

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**DƏMİRYOL YOLDƏYİŞƏNİNİN İNNOVATİV MEXANİKİ  
İNTİQALININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏDQIQI**

İxtisas: 3313.02 - «Maşınlar, avadanlıqlar və proseslər»

Elm sahəsi: Texnika elmləri

**İddiaçı: Qoşqar Nəriman oğlu Rəsulov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

**Bakı - 2022**

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin  
"Mexatronika və maşın dizaynı" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Əməkdar mühəndis, t.e.d., professor  
**Ayaz Hidayət oğlu Abdullayev**

Rəsmi opponetlər: Texnika elmləri doktoru, professor  
**Rasim Cavad oğlu Bəşirov**

Texnika elmləri doktoru, professor  
**Ələsgər Məhərrəm oğlu Əliyev**

Texnika elmləri namizədi, dosent  
**Ağakəşi Fərəc oğlu Məmmədov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya  
Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət  
göstərən ED 2.32 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Əməkdar mühəndis, t.e.d., prof.



**Vaqif Zahid oğlu Mövlazadə**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: t.e.d., prof.



**Nizami Şayı oğlu İsmayılov**

Elmi seminarın sədri: Əməkdar müəllim, t.e.d., prof.



**İsa Əli oğlu Xəlilov**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Azərbaycan Asiya və Avropa, Şimal və Cənub arasında daşımalarda hələ qədimdən vacib rol oynayırdı. Bu gün də, əlverişli strateji mövqəə malik olan Azərbaycanda dəmir yolu nəqliyyatı daşımalarının əhəmiyyəti nəzərə çarpacaq dərəcədə artmışdır. Azərbaycan dəmir yolu magistralı tranzit yol kimi bir neçə beynəlxalq dəhlizlərdə (Şimal-Cənub, Cənub-Qərb və s.) iştirak edir, onun tabeçiliyində müxtəlif xarakterli və iş həcmində malik 177 stansiya fəaliyyət göstərir.

Azərbaycan dəmir yolunun dünya nəqliyyat sisteminin ayrılmaz, qabaqcıl hissələrindən olması üçün bir sıra vacib tədbirlərlə yanaşı, onun yenidən qurulmasına əsaslanaraq qatarların hərəkət sürətinin 120 km/s-dan artıq olmasını, yolların qatarburaxma qabiliyyətinin artırılmasını, yoldəyişənlərin cəldliyinin və etibarlılığının maksimuma çatdırılmasını təmin etmək lazımdır.

Dəmiryol nəqliyyatı sisteminin tərkib hissələrindən biri, hərəkət vasitələrinin bir yoldan digərinə keçirilməsi üçün dəmir yollarını birləşdirən və ayıran qurğular-dəmiryol yoldəyişənləridir. Onlar həmçinin, nəqliyyat vasitələrinin hərəkət sürətini məhdudlaşdıran qurğularıdır.

Dəmiryol yoldəyişənləri(DYD)nin elektrik intiqallarının mexaniki ötürmə mexanizmləri, onların seriyalı istehsalının ilk dövründən (1906-cı il) başlayaraq fasiləsiz olaraq “Simens”, “Halske” firmaları, “ALSTOM” kompaniyası, “Termotron” elektromexaniki zavodu və s., həmçinin, ayrı-ayrı mütəxəssislər Buryak S.Y., Reznikov Y.M., Anders E., Soroko V.B., Seliverov D.İ. və başqaları tərəfindən təkmilləşdirilmiş, mütərəqqi konstruksiyalar işlənmişdir. Məhz bu sahə üzrə çalışan alim və mütəxəssislərin səyi nəticəsində DYD-nin işinin dinamikası və s. öyrənilmiş, az enerji sərf etməklə tiyələrin çevrilmə müddəti 6 san.-dək (qərb ölkələrində isə hətta 3,5 s.-dək) azaldılmış, tiyələrin relsə sıxılma qüvvəsi 6 kN-a çatdırılmış (qərb ölkələrində 11 kN) və intiqalın etibarlılığı  $10^6$  çevirmə tsikli

üçün təmin edilmişdir. Zamanın tələbi olan konstruksiyanın enerji sərfinin azaldılması, sürətin isə artırılması elektrik intiqalları üçün də öz aktuallığını saxlayır.

Dəmiryollarının qatarlarburaxma qabiliyyətini artırmaq, stansiyalarda çeşidləmə işlərinə sərf olunan vaxt normalarını azaltmaq, manevr işlərini səmərəli təşkil etmək və s. üçün önəmli məsələlərdən biri DYD-nin cəldliyinin, onlardan istifadə səmərəliliyinin yüksəldilməsi, elektrik intiqallarının mexaniki hissəsinin konstruksiyasında elm və texnikanın müasir nailiyyətlərindən istifadə edərək elementlərinin konstruksiyalarının təkmilləşdirilməsi, onların innovativ tələblər çərçivəsində rekonstruksiya edilməsidir.

Dissertasiya işi DYD-nin mütərəqqi, innovativ konstruksiyasının işlənilməsi və tədqiqi məsələlərinə həsr olunduğundan, onun mövzusu aktualdır.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** İşin məqsədi paket reduktorların (PR) konstruktiv özəllikləri əsasında DYD üçün innovativ mexaniki intiqalın konstruksiyasının işlənməsi və tədqiqidir.

Tədqiqat işinin vəzifəsini yoldəyişenin cəldliyinin, etibarlığının, təmirə yararlılığının və istifadə səmərəliliyinin yüksəldilməsi, ona texniki xidmətin sadələşdirilməsi, dəmiryol xəttinin qatarburaxma qabiliyyətinin artırılmasını təmin edən, yüksək unifikasiya səviyyəli, rekonstruksiya edilmiş hissələrdən innovativ mexaniki intiqalın işlənməsi və onun işinin analizi təşkil edir.

İşdə DYD-nin elektrik intiqallarının mexaniki ötürmələrində yüksək səmərəliliyə malik paket ipli “AN” reduktoru(PtANR)ndan istifadə mümkünlüyünün müəyyən edilməsi, onun bazasında innovativ ötürməli mexanizmin işlənməsi və onun işinin səmərəliliyini təmin və müəyyən edən ən vacib nəzəri və praktiki məsələlərin həlli nəzərdə tutulur.

Tədqiqat obyektini kimi intiqalın mexaniki ötürmə mexanizmi (ÖM) qəbul edilmişdir. İstismar göstəricilərinin yüksəldilməsi mənbəyi kimi mövcud reduktorun açıq silindrik düz dişli çarx ötürməsinin

qapalı rejimə keçirilməsi və konstruksiyada hissələrin sayının mümkün qədər azaldılması və unifikasiyası qəbul edilmişdir.

**Tədqiqatın metodları.** DYD-nin innovativ mexaniki intiqalının işlənməsi və tədqiqində maşınşünaslıq, ehtimal nəzəriyyəsi, ölçü zəncirləri nəzəriyyəsi və tribologiya elmlərinin əsasları, yoldəyişənin ÖM-nin quruluş-sistem araşdırılması və təcrübələrin aparılma metodikalarından istifadə edilmişdir.

Alınmış nəticələrin dürüstlüyü ümumelmi nəzəri və təcrübi müddəalardan istifadəyə əsaslanır, rəqəmli və eksperimental təcrübələrin nəticələri ilə təsdiq edilir.

İşdə demək olar ki, bütün tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir (müşahidə, müqayisə, hesablama, ölçmə, təcrübi və nəzəri tədqiqatlar, ümumiləşdirmə, induksiya, deduksiya, analiz, sintez və abstraktlaşdırma).

**Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

-işgil birləşməsi elementlərinin xətalınının ilişən dişlərin təmas xarakterinə təsir mexanizmi;

-ilişən dişlərin istiqamət fərqləri bucağının riyazi modeli;

-DYD-nin mexaniki intiqalının innovativ konstruksiyası;

-PR-da funksional əlaqələr, onlardan DYD-nin etibarlılığının yüksəldilməsində istifadə;

-PR-un ümumi ötürmə ədədinin pillələr arasında paylanması optimallaşdırılması metodikası;

-yeni işgil birləşməsinin konstruksiyası;

-sürət ölçü zənciri (ÖZ);

-ikiqat sürüşmə yastıqlarında sürtünmə və yeyilməni səciyyələndirən parametrlərin riyazi modelləri;

- ikiqat sürüşmə yastıqları üçün material seçimi.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

-işgil birləşməsi elementlərinin xətalınının ilişən dişlərin istiqamətləri fərqi təsir mexanizmi açığlanmış, dişlərin istiqamətləri fərqiinin riyazi modeli verilmişdir;

-DYD-nin Avrasiya patenti səviyyəsində innovativ mexaniki intiqalı;

-PR-in funksional əlaqələri (sürət, güc və s.) müəyyən edilmişdir;

-ikiqat sürüşmə yastıqlarında sürtünmə işinin, səthlərin yeyilməsinin analitik ifadələri çıxarılmışdır;

- PR-da pillələr üzrə ötürmə ədədlərinin optimallaşdırma ilə təyini metodikası işlənmişdir;

-sürət ÖZ:

-ilişən dişlərin təmas şəraitini yaxşılaşdıran tədbirlər işlənmişdir (patent səviyyəsində yeni konstruksiyalı işgil birləşməsi, çarpazlaşma mərkəzinin işgil novunun ortasına sürüşdürülməsi və s.);

-müxtəlif sürtünmə şəraiti üçün ikiqat sürüşmə yastığının materialları təklif edilmişdir.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** İşgil birləşməsinin dişli ilişmənin istismar göstəricilərinə təsir mexanizmi açıqlanır; ilişən dişlərin istiqamət fərqlərinin riyazi modelləri təqdim edilir; PR-da konstruktiv-funksional əlaqələr verilir; PR-ların ümumi ötürmə ədədinin pillələr arasında paylanması optimallaşdırılması metodikası təklif edilir; ikiqat sürüşmə yastıqlarında sürtünmə və yeyilmə qiymətləndirilir; yeni işgil birləşməsi təqdim edilir.

**Praktiki əhəmiyyət:** PR-in özəlliklərindən istifadə ÖM-nin təşkilədiçi elementlərinin sayını minimuma endirir, intiqalın cəldliyi və etibarlığını yüksəldir, istehsal və təmir proseslərini asanlaşdırır; silindrik işgil birləşməsindən istifadə ilişmədə özütəşkil olunmanı təmin edir, dişlərin ilişmə şəraitini yaxşılaşır, dişli ötürmənin xidmət müddəti yüksəlir; val-dişli çarx qovuşmasında sürüşmə yastığından istifadə işgil birləşməsinin ilişmə şəraitinə neqativ təsirini aradan qaldırır, ilişmənin keyfiyyətinin yüksəlməsini təmin edir; sürüşmə yastığı üçün təklif edilən material ÖM-nin yüksək xidmət müddətinə təminat verir.

### **Aprobasiya və tətbiqi.**

- Lomonosov-2004: M.V. Lomonosov adına MDU-nun tələbə,

aspirant və gənc alimlərinin fundamental elmlər üzrə Beynəlxalq konfransı. Moskva, 2004;

- «Texniki ali məktəblərdə təhsilin müasir problemləri» mövzusunda Respublika elmi praktiki konfransı. Bakı, 2008;

-AzTU-nun 60-illiyinə həsr olunmuş “Təhsildə və elmdə innovasiya texnologiyaları”. Respublika EPK, Bakı, 2010;

-Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XV, XVI və XXII Respublika elmi konfransları, Bakı, 2011, 2012 və 2018;

-“Materialların yaradılması və emalının müasir metod və texnologiyaları” mövzulu Beynəlxalq konfrans, Belarusiya MEA, FTİ. 2014;

- “I-st International Science and Engineering Conference”, Baku Engineering University, Bakı, 29-30 noyabr 2018;

-Azərbaycan xalqının ümumilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransı. AzTU, Bakı, 2019;

- «Advances in Science and Technology» 26-cı Beynəlxalq multidistsiplinar EPK, Moskva Dövlət Universiteti, Penza Dövlət Universiteti, 2020;

- Proceedings of the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, Bakı, Azərbaycan, 26-28 avqust, 2020;

-“Mexatronika və maşın dizaynı“ (“Maşın hissələrinin konstruksiya edilməsi“) kafedrasının elmi seminarları, 2012, 2018, 2020, 2021;

- “Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference, AzTU, Bakı, Azərbaycan, Dekabr 2-3, 2021;

- Международная научная конференция «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. Казань: 30-31 января, 2022 г.

Dissertasiya işinin elmi nəticələri üzrə bir Azərbaycan patenti (i 2021 0023 – “İşgil birləşməsi”) və bir Avrasiya patenti (№ 040109 – “Стрелочный электромеханический привод железных дорог”) alınmışdır.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Azərbaycan Texniki Universiteti, “Mexatronika və maşın dizaynı” kafedrası.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya işinin strukturunu titul səhifəsi (404 işarə), mündəricat (6369 işarə), giriş (16457 işarə), I Fəsil – (45681 işarə), II Fəsil – (38628 işarə), III Fəsil – (62130 işarə), IV Fəsil – (35303 işarə), V Fəsil – (22957 işarə), nəticə (5039 işarə), istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı (26741 işarə), əlavələr, ixtisarlara və şərti işarələrin siyahısı (31023 işarə) təşkil edir.

Dissertasiya işinin ümumi həcmi 38 şəkil, 9 qrafik, 2 cədvəl, 152 adda ədəbiyyat siyahısı olmaqla mətni kompyüterdə yazılmış 208 səhifə, şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 238387 işarədən ibarətdir.

## **İŞİN ƏSAS MƏZMUNU**

**Girişdə** mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış və işlənmə dərəcəsi xarakterizə edilmiş; tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, metodları göstərilmiş; müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, onun nəzəri və praktiki əhəmiyyəti müəyyənləşdirilmiş; aprobeasiya və tətbiqi, işin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı, struktur bölmələrinin ayrılıqda və ümumi həcmi haqqında məlumatlar verilmişdir.

**Birinci fəsildə** DYD və onların mexaniki intiqalları üzrə aparılmış tədqiqat işlərinin icmalı verilmiş, işin məqsəd və tapşırıqları müəyyən edilmişdir.



DYD-nin mexaniki ötürmə mexanizmlərinin, reduktorların konstruktiv özəlliklərinə və etibarlıqlarının yüksəldilməsinə, onların əsas funksional elementləri olan dişli çarx ötürmələrinə, hissələrinin təmas məsələlərinin həllinə, hissələrin sürtünmə və yeyilməsinin tədqiqinə, yeyilmə davamlılığının yüksəldilməsinə görkəmli alimlərin: E.İ. Danilenko, İ.A. Birqer, V.A. Conson, Q.B. İosileviç, M.N. İvanov, V.N. Kudryavtsev, Q. Nimann, D.N. Reşetov, Q.A. Snəsaryev, V. Volf, V.Y. Starjinskiy, F. Bouden, N.B. Dyomkin, V.N. Drozdov, İ.N. Kostetskiy, İ.V. Kragelskiy, A.V. Çiçinadze, A.H. Abdullayev, Ə.X. Canəhmədov, Z.H. Kərimov, A.M. Nəcəfov, İ.Ə. Xəlilov və başqalarının çoxsaylı tədqiqat işləri həsr olunmuşdur. Bu alimlərin və mütəxəssislərin səyinin nəticəsidir ki, həmin sahələrdə mövcud nailiyyətlər əldə edilmişdir. Qeyd olunanlara baxmayaraq, DYD-nin kütlə tutumu və enerji sərfinin azaldılması, dəyişdiricinin sürətinin isə artırılması aktual məsələdir.

“СП” markalı DYD-nin elektrik intiqalları, onların mexaniki ötürmə sistemi, reduktorların, o cümlədən PR-ın konstruktiv və istismar özəllikləri araşdırılmış, DYD-nin istismar göstəricilərinin yüksəldilməsi istiqaməti seçilmiş və əsaslandırılmışdır.

Fəslin xülasəsinin nəticələrinə əsasən dissertasiya işinin aktuallığı, tədqiqatın məqsədi və məsələləri müəyyən edilmişdir.

**İkinci fəsil**də DYD-nin innovativ mexaniki intiqalının işlənməsi əsasları təqdim edilir.

DYD-nin mexaniki ÖM-nin texniki səviyyə göstəricilərinin yüksəldilməsi dörd istiqamətdə həyata keçirilir:

1. İlişən dişlərin istiqamətlərinə işgil birləşməsi elementlərinin xətalərinin təsirini azaltmaqla;

2. PtANR-ın konstruktiv özəlliklərindən istifadə etməklə DYD-nin reduktorunun hissələrinin unifikasiyası, sayının azaldılması, konstruksiyadan istifadə səmərəliliyinin yüksəldilməsi ilə;

3. İşlənmiş mexaniki ÖM-də ötürmə ədədinin pillələr arasında paylanması optimallaşdırılması ilə;

4. ÖM-nin sürtünmə yastığı qovşaqları üçün yeyilməyə nisbətən davamlı materialın tövsiyəsi ilə.

Dişlərin təmas səthinin sahəsi əsasən, ilişən dişlərin istiqamətləri arasındakı bucaqdan asılıdır. Bu bucaq böyüdükcə dişlərin təmas uzunluğu və sahəsi azalır. İlişən dişlərin istiqamətləri fərqi  $\Delta\beta_0$  onların formalaşmasında iştirak edən konstruktiv elementlərin vəziyyətlərinin fəzada ixtiyari bucaq vəziyyəti (onların müsaidələri) ilə müəyyənləşir:

$$\Delta\beta_0 = \Delta\beta_1 + \Delta\beta_2 + \Delta\beta_3 + \Delta\beta_4 + \Delta\beta_5 + \Delta\beta_6 + \Delta\beta_7 + \Delta\beta_8 + \Delta\beta_9 + \Delta\beta_{10} + \Delta\beta_{11} + \Delta\beta_{12} + \Delta\beta_{13} = \sum_{i=1}^{13} \Delta\beta_i \cdot (1)$$

Burada,  $\Delta\beta_1$ - reduktorun gövdəsinin əsas yuvalarının oxlarının paralellikdən sapması (onun müsaidəsi);

$\Delta\beta_2$  və  $\Delta\beta_8$ -valların oxlarının gövdənin əsas yuvaları ilə biroxluluqdan sapmaları;

$\Delta\beta_3$  və  $\Delta\beta_9$  - valların dişli çarxlar oturan boyuncuqlarının oxlarının valların ümumi oxuna paralellikdən sapması;

$\Delta\beta_4$  və  $\Delta\beta_{10}$  -valların işgil yuvalarının işçi səthlərinin valların oxlarına paralellikdən sapmaları;

$\Delta\beta_5$  və  $\Delta\beta_{11}$  - işgilin işçi səthlərinin paralellikdən sapması;

$\Delta\beta_6$  və  $\Delta\beta_{12}$  - dişli çarxlardakı işgil yuvalarının işçi səthlərinin əsas yuvaların oxlarına paralellikdən sapmaları;

$\Delta\beta_7$  və  $\Delta\beta_{13}$  - ilişən dişlərin istiqamətlərinin dişli çarxın əsas yuvasının oxuna paralellikdən sapmalarıdır.

Dişlərin istiqamətləri fərqi riyazi modeli (1) iki növ özəlliyə malik olur: qapayıcı bənd  $\Delta\beta_0$  təşkiledicilərin kinematik halında formalaşır ( $\Delta\beta_1$ -dən başqa); onlar yalnız ilişmə qövsünə uyğun olan dönmə bucağı intervalında qiymət alırlar və sonuncuların biri-birini əvəz etmə ehtimalı istisna edilmir.

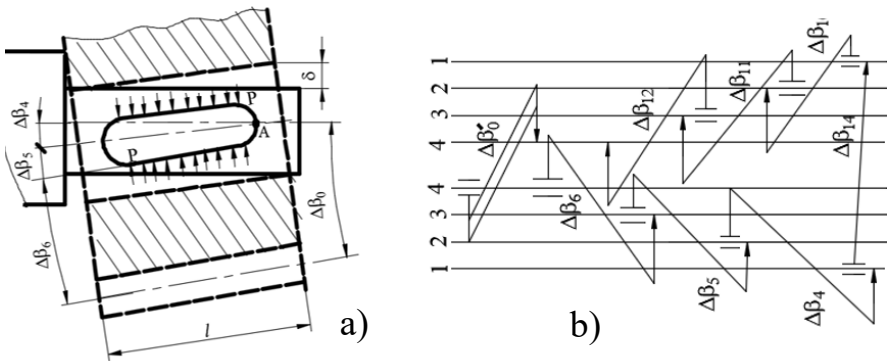
İşgilin işçi səthi valın oxuna paralel olmadıqda onun qəbul etdiyi qüvvə işçi səthi üzrə müntəzəm paylanmağa çalışır və dişli çarx-val qovuşma səthləri arasındakı araboşluğunun  $\delta$  imkan verdiyi qədər,  $P$  qüvvəsi müntəzəm paylananadək dişli çarxı döndərir,

sistemin özütəşkilolunması baş verir (Şəkil 1, a). Valın bir dövrü ərzində ilişən dişlərin təmas səthləri müxtəlif mövqelər tutur.

Dişli ilişmədə yalnız işgil birləşmələrinin konstruktiv elementləri arasındakı ölçü əlaqələrinin, ÖZ-nin qapayıcı bənd  $\overline{\Delta\beta}'_0$  -nin formalaşmasında həm də valların oxları arasındakı bucaq, onun sapması ( $\Delta\beta_{14} = \Delta\beta_1 + \Delta\beta_2$ ) iştirak edir ( $\beta_{14} = \mathbf{0}$  qəbul edilir) (Şəkil 1, b; sxemdə 1- vallar və dişli çarxların nəzəri oxları, 2-vallardakı işgil yuvalarının işçi səthəri, 3-işgillərin işçi səthləri, 4-dişli çarxların işgil yuvalarının səthlərini göstərir), yəni:

$$\overline{\Delta\beta}'_0 = \Delta\beta_4 + \Delta\beta_5 + \Delta\beta_6 + \Delta\beta_{10} + \Delta\beta_{11} + \Delta\beta_{12} + \Delta\beta_{14} . \quad (2)$$

Beləliklə, val-dişli çarx qovuşmasındakı araboşluğu hissələrin çəpələşməsi ilə əvəz olunur, dişlərin təması onların bir tərəf ucunda baş verir.



**Şəkil 1. İşgil birləşməsinin vəziyyətinin ilişən dişin vəziyyətinə təsiri (a) və işgil birləşməsi elementlərinin bucaq ölçü əlaqələri (b) sxemləri**

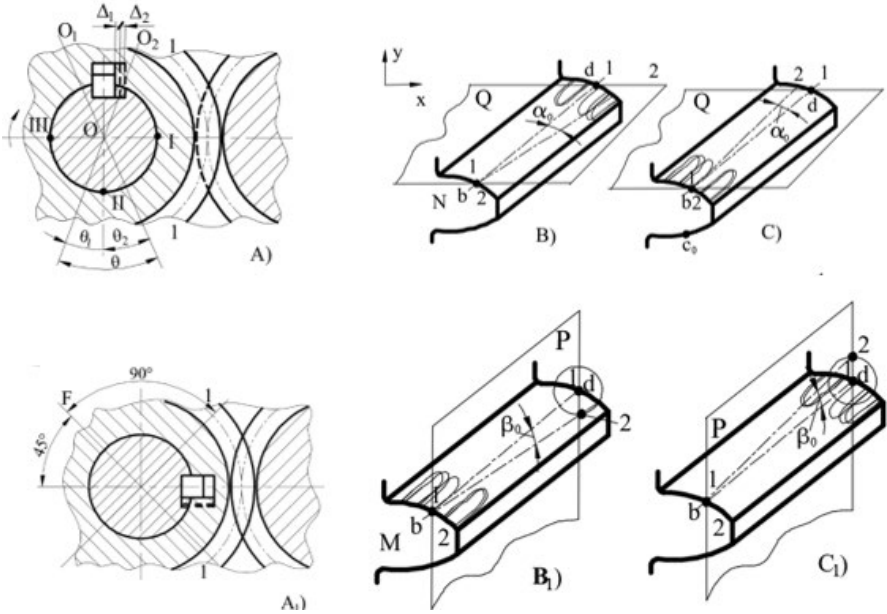
Yalnız işgil birləşməsi elementlərinin müsaidələrinə əsasən ilişən dişlərin istiqamət fərqlərinin müsaidəsinin  $T_0$  riyazi modeli aşağıdakı kimi olar:

$$T_0 = \sqrt{\frac{3}{2} (\sum_{i=4}^6 T_i^2 + \sum_{i=10}^{12} T_i^2)} , \quad (3)$$

burada  $T_i$  –  $i$  sayli təşkilədicinin müsaidəsidir.

Orta ölçülü, nisbətən geniş tətbiq edilən val-işgil-dişli çarx qovuşmaları rəqəmli eksperimentlə araşdırılmış və müəyyən edilmişdir ki, yalnız işgil birləşməsi elementlərinin mümkün sapmaları üzündən ilişən dişlərin istiqamət bucaqlarının fərqi, işgil yuvasının-işgil səthinin oxu paralellikdən sapmasından (dəqiqlik kəmalitəti-10) iki dəfədən də çox alınır.

Nəzəri ilişmədə valların oxlarından keçən müstəvi üzərində dişlərin xətti təmasının bölgü çevrəsinə uyğun  $l-l$  doğuranı üzrə olacağı gözlənilir (Şəkil 2). Əgər real ilişmədə işgilin işçi səthinin valın oxuna paralellikdən sapması onun  $\ell$  uzunluğunda  $\Delta_1$ , dişli çarxın işgil yuvasının işçi səthinin oxuna nəzərən sapması isə  $\Delta_2$  qiymətləri alarsa, onda dişin istiqaməti işgil birləşməsinin vəziyyətindən ( $\pm(\Delta_1+\Delta_2)$ ) asılı olaraq formalaşar (Şəkil 2, A, A<sub>1</sub>). İlişən dişlərin



Şəkil 2. İşgil birləşməsi və dişin istiqaməti sxemləri

təmas nöqtələrinin uzunluqları boyunca biri-birindən uzaqlaşması (və yaxud da yaxınlaşması) nəzəri ilişmə xəttinə nəzərən iki istiqamətdə  $X$  və  $Y$  oxları istiqamətində,  $Q$  və  $P$  müstəviləri üzərində formalaşırlar.

İşgil birləşməsinin valdakı bir–birindən  $90^\circ$  fərqlənən iki vəziyyətində uyğun olaraq  $X$  oxu istiqamətində üfüqi  $Q$  müstəvisi üzərindəki qeyri - paralellik xətalari dişli çarxın oxunun müəyyən  $\alpha_0$  - bucağı (Şəkil 2, A),  $P$  müstəvisi üzərində isə  $\beta_0$  - bucağı qədər çəpləşmələrinə səbəb olur (Şəkil 2,  $A_1$ ). İlişmə bölgəsindəki  $N$  saylı ilişən aparılan dişin 1-1 doğurani ilişmə mövqeyində  $\alpha_0$  bucağı qədər dönür və öz nəzəri vəziyyətini deyil, 2-2 vəziyyətini tutur. Dişin istiqamət xətasına analoji xəta törənir. İlişən dişlər uzunluqları boyunca  $b$  nöqtəsindən  $d$ -yə tərəf üfüqi müstəvi üzərində biri-birinə “yaxınlaşırlar”. Nəticədə, onların təması  $d$  nöqtəsi ətrafındakı bölgələrdə olduğu halda,  $b$  nöqtəsi ətrafında ən böyük araboşluğu yaranır.

$N$  saylı diş işgil birləşməsinin oxunun müəyyən  $\theta$  bucağına uyğun dönməsində ilişmədə olur, və onun  $OO_2$  vəziyyətində ilişmədən çıxır (Şəkil 2, A). Təmas səthinin forması və sahəsi ilişən dişlərin istiqamətləri fərqiindən asılı olaraq, elastiki deformasiyalar miqyasında parabolik şəkildə formalaşır. Diş ilişmədə fasiləsiz səlis döndükcə parabolik təmas səthi də dişin ucundan dibinə tərəf (aparan dişdə isə əksinə) səlis sürüşür (Şəkil 2, B və  $B_1$ ).

İşgil birləşməsi  $90^\circ$  döndükdə  $M$  dişinin təması şaquli  $P$  müstəvisi üzərində analoji qanunauyğunluqla, aralıq mövqelərdə isə bir vəziyyətdən digərinə səlis keçidlə baş verir.

İşgil birləşməsinin digər iki ekstremal vəziyyətində də (val  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  döndükdə) birləşmənin ilişmə mexanizminə təsiri analoji qanunauyğunluq daşıyır.

İşgil və valın oxlarının paralellikdən sapması əks istiqamətdə olduqda  $d$  və  $b$  nöqtələri (Şəkil 2) qeyd olunan funksiyalarını dəyişir və konusun təpəsi artıq  $d$  nöqtəsində olur. Yəni, ilişmənin xarakterinə işgil və val oxlarının çəpləşmə mərkəzinin mövqeyi də təsir edir.

İşgil birləşməsinin dişin istiqamətinə təsirinin azaldılması ilə mexaniki ÖM-nin istismar göstəricilərinin yüksəldilməsi problemi üç istiqamətdə həll edilir:

- işgil birləşməsiz (PtANR) ötürmədən istifadə ilə;
- işgil birləşməsini təkmilləşdirməklə;
- işgil və val oxlarının çəpləşmə mərkəzinin mövqeyini idarə etməklə.

Çəpləşmə mərkəzinin işgil yuvasının ortasında yerləşməsi onun yuvanın ucunda olduğu hala nisbətən konusun “yellənmə” amplitudasının iki dəfə azalmasını təmin edir.

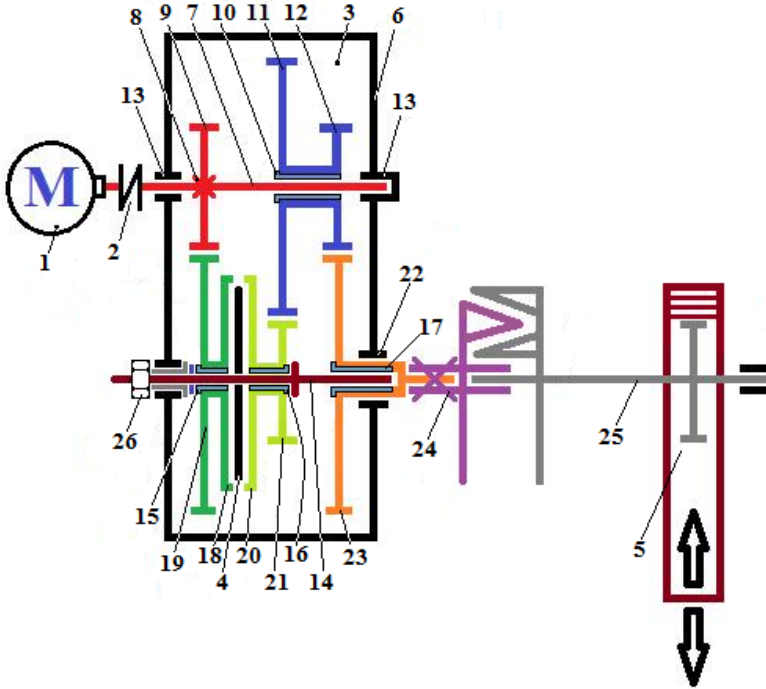
Beləliklə, DYD-nin innovativ mexaniki intiqalının konstruksiyası yuxarıda qeyd olunan əsaslara söykənməlidir.

**III fəsil DYD-nin innovativ mexaniki intiqalının işlənməsi və onun konstruktiv-funksional əlaqələrinin tədqiqinə həsr edilir.**

DYD üçün işgil birləşməsinin dişli ilişməyə neqativ təsirini minimuma endirən, PtANR-ın özəlliklərinə əsaslanan, yüksək istehsal və istismar texnolojiliyi təmin edən üçpilləli dişli çarx ötürməli innovativ mexaniki ötürmə intiqalı işlənmişdir (Şəkil 3).

Innovativ ÖM-nin konstruksiyası və işləmə prinsipi aşağıdakı kimidir: Fırlanma hərəkəti reversiv elektrik mühərrikindən (1) birləşdirici mufta (2) vasitəsi ilə reduktorun gövdəsindəki (3) diyirlənmə yastıqları (13) üzərində yerləşdirilmiş aparıcı vala (7), ondan isə işil birləşməsi (8) ilə dişli çarxa (9) verilir (Şəkil 3); fırlanma hərəkəti dişli çarxdan (9) aparılan val-oxun (14) üzərində sürüşmə yastıqlarında (15,16) yerləşdirilmiş, oxu ətrafında sərbəst fırlanan yığılma konstruktiv ikiçənberli blokun sol hissəsinə-aparılan dişli çarxa (19) və onunla sərt əlaqəli olan friksion qurğunun sol polad diskinə (18), beləliklə də friksion ötürmə ilə blokun sağ hissəsinə, friksionun polad diski (20) ilə sərt əlaqələndirilmiş aparıcı dişli çarxa (21) verilir; sürüşmə yastığı (10) üzərində yerləşdirilmiş ikiçənberli blokun aparılan dişli çarxı (11) hərəkəti alaraq aparıcı dişli çarx (12) vasitəsi ilə ağır yüklənmiş aparılan dişli çarxa (23) ötürür; çıxış ucu bilavasitə reduktorun gövdəsində diyirlənmə yastıqlarında (22) ourdulmuş dişli çarx (23) yumruqlu mufta (24) ilə fırlanma hərəkətini

baş vala (25) və beləliklə də DYD-in elektromexaniki intiqalının tamasa-dişli çarx (5) mexanizminə ötürür. Tamasa-dişli çarx ötürməsində (DYD-in tiyəsində) burucu moment hədd qiymətinə çatdıqda friksion ayrılır və sonrakı bəndlərin hərəkəti dayanır. Lazım gəldikdə, qaykanı (26) sıxmaqla (və ya açmaqla) friksion qurğunun polad diskləri arasındakı sürtünmə momentinin qiyməti tənzimlənir.



**Şəkil 3. DYD-nin elektromexaniki intiqalının innovativ üçpilləli dişli ÖM-nin sxemi**

Təklif olunan ötürücü mexanizmin ÇП seriyalı, müasir yoldəyişənlərin elektromexaniki intiqalları ilə müqayisəsi (ötürmə ədədi, giriş və çıxış burucu momentlər və s.) və ədədi sınaqları aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, təklif olunan ötürücü mexanizm

CII tipli DYD-nin ötürmə mexanizmlərinə nisbətən bir sıra üstünlüklərə malikdir.

ÖM-də dişli ötürmə elementlərinin bucaq xətdərini kompensasiya edən, patent səviyyəsində işlənmiş işgil birləşməsindən istifadə edilir. İşgil birləşməsi oturacağı dairə hissələrindən formalaşan konstruksiyaya malik olan işgil, valda açılmış uyğun konstruksiyalı işgil yuvası və dişli çarxda açılmış prizmatik işgil yuvasından ibarət olub, dişli çarxın oxunun valın oxuna perpendikulyar olan iki fəza oxu ətrafında müəyyən bucaq qədər dönməsini təmin etmək üçün dişli çarxın yerləşdirmə yuvası yəhərvari<sup>1</sup> formada qəbul edilir.

Dişli ilişmə zamanı sistemin özütəşkil olunması baş verir, sistem ən az enerji sərfini təmin edən hala gəlir. Nəticədə, dişli ötürmənin səlisliyi təmin edilir, dişli çarxların xidmət müddəti və yükötürmə qabiliyyəti böyüyür.

DYD üçün işlənmiş ÖM, onun PR yenidir və mexanizmdə təsirdə olan konstruktiv-funksional (ölçü, sürət və s.) əlaqələri təqdim edilir.

PR-da üç qrup ölçü əlaqəsi (funksional, köməkçi və sərbəst) müəyyən edilmiş, onların təyinatı verilmiş, funksional əlaqə növü kimi sürət ÖZ-ləri işlənmişdir. Bir neçə hissənin sürətlərini müəyyənləşdirən biri – biri ilə əlaqəli sürətlərin qapalı dövrəsi sürət ÖZ adlanır. Dişli ötürmənin sürət ÖZ üçbəndli qapalı dövrə şəklində göstərilir (Şəkil 4; məsələn,  $(\omega_1, \Delta\omega_1$  və  $[\omega_2])$ ); ÖZ-də  $\omega_1, \omega_2$  və  $\omega_3$ -uyğun dişli çarxın sürəti,  $\omega_4$ -çıxış valının sürəti, qapayıcı bənddir,  $\omega_4 \Rightarrow [\omega_0]$ ,  $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2$  və  $\Delta\omega_3$  uyğun I, II və III dişli ötürmələrdə sürət dəyişməsini ifadə edən azaldan bəndlərdir).

Dişli  $k$  saylı ötürmə üçün sürət ÖZ-də sürətin dəyişməsi:

$$\omega_k = \omega_1 \frac{u_k - 1}{u_1 \cdot u_2 \cdots u_k} \quad (4)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Burada  $u_k$ -  $k$  saylı ötürmənin ötürmə ədədidir.

---

<sup>1</sup>Patent, ixtira, İ 2016 0053., AR SM və Patent üzrə DK, 29.06.2016,

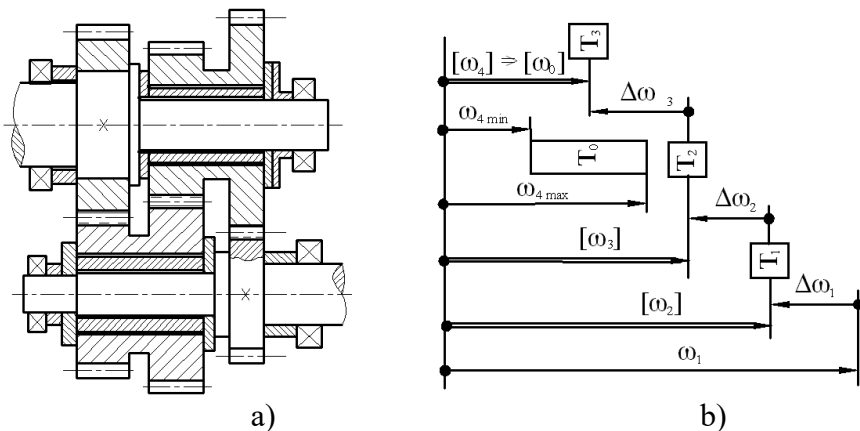


İkinci vuruğu sürət dəyişmə əmsalı adlandırır və  $K_s$  ilə işarə edirik. Sürət dəyişmə əmsalı, ümumi halda:

$$K_s = \frac{u_k - 1}{u_1 \cdot u_2 \cdots u_k} \quad (5)$$

ifadəsindən təyin edilir.

Pillələrin sayından asılı olmayaraq PR-lar vahid mərkəzlərərsə məsafəyə malikdir. Onun elementlərinin ölçü və dəqiqlikləri normalaşdırılmamışdır. Odur ki, PR-larda mərkəzlərərsə məsafə-dişli ötürmənin radial ara boşluğu  $[\Delta]$  əlaqələri funksional radial ÖZ



**Şəkil 4. Üçpilləli PR-da ilişmə sxemi (a) və qapayıcı bəndin sürətinin formalaşması ÖZ (b)**

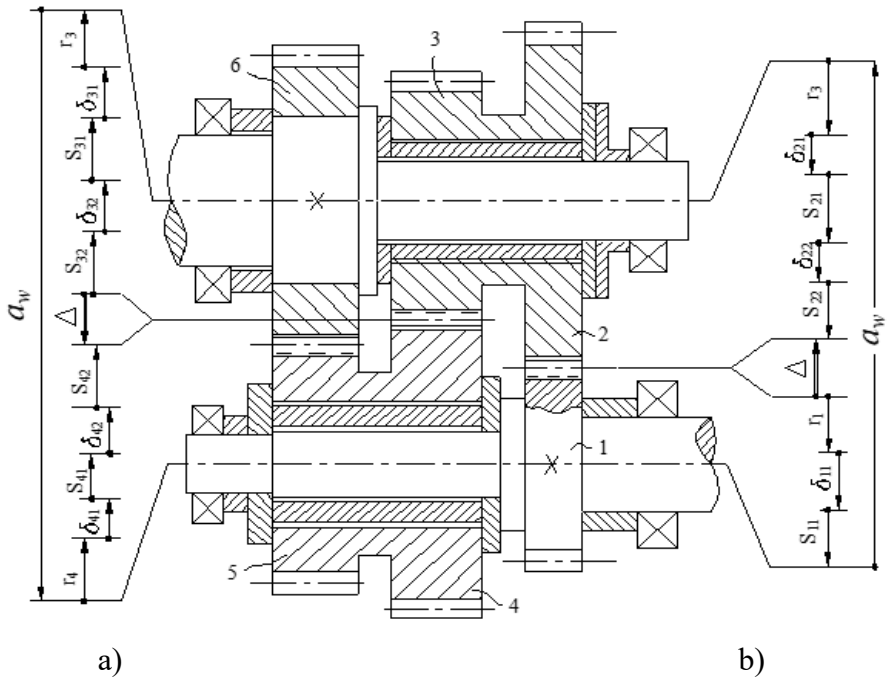
timsalında üç variant üzrə təqdim edilir (Şəkil 5). Hər ikisi ikiqat sürüşmə yastığı ilə təchiz edilmiş dişli çarx ötürməsində (Şəkil 5, a):

$$\Delta = \vec{a}_w + \overleftarrow{r}_3 + \overleftarrow{\delta}_{31} + \overleftarrow{S}_{31} + \overleftarrow{\delta}_{32} + \overleftarrow{S}_{32} + \overleftarrow{r}_4 + \overleftarrow{\delta}_{41} + \overleftarrow{S}_{41} + \overleftarrow{\delta}_{42} + \overleftarrow{S}_{42} \quad (6)$$

burada  $r$ -dişli çarxların bölgü çevrələrinin radiusları,  $S$  və  $\delta$ -uyğun elementlər arasındakı araboşluğu və müsaidələr, indekslər elementin işarəsi-nömrəsidir.

Çıxarılmış ÖZ-dən istifadə etməklə müxtəlif konstruktiv məsələlər həll, o cümlədən mərkəzlərarası məsafənin təşkilədicilərinin ölçü və müsaidələri təyin edilə bilər. Layihə mərhələsində səmərəliliyi təmin etmək üçün (6) ifadəsindəki təşkilədicilərdən birinin nizamlayıcı bənd kimi qəbul edilməsi önəmlidir.

Vahid mərkəzlərarası məsafəyə malik PR-un ümumi ötürmə ədədi pillələr arasında bərabər bölünür. Lakin, ötürmə ədədinin bu cür bölünməsi heç bir əsasa malik deyildir. PR-un konstruksiyasının ötürmə ədədi üzrə optimallaşdırılması üçpilləli ötürmə timsalında aparılır.



**Şəkil 5. Üçpilləli PR-da bəzi ÖZ-nin sxemləri**

Optimallaşdırma şərtləri və məhdudiyyətləri qəbul edilir. Dişlərin yalnız kontakt gərginliyinə möhkəmlik hesabalarına

əsaslanan və reduktorun əndazə ölçüləri-əhatə uzunluğunun ( $L$ ) minimumluğunu təmin edən şərt müəyyənləşdirilir (Şəkil 5):

$$L = a_w + 0,5(d_{w4} + d_{w6}) \Rightarrow \min , \quad (7)$$

burada  $d_{w4}$  və  $d_{w6}$  - uyğun dişli çarxların diametrləridir.

Ötürmə ədədlərinin həndəsi silsilə üzrə dəyişdiyi və onun orta q vuruğu  $\varphi$  qəbul edilərək ( $\varphi = 1,02; 1,06; \dots; 2,00$ ), ümumi ötürmə ədədinin ( $u$ ) pillələr üzrə ( $u_1, u_2$  və  $u_3$ ) qiymətləri təyin edilir:

$$u_3 = \frac{\sqrt[3]{u}}{\varphi} ; \quad u_2 = \sqrt[3]{u} ; \quad u_1 = \varphi \sqrt[3]{u} \quad (8)$$

İlk yanaşmada qəbul edilir ki, bütün pillələrdə uyğun hissələr üçün eyni materialdan istifadə olunur, dişlərin eni əmsalları eyni qiymət alır ( $K_a = K_{a1} = K_{a2} = K_{a3}$ , və s., burada indekslərdəki rəqəmlər parametrin uyğun pilləyə mənsub olduğunu göstərir), f.i.ə.-ləri ( $\eta_i$ ) vahidə bərabər qəbul edilirlər.

Silindrik düz dişli ilişmələrdə ötürmənin kontakt gərginliyinə mövcud möhkəmlik hesabı<sup>2</sup> ifadəsini tətbiq etməklə PR-un uzunluğunun ümumi ifadəsi alınır:

$$L_1 = B \left( \frac{\sqrt[3]{u}}{\varphi} + 1 \right) \cdot \frac{\sqrt[3]{\varphi^2 u^3 \sqrt[3]{u}}}{1 + \sqrt[3]{u}} + B \left( \frac{\sqrt[3]{u}}{\varphi} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\varphi^2 \sqrt[3]{u}} + \\ + B \cdot \frac{(\sqrt[3]{u} + \varphi) \sqrt[3]{\varphi^2 u^3 \sqrt[3]{u}}}{1 + \varphi \sqrt[3]{u}} \Rightarrow \min \quad (9)$$

Burada  $B$  vuruğunun tərkibində  $\varphi$  parametri olmadığından optimallaşdırma zamanı onu nəzərə almamaq olar ( $B = f(K_a, T_i, \eta_1, K_{H\beta}, \psi_a, [\sigma]_H) *$ ).

«EXEL» programı ilə ötürmə ədədi  $u=27$  və  $72,3$  olan üçpilləli paket tipli “AN” reduktorlarının ən kiçik-optimal uzunluğunu təmin edən  $\varphi$  vuruğunun qiyməti təyin edilmişdir.

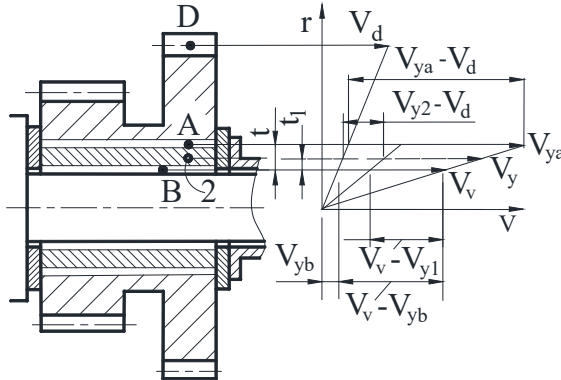
<sup>2</sup>Иванов М.Н. Детали машин. Учебник / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – Москва: «Высшая школа», - 2008. – 408 с.

Umumi ötürmə ədədinin  $u = 27$  qiymətində ənənəvi reduktorun ən kiçik uzunluğu  $\varphi = 1$  olduqda, üçpilləli “AN” tipli reduktorun ən kiçik uzunluğu isə  $\varphi = 1,06$  olduqda təmin edilir. Bu zaman “AN” reduktorunun uzunluğu ümumi ötürmə ədədinin pillələr arasında bərabər paylanmasına nisbətən 1,4 % kiçik alınır, “AN” reduktorunun uzunluğunun ənənəvi reduktora nisbətən ~17,9 % azalması təmin edilir.

ÖM-nin təyinatını yerinə yetirmə qabiliyyəti ikiqat sürüşmə yastığı qovşaqlarının işindən asılıdır. PR-in sürtünmə qovşaqlarının triboloji göstəricilərinin idarə olunaraq, əlverişli qiymətlərinin təmini üçün qovşaqlardakı triboloji rejimlərin öyrənilməsi vacib məsələdir.

#### IV fəsil ÖM-nin çoxpilləli PR-nun hissələrinin sürtünmə və yeyilmə məsələlərinə həsr olunur.

PR-in xidmət müddətlərini əsasən sürtünmə şəraiti və rejimi kəskin fərqlənən, sürtünmə nəticəsində yeyilərək öz ölçü və formalarını dəyişən səthlər məhdudlaşdırır. İşdə beş qrup üzrə təsnif edilən və II qrupa daxil olan belə səthlərə malik ikiqat sürüşmə yastığı işçi mövqedə sərbəst vəziyyətdə olduğundan, iş şəraitindən asılı olaraq, o, müxtəlif tezliklə fırlana bilər (Şəkil 6).



Şəkil 6. Aparan val üzərində ikiqat sürüşmə yastıqlarının sürətlər planı

İkiqat sürüşmə yastığının özəlliği sürtünmə şəraitini (yastığın divarının qalınlığı  $t$ , onun fırlanma tezliyi, triboloji cütlərin materialları və s.) idarə etməklə nisbi sürüşmə mövqeyini dəyişməyin, sürtünməni idarə etməyin mümkünlüyüdür. Əgər sürüşmə sürətinin böyüklüyü üzündən triboloji cütdə yeyilmə intensivliyi nisbətən yüksək olarsa, onda sürət iki triboloji cütə bölünməklə əsaslı azaldıla və sürtünmə üçün daha əlverişli şərait yaradıla bilər. Bu məsələ aparana vala (həmçinin aparılan vala) məxsus sürtünmə cütlərində formalaşan sürətlər planı üzərində araşdırılır (Şəkil 6).

Nisbi sürüşmə yalnız val – yastıq qovuşma səthləri üzrə (B nöqtəsi bölgələrində) baş verir, nisbi sürüşmə sürəti (NSS) ( $V_v - V_{yb}$ ) olur ( $V_v$  və  $V_{yb}$  - uyğun olaraq val və dişli çarx-yastığın B nöqtəsindəki sürətləridir).

Nisbi sürüşmə yalnız yastıq – dişli çarx səthləri üzrə (A nöqtəsi bölgələrində) baş verir və NSS ( $V_{ya} - V_d$ ) olur ( $V_{ya}$  və  $V_d$  - uyğun olaraq yastığın A nöqtəsində və dişli çarxın D nöqtəsindəki sürətləridir).

Sürüşmə yastığı sərbəst fırlanır. Nisbi sürüşmə hər iki təmas səthləri üzrə (həm A və həm də B nöqtələri bölgələrində) baş verir. Bu halda, ümumi NSS iki toplanana ayrılır: B nöqtəsi bölgəsində ( $V_v - V_{yb1}$ ), A nöqtəsi bölgəsində isə ( $V_{ya1} - V_d$ ) olur. Yastığın divarının qalınlığının  $t$ -dən  $t_l$ -ə azaldılması və sürtünmə əmsalının idarə edilməsi sürtünmə qovşaqlarında olan ən böyük NSS-nin qiymətini azaltmağa imkan verir (Şəkil 6). Çünki, bu halda

$$V_v - V_{y1} < (V_v - V_{yb}) < (V_{ya} - V_d) \quad , \quad (10)$$

$$\text{və} \quad (V_{y2} - V_d) < (V_v - V_{yb}) < (V_{ya} - V_d) \quad . \quad (11)$$

burada  $V_{y1}$  və  $V_{y2}$  yastığın daxili və xarici (2 səthi) nöqtələrindəki sürətlərdir.

Bu variantların hər birinin reallaşması ehtimalı qovuşma bölgələrində formalaşan sürtünmə qüvvələrindən yaranan burucu momentlərin (sürtünmə işinin) qiymətləri nisbəti ilə müəyyənləşir. Bu zaman yastığın divarının qalınlığının  $t_l \Rightarrow$  min qiyməti iqtisadi baxımdan ən əlverişli variant hesab olunmalıdır.

Aparan valın sürtülmə qovşaqlarında faktiki NSS (Şəkil 6):

I. Nisbi sürüşmə yalnız B nöqtəsi bölgəsi üzrə baş verir. Bu halda çoxpilləli PR-larda ötürmələrin sıra sayı  $n$ -cüt olduqda ( $n$ -tək olduqda isə,  $u_{n-1}$ ) NSS,  $V_s$ :

$$V_s = 2 \cdot 10^{-3} \pi r_v n_v \left(1 - \frac{1}{u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n}\right), \frac{m}{d\text{əq}} \quad (12)$$

burada  $r_v$  və  $n_v$ -uyğun olaraq valın radiusu və fırlanma tezliyidir.

II. Sürüşmə yalnız A bölgəsi üzrə baş verir, onda NSS,  $V_s'$ :

$$V_s' = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot n_v (r_v + t) \left(1 - \frac{1}{u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n}\right), \frac{m}{d\text{əq}} \quad (13)$$

III. Nisbi sürüşmə həm A,  $V_{sa}$  və həm də B nöqtəsi bölgələri üzrə,  $V_{sb}$  baş verərsə, onda yastığın divarının  $t_l$  qalınlığında (Şəkil 6):

$$V_{sb} = 2 \cdot 10^{-3} \pi r_v (n_v - n_{y1}), \quad \frac{m}{d\text{əq}}, \quad (14)$$

$$V_{sa} = 2 \cdot 10^{-3} \pi (r_v + t_1)(n_{y1} - n_d), \quad \frac{m}{d\text{əq}}. \quad (15)$$

Aparılan valın sürtülmə qovşaqlarında da analoji sürətlər planı tərtib edilərək, sürət dəyişmələri araşdırılır.

ÖM-nin sürtülmə qovşaqlarının işini qiymətləndirmək üçün sürtülmə işi araşdırılır. Əlbəttə, sürtülmə zamanı yeyilmənin sürtülmə işindən asılılığı  $U=f(A)$  təqribi xarakter daşısı da yeyilmənin müqayisə xarakterli nisbi qiymətləndirilməsində ondan istifadəni mümkün hesab etmək olar.

Aparan val üzərindəki sürtülmə qovşağında yaranan sürtülmə işi  $A_2$ , val-oymaq qovşağındakı (sürtülmə əmsalı  $f_1$ ) sürtülmə işi  $A_{21}$ , oymaq-dişli çarx qovşağında (sürtülmə əmsalı  $f_2$ ) formalaşan sürtülmə işi  $A_{22}$  təyin edilərək müqayisə edilir. Konstruktor və istismar məsələsi bunlardan əlverişlisinin təmin edilməsindən ibarətdir. Əgər

$$f_1 r_v > f_2 (r_v + t) \quad (16)$$

olarsa, sürüşmə nəzəri baxımdan yastıq – dişli çarx, əks halda isə val-yastıq qovuşmasında baş verir, çün ki,  $A_{21} < A_{22}$ . Əgər

$$f_1 = f_2 \left(1 + \frac{t}{r_v}\right) \quad (17)$$

olarsa, hər iki qovuşmada sürüşmə baş verir. (17) şərtinin təmini mürəkkəbdir, lakin, ən əlverişli haldır. Çünki, bu halda ən böyük yeyilməyə məruz qalan hissə sürtünmə oymağı olur və təmir zamanı onun dəyişdirilməsi iqtisadi cəhətdən daha əlverişlidir.

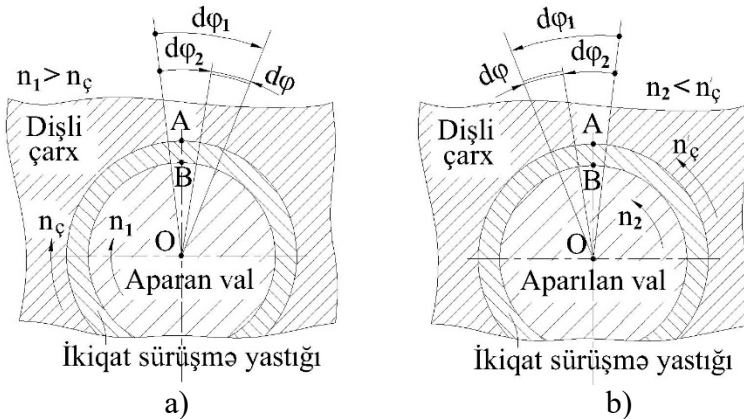
Sürtünmə işinin nəticəsində təmas səthlərinin radial yeyilməsi qədər dişli çarxlar valın oxuna tərəf yerdəyişmə alırlar və ilişən dişlər arasında yan ara boşluğu böyüyür, dişlərin ilişmə səlisliyi pisləşir. Odur ki, təmas səthlərinin radial yeyilmələrinin təyin edilərək müqayisə və idarə edilməsi əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqsədlə yeyilmə kütləsinin sürtünmə işinə ekvivalent olduğu qəbul edilir.

Əgər aparən val elementar  $d\varphi_1$  bucağı (radianla) qədər dönərsə sürüşmə yastığı və dişli çarx bloku  $d\varphi_2$  bucağı qədər dönər (Şəkil 7, a),  $d\varphi_1 > d\varphi_2$ . Aparən valın ilk sürtünmə qovşağında valın  $\tau$  iş saati ərzində  $F$  sürtünmə qüvvəsinin gördüyü iş:

$$A_\tau = \int_0^{120\pi n_1 \tau} (P_2 + P_3) f_1 \cdot r_v (d\varphi_1 - d\varphi_2) \quad (18)$$

olar.  $P_2$  və  $P_3$ - aparən val üzərindəki ilk sürtünmə qovşağına təsir edən radial qüvvələrdir.

Yeyilmə intensivliyi (xüsusi yeyilmə)  $U_0$ , materialın xüsusi kütləsi  $\gamma$  qəbul edilərək qovşağın radial yeyilməsi tapılır:



**Şəkil 7. Qovşaqlarda radial yeyilmənin təyini üçün sxemlər**

$$\Delta = \frac{60(P_2 + P_3) \cdot f_1 \cdot n_v \cdot \tau \cdot U_0}{\ell \cdot \gamma} \left(1 - \frac{1}{u_1 \cdot u_2}\right). \quad (19)$$

Nisbi fırlanma hərəkəti yalnız yastıq-dişli çarx qovşağında baş verdikdə (A nöqtəsi, Şəkil 7, a)  $\tau$  zaman müddətində sürtünmənin gördüyü işə əsasən radial yeyilmə təyin edilmiş, (19) ifadəsi ilə müqayisə edilmiş və müəyyən edilmişdi ki, analoji nisbi sürüşmə şəraitində qovuşan səthlərin radial yeyilməsi sürüşmə şəraitindən asılı olub, nisbi sürüşmə hərəkətinin baş verdiyi yerdən asılı deyildir.

Analoji metodika ilə val-ox (aparılan-ikinci val) sürüşmə yastığı qovşaqlarında radial yeyilmə  $\Delta_1$  təyin edilir (Şəkil 7, b):

$$\Delta_1 = \frac{60(P_1 + P_2)f_0 \cdot n_v}{\ell_1 \cdot \gamma} \left(\frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_1 \cdot u_2 \cdot u_3}\right) U_0 \tau. \quad (20)$$

Sürüşmə yastığı qovşaqlarında sürtünmə rejimlərinin müxtəlifliyi qovşaqların qeyri– bərabər yeyilməsini törədir. Bu zaman, yeyilmiş hissələrin dəyişdirilməsi təmir səmərəliliyinin aşağı olmasına səbəb olur, hissələrin dəyişdirilməsi tsikli ərzində onların istismar resursundan tam istifadə olunmur.

PR-dan istifadə səmərəliliyi qovşaqlarda yeyilmənin bərabərliyi və minimumluğu ilə təmin edilir. Bu şərtə əsasən:

$$\frac{(P_2 + P_3)u_3}{\ell} - \frac{P_1 + P_2}{\ell_1} = 0. \quad (21)$$

Bu şərti hətta triboloji cüt hissələrinin materiallarını idarə etməklə təmin etmək də olar. Bunun üçün:

$$\frac{(P_2 + P_3) \cdot f_1 u_1 \cdot U_0}{\ell \cdot \gamma} = \frac{(P_1 + P_2)f_0 \cdot U_0^1}{\ell_1 \cdot \gamma} \quad (22)$$

şərti təmin edilməlidir.

Sürtünmə qovşaqlarının yeyilmədavamlılığına təsir edən amillərdən biri də təmas səthlərinin kələ-kötürlükləridir. İstehsal prosesi ilə sürtünən səthlərdə onların istismarı zamanı normal yeyilmə dövründə formalaşan kələ-kötürlüyə malik nahamarlığın formalaşdırılması təklif edilir.



**V fəsilədə ikiqat sürüşmə yastığı üçün material seçimi üzrə təcrübələrin aparılması, onun nəticələri və nəticələrin interpretasiyası təqdim olunur.**

Təcrübə nümunələri  $\Phi P_r - 1,8$ ;  $\Phi P_r - 2,3$ ;  $\Phi P_r - 2,9$ . rotasion kompressorların köməkçi yastıq və silindrlərindən, lift mühərriklərinin yastığından və tunc MS-58 materiallarından diametri  $\text{Ø}7 \text{ mm}$ , uzunluğu  $30 \text{ mm}$  biçimdə (Şəkil 8) aşağıdakı tərkibdə hazırlanmışdır:

1. Köməkçi yastıq materialı: Fe-100 % dəmir ovuntusu;
2. Silindr materialı: 0,5 % C; 3 % Cu və 96,5 % Fe;
3. Tuncqrafit (lift mühərrikinin yastığı): 0,8 % C, 36 % Cu, 4 % Sn, qalanı tunc Бр010С1,5Ц (10 % Sn, 1,5 % Pb, 1 % - dək Zn, qalanı Cu);
4. Tunc MS-58 (Türkiyə materialı).



**Şəkil 8. Sınaq nümunələri**

Sürtünmə cütü kimi qeyd olunan materiallara malik nümunələrin yastı yan səthi və diametri  $\text{Ø}40 \text{ mm}$  olan polad 38X2MFOA materialından hazırlanmış çubuq nümunənin silindrik səthi qəbul edilmişdir.

Təcrübələr:

$$V_{sh} \Rightarrow 0,1 \text{ m/san}; \quad 0,3 \text{ m/san}; \quad 0,5 \text{ m/san}; \quad 0,7 \text{ m/san}$$

sürtünmə sürətləri (val-nümunənin fırlanma tezliyinə uyğun),

$$P \Rightarrow 1,0 \text{ MPa}; \quad 2,5 \text{ MPa}; \quad 4,0 \text{ MPa}; \quad 5,5 \text{ MPa}$$

təmas səthinə xüsusi təzyiq (XT) və sürtünmə bölgəsinin *I-40* “Industrial” yağı ilə yağlanması şəraitində aparılmışdır. Bütün nümunələr üçün sürtünmə yolunun uzunluğu *2,25 km* götürülmüşdür.

Paralel təcrübələrin sayı iki və onların nəticələrinə əsasən bəzən də üç götürülmüş, alınan nəticələrin etibarlılığının *95 %* dəqiqlik çərçivəsində təmin edilməsinə zəmin yaradılmışdır.

Çubuq nümunələrin yeyilməsi həm kütlə, həm də xətti (birbaşa və dolayı yolla) ölçülərin dəyişməsi üzrə ölçülmüşdür.

Müxtəlif sürtünmə rejimlərində nümunələrin yeyilməsindən təcrübələrdə alınmış orta nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir. Nümunələrin yeyilməsinin (*U*) sürtünmə rejimindən (*V, P* və *M*-material) asılılıqlarının ( $U=f(V,P,M)$ ) araşdırılması göstərir ki, sürtünmə şəraitinin qəbul edilmiş dəyişmə diapazonunda nümunələrin yeyilməsi ümumilikdə *5,85* dəfə fərqlənir və hər bir materialın sürtünmə şəraitinin dəyişməsinə həssaslığı müxtəlifdir.

Materialların yeyilmə davamlılığının iş şəraitindən asılı olaraq dəyişməsinə, materialın sürtünmə rejiminə yeyilmə üzrə həssaslıq əmsalı ilə qiymətləndirmək tövsiyə edilir.

Cədvəl 1.

### Sınaq nümunələrinin yeyilməsi

Sıra sayı	Nisbi sürüşmə sürəti, <i>m/san</i>	Nümunənin yeyilməsi, <i>mm</i>															
		Nümunənin materialı															
		Köməkçi yastıq materialı				Silindr materialı				Tuneqrafit				Tunc MS-58			
		Təmas səthində xüsusi təzyiq, <i>MPa</i>															
		1,0	2,5	4,0	5,5	1,0	2,5	4,0	5,5	1,0	2,5	4,0	5,5	1,0	2,5	4,0	5,5
1	0,10	1,24	1,21	1,41	1,81	0,74	0,85	0,84	1,13	0,61	0,68	0,48	0,75	0,52	0,59	0,51	0,51
2	0,30	1,31	1,32	1,46	1,87	0,86	1,01	0,98	1,49	0,60	0,73	0,67	1,07	0,71	0,85	0,77	0,78
3	0,50	1,51	1,79	1,87	2,43	1,06	1,15	1,41	1,83	0,72	0,82	1,13	1,48	0,82	0,95	0,99	1,21
4	0,70	2,15	2,20	2,49	2,81	1,22	1,55	1,76	2,36	1,05	1,09	1,51	2,17	1,24	1,21	1,19	1,57

Sürüşmə rejimi elementlərinin verilmiş dəyişmə diapazonunda materialın ən böyük yeyilməsinin ( $U_{max}$ ) ən kiçik yeyilməsinə ( $U_{min}$ ) nisbəti materialın sürtünmə şəraitinə həssaslıq əmsalı ( $K_h$ ) adlanır:

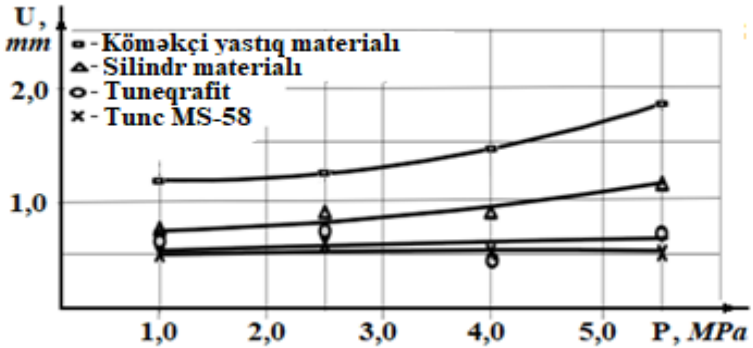
$$K_h = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad (23)$$

Tədqiq olunan materiallar üçün sürtünmə şəraitinə həssaslıq əmsalı: köməkçi yastıq materialı: 2,32; silindr materialı: 2,81; tuneqrafit: 4,52; tunc MC-58: 3,08 olmuşdur. Beləliklə, köməkçi yastıq materialı ən aşağı yeyilmə davamlılığı göstərsə də, onun sürtünmə şəraitinin dəyişmə şəraitinə həssaslığı da aşağı olmuşdur.

### Xüsusi təzyiqin nümunələrin yeyilməsinə təsiri.

Nümunələrin yeyilməsinin XT-dən asılılıqları ( $U=f(P)$ ) ümumilikdə, anoloji qanunauyğunluq üzrə baş versələr də, müxtəlif nisbi sürüşmə şəraitində kəmiyyət baxımından kəskin fərqlənirlər:

*Nisbi sürüşmənin 0,1 m/san sürətində* tuneqrafit və tunc MS-58 materiallarından hazırlanmış nümunələrin sınaqlarında yeyilmənin XT-dən asılılığı özünü biruzə verməmiş, demək olar ki, stabil qalmışdır (Qrafik 1).

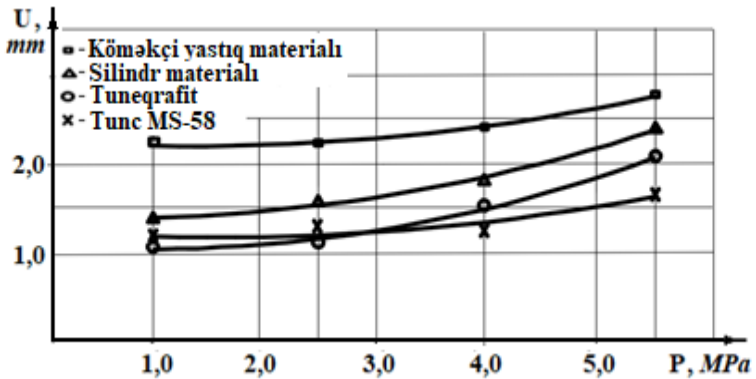


Qrafik 1. Nisbi sürüşmənin  $V=0,1$  m/san sürətində nümunələrin yeyilməsinin XT-dən asılılığı

Silindr və köməkçi yastıq materiallarının XT-dən asılılığı, sonuncunun dəyişmə diapazonununun böyük olmasına baxmayaraq ( $P=1,0\div5,5$  MPa), nisbətən kiçik intervalda, kiçik ifadə olunmuş parabolik əyri üzrə dəyişir. Təzyiq  $P=5,5$  MPa olduqda isə nümunələrin yeyilməsi artmış və uyğun olaraq  $1,81$  mm və  $1,13$  mm-ə çatmışdır. Yeyilmə təqribən  $1,5$  dəfə artmışdır. Tunc MS-58 materialından hazırlanmış nümunənin, yüksək təzyiqlərdə yeyilməsi isə hətta bir qədər ( $\sim 15\%$ ) azalmışdır. Sürtünmə şəraiti çərçivəsində ən yüksək həssaslıq əmsalına ( $K_h = 1,53$ ) silindr materialı, ən kiçik həssaslıq əmsalına ( $K_h = 1,16$ ) isə tunc MS-58 materialı malik olmuşdur.

Nisbi sürüşmənin  $0,3$  m/san və  $0,5$  m/san sürətlərində də  $U=f(P)$  asılılığı cədvəl 1-də təqdim edilmiş nəticələrə əsasən araşdırılır.

Nisbi sürüşmənin  $0,7$  m/san sürətində tunc MS-58-dən hazırlanmış nümunənin yeyilməsinə  $P = 4$  MPa-dək xüsusi təzyiğin dəyişməsi təsir etmir. Xüsusi təzyiğin  $P \approx 2,8$  MPa qiymətində ən az yeyilməyə tuneqrafit,  $P > 2,8$  MPa qiymətlərində isə tunc MS-58 məruz qalırlar (Qrafik 2).



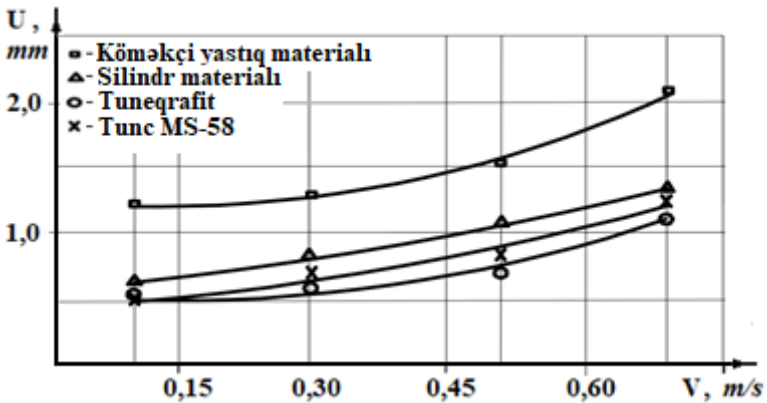
**Qrafik 2. Nisbi sürüşmənin  $V=0,7$  m/san sürətində nümunələrin yeyilməsinin XT-dən asılılığı**

Tuneqrafit material yeyilməyə daha həssas ( $K_h = 2,07$ ), köməkçi yastıq materialı isə nisbətən aşağı həssaslığa ( $K_h = 1,3$ ) malik olmuşdur. Xüsusi təzyiqin  $P = 1,0$  MPa qiymətində köməkçi yastıq materialının yeyilməsi yüksək yeyilmə davamlılıqlı tuneqrafitin yeyilməsindən 2,05 dəfə,  $P = 5,5$  MPa qiymətində isə tunc MS-58 -in yeyilməsindən 1,79 dəfə çox olmuşdur.

Beləliklə, 42 m/dəq sürətlərdə, 1,0-5,5 MPa XT-lərdə işləyən polad materialdan hazırlanmış vallar və dişli çarxlarla təmasda olan ikiqat sürüşmə yastığı oymaqları üçün tunc və tuneqrafit materiallardan istifadə daha əlverişlidir.

**Nisbi sürüşmə sürətinin yeyilməyə təsiri.** XT-in  $P=1,0$  MPa qiymətində bütün materiallardan hazırlanmış nümunələrin yeyilməsinin NSS-dən asılılıqları ( $U=f(V)$ ) əyrixətli qanun üzrə dəyişir (Qrafik 3).

Tunc MS-58, tuneqrafit və silindr materiallarından hazırlanmış nümunələrin yeyilməsi, onların yeyilmə davamlılıqları NSS-nin bütün qiymətlərində yaxın olmuş, təqribən 30 %-dək fərqlənmişlər. Lakin, köməkçi yastıq materialının yeyilməsi digər üç materialın yeyilməsinə nisbətən böyük qiymətlər almış və demək olar ki, onlardan iki dəfə

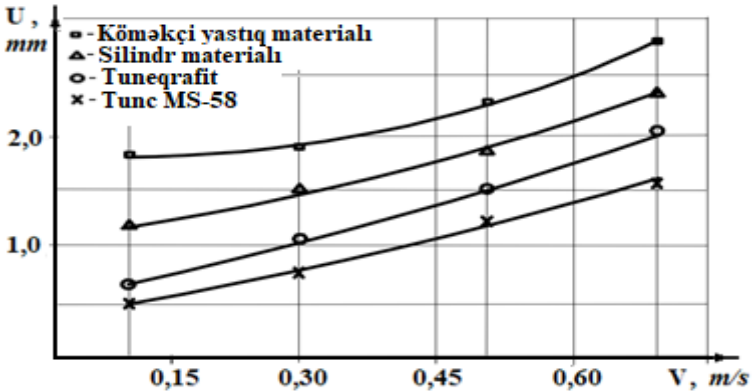


Qrafik 3. Çubuq nümunələrin yeyilməsinin NSS-dən asılılığı (XT P=1,0 MPa)

çox fərqlənmişdir. Ən az yeyilən material tuneqrafit olmuşdur. NSS-in dəyişmə diapazonu çərçivəsində yeyilməyə davamlılıq üzrə ən yüksək stabilliyi silindr materialı ( $K_h = 1,65$ ), ən aşağı stabilliyi isə sürtünmə rejiminə-yeyilməyə daha yüksək həssaslığı olan tunc MS-58 ( $K_h = 2,38$ ) təmin edir. Köməkçi yastıq materialı və tuneqrafitin sürtünmə rejiminə həssaslıq əmsalları aralıq mövqelərdə, uyğun olaraq  $K_h = 1,73$  və  $K_h = 1,72$  olmuşdur.

XT-in  $P=2,5$  və  $P=4,0$  MPa qiymətlərində NSS-nin yeyilməyə təsiri də cədvəl 1-də təqdim edilmiş nəticələrə əsasən aparılır.

XT-in  $P=5,5$  MPa qiymətində ən yüksək yeyilmə davamlılığını tunc MS-58 materialından hazırlanmış nümunə, ən aşağı yeyilmə davamlılığını, digər sürtünmə rejimlərində olduğu kimi, köməkçi yastıq materialı göstərmişdir (Qrafik 4). Aşağı XT-lərdən fərqli olaraq,  $5,5$  MPa XT-də sürtünmə şəraitində tuneqrafit materialından hazırlanmış nümunənin yeyilməsi də tunc MS-58 materialından hazırlanmış nümunənin yeyilməsinə nisbətən yüksək olmuş, NSS-nin  $0,1$  m/san qiymətində  $1,47$  dəfə,  $0,3$  m/san sürətdə  $1,37$ ,  $0,5$  m/san -də  $1,22$  və  $0,7$  m/san qiymətində isə  $1,38$  dəfə çox olmuşdur.



Qrafik 4. Çubuq nümunələrin yeyilməsinin NSS-dən asılılığı (XT  $P=5,5$  MPa)

*Mərkəzi val-nümunəsinin* yeyilməsini demək olar ki, müəyyən etmək mümkün olmamışdır.

Təcrübələrin nəticələrinə əsasən, XT-in  $1,0$ ;  $2,5$  və  $4,0$  MPa, NSS-nin isə bütün qiymətlərində nisbətən yüksək yeyilmədavamlığına malik olan tuneqrafit və XT  $\sim 5,0$  MPa-dan böyük olduqda isə tunc MS-58 materialından hazırlanmış ikiqat sürüşmə yastıqları PtANR-larda istifadə üçün tövsiyə olunurlar.

## NƏTİCƏ

1. Dişli çarx və ötürmələrin işgil birləşmələrinin bucaq ÖZ tərtib edilmiş, işgil birləşməsinin tutduğu vəziyyətdən asılı olaraq ilişən dişlərin təmas səthlərinin mövqeyinin dəyişməsi aşkar edilmiş və onun mexanizmi açıqlanmışdır [5], [8], [10], [19].

İşgil birləşməsinin ilişmənin keyfiyyətinə neqativ təsirini aradan qaldırmağa imkan verən, dişli ilişmə zamanı sistemin ən az enerji sərfinə əsaslanan və öztəşkil olunmasını təmin edən silindrik işgil birləşməsinin konstruksiyası Azərbaycan patenti səviyyəsində işlənmiş və tətbiq edilmək üçün tövsiyə edilmişdir [27].

2. Dəmir yol nəqliyyatının işi araşdırılmış, DYD-in istehsal və istismar keyfiyyətinin yüksəldilməsini, mexaniki ÖM-nin texniki səviyyə göstəricilərinin dörd istiqamətdə yüksəldilməsini təmin edən, elektromexaniki intiqalının PR-lu innovativ konstruksiyası Avrasiya patenti səviyyəsində təqdim və istifadə üçün tövsiyə edilir [1], [2], [23], [28], [29], [30].

3. PR-da formalaşan ÖZ funksional və formalaşma mexanizmi baxımından təsnif edilir: funksional ÖZ üç növə bölünür: dişli çarx və ötürmələrin parametrlərinin, sürət və güc ÖZ. Sürət ÖZ-nin mahiyyəti, formalaşma mexanizmləri, onların qurulma və hesablama qaydaları verilir. Sürət ÖZ-nin qapayıcı bəndinin dəyişməsinə qiymətləndirmək və müqayisə etmək üçün sürət dəyişmə əmsalı ( $K_s$ ) və sürətin dəyişmə ölçüsü ( $K_V$ ) anlayışları verilir [13], [14], [15].

4. ÖM-nin (PR-ın) dişli çarx və ötürmələrinin dəqiqlik parametrlərinin radial ÖZ tərtib edilmiş, işgil birləşməli val-dişli çarx və ikiqat sürtünmə yastıqlı val-yastıq-dişli çarx qovşaqlarında formalaşan ÖZ müqayisə edilmiş, aşkar edilmişdir ki, sürtünmə yastıqlı birləşmələrdə ÖZ-nin təşkilədiçi bəndlərin sayının çox olmasına baxmayaraq, onlar biri-birini əvəz edə bilirlər, qapayıcı bəndin yüksək dəqiqliyi təmin edilir [6], [7], [8].

5. ÖM-nin reduktorunun əndazə ölçüləri üzrə optimallaşdırılması aparılmış, ümumi ötürmə ədədinin pillələr arasında əlverişli paylanması təyini metodikası işlənmişdir. Üçpilləli, ümumi ötürmə ədədi  $i=27$  olan PtANR-da ötürmə ədədinin pillələr arasında optimal paylanması onun bərabər paylanmasına nisbətən uzunluğunun 1,4 % kiçik alınması, uyğun ənənəvi reduktora nisbətən isə ~17,9 % azalması təmin edilir [11], [12], [25].

6. ÖM-nin nisbi hərəkətə malik-qovuşan, yeyilməyə məruz qalan səthləri təsnif edilir. İkiqat sürüşmə yastığı qovşaqlarına malik dişli çarx ötürmələrinin sürətlər planı verilir. İkiqat sürüşmə yastığının sürtünmə səthlərinin nisbi hərəkət sürətlərinin təyini və müqayisəsi üçün düsturlar ((12), (13), (14) və (15)), qovşaqlarda sürtünmə əmsallarının əlverişli dəyişmə asılılıqları, onların sürtünmə sürəti ilə əlaqə düsturları ((16), (17)) verilir. Nisbi sürüşmənin val-yastıq və ya yastıq-dişli çarx təmas səthləri üzrə baş verməsinin idarə edilmə mexanizmi açıqlanır [9].

7. Sürtünmə qovşaqlarında radial yeyilmənin qiymətləri təyin ((19), (20)) və müqayisə edilir. İkiqat sürüşmə yastığı qovşağı elementlərinin səthlərinin radial istiqamətdə yeyilməsi sürüşmə şəraitindən asılı olub, nisbi sürüşmə hərəkətinin baş verdiyi yerdən (yastığın daxili və ya xarici səthi üzrə sürüşmə) asılı deyildir. Reduktorun etibarlılığını təmin etmə mənbələrindən biri kimi qovşaqlar üzrə yeyilmə intensivliyinin bərabərliyinin təmin edilməsi tövsiyə edilir, bunun üçün riyazi model verilir (23) [24].



8. Sürtünən səthlərinin başlanğıc-istehsal kələ-kötürlüyünün normal yeyilmə dövründə formalaşan kələ-kötürlüklərinə bərabər götürülməsi tövsiyə edilir [4].

Xüsusi təzyiqin 1,0; 2,5 və 4,0 MPa, NSS-nin isə bütün qiymətlərində nisbətən yüksək yeyilmədavamlılığına malik olan tuneqrafit və xüsusi təzyiq ~5,0 MPa-dan böyük olduqda isə tunc MS-58 materialından hazırlanmış ikiqat sürüşmə yastıqları ÖM-də istifadə üçün tövsiyə olunurlar. Materialların yeyilmədavamlılığının iş şəraitindən asılı olaraq dəyişməsinə qiymətləndirmək üçün materialın sürtünmə rejiminə yeyilmə üzrə həssaslıq əmsalı (23) tövsiyə edilir [17], [18], [20], [26].

## **DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP EDİLMİŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI**

1. Расулов, Г.Н. Значение железнодорожного транспорта в развитии экономики Азербайджана // Ломоносов–2004: Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам, МГУ им. М.В. Ломоносова, Сборник тезисов, –Москва: ТЕИС, –12–15 апреля, –2004, –с.117-118.
2. Rəsulov, Q.N. Dəmiryol yoldəyişəninin işinin səmərəliliyinin yüksəldilməsi haqqında // Azərbaycan xalqının ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 85-ci ildönümünə həsr olunmuş «Texniki ali məktəblərdə təhsilin müasir problemləri» mövzusunda Respublika elmi-praktiki konfransının materialları, –Bakı: – 2008, – s. 435-436.
3. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Dəmiryol çeviricilərinin etibarlığının yüksəldilməsi məsələləri // – Bakı: ADDA-nın Elmi əsərləri, – 2010. № 1, – s. 12-15.
4. Rəsulov, N.M., Namazov, S.N., Həsənov, S.S., Rəsulov, Q.N. Maşınqayırmada məmul keyfiyyətinin formalaşdırılması və idarəsi

- haqqında // AzTU-nun 60-illik yubileyinə həsr olunmuş, “Təhsildə və elmdə innovasiya texnologiyaları” Respublika EPK-ın materialları, – Bakı: AzTU, – 2010, – s. 543-546.
5. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Çoxpilləli paket reduktorlarda ölçü zəncirlərinin tədqiqi // AzTU-nun 60- illiyinə həsr olunmuş “Təhsildə və elmdə innovasiya texnologiyaları” Respublika EPK-ın materialları, –Bakı: AzTU, –2010, – s. 581-585.
6. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Paket reduktorlarında ölçü zəncirləri haqqında // – Bakı: Mexanika-Maşınqayırma, – 2010. № 2, – s. 49-55.
7. Rəsulov, Q.N. Çoxpilləli paket reduktorlarda ölçü zəncirləri haqqında // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XV Respublika elmi konfransının materialları, –Bakı: Bakı Universiteti, – 2011, – s.154-156.
8. Абдуллаев, А.И., Расулов, Г.Н. Размерные цепи в многоступенчатых пакетных редукторах Прогрессивные технологии и системы машиностроения // Международный сборник научных трудов, –Донецк: Дон ГТУ – 2011, Вып.41. – с. 20-26.
9. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Paket reduktorların ikiqat sürüşmə yastığı qovşaqlarında sürtünmə şəraitinin araşdırılması // – Bakı: Maşınşünaslıq, – 2012. №1, – s. 11-16.
10. Rəsulov, Q.N. Paket reduktorlarda funksional bucaq ölçü zəncirləri // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVI Respublika elmi konfransının materialları -1, – Bakı: ”Müəllim nəşriyyatı”, – 2012, - s. 118-121.
11. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Paket reduktorların konstruksiya edilməsində optimallaşdırma məsələləri // Elmi əsərlər, Azərbaycan xalqının ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90-cı ildönümünə həsr olunmuş “Metallurgiya və metalşünaslığın problemləri” I beynəlxalq konfransının materialları, – Bakı: AzTU, – 29-30 aprel, –2013, –s. 197-200.

12. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Paket reduktorların konstruksiyasının ötürmə ədədinə görə optimallaşdırılması // – Bakı: Maşınşünaslıq, – 2013. №2, – s. 5-9.
13. Rəsulov, Q.N. Sürət ölçü zənciri haqqında // – Bakı: Journal of Qafqaz University-Mechanical and Industrial Engineering, – 2013, Volume 1, Number 2, - s. 142-149.
14. Rəsulov, Q.N. Dişli çarx ötürmələrində sürət ölçü zəncirləri // Gənc tədqiqatçıların elmi məqalələr toplusu, – Bakı: “Gənclərin Elmi Araşdırmalarına Dəstək” İctimai Birliyi, – 2014, – s. 48-55.
15. Расулов, Г.Н. Размерные цепи скорости // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Сб. научных трудов. В 3 кн., Кн. 2. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, –Минск: ФТИ НАН Беларуси, – 2014, – с. 303-312.
16. Rəsulov, Q.N. Dişli çarx ilişmələrində təmas tamlığına işgil birləşməsi elementlərinin bucaq sarpmalarının təsiri // – Bakı: Journal of Qafqaz University-Mechanical and Industrial Engineering. – 2015, Volume 3, Number 2, – s.131-140.
17. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. Paket reduktorların ikiqat sürüşmə yastıqları üçün material seçimi haqqında // – Bakı: Maşınşünaslıq, – 2016. Vol.5, №2, – s. 5-10.
18. Abdullayev, A.H., Rəsulov, Q.N. “AN” tipli reduktorların sürtünmə yastıqları üçün seçilmiş materialların sürtünmə-yeyilmə sınaqları // Proceedings of the 1st international science and engineering conference, – Bakı: Baku Engineering University, – 29-30 november, – 2018. – s. 137-141.
19. Rəsulov, Q.N. Dişli çarx ötürmələrində işgil birləşməsinin bucaq vəziyyətinin ilişən dişlərin təmas xarakterinə təsiri // – Bakı: Maşınşünaslıq, – 2018. Vol. 7, № 1, – s. 17-26.
20. Rəsulov, Q.N. “AN” tipli reduktorların ikiqat sürtünmə yastıqları üçün seçilmiş materialların yeyilmə davamlılığı sınaqları // Doktorların və gənc tədqiqatçıların XXII respublika elmi konfransının

materialları, 2 cilddə, I cild – Bakı: Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, – 22-23 noyabr, – 2018, – s. 231-233.

21. Nəcəfov, Ə.M., Hacıyev, A.B, İsmayilov, O.F., Rəsulov, Q.N. Reduktorların keyfiyyət göstəricilərinin artırılması yolları // "Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər" mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfransın materialları, -Bakı: AzTU, - 21-23 noyabr, - 2018, - s. 190-194.

22. Rəsulov, Q.N. Dəmiryol yolçeviricilərinin yeni konstruktiv icralı reduktorlarının işlənməsi və analizi // Azərbaycan xalqının ümumilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların "Gənclər və elmi innovasiyalar" mövzusunda respublika elmi-texniki konfransının materialları (I hissə), – Bakı: AzTU, - 2- 4 may, – 2019, – s. 584-587.

23. Абдуллаев, А.И., Расулов, Г.Н., Исмаилов, О.Ф. Математическое моделирование разницы углов направления зубьев в зоне зацепления и полнота контакта в зубчатых передачах // – Санкт-Петербург: Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, – 2020. Том 20, № 1, – с. 110-117.

24. Расулов, Г.Н. Анализ работы трения на узлах подшипника скольжения пакетных редукторов типа «АН» // Сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции "Advances in Science and Technology", часть I, –Москва: Научно-издательский центр «Актуальность РФ», –2020, –с. 115-117.

25. Abdullayev, A.H., Rasulov, G.N. Design optimization of multi-stage cylindrical reducers in accordance with the gear ratios // Proceedings of the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, Volume II - Baku: AMME, - 26-28 August, - 2020, - p. 20-23.

26. Rəsulov, Q.N. Sürüşmə yastıqları üçün seçilmiş materialların sürtünmə-yeyilmə sınaqları Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXIV Respublika elmi konfransının materialları, Bakı. 23-24 noyabr 2021, s. 396-397

27. Rəsulov, Q.N. İşgil birləşməsi, İxira № İ 2021 0023, Azərbaycan Respublikası // Nadirov, U.M.: AR “Əqli Mülkiyyət Agentliyi” – 03.02.2021.
28. Abdullaev, A.H., Rasulov, Q.N. About innovative reductor for railroad switches drives and its reliability // “Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference materials, – Baku: AzTU, – 02-03 Deceber, - 2021, –s. 113-115.
29. Абдуллаев, А.И., Расулов, Г.Н., Конструкция инновационного передаточного механизма железнодорожных стрелочных электроприводов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей международной научной конференции 30-31 января 2022 г. – Казань: ООО «Конвент», – 2022. – с. 11-14.
30. Абдуллаев А.И. Стрелочный электромеханический привод железных дорог, Евразийский патент № 040109, Евразийская патентная организация, // Алифов, А.А., Ахмедов, Б.Б., Чалаби, И.Г., Расулов, Г.Н., Гаджиев, А.Б.: “Евразийское патентное ведомство”-21.04.2022.

### **Çap edilmiş işlərdə iddiaçının şəxsi töhfəsi**

[1, 2, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 24, 26] sayılı işlər müəllif tərəfindən sərbəst yerinə yetirilmişdir.

[3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 23, 25, 27, 28, 29, 30] sayılı işlərdə tədqiqat məsələlərinin qoyuluşu, nəzəri tədqiqatlar, nəticələrin işlənməsi, təkliflərin verilməsi, elmi müddəaların formalaşdırılması müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Qalan hissələr müəlliflər tərəfindən bərabər səviyyədə yerinə yetirilmişdir.

[4, 21] sayılı işlər müəlliflərin birgə müzakirəsi nəticəsində problemin nəzəri hissəsinin mənimsənilməsi məqsədilə elmi rəhbərin tövsiyəsi ilə yazılmışdır.

Dissertasiyanın müdafiəsi 31.10.2022 il tarixində saat 11:00  
Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət  
göstərən ED 2.32 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı ş., H. Cavid pr. 25, Azərbaycan  
Texniki Universiteti, otaq 317-I

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin  
kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan  
Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 30.09.2022 -ci il tarixində zəruri ünvanlara  
göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 30.09.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39850

Tiraj: 100