesini hasaba almaly däl.

Ç ö z ü l i ş i:

Mehanizmleriň yzygiderli goşulanlygy sebäpli, umumy peýdaly täsir koeffisiýentini kesgitlemek üçin hemme basgançaklaryň peýdaly täsir koeffisiýentlerini köpeltmeli.

$$\eta=\eta_{12}\cdot\eta_{34}\cdot\eta_{56}=0{,}96\cdot 0{,}94\cdot 0{,}72=0{,}65 .$$



9.5-nji surat

X BÖLÜM
MEHANIZMIŇ GÜÝÇ TÄSIRI BILEN EDÝÄN HEREKETI

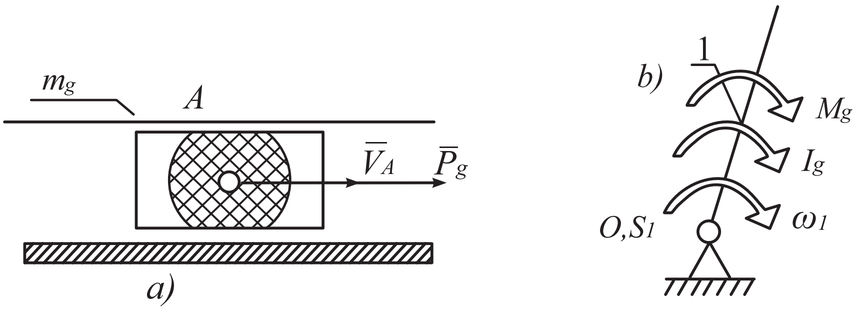
10.1. Dinamika. Getiriliş usuly

Mehanizmleriň kinematik we güýç derňewi geçirilende, ýörediji zwenonyň hereket kanuny hemişelik diýip alypdyk, şoňa görä beýleki zwenolaryň hereket kanunlaryny kesgitledik.

Mehanizmlerde we maşynlarda hemme zwenolaryň hereket kanunlary bir-birine bagly. Biri hemişelik bolup, galanlary üýtgeýän kanunlar boýunça hereket edip bilmeýär. Zwenolaryň hereket kanunlary hemme zwenolaryň massalaryna we inersiýa momentlerine, hemme zwenolaryň täsir edýän güýçlerine we olaryň momentlerine bagly. Bu bölümde zwenolaryň hakyky hereket kanunlaryny kesgitlemeli. Onuň üçin hereket kanunynyň deňlemesini düzmeli. Deňlemede hemme zwenolaryň massalaryny we inersiýa momentlerini, hemme zwenolara täsir edýän güýçleri we olaryň momentlerini hasaba almaly.

Deňlemäni düzmek we ony işlemek gaty agyr mesele. Maşynlarda müňlerçe zwenolar bar. Olaryň hemmesini hasaba alyp deňlemeler düzülse, deňleme gaty çylşyrymly bolýar. Hereket kanunynyň deňlemesini diňe EHM-de çözüp bolýar.

Şol meseläni aňsatlaşdyrmak üçin getiriliş usulyny ulanýarlar. Şert boýunça hemme zwenolaryň massalaryny we inersiýa momentlerini bir zweno getirýärler, hemme zwenolara täsir edýän güýçleri we olaryň momentlerini şol zweno getirýärler. Zwenony – getirilen zweno diýip atlandyrýarlar. Getirilen zweno diýip, islendik zwenony alyp bolýar, köplenç ýörediji zwenony alýarlar. Eger-de getirilen zweno öňe bolan (postupatel) hereket etse, hemme massalar we inersiýa momentler bir massa m_g we bir inersiýa momentine I_g getirilýär (*10.1-nji a surat*). Hemme güýçler we olaryň momentleri bir güýje P_g we bir momente M_g getirilýär. Getirilen güýçleriň täsir edýän nokadyna – getirilen nokat diýilýär (mysal üçin, A nokat).



10.1-nji surat

Eger getirilen zweno aýlansa, onda hemme zwenolaryň massalary we inersiýa momentleri bir massa m_g we bir inersiýa momentine I_g getirilýär. Hemme güýçler we olaryň momentleri bir güýje P_g we bir momente M_g getirilýär (*10.1-nji b surat*).

Hemme agzalan zatlar getirilenden soň hereket kanunynyň deňlemesi düzülýär. Deňlemäni çözüp, getirilen zwenonyň hakyky hereket kanuny tapylýar. Beýleki zwenolaryň hereket kanunlary kinematik usuly boýunça kesgitlenýär.

Getiriliş usulyny ulanmak üçin mehanizmiň hereketi bire deň bolmaly.

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

Eger birden köp bolsa, doly hereket kanunynyň deňlemesini düzmeli.

10.2. Getirilen massa. Getirilen inersiýa momenti

Massalar we inersiýa momentleri kinetik energiýanyň deňliginde getirilýär. Getirilen zwenonyň kinetik energiýasy hemme zwenolaryň kinetik energiýalarynyň jemine deň bolmaly.

Öňe bolan (postupatel) hereketde kinetik energiýa: $E = \dfrac{m\upsilon^2}{2}.$

Aýlanma hereketde kinetik energiýa: $E = \dfrac{I_s\omega^2}{2}.$

Çylşyrymly hereketde: $E = \dfrac{m\upsilon^2}{2} + \dfrac{I_s\omega^2}{2}.$

Onda hemme zwenolaryň kinetik energiýasy aşakdaky ýaly bolar:

$$E = \Sigma_{i=1}^{n}\left(\frac{m_i \upsilon_i^2}{2} + \frac{I_{si}\,\omega_i^2}{2}\right).$$

I. Getirilen zweno öňe bolan hereket edýär:

$$E = \frac{m_g \upsilon_A^2}{2}.$$

Şol energiýa hemme zwenolaryň kinetik energiýasynyň jemine deň bolmaly:

$$\frac{m_g \upsilon_A^2}{2} = \Sigma_{i=1}^{n}\left(\frac{m_i \upsilon_i^2}{2} + \frac{I_{si}\,\omega_i^2}{2}\right)$$

ýa-da

$$m_g = \Sigma_{i=1}^{n}\left[m_i\left(\frac{\upsilon_i}{\upsilon_A}\right)^2 + I_{Si}\left(\frac{\omega_i}{\upsilon_A}\right)^2\right] kg.$$

Getirilen massa m_g hemişelik däl, zwenolaryň ýagdaýyna bagly.

II. Getirilen zweno aýlanýar:

$$E = \frac{I_g \omega_1^2}{2},$$

$$\frac{I_g \omega_1^2}{2} = \Sigma_{i=1}^{n}\left(\frac{m_i \upsilon_i^2}{2} + \frac{I_{si}\,\omega_i^2}{2}\right).$$

onda

$$I_g = \Sigma_{i=1}^{n}\left[m_i\left(\frac{\upsilon_i}{\omega_1}\right)^2 + I_{si}\left(\frac{\omega_i}{\omega_1}\right)^2\right] kgm^2.$$

Getirilen inersiýa momenti I_g üýtgäp durýar, üýtgeýşi zwenolaryň ýagdaýyna bagly.

10.3. Getirilen güýç we getirilen güýçleriň momenti

Güýçler we olaryň momentleri işiň deňligi esasynda getirilýär. Getirilen güýjüň ýa-da onuň momentiniň edýän işi hemme güýçleriň we olaryň momentleriniň işine deň bolmaly. Göni hereketde:

$$A = P{\bullet}S{\bullet}\cos\alpha,$$

bu ýerde α – tizligiň wektory bilen güýjüň wektorynyň arasyndaky burç;

S – geçen ýoly;

P – güýç.

Aýlanma hereketde:

$$A = M{\bullet}\varphi,$$

bu ýerde φ – burç ýoly;

M – güýjüň momenti.

Differensial görnüşi:

$$dA = P \cdot dS \cdot \cos\alpha;$$

$$dA = M \cdot d\varphi.$$

Onda hemme täsir edýän güýçleriň we momentleriň işi deňdir:

$$dA = \Sigma_{i=1}^{n}(P_i\, dS_i \cos\alpha_i + M_i d\varphi_i).$$

I. Getirilen zweno öňe bolan hereket edýär.

Hemme güýçler we momentler bir güýje getirilýär. Pg, onuň işi

$$dA = P_g \cdot dS_A.$$

Işler deň bolmaly:

$$P_g dS_A \cos\alpha_i = \Sigma_{i=1}^{n}(P_i dS_i \cos\alpha_i + M_i\, d\varphi_i).$$

Iki tarapyny dt bölsek:

$$\frac{P_g dS_A}{dt} = \frac{1}{\cos\alpha_i}\Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{dS_A}{dt}\cos\alpha_i + \frac{M_i d\varphi_i}{dt}\right)$$

ýa-da

$$P_g \upsilon_A = \frac{1}{\cos\alpha_i}\Sigma_{i=1}^{n}(P_i \upsilon_i \cos\alpha_i + M_i \omega_i).$$

Kuwwat deňligine geldik, bu ýerden güýji tapsak:

$$P_g = \frac{1}{\cos\alpha_i}\Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{\upsilon_i}{\upsilon_A}\cos\alpha_i + \frac{M_i \omega_i}{\upsilon_A}\right).$$

II. Getirilen zweno aýlanýar.

Hemme güýçler we momentler bir momente getirilýär M_g. Onuň işi:

$$dA = M_g \cdot d\varphi_i,$$

onda

$$M_g d\varphi_i = \Sigma_{i=1}^{n}(P_i\, dS_i \cos\alpha_i + M_i d\varphi_i).$$

Deňligiň iki tarapyny dt bölýäris:

$$\frac{M_g d\varphi_i}{dt}\Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{dS_i}{dt}\cos\alpha_i + \frac{M_i d\varphi_i}{dt}\right),$$

onda

$$M_g \omega_i = \Sigma_{i=1}^{n}(P_i v_i \cos\alpha_i + M_i \omega_i).$$

Kuwwat deňligine geldik, bu ýerden momentini tapsak:

$$M_g = \Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{\upsilon_i}{\omega_i}\cos\alpha_i + \frac{M_i \omega_i}{\omega_i}\right).$$

10.4. Getirilen zwenonyň hereket deňlemesi

Hereket deňlemesi energiýa balansy boýunça düzülýär. Kinetik energiýanyň üýtgeýşi artykmaç işe deň:

$$\Delta E = A_{art}. \tag{10.1}$$

Kinetik energiýanyň üýtgeýşini ΔE tapmak üçin maşynyň ýa-da mehanizmiň işleýän wagtynyň belli aralygyna seretmeli. Şol aralykda başlangyç nokatdaky energiýany E_0 we soňky nokatdaky energiýany E_1 kesgitläp, soňkudan başlangyjy aýyrmaly:

$$\Delta E = E_1 - E_0 .$$

Artykmaç işi tapmak üçin ýörediji güýçleriň işinden garşy güýçleriň işini aýyrmaly:

$$A_{art} = A_{ýo} - A_{gar} .$$

onda

$$E_1 - E_0 = A_{ýo} - A_{gar}. \tag{10.2}$$

I. Getirilen zweno öňe bolan (postupatel) hereket edýär:

$$E_1 = \frac{m_{g1}\upsilon_{A1}^2}{2}; \qquad E_0 = \frac{m_{g0}\upsilon_{A0}^2}{2}.$$

Hereket deňlemesi:

$$\frac{m_{g1}\upsilon_{A1}^2}{2} - \frac{m_{g0}\upsilon_{A0}^2}{2} = A_{ýö} - A_{gar}. \tag{10.3}$$

Işler deň:

$$A_{ýö} = \int_{S_0}^{S_1} P_g^{ýö}\, dS_A;$$

$$A_{gar} = \int_{S_0}^{S_1} P_g^{gar}\, dS_A.$$

Ýörediji güýçler bir güýje aýratyn getirilýär: $P_g^{ýö}$;

Garşy güýçler bir güýje aýratyn getirilýär: P_g^{gar};

$$\frac{m_{g1}\upsilon_{A1}^2}{2} - \frac{m_{g0}\upsilon_{A0}^2}{2} = \int_{S_2}^{S_1} (P_g^{ýö} - P_g^{gar})\, dS_A. \tag{10.4}$$

II.Getirilen zweno aýlanýar:

$$\frac{I_{g1}\omega_1^2}{2} - \frac{I_{g0}\omega_0^2}{2} = A_{ýö} - A_{gar}. \tag{10.5}$$

Hereket deňlemesi:

$$A_{ýö} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} M_g^{ýö} d\varphi; \quad A_{gar} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} M_g^{gar} d\varphi.$$

Işler deň:

$$\frac{I_{g1}\omega_1^2}{2} - \frac{I_{g0}\omega_0^2}{2} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} (M_g^{ýö} - M_g^{gar}) d\varphi. \tag{10.6}$$

Eger getirilen zwenonyň hereketi *S; v; t* ýa-da *φ; ω; t* ululyklaryň diňe birine bagly bolsa, hereket deňlemeleri 10.1–10.6-a çenli düzülýär. Eger-de ikisine ýa-da üçüsine bagly bolanda, hereket deňlemesi differensial görnüşinde düzülýär.

Differensial görnüşindäki hereket deňlemesi

$$dA = dE.$$

I. Getiriliş zweno öňe bolan (postupatel) hereket edýär.

$$dE = d\left(\frac{m_g \upsilon_A^2}{2}\right);$$

$$dA = P_g dS_A;$$

$$P_g dS_A = d\left(\frac{m_{g1} \upsilon_{A1}^2}{2}\right);$$

$$P_g = \frac{d}{dS_a}\left(\frac{m_y \upsilon_A^2}{2}\right).$$

Funksiýanyň önümini matematikada öwrenipdik: *(UV)'=U'V +UV'*,

$$P_g = \frac{\upsilon_A^2}{2}\frac{dm_g}{dS_A} + m_g \upsilon_A \frac{d\upsilon_A}{2dS_A}.$$

Deňlemäniň $m_g \upsilon_A \frac{d\upsilon_A}{dS_A}$ bölegine $\frac{dt}{dt}$ köpeldip, alarys we $\frac{dt}{dS_A} = \frac{1}{\upsilon_A}$ bolany üçin $m_g \upsilon_A \frac{d\upsilon_A dt}{dS_A dt} = m_g \frac{d\upsilon_A}{dt}$.

Onda deňleme şu görnüşe geler:

$$P_g = \frac{\upsilon_A^2}{2}\frac{dm_g}{dS_A} + m_g \frac{d\upsilon_A}{dt}. \tag{10.7}$$

II. Getirilen zweno aýlanýar.

$$dE = d\left(\frac{I_g \omega_1^2}{2}\right);$$

$$dA = M_g d\varphi;$$

Önümini alýarys.

$$M_g = \frac{d}{d\varphi}\left(\frac{I_g \omega_1^2}{2}\right).$$

$$M_g = \frac{\omega_1^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi} + I_g \omega_1 \frac{d\omega_1}{d\varphi}; \qquad (10.8)$$

$$I_g \frac{d\omega_1}{d\varphi_1}\frac{dt}{dt} + I_g \frac{d\omega_1}{dt}\frac{dt}{d\varphi_1} = \omega_1;$$

$$M_g = \frac{\omega_1^2}{2}\frac{dI_g}{d\varphi_1} + I_g \frac{\omega_1}{dt}.$$

Bellenen deňlemelerde m_g we I_g hemişelik bolanda, 1-nji goşmaçalary nola deň bolýar.

Onda bu deňlemeler $P_g = m_g \frac{d\upsilon_A}{dt}$; $M_g = I_g \frac{d\omega}{dt}$ görnüşe geler we olar Nýutonyň ikinji kanunynyň deňlemeleri bolar. (10.7) we (10.8) deňlemeler Nýutonyň ikinji kanunynyň m_g we I_g üýtgeýän ýagdaýynyň deňlemeleri. Olara Lagranžyň II tertipli deňlemeleri diýilýär. Deňlemeleri EHM-de çözüp bolýar.

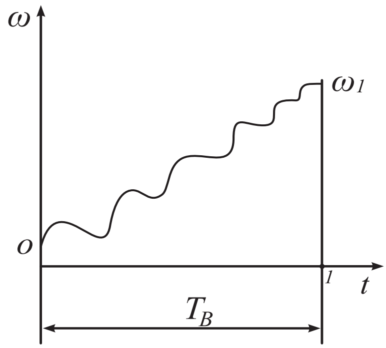
10.5. Hereket döwürleri we kadalary

Islendik maşynyň, mehanizmiň işi üç döwre bölünýär: başlangyç döwri, iş döwri we duruzma döwri. Meselem, onuň hereket deňlemesi:

$$\frac{I_{g1}\omega_1^2}{2} - \frac{I_{g0}\omega_0^2}{2} = A_g^{\text{ýör}} - A_g^{\text{gar}}.$$

1. Başlangyç döwri (*10.2-nji surat*).

$$\omega_0 = 0; A_g^{\text{gar}} = 0.$$



10.2-nji surat

Maşyn dur, başlangyç tizligi $\omega_0 = 0$.

Maşyny ýöredilip başlananda garşy güýçler täsir edenok. Şonuň üçin olaryň işi nola deň. Onda hereket deňlemesi:

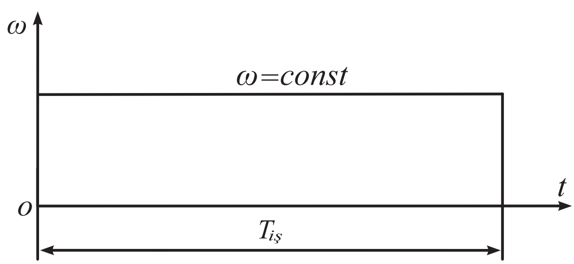
$$\frac{I_g \omega_1^2}{2} = A_g^{ýör};$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2A_g^{ýör}}{I_g}}.$$

2. Iş döwri. Bu döwürde maşynlar üç dürli kadada işleýärler.

I. Deňölçegli hereket kadasy (*10.3-nji surat*) $\omega = const$, onda $I_g = const$ islendik wagt we grafik boýunça:

$$A_g^{ýör]} = A_g^{gar}.$$



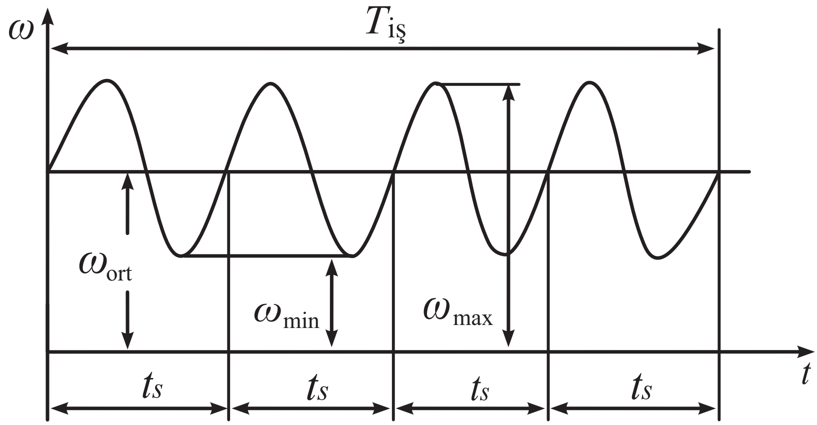
10.3-nji surat

Bu kadada işläp bilýän mehanizmleriň hemme zwenolary diňe aýlanýan hereketde we doly deňagram ýagdaýynda bolmaly.

Meselem: mehaniki reduktorlar, tizligi üýtgedýän gutular, sentrifugalar. we ş.m. mehanizmler.

II. Deňölçegsiz gaýtalanýan hereket kadasy (*10.4-nji surat*).

Grafigi:



10.4-nji surat

Getirilen zwenonyň tizligi deňölçegsiz, belli wagtdan gaýtalanýar. Şol wagta dolanma (sikl) diýilýär.

Diňe dolanmanyň başynda we soňunda $A_g^{\text{ýör}} = A_g^{\text{gar}}$ galan nokatlarda tizligini doly deňleme boýunça kesgitlemeli:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2\,(A_g^{\text{ýör}} - A_g^{gar}) + I_{g0}\,\omega_0^2}{I_{g1}}}\,.$$

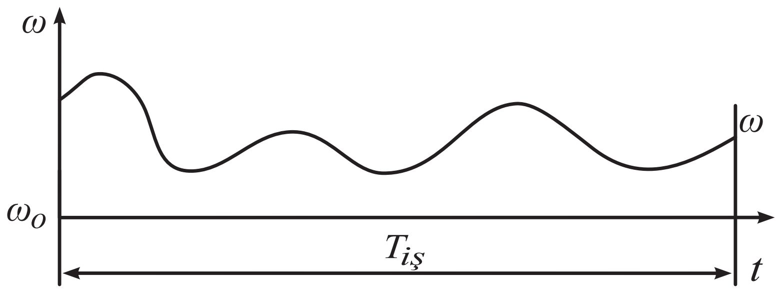
Bu kadada maşynlaryň köpüsi işleýär.

Meselem: awtoulaglaryň hereketlendirijileri, tekstil maşynlary, agaç byçgylaýan maşynlar, nasoslar, kompressorlar we ş.m.

III. Deňölçegsiz gaýtalanmaýan hereket kadasy (*10.5-nji surat*).

Getirilen zwenonyň tizligi üýtgeýär we gaýtalananok. Tizligini kesgitlemek üçin doly deňlemäni ulanmaly:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2\,(A_g^{\text{ýör}} - A_g^{gar}) + I_{g0}\,\omega_0^2}{I_{g1}}}\,.$$



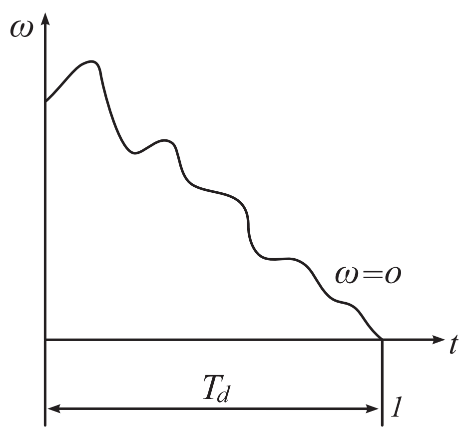
10.5-nji surat

Bu kadada işleýän maşyn az.

Meselem: lokomatiw, ekskawator gaty, daşly ýerleri köwende, onuň susagynyň tizligi şol grafige gabat gelmegi mümkin.

3. Duruzma döwri (*10.6-njy surat*).

Bu döwürde maşyn işläp bolansoň, ony duruzmaly. Duruzmak üçin, ýörediji güýçleri aýryp, duruzýan güýçleri goşmaly.



10.6-njy surat

$$\omega_1 = 0; \quad A_g^{ýö} = 0,$$

onda deňleme aşakdaky görnüşi alar:

$$\frac{I_{go}\omega_0^2}{2} = A_g^{gar}.$$

Duruzýan güýç garşy güýçleriň içinde.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2A_g^{gar}}{I_{go}}}.$$

Maşynyň işleýşine doly seredip, getirilen zwenonyň işiniň üç döwürde tizligini kesgitledik.

Maşynyň burç tizliginiň üýtgeýşiniň ýygylygyny deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti bilen häsiýetlendirip bolar.

10.6. Ortaça tizlik we deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti «δ»

Goý, ýörediji zwenonyň burç tizligi käbir hereket kanunlar boýunça periodiki üýtgesin, onda onuň ortaça burç tizligi 10.4-nji suratdan $\omega_{ort} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}$; Maşynyň burç tizliginiň üýtgeýşiniň yrgyldysyny hereketiň deňölçegsizlik koeffisiýenti bilen häsiýetlendirip bolar: $\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{ort}}$ konstruktora maşynyň taslamasy düzülende bu koeffisiýent berilýär. Meselem: IÝH (içinde ýandyrylýan hereketlendiriji) üçin $\delta = 0{,}01 \div 0{,}03$, elektrohereketlendiriji üçin $\delta = 0{,}001 \div 0{,}003$. Eger-de maşynyň δ koeffisiýenti berlene gabat gelmese, ony işe goýbermek bolanok.

δ koeffisiýent tizligiň deňölçeglilige golaýlygyny görkezýär. Tizlik näçe deňölçeglilige golaý bolsa, şonça-da maşynyň işleýşi gowy, şonça-da tehnologiki prossesler gowy geçýär.

$$2\omega_{ort} = \omega_{max} + \omega_{min}; \qquad 2\omega_{ort} = \omega_{max} + \omega_{min};$$

$$+ \qquad\qquad\qquad - $$

$$\delta\omega_{ort} = \omega_{max} - \omega_{min}; \qquad \delta\omega_{ort} = \omega_{max} - \omega_{min};$$

$$\omega_{ort}(2 + \delta) = 2\omega_{max}; \qquad \omega_{ort}(2 - \delta) = 2\omega_{min};$$

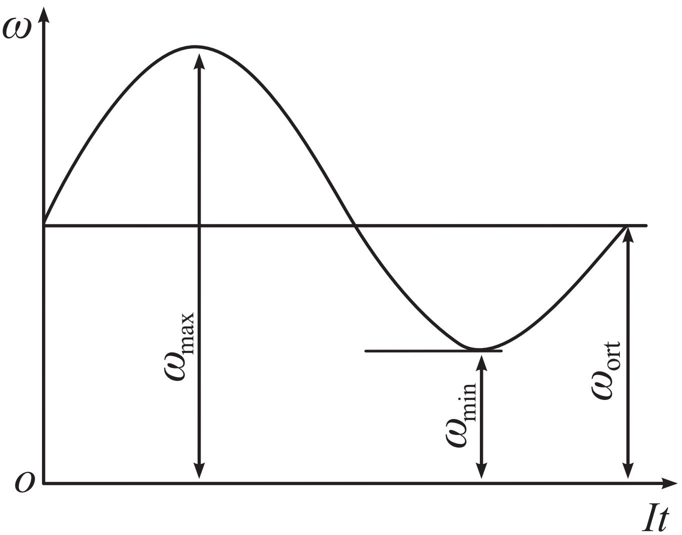
$$\omega_{max} = \omega_{ort}\left(1 + \frac{\delta}{2}\right); \qquad \omega_{min} = \omega_{ort}\left(1 - \frac{\delta}{2}\right);$$

$$\omega^2_{max} = \omega^2_{ort}\left(1 + \delta + \frac{\delta^2}{4}\right);$$

$$\omega^2_{min} = \omega^2_{ort}\left(1 + \delta + \frac{\delta^2}{4}\right).$$

$\delta^2/4$ ululygyna seredilende gaty kiçi, şonuň üçin ony hasaba almanyňda-da bolýar.

$$\omega^2_{max}=\omega^2_{ort}\,(1+\delta); \qquad (10.9)$$
$$\omega^2_{min}=\omega^2_{ort}\,(1-\delta); \qquad (10.10)$$



10.7-nji surat

10.7. Energiýa – massa diagrammasy

Maşynyň iş edýän döwrüniň bir sikline seredip, energiýasyny we getirilen inersiýa momentini kesgitläp, diagrammasyny gurmaly. $E = f(I_g)$ diagrammada A – nokada deň diýip belledik.

A nokadyň proeksiýalaryny x we y diýip belläliň.

Onda A nokatdaky energiýa $E_A=\mu_E \cdot y$, inersiýa $I_{gA}=\mu_I \cdot x$,

$$E_A = \frac{I_g\omega^2}{2};$$

$$\omega^2 = \frac{2E_A}{I_{gA}} = \frac{2\mu_E}{\mu_I}\frac{y}{x};$$

$$\frac{y}{x} = \text{tg}\beta; \qquad \omega^2 = \frac{2\mu_E}{\mu_I}\text{tg}\beta.$$

Şu deňleme boýunça her nokatda tizligiň diagrammasyny gurup bolýar.

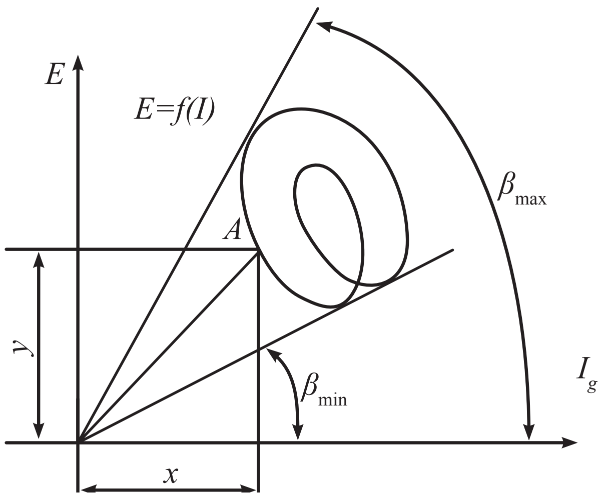
Getirilen zwenonyň tizligini kesgitlemek üçin hereket deňlemesini düzüp, ony işläp tizligi tapmak hökman däl. Energiýa-massa diagrammasy boýunça aňsat tapyp bolýar.

$$\omega^2_{\max} = \frac{2\mu_E}{\mu_1}\mathrm{tg}\beta_{\max}; \qquad \omega^2_{\min} = \frac{2\mu_E}{\mu_1}\mathrm{tg}\beta_{\min.}$$

$\omega^2{}_{\max}$ we $\omega^2{}_{\min}$ ýerine (10.9) we (10.10) deňlemeleri goýup ýazarys:

$$\mathrm{tg}\beta_{\max} = \frac{\mu_1}{2\mu_E}\omega^2_{ort}(1+\delta); \quad \mathrm{tg}\beta_{\min} = \frac{\mu_1}{2\mu_E}\omega^2_{ort}(1-\delta).$$

Şu deňlemeler boýunça $\beta_{\max}$ we $\beta_{\min}$ kesgitlenýär.



10.8-nji surat

XI BÖLÜM
MAŞYNLARYŇ HEREKETINI SAZLAMAK

11.1. Maşynlaryň hereketini sazlamak

Maşynyň deňölçegsiz hereketi goşmaça inersiýa güýçlerini emele getirýär. Şol güýçler kinematik jübütlerde goşmaça basyş döredýär, maşynlaryň zwenolaryny titredýär, titremeler fundamente ýaýraýar, maşynlaryň peýdaly täsir koeffisiýentini peseldýär, tehnologiki hadysalaryň dogry geçmegine şek ýetirýär we ş.m. Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti uly bolanda, maşynyň durnukly işlemegi mümkin bolup bilmeýär. Onda maşyny berlen deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti bilen işletmek meselesi ýüze çykýar. Köp ýyllap işlenilen tejribelerden alnan deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti 11.1-nji tablisada getirilen. Şol koeffisiýentler ýerine ýetirilende maşynlar köp wagtlap durnukly işleýär.

11.1-nji tablisa

№	Maşynlaryň görnüşleri	Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti, δ.
1	Nasoslar	0,03 ÷ 0,20
2	Oba hojalyk maşynlary	0,02 ÷ 0,10
3	Metal ýonujy stanoklar	0,02 ÷ 0,05
4	Hereketlendirijiler we kompressorlar	0,005 ÷ 0,015
5	Hemişelik toguň generatorlary	0,005 ÷ 0,010
6	Üýtgeýän toguň generatorlary	0,003 ÷ 0,005
7	Tagta pyçgylaýan ramalar	0,02 ÷ 0,05
8	Pressler we gaýçylar	0,10 ÷ 0,15
9	Daş owradyjylar	0,05 ÷ 0,15

Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentini nähili ýerine ýetirip bolýar?

Maşynyň kinetik energiýasy üýtgäp durýar ($\Delta E = A_{art}$), şol sebäpli esasy walyň burç tizligi hem üýtgeýär:

$$E = \frac{I_g \omega^2}{2}. \qquad (11.1)$$

Deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti kiçi boldugyça, burç tizliginiň üýtgeýşi hem kiçelýär, sebäbi ol deň:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{ort}}; \qquad (11.2)$$

(11.1) deňlemeden alarys:

$$\omega^2 = \frac{2E}{I_g}. \qquad (11.2)$$

Kinetiki energiýa (E) ulaldygyça, burç tizligi ulalýar, getirilen inersiýa momenti (I_g) ulaldygyça, burç tizligi kiçelýär.

Onda getirilen inersiýa momentini ulaldyp, deňölçegsiz hereketiň koeffisiýentini kiçeldip bolýar. I_g ulaltmak üçin maşynyň esasy walynda goşmaça massa ýerleşdirmeli. Şol massany tigir görnüşinde ýerleşdirýärler, oňa mahowik diýilýär. Mahowik goşmaça inersiýa momentini I_M döredýär.

Mahowik, maşynyň iş döwründe gaýtalanyp üýtgeýän kadada işlände peýda berýär. Iş döwrüniň gaýtalanman üýtgeýän kadasynda mahowigiň peýdasy ýok.

Meselem: ýörediji güýçler (ýa-da garşy güýçler) ep-esli wagt gönümel üýtgäp durýar, bu ýagdaýda mahowik peýda berenok, oňa ýörediji güýçleriň işini garşy güýçleriň işine deňlär ýaly, ýörite sazlaýjy enjam ulanmaly.

11.2. Maşynyň inersiýa momenti hemişelik bolanda, mahowigiň inersiýa momentini kesgitlemek

Mehanizmiň inersiýa momenti hemişelik bolanda, hereket deňlemesi deň:

$$\frac{I\omega_1^2}{2} - \frac{I\omega_0^2}{2} = A_{\text{artyk}} \tag{11.4}$$

ýa-da

$$\omega_1^2 - \omega_0^2 = \frac{2A_{\text{art}}}{I}. \tag{11.5}$$

Deňlemeden görünýär: A_{art} ulaldygyça, burç tizlikleriniň tapawudy ulalýar. $\omega_1 = \omega_{max}$ we $\omega_0 = \omega_{min}$ deň bolanda, iň uly tapawudy $A_{art\ max}$ bolýar, onda

$$\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2 = \frac{2A_{\text{art}}}{I}. \tag{11.6}$$

Başgaça aýdylanda:

$$\omega_{\max} = \omega_{\text{ort}}\left(1 + \frac{\delta}{2}\right), \tag{11.7}$$

$$\omega_{\min} = \omega_{\text{ort}}\left(1 - \frac{\delta}{2}\right)$$

ýa-da

$$\omega_{\max}^2 = \omega_{\text{ort}}^2\left(1+\delta\right), \qquad (11.8)$$
$$\omega_{\min}^2 = \omega_{\text{ort}}^2\left(1-\delta\right).$$

(11.8) deňleme (11.6) deňlemä ýerleşdirilende bolýar:

$$\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2 = 2\delta\omega_{\text{ort}}^2 = \frac{2A_{\text{art}\max}}{I_g} \qquad (11.9)$$

(11.9) deňlemeden getirilen inersiýa momenti I_g tapýarys:

$$I_g = \frac{A_{\text{art}\max}}{\omega_{\text{ort}}^2\delta}; \qquad (11.10)$$

Maşyn berlen deňölçegsiz hereketiň koeffisiýenti (δ) boýunça hereket edende, onuň inersiýa momentini (11.10) deňlemeden kesgitlemeli.

Maşynyň inersiýa momenti öz inersiýa momentiniň we mahowigiň inersiýa momentiniň jemine deňdir.

$$I=I_0+I_M\,, \qquad (11.11)$$

onda $$I_M=I-I_0 \qquad (11.12)$$

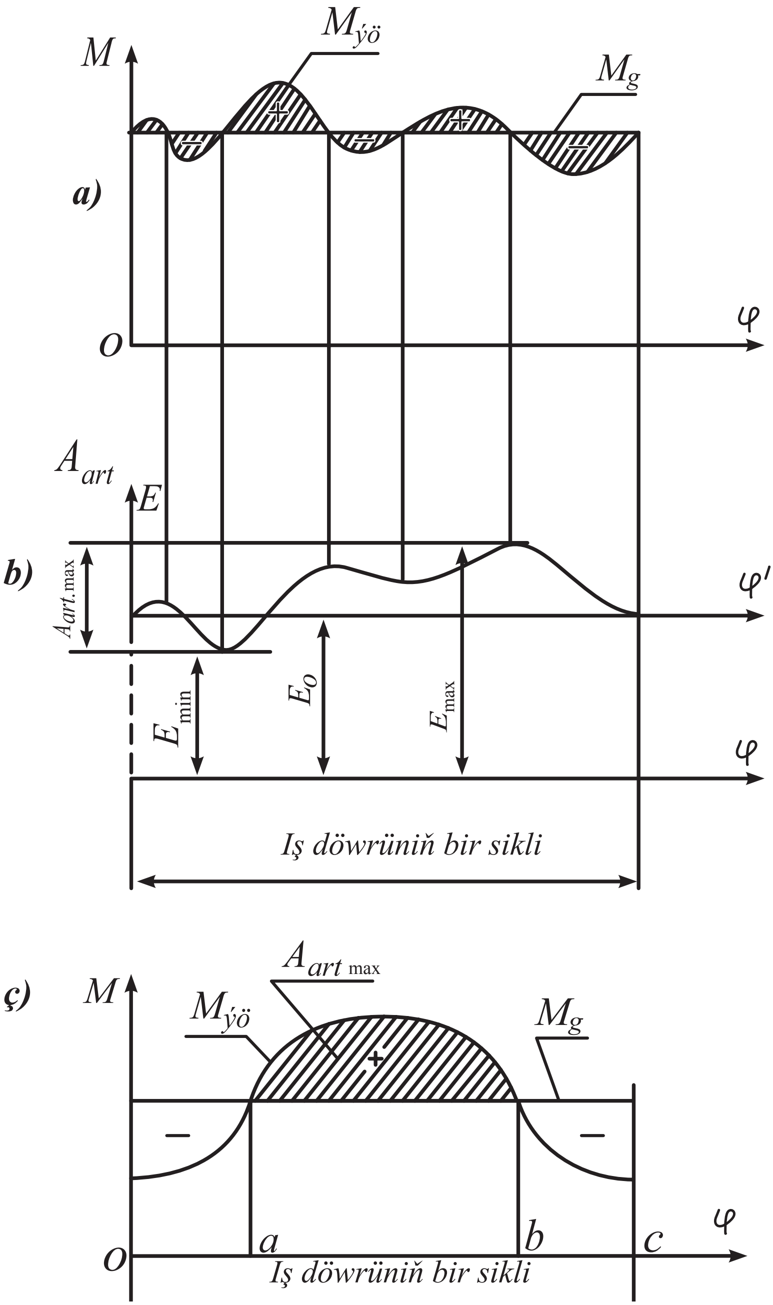
ýa-da

$$I_M = \frac{A_{\text{art}\max}}{\omega_{\text{ort}}^2\cdot\delta} - I_0\,. \qquad (11.13)$$

Ýörediji we garşy güýçleriň momentleri $M_{ýö}$ we M_g berlende, $A_{\text{art.max}}$ kesgitlemek aňsat.

$M_{ýö}$ we M_g maşynyň iş edýän döwri üçin diagramma görnüşinde berlen (*11.1-nji a surat*). Artykmaç iş A_{art} iki çyzyklaryň aralyk meýdançalary boýunça tapylýar, sebäbi:

$$A_{\text{art}} = \int_{\varphi 1}^{\varphi 2} (M_{\text{ýö}} - M_g)\,d\varphi. \qquad (11.14)$$



11.1-nji surat

Integralyň manysy meýdan. Ýöne ω_{max}-dan ω_{min} çenli burç tizliginiň üýtgeýän aralygynda $A_{art\ max}$ tapmaly. $M_{ýö}$ we M_g ýerleşişine görä, haýsy φ burçda ω_{max} we ω_{min} bolýandygyny kesgitläp bolanok. Tapmak usuly: $A_{art} = \int_{\varphi 1}^{\varphi 2} (M_{ýö} - M_g)\,d\varphi$ integral çyzygyny çyzýarys (*11. 1-nji b surat*). *b* suratda A_{art} φ' okdan hasaplanylýar.

Başlangyç nokatda kinetik energiýa E_0 bolanda, şol diagramma kinetik ergiýanyň üýtgeýşi φ aýlaw burçuna görä φ–ok diagrammada aşakdan görkezilen. Iki okuň φ' bilen φ aralygy E_0 deň bolýar.

Iň kiçi E_{min} kinetik energiýa ω_{min} burç tizligine deň bolanda gabat gelýär.

Iň uly E_{max} kinetik energiýa ω_{max} burç tizligine deň bolanda gabat gelýär. Onda $A_{art\ max}$ maşynyň hereketi ω_{min}-den ω_{max}-a çenli aralykda $E_{max} - E_{min}$ gabat gelende bolýar.

$$A_{art\ max} = E_{max} - E_{min}.$$

Käbir meselede, burç tizligi ω_{max} we ω_{min} berlende, $M_{ýö}$ we M_g diagrammalardan A_{artmax} kesgitlemek aňsat (şol meselede diagrammalar bir siklde diňe iki nokatlarda kesişýär) (*11.1-nji ç surat*). $M_{ýö}=f(\varphi)$ we $Mg=f(\varphi)$ diagrammalar iş döwrüniň bir sikli üçin berlen. Bu ýerde *oa* aralykda maşynyň tizligi peselýär, sebäbi $M_{ýö} < M_g$, *ab* aralykda maşynyň tizligi ulalýar, sebäbi $M_{ýö} > M_g$, *bc* aralykda tizligi peselýär. Onda iň kiçi tizlik a nokatda, iň uly tizlik b nokatda bolýar. A_{art} işiň iň ýokary derejesi *ab* aralykda $M_{ýö}$ bilen M_g diagrammalaryň aralygy bolýar.

11.3. Iş döwründe esasy waly gaýtalanyp üýtgeýän kadada işleýän maşynlaryň mahowiginiň inersiýasyny kesgitlemek

Maşynyň iş edýän döwrüniň bir siklini 12 deň aralyklara bölüp, her nokat üçin getirilen ýörediji we garşy güýçleriň momentlerini aýry hasaplap, diagramma görnüşinde esasy walyň aýlaw burçuna görä gurýarys $M_g^{ýö}=f(\varphi_1)$ we $M_g^g=f(\varphi_1)$. Getirilen momentleri hasaplamak üçin deňlemeler:

$$M_g^{ýö} = \Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{V_i}{\omega_1}\cos\alpha_i + M_i\frac{\omega_i}{\omega_1}\right); \qquad (11.15)$$

$$M_g^{g} = \Sigma_{i=1}^{n}\left(P_i \frac{V_i}{\omega_1}\cos\alpha_i + M_i\frac{\omega_i}{\omega_1}\right).$$

Getirilen ýörediji we garşy güýçleriň momentlerinden şol güýçleriň işlerini kesgitlemek üçin deňlemeler:

$$A^{ýö} = \int_{\varphi 0}^{\varphi 1} M_g^{ýö} d\varphi_1; \qquad (11.15)$$

$$A^g = \int_{\varphi 0}^{\varphi 1} M_g^g d\varphi_1.$$

Kesgitlenen integralyň geometriki manysy meýdan. *0–1* aralykda ýörediji güýçleriň edýän işini tapmak üçin *0 11′ 0′* figuranyň meýdanyny kesgitlemeli. Şol meýdany kesgitlemegi aňsatlaşdyrmak üçin ony dörtburçluga öwürmeli. Şonuň üçin *0–1* aralygyň ortasyndan ordinata oka parallel çyzyk geçirip, diagramma bilen kesişen nokadyndan obsissa okuna parallel çyzyk geçirip, *I* diýip belleýäris. *I* nokady P_1 nokat bilen birleşdirýäris. P_1 nokady obsissa okunyň dowamynda islendik uzynlykda H_1 aralyk alnan.

Işler diagrammasyny gurmak üçin, ordinata okunda *A* işi, obsissa okunda φ_1 walyň aýlaw burçuny belleýäris. Işler diagrammasynda *0* (nol) nokatdan $\overline{IP_1}$ çyzyga parallel çyzyk geçirip, *1–1* ok bilen kesişen ýerini *1′* diýip belleýäris. Getirilen momentler diagrammasynyň *1–2* aralygynyň ortasyndan ýörediji momentleriň diagrammasy bilen kesişen nokadyndan obsissa oka parallel çyzyk geçirip, ordinata ok bilen kesişen nokadyny *II* diýip belläp, P_1 nokat bilen birleşdirýäris (*11.2-nji surat*).

Işler diagrammasynda *1′* nokatdan $\overline{P_1\, II}$ çyzyga parallel çyzyk geçirip, *2–2′* çyzyk bilen kesişýän nokadyny *2′* diýip belleýäris. Şu usul bilen ýörediji we garşy güýçleriň iş diagrammalary $A^{ýö}=f(\varphi_1)$ *we* $A^g=f(\varphi_1)$ gurulýar.

Maşynyň kinetiki energiýasynyň üýtgeýşini kesgitlemek üçin, ýörediji güýçleriň işinden garşy güýçleriň işini aýyrmaly:

$$\Delta E=A^{ýö}-A^g. \qquad (11.17)$$

Oklary alyp, ordinata oky boýunça ΔE, obsissa oky boýunça walyň aýlaw burçuny φ_1 belläp, $\Delta E=f(\varphi_1)$ diagrammany gurýarys. Onuň üçin $A^{ýö}=f(\varphi_1)$ we $A^g=f(\varphi_1)$ diagrammalaryň aralyklaryny ölçäp, kinetiki energiýa diagrammasyna geçirýäris.

Deňleme boýunça;

$$I_g = \Sigma_{i=1}^{n} \left[m_i \left(\frac{V_i}{\omega_1} \right)^2 + I_{Si} \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right] \qquad (11.18)$$

Sikliň 12 nokady üçin getirilen inersiýa momentini hasaplap, getirilen inersiýa momentiniň $I_g=f(\varphi_1)$ diagrammasyny walyň aýlaw burçuna görä gurýarys. Şu diagrammanyň ordinata oky boýunça aýlaw burçy φ_1, obsissa oky boýunça I_g getirilen inersiýa momentini belleýäris.

$\Delta E=f(\varphi_1)$ we $I_g=f(\varphi_1)$ diagrammalary süýşürip φ_1 ölçegi aýryp, kinetiki energiýanyň üýtgeýşini getirilen inersiýa momentine görä gurýarys. Şol diagramma energiýa – massa diagrammasy diýilýär, başgaça Wittenbaueriň usuly diýilýär.

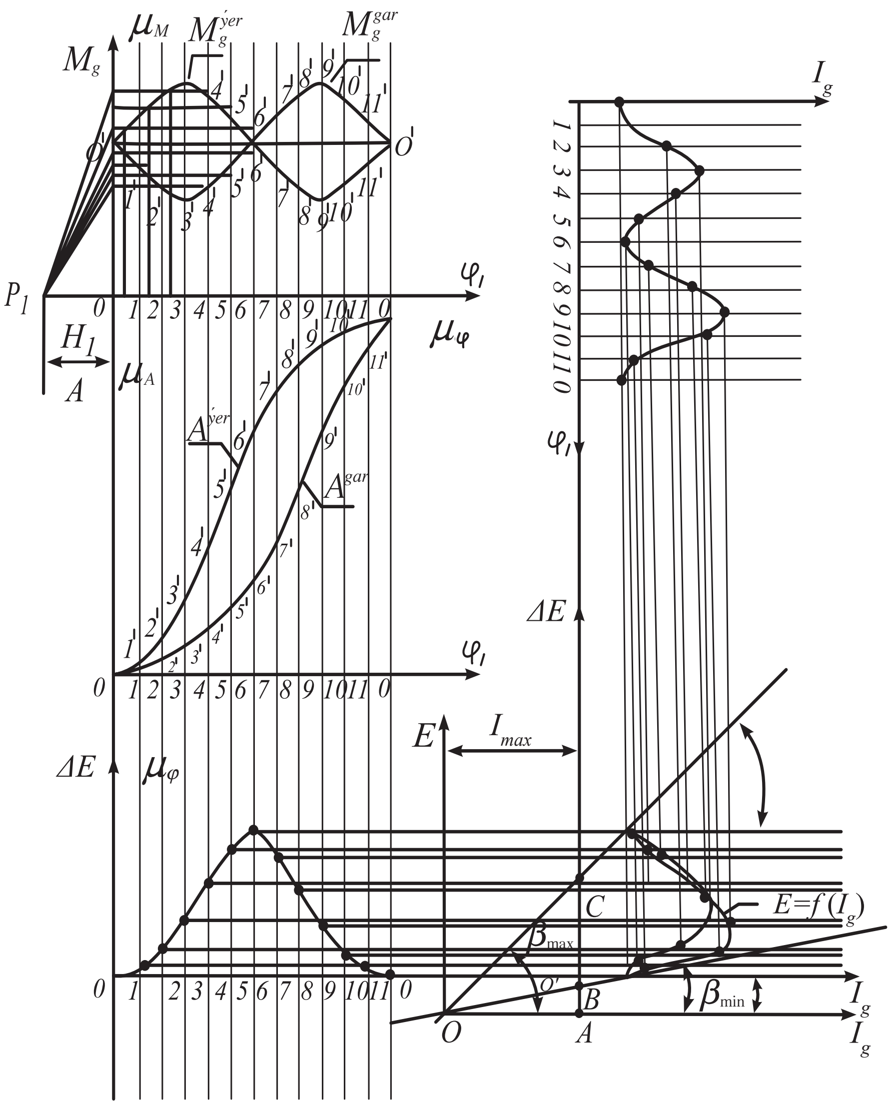
Energiýa–massa $\Delta E=f(I_g)$ diagrammasyndan mahowigiň inersiýa momentini kesgitlemek üçin şol diagrammanyň iň çetki nokatlaryndan β_{max} we β_{min} burçlar boýunça galtaşýan çyzyklar geçirsek, şol çyzyklaryň kesişýän nokady $E=f(I_g)$ diagrammanyň başlangyç nokady bolýar. β_{max} we β_{min} burçlary kesgitlemek üçin deňlemeler:

$$\mathrm{tg}\beta_{\max} = \frac{\mu_1}{2\mu_E}\omega_{\mathrm{ort}}^2(1+\delta); \qquad (11.19)$$

$$\mathrm{tg}\beta_{\min} = \frac{\mu_1}{2\mu_E}\omega_{\mathrm{ort}}^2(1-\delta).$$

Bu deňlemelerde hemme ululyklar berlen, β_{max} we β_{min} kesgitlemek aňsat. Burçlar hasaplananda, olaryň tapawudy *0,5 ÷ 2* gradus bolýar. Şu burçlar boýunça getirilen galtaşýan çyzyklar bir--birine parallel ýaly, kesişen nokadyny birnäçe metrden tapyp bolýar. Şonuň üçin şol çyzyklaryň $\Delta E=f(I_g)$ diagrammasynyň ordinata oky bilen kesişýän *BC* aralygy boýunça mahowigiň inersiýa momentini deňleme boýunça kesgitleýäris:

$$\mathrm{tg}\beta_{\max} = \frac{(AC)}{(AO)}; \qquad \mathrm{tg}\beta_{\min} = \frac{(AB)}{(AO)}$$



11.2-nji surat

$$\mathrm{tg}\beta_{\max} - \mathrm{tg}\beta_{\min} = \frac{(AC)}{(AO)} - \frac{(AB)}{(AO)} = \frac{(BC)}{(AO)};$$

$$\mathrm{tg}\beta_{\max} - \mathrm{tg}\beta_{\min} = \frac{\mu_1}{2\mu_E}\omega_{\mathrm{ort}}^2(1+\delta-1+\delta) = \frac{\mu_1}{\mu_E}\omega_{\mathrm{ort}}^2\delta,$$

onda $$\frac{(BC)}{(AO)} = \frac{\mu_1}{\mu_E}\omega_{\text{ort}}^2\delta. \tag{11.20}$$

$\Delta E=f(I_g)$ we $E=f(I_g)$ deňleşdirilende, iki I_g oklaryň aralygy mahowigiň kinetik energiýasy $E_{\text{mah}} = \mu_E{\cdot}(AO')$ hemişelik, ýokarky I_g okdan ýokarda maşynyň kinetik energiýasynyň üýtgeýşi. ΔE we E oklar arasyndaky aralygy OA, mahowigiň inersiýa momenti hemişelik.

$$I_M=\mu_I{\cdot}(OA). \tag{11.21}$$

ΔE okdan sag tarapda maşynyň getirilen inersiýa momentiniň üýtgeýşi.

Onda altynjy proporsiýadan (OA) deň:

$$(OA) = \frac{\mu_E(BC)}{\mu_I\omega_{\text{ort}}^2\delta}.$$

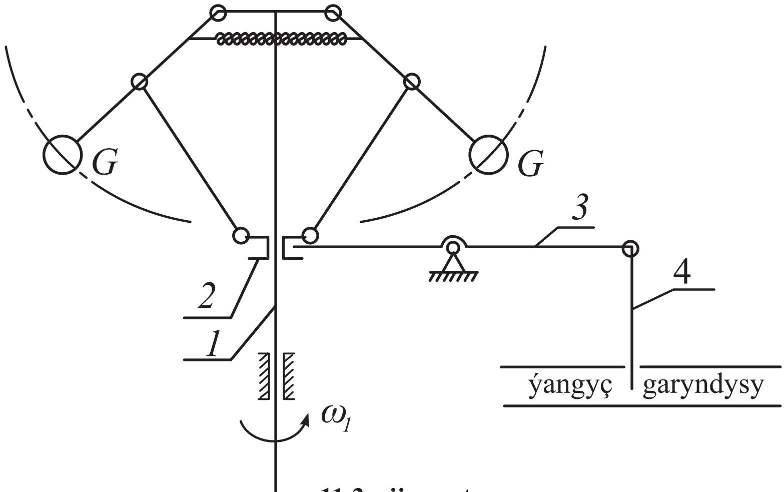
Mahowigiň inersiýa momenti deň:

$$I_m = \mu_I\cdot(OA) = \frac{\mu_E(BC)}{\omega_{\text{ort}}^2\delta}.$$

Bu deňlemede μ_E; ω_{ort}; δ berlen.
BC aralygy çyzgydan ölçäp almaly.

11.4. Iş döwründe gaýtalanmaýan hereketi sazlamak

Mahowik bilen gaýtalanýan hereketi sazlap bolýar. Sebäbi ýörediji we garşy güýçler belli bir kada boýunça gaýtalanýar. Ýörediji güýçleriň işi garşy güýçleriň işine bir siklde deň. Energiýa massa diagrammasy belli bir utgaşan çyzyk bolýar. Gaýtalanmaýan hereketde ýörediji güýçleriň işi garşy güýçleriň işine belli bir hemişelik aralykda deň däl. Şonuň ýaly hereketi mahowik bilen sazlap bolanok. Meselem: elektrogeneratory dizel hereketlendirijisi herekete getirýär. Harç edilen elektroenergiýa birden ulalanda, hereketlendirijiniň walyna garşy güýçler hem birden ulalýar, ýörediji güýçleriň işi bilen garşy güýçleriň işiniň deňligi ýitýär, hereketlendirijiniň walynyň burç tizligi gönümel üýtgeýär. Walyň aýlawy peselip durmagy mümkin. Eger-de harç edilýän elektroenergiýa azalsa, onda wala täsir edýän garşy güýçler peselýär (ýörediji güýçler üýtgemände), hereketlendirijiniň walynyň burç tizligi gönümel ulalýar, onuň döwlüp işden çykmagy mümkin. Şonuň ýaly hereket üçin energiýa – massa diagrammasyny gurup

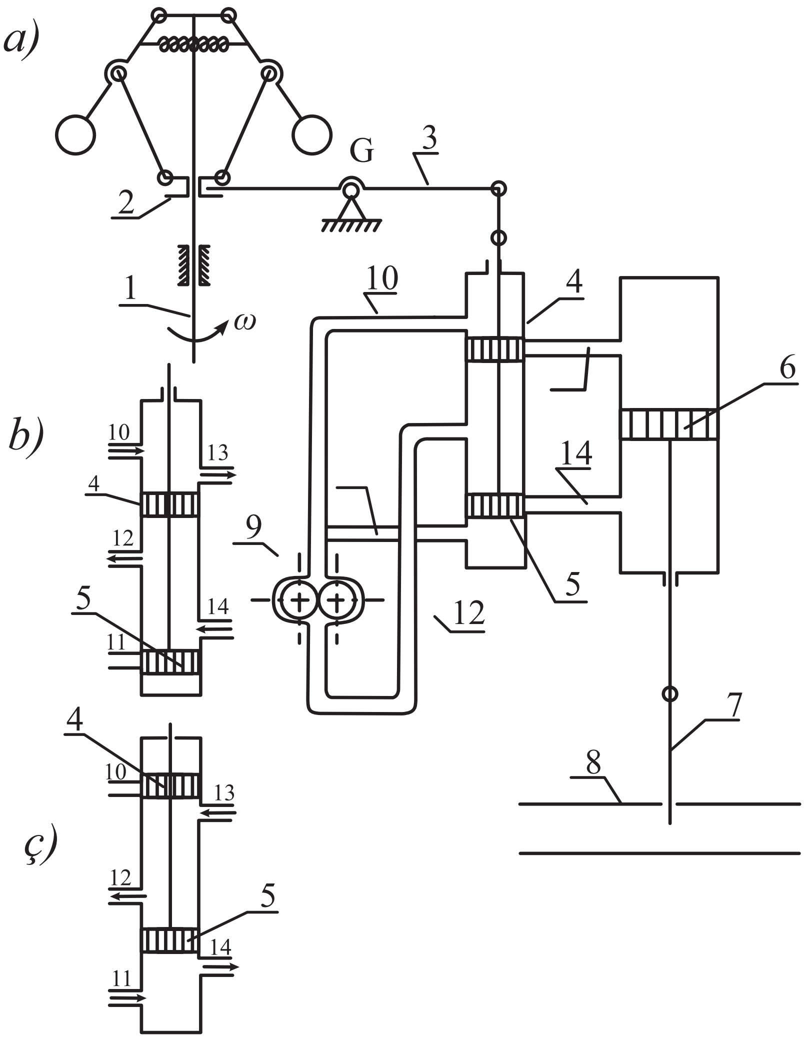


11.3-nji surat

bolanok. Maşyn agregatyň tizligi belli bir aralykda üýtgär ýaly, ýörite enjam bilen hereketlendirijiniň ýörediji güýji bilen işçi maşynyň garşy güýji deňräk saklanar ýaly edilýär, olara sazlaýjy enjam diýilýär. Seredilen meselede hereketlendirijä berilýän ýangyjy köpeldip-azaldyp bolýar.

11.3-nji suratda merkezden gaçýan usuly boýunça işleýän sazlaýjynyň shemasy görkezilen. Sazlaýjynyň birinji waly hereketi sazlanýan waldan alýar. *G* – ýükleriň ýagdaýy walyň aýlawyna bagly. Aýlaw sany ulaldygyça, *G* ýükler ýokary galýar, aýlaw sany azalanda, ýükler aşak düşýär. Ýükleriň ýeri üýtgände *2* muftanyň ýeri hem üýtgeýär. *2* Mufta *G* ýükler bilen *3* ryçag boýunça ýerleşen. *3* ryçaga hereketli goşulan *4* klapan. Klapan turbany açyp-ýapyp, hereketlendirijä berilýän ýangyjyň möçberini köpeldip-azaldyp bilýär. Agregatyň walynda garşylyk azalanda burç tizligi ulalýar, ýükler ýokaryk galyp, muftany galdyrýar.

Ryçagyň ujundaky klapan aşak düşüp, ýangyjyň ýoluny ýapýar. Ýangyç azrak berlende agregatyň walynyň aýlaw ýygylygy peselýär, ýükler aşak düşüp, muftany aşak çekip, ryçagyň beýleki ujundaky klapan ýokary galyp, ýangyç berilmegini köpeldýär. Şonuň ýaly ýörediji güýçler bilen garşy güýçleri deňleşdirýärler. Seredilen sazlaýjyda klapan sazlaýjyda döreýän güýçler bilen herekete getirilýär. Şonuň ýaly sazlaýjylara göni hereketli diýilýär.



11.4-nji surat

Klapanly herekete getirýän güýçler, ýeterlik bolmadyk ýagdaýynda, göni bolmadyk herekete getirýän sazlaýjy enjamlary ulanýarlar. Şonuň ýaly sazlaýjylarda klapany ýörite herekete getirýän kömekçi (elektriki, gidrawliki ýa-da pnewmatiki we ş. m.) hereketlendirijileri ulanýarlar. Göni däl hereketli sazlaýjynyň shemasy (11.4-nji *a* surat) görkezilen. Garşy güýçler peselende *1* walyň aýlaw ýygylygy ulalýar, ýükler ýokary galyp, *2* muftany çekip, *3* ryçagyň beýleki ujuny aşak düşürýär. *3* ryçagyň ujy klapan däl-de, *4* porşen we 5 zolotnik bilen birikdirilen. *4* Porşen bilen *5* zolotnik aşak düşüp, *10* we *13* turbalara ýol açyp, şol turbalardan ýag *9* nasosdan basyş bilen serwomotora berilýär. Serwomotordan ýag *6* porşeniň üsti bilen *7* klapany aşak düşürýär. *7* klapan *8* turbany çala ýapýar. Şol turbadan ýangyç dwigatele barýar. Ýangyç berilmegi sazlanyp, dwigateliň kuwwatyny peseldip, garşy güýçleri we ýörediji güýçlere deňleýär. Şol ýagdaýda *6* ýag porşeniň aşagyndan *12* we *14* turbalardan ýag nasosyna berilýär. Zolotnigiň porşenleriniň ýagdaýy we ýagyň akýan ýoly 11.4-nji *b* suratda görkezilen.

Walyň aýlawy peselende, hemme hereketler tersine bolýar. Zolotnigiň porşenleriniň ýagdaýy 11.4-nji *ç* suratda görkezilen. Seredilen sazlaýjylar ýörediji güýçlere täsir edip, hereket tizligini sazlaýarlar, olary garşy güýçlere deňleýärler. Tejribelikde garşy güýçlere täsir edip, hereketi sazlaýjy enjamlar hem ulanylýar. Olara modulýator ýa-da togtadyjy usully sazlaýjy diýilýär. Olaryň işleýşi seredilen sazlaýjylaryň işine meňzeş.

XII BÖLÜM
MASSALARYŇ DEŇAGRAMA GETIRILIŞI

12.1. Deňagramlyk

Häzirki zaman maşynlarynyň tizligi we tizlenmesi gaty uly. 20–30 ýyl mundan öň mata dokaýan stanogyň tizligi 160 aýlaw/min bolsa, häzirki stanoklar 320–400 aýlaw/min. Awtoulaglaryň motorlarynyň tizligi 3000–4000 aýlaw/min bolsa, häzir 8000–10000 aýlaw/min. Şoňa görä, inersiýa güýçleri hem ulalyp barýar.

$$P_i = -ma_s \ (N).$$

1 gram deňagram däl agramlygyň, tizlenmesi $10000\ m/s^2$ bolanda $P_i = 0{,}001kg \cdot 10000\ m/s^2 = 10\ (kg \cdot m/s^2 = N)$ güýç döredýär. Şonuň üçin zwenolary ýa-da maşynlaryň özüni deňagrama getirmek maşyn gurujylaryň öňünde gaty uly mesele döredýär. Bu meseläni umumy hemme maşynlar üçin çözüp bolanok. Her maşyna aýratyn seretmeli.

Maşynlary deňagrama getirmekligi iki meselä bölýärler:
1. Aýlanýan zwenony deňagrama getirmek.
2. Maşyny deňagrama getirmek.

12.2. Aýlanýan zwenonyň deňagrama getirilişi

Berlen, aýlanýan zwenoda m_1, m_2, m_3 deňagrama getirilmeli agramlyklar. Olaryň agyrlyk merkezleri s_1, s_2, s_3. Aýlanýan ok bilen agyrlyk merkezleriniň arasy r_1, r_2, r_3 diýlip bellenen.

Zweno (ω=*const*) hemişelik tizlik bilen aýlanýar.

Aýlanýan ýagdaýynda inersiýa güýçleri peýda bolýarlar.

$$\overline{P}_{i1}=-m_1\,\overline{a}_{S1}\ \ (N);\quad \overline{P}_{i2}=-m_2\,\overline{a}_{S2}\ \ (N);\quad \overline{P}_{i3}=-m_3\overline{a}_{S3}\ \ (N);$$

Agyrlyk merkeziniň tizlenmesini $\overline{a}_{S_1}=\overline{a}^n_{s_1}+\overline{a}^t_{s_1}$ normal $\overline{a}^n_{s_1}$ we galtaşma $\overline{a}^t_{s_1}$ diýip bölýäris. Onda:

$$a^n_{s_1}=\omega^2\cdot r_1,\ \ m/s^2;\overline{a}^n_{s_1}\parallel\overline{r}_1$$

Onda $$a^t_{s_1}=\varepsilon\cdot r_1,\ \ m/s^2;\overline{a}^t_{s_1}\perp\overline{r}_1;\ \ \varepsilon=\frac{d\omega}{dt}=0;\ \ a^t_{s_1}=0;$$

$$\overline{P}_{i_1}=-\omega^2\cdot m_1r_1\ \ (N);\quad \overline{P}_{i_2}=-\omega^2\cdot\overline{m_2r_2}\ \ (N);$$

$$\overline{P}_{i3}=-\omega^2\cdot m_3r_3\ \ (N);$$

Wektor $\overline{mr}$ – statika disbalansynyň wektory diýilýär. Nazary mehanikanyň kanuny boýunça hemme güýçleri bir güýje getirip bolýar:

$$\overline{P}_i=\Sigma^n_{i=1}P_{i1}=-\omega^2\,\Sigma^n_{i=1}\overline{m_ir_i},$$

$$\Sigma^n_{i=1}\overline{m_ir_i}=\overline{m_sr_s}\quad \text{diýip belleýäris.}$$

bu ýerde $\overline{m_sr_s}$ – statiki disbalansyň baş wektory.

Zwenonyň deňagram ýagdaýynda bolmaklygy üçin inersiýa güýçleriň jemi nola deň bolmaly.

$$\Sigma^n_{i=1}\overline{P}_i=0;\ \ \omega_2\cdot\overline{m_sr_s}=0.$$

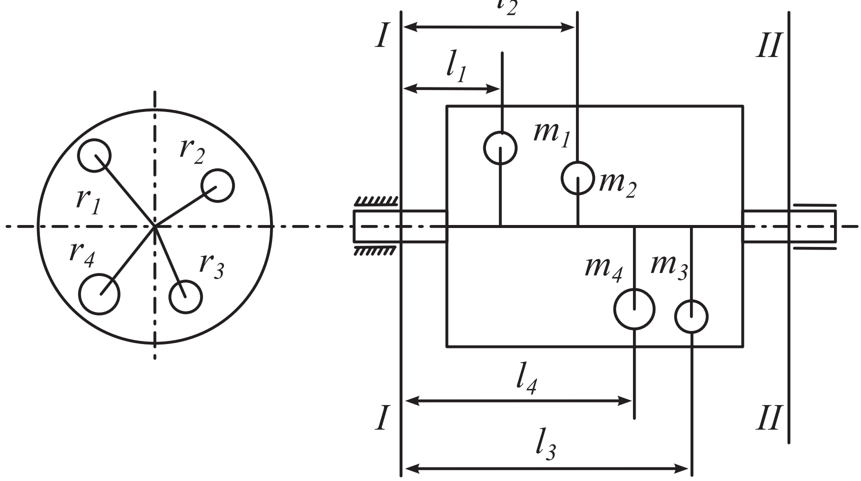
$\omega^2\neq 0$ nola deň bolmaýar, sebäbi zweno aýlanmaly. Onda $m_sr_s=0$ baş wektor nola deň bolmaly.

Aýlanýan zwenonyň deňagramlykda bolmagy üçin statika disbalansynyň baş wektory nola deň bolmaly ýa-da hemme agramlyklaryň agyrlyk merkezi okuň üstünde bolmaly $r_s=0$. Kinematik jübütlerden *I – I* we *II – II* tekizlikleri geçirsek, olara görä her güýçden moment kesgitlesek, onda

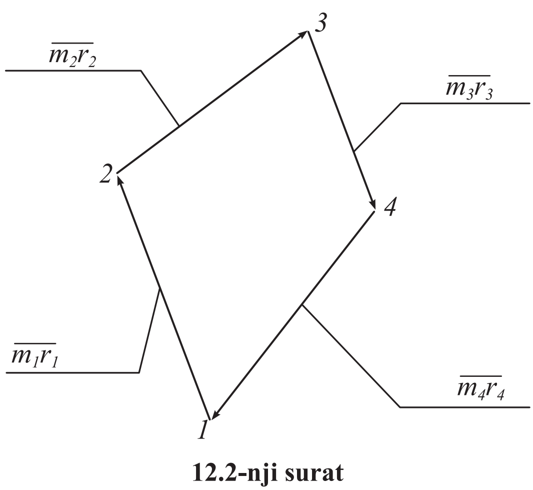
$$\bar{M}i_1 = \bar{P}_{i1} \cdot l_1; \qquad M_{i2} = \bar{P}_{i2} \cdot l_2;$$
$$\bar{M}_{i3} = \bar{P}_{i3} \cdot l_3; \qquad M_{i4} = \bar{P}_{i4} \cdot l_4;$$

ýa-da

$$\bar{M}_{i1} = -\omega^2 \cdot \overline{l_1 m_1 r_1}; \qquad \bar{M}_{i2} = -\omega^2 \cdot \overline{l_2 m_2 r_2};$$
$$\bar{M}_{i3} = -\omega^2 \cdot \overline{l_3 m_3 r_3}; \qquad \bar{M}_{i4} = -\omega^2 \cdot \overline{l_4 m_4 r_4};$$



12.1-nji surat



12.2-nji surat

Hemme momentleri bir baş momente getirmeli:

$$M_i = \Sigma_{i=1}^{n} M_i = \Sigma_{i=1}^{n} P_i l_i = \omega^2 \Sigma_{i=1}^{n} \overline{m_l r_l l_l}.$$

$\Sigma_{i=1}^{n} m_i r_i l_i = m_s r_s l_s$ – diýip belleýäris.

Zwenonyň dinamiki deňagram ýagdaýynda bolmagy üçin baş inersiýa momenti nola deň bolmaly:

$$M_i = 0;$$

$$\omega^2 \, m_s r_s l_s = 0;$$

$\omega^2 \neq 0$, onda:

$$m_s r_s l_s = 0.$$

Zwenonyň dinamiki deňagram ýagdaýynda bolmagy üçin baş dinamiki disbalansynyň wektory nola deň bolmaly.

Nazary mehanikanyň dilinde, mehanizmiň dinamiki deňagram ýagdaýynda bolmagy üçin mehanizmiň baş inersiýa momenti baş inersiýa oklarynyň biri bilen gabat gelmeli.

Mehanizmiň deňagram ýagdaýynda bolmagy üçin agyrlyk merkezi okuň üstünde iki kinematik jübütleriň ortarasynda bolmaly. Iki tekizlikler (I we II) boýunça momentler deň bolmaly (*12.1-nji surat*).

Statiki disbalansyny kesgitlemek üçin disbalanslaryň wektorlaryny yzly-yzyndan gurmaly (*12.2-nji surat*).

Islendik uzynlykda [*1 – 2*] aralygy alyp $\overline{m_1 r_1}$ wektory geçirýäris.

Onuň masştaby: $\mu_{mr} = \dfrac{m_1 r_1}{[1-2]} \dfrac{kgm}{mm}.$

2-nji nokatdan $\overline{m_2 r_2}$ wektory geçirýäris.

$$[2-3] = \frac{m_2 r_2}{\mu_{mr}} mm.$$

3-nji nokatdan $\overline{m_3 r_3}$ wektory geçirýäris.

$$[3-4] = \frac{m_3 r_3}{\mu_{mr}} mm.$$

Eger zweno statiki deňagram ýagdaýynda bolsa, 1-nji nokat bilen 4-nji nokat gabat gelmeli (*12.2-nji surat*). 1-nji we 4-nji nokatlar bir ýerde däl, onda zweno deňagram ýagaýynda däl. Deňagram ýagdaýyna getirmek üçin [*1 – 4*] aralykda m_4 massany ýerleşdirmeli.

r_4 – konstruksiýa boýunça alynýar.

$$m_4 r_4 = \mu_{mr} \cdot (1-4) \frac{kgm}{mm} \cdot mm = kgm.$$

$\overline{m_4r_4}$ – wektoryň ugry boýunça, r_4 aralykda m_4 massany ýerleşdirsek, zweno statiki deňagram ýagdaýyna getirilýär.

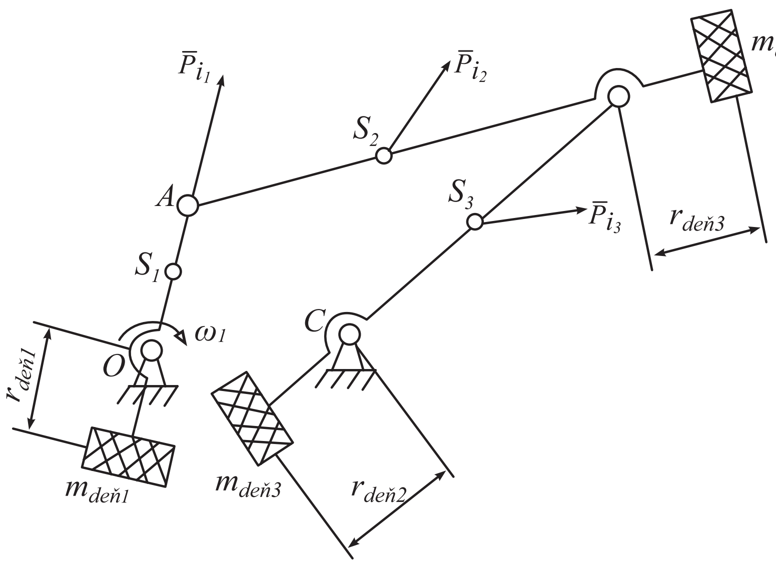
Eger dinamiki disbalanslary $\overline{mrl}$ yzly-yzyndan wektor boýunça gurup çykylsa, edil şol usul bilen dinamiki deňagramlyga getirip bolýar.

Nazaryýet boýunça deňagrama getirmek aňsat ýaly. Iş ýüzünde detalyň niresine agramlyklary goýmaly, nädip r_1; r_2... aralyklary kesgitlemeli, deňagrama ýörite deňagrama getiriji stanoklarda geçirýärler. Ony aýratyn tejribe işinde serederis.

12.3. Maşynlary deňagrama getirmek

Maşynlaryň deňagram ýagdaýa getirilişiniň birnäçe usuly bar.

1. Deňagramlaşdyryjy agram ýerleşdirmek usuly.



12.3-nji surat

Meselem, berlen dört zwenoly şarnirli mehanizm (*12.3-nji surat*).

Birinji zweno hereket edende, inersiýa güýji $\overline{P}_{i1}$ emele gelýär. 1-nji zwenonyň deňagram ýagdaýda bolmagy üçin inersiýa güýji $\overline{P}_{i1}$=0-a deň bolmaly.

$\overline{P}_{i1}$=-$m_1\overline{a}_{S1}$ (N); $m_1\overline{a}_{S1}$= 0 massasy $m_1 \neq 0$ nola deň bolmaly däl. Agyrlyk merkezi–S_1 nokat hereket etmeli däl. Birinji zwenonyň dowamynda deňagramlaşdyryjy agramlyk goýup, agyrlyk merkezini–S_1 nokady O nokada geçirýäris. Onda $\overline{a}_{S1}$=0,$\overline{P}_{i1}$=0. Birinji zwenony statiki deňagramlyga getirdik.

$$m_{de\check{n}1} r_{de\check{n}1} = m_1 l_{OS}; \ m_{de\check{n}1} = \frac{m_1 l_{OS}}{r_{de\check{n}1}}.$$

Ikinji zweno hereket edende P_{i2} güýç täsir edýär. Ikinji zwenony deňagrama getirmek üçin inersiýa güýç $P_{i2}=0$-a deň bolmaly. Onuň üçin zwenonyň dowamynda deňagramlaşdyryjy massa $m_{de\check{n}2}$ goýup, ikinji zwenonyň agyrlyk merkezini– S_2 nokady B nokada geçirmeli.

$$\overline{P}_{i2}=-m_2\,\overline{a}_{S2} \quad (N);$$

$$m_{de\check{n}2} r_{de\check{n}2} = m_2 l_{BS2}; \ m_{de\check{n}2} = \frac{m_2 l_{BS2}}{r_{de\check{n}2}}.$$

Üçünji zweno täsir edýän güýç $\overline{P}_{i3}=-m_3\,\overline{a}_{S3}$ (N);. Zwenonyň dowamynda deňagramlaşdyryjy agram $m_{de\check{n}_3}$ ýerleşdirýäris:

$$m_{de\check{n}3} r_{de\check{n}3} = m_B l_{BC} + m_3 l_{CS3};$$
$$m_{de\check{n}3} = \frac{m_2 l_{BC} + m_{de\check{n}2} l_{BC} + m_3 l_{CS3}}{l_{de\check{n}3}}.$$

Üçünji deňagramlaşdyryjy agramy goýup, B nokatdaky agramlygy we üçünji zwenonyň agramlygyny deňagramlaşdyryp, agyrlyk merkezlerini C nokada geçilýäris:

$$\overline{P}_{i2}=0; \ \overline{P}_{i3}=0.$$

Deňagramlaşdyryjy agramlaryň aralyklaryny $r_{de\check{n}1}$; $r_{de\check{n}2}$ we $r_{de\check{n}3}$ konstruksiýa boýunça almaly.

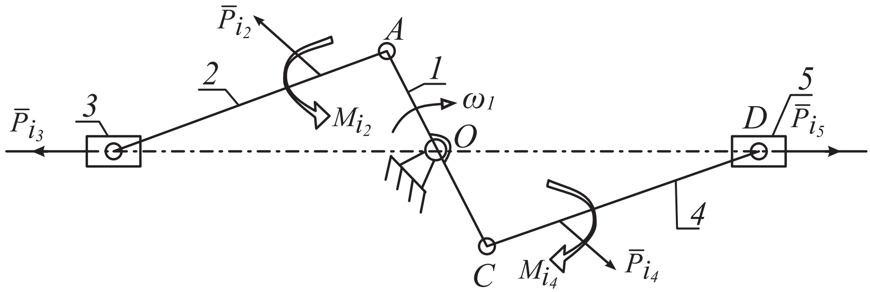
Deňagramlaşdyryjy agram usuly boýunça diňe inersiýa güýçlerini deňagrama getirilýär, inersiýa güýçleriň momentleri barada gürrüň edilenok.

Mehanizmlerde şatuna deňagramlaşdyryjy agram $m_{de\check{n}2}$ goýup bolanok.

Deňagramlaşdyryjy agram usuly boýunça statiki deňagramlygy doly ýerine ýetirip bolanok.

Zwenolary rasional ýerleşdirmek usuly

Berlen: mehanizm *OAB*, doly deňagramlyga getirmek üçin, şol mehanizme ýene özi ýaly mehanizm *OCD* goşmaly (*12.4-nji surat*).



12.4-nji surat

$$\overline{P}_{i2}=-\overline{P}_{i4};\quad M_{i2}=-M_{i4};\quad P_{\overline{i}3}=-P_{\overline{i}5}\ .$$

Mehanizm doly deňagram ýagdaýynda. Olara başgaça oppozitli mehanizmler diýilýär.

PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.

2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.

3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.

4. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. III tom. Aşgabat, 2010.

5. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. IV tom. Aşgabat, 2011.

6. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. V tom. Aşgabat, 2012.

7. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. VI tom. Aşgabat, 2013.

8. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. VII tom. Aşgabat, 2014.

9. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. VIII tom. Aşgabat, 2015.

10. *Kadyrow Ş.U.* Mehanizmleriň we maşynlaryň nazaryýeti dersinden umumy okuw, amaly sapak, tejribe işleriniň ýazgylar toplumy. Aşgabat, TPI, 2002.

11. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин. М., Наука, 1987.

12. *Артоболевский И.И., Эдельштейн С.Х.* Задачник по теории механизмов и машин. М., Наука, 1976.

13. *Кореняко В.П.* Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. М., Высшая школа,1983.

14. *Левитская О.Н.*, *Левитский Н.И.* Курс теории механизмов и машин. М., Высшая школа,1985.

15. *Марголин Ш.А.* Теория механизмов и машин. Минск, Высшая школа,1976.

16. *Попов С.А.* Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. М., Высшая школа,1986.

17. *Фролов К.В.*, *Попов С.А.*, *Мусатов А.К.* и др. Теория механизмов и машин. М., Высшая школа,1987.

18. *Юдин В.А.*, *Петрокас Л.Б.* Теория механизмов и машин. М., Высшая школа, 1985.

19. *Г.А. Тимофеев.* Теория механизмов и машин. Курс лекций М.,2010.

MAZMUNY

III BÖLÜM
TEKIZLIKDE HEREKET EDÝÄN PES JÜBÜTLI MEHANIZMLERIŇ TASLAMASY

IV BÖLÜM
KULAÇOKLY MEHANIZM

V BÖLÜM
DIŞLI ILIŞMEGIŇ NAZARYÝETI

VI BÖLÜM
ÇYLŞYRYMLY DIŞLI MEHANIZMLER

VII BÖLÜM
TEKIZLIKDE HEREKET EDÝÄN PES JÜBÜTLI MEHANIZMLERIŇ GÜÝÇ DERŇEWI

VIII BÖLÜM
SÜRTÜLME

IX BÖLÜM
PEÝDALY TÄSIR KOEFFISIÝENTI

X BÖLÜM
MEHANIZMIŇ GÜÝÇ TÄSIRI BILEN EDÝÄN HEREKETI

XI BÖLÜM
MAŞYNLARYŇ HEREKETINI SAZLAMAK

XII BÖLÜM
MASSALARYŇ DEŇAGRAMA GETIRILIŞI

Şöwket Kadyrow, Muhammetniýaz Gurdow

MEHANIZMLERIŇ WE MAŞYNLARYŇ NAZARYÝETI

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Redaktor	*Ş. Myratgulyýewa*
Surat redaktory	*G. Orazmyradow*
Teh. redaktor	*O. Nurýagdyýewa*
Suratçy	*H. Welmämmedow*
Korrektor	*M. Atabaýewa*
Neşir üçin jogapkär	*A. Hallyýew*

Çap etmäge rugsat edildi 21.11.2017. Ölçegi 60x90 $^{1}/_{16}$.
Şertli çap listi 17,5. Şertli reňkli ottiski 37,25.
Hasap-neşir listi 1563.
Çap listi 17,5. Sargyt 1029. Sany 900.

Türkmen döwlet neşirýat gullugy.
744000. Aşgabat, Garaşsyzlyk şaýoly, 100

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Balkan welaýat çaphanasy.
Balkanabat, Magtymguly şaýoly, kw. 148, j. 1.