

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

MAŞIN VƏ AVADANLIQLARIN ÖTÜRÜCÜ MEXANİZMLƏRİNİN ETİBARLIĞININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNƏ SİSTEMLİ YANAŞMA

İxtisas: 3313.02 - Maşınlar, avadanlıqlar və proseslər

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Çələbi İftixar Qurbanəli oğlu**

Texnika elmləri 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 məsləhətçi: Əməkdar mühəndis,
texnika elmləri doktoru, professor
Ayaz Hidayət oğlu Abdullayev

Rəsmi opponentlər: Texnika elmləri doktoru, professor
Rasim Cavad oğlu Bəşirov

Texnika elmləri doktoru, professor
Ələsgər Məhərrəm oğlu Əliyev

Texnika elmləri doktoru, professor
Məzahir Həmzə oğlu Fərzəliyev

Texnika elmləri doktoru, professor
Yusif Nadir oğlu Həsənov

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

Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmləri doktoru, professor,
Əməkdar mühəndis

Vaqif Zahid oğlu Mövlazadə

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika elmləri doktoru, professor

Nizami Şayı oğlu İsmayılov

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, professor
Əməkdar müəllim

İsa Əli oğlu Xəlilov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Mexatron strukturlu müasir maşın və avadanlıqların tərkib hissələrindən biri olan ötürücü mexanizmlərin etibarlığı onların keyfiyyət səviyyəsini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Ona görə də mürəkkəb strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin etibarlığının həm kəmiyyətcə, həm də keyfiyyətcə qiymətləndirilməsində innovativ metodların tətbiq olunmasına böyük zərurət vardır.

Hal-hazırda maşın və avadanlıqlarda istifadə olunan ötürücü mexanizmlər müxtəlif komponentlərdən ibarət mürəkkəb mexatron struktura malikdirlər və onların etibarlığı layihələndirmə, istehsal və istismar zamanı meydana gələn, əksər hallarda proqnozlaşdırıla bilməyən çoxlu sayda təsadüfi amillərdən asılı olur. Ötürücü mexanizmlərin hər bir elementi müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarları ilə və bunlara uyğun imtinalarla xarakterizə olunur. Ona görə də ötürücü mexanizmin etibarlığının qiymətləndirilməsi üçün sistemli yanaşma tələb olunur.

Ötürücü mexanizmlərin etibarlığının qiymətləndirilməsi məsələsi onların kütləvi istehsalının başladığı zamandan etibarən həmişə aktual olmuşdur və bu gün də öz aktuallığını itirməmişdir. XX əsrin 40-50-ci illərində maşın və qurğuların, eləcə də onların əsas elementlərinin etibarlığının qiymətləndirilməsində ehtimal nəzəriyyəsinin və riyazi statistikanın metodlarından istifadə olunmağa başladı. Bu zaman baş verən imtinalar təsadüfi hadisə, imtinaya qədər olan müddət isə təsadüfi kəmiyyət kimi qəbul olunurdu. XX əsrin 60-cı illərində etibarlığın qiymətləndirilməsində eksperimental metodlardan da istifadə olunması geniş vüsət aldı. Bu metodların əsasında imtinaların baş vermə səbəblərinin araşdırılması, imtinalar haqqında məlumatların toplanması və analizi, sadə imtina modellərinin yaradılması dururdu.

Maşınların və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin etibarlıq göstəricilərinin qiymətləndirilməsində istifadə olunan müasir metodları iki əsas qrupa bölmək olar. Birinci qrupa daxil olan

metodlarda imtinalar növünə və nəticələrinə görə analiz edilir və Etibarlığın keyfiyyətə qiymətləndirilməsi həyata keçirilir. Yəni, əldə olunan təcrübə biliklər əsasında zəif elementlər müəyyən edilir və sistem elementlərinin etibarlığı təxmini olaraq təyin olunur. Bu metodlar əsasən maşınların layihələndirmə prosesində etibarlığın proqnozlaşdırılması məqsədi ilə tətbiq olunurlar. Bu cür metodlara “Sistem Elementlərinin Analizi” və “İmtinaların Növünün və Nəticələrinin Analizi” (ingiliscə FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) metodlarını aid etmək olar.

Etibarlığın qiymətləndirilməsinin ikinci qrup metodlarında obyektin imtinalar intensivliyinin analizi aparılır və etibarlıq göstəricilərinin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi həyata keçirilir. Bu metodlar ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistika üsullarının tətbiqinə əsaslanır və buraya Bul məntiqi nəzəriyyəsinə, İmtinalar ağacı analizini, Markov modelini, Petri şəbəkələrini aid etmək olar. Bu metodlar M. Mayerin, R. Barlounun, N.F. Xotsialovun, N.S. Streletskinin, V.V. Bolotinin, S. H. Babayevin və digər alimlərin tədqiqatlarında öz əksini tapmışdır.

Ötürücü mexanizmlərin müxtəlif işçi detallarının etibarlığının kəmiyyətə qiymətləndirilməsində “yük – yükçötürmə qabiliyyəti” modelindən geniş istifadə olunur. Müxtəlif materialların yorulmaya müqavimət xarakteristikalarının nəzərə alınması əsasında sabit və dəyişən amplitudlu dövrü yükləmədə konstruksiyanın resursunun qiymətləndirilməsi A. Vöhler, V. Veybul, E. Haibax, G. Niman, H. Vinter, V. P. Koqayev, S. V. Serensen, N. A. Maxutov və digər tədqiqatçıların araşdırmalarında öz əksini tapmışdır. AzTU-nun professoru A.H. Abdullayevin tədqiqatlarında yük və yükçötürmə qabiliyyətinin normal paylanma qanununa tabe olması halında dişli çarx mexanizmlərinin etibarlığının qiymətləndirilməsi məsələsi araşdırılmışdır.

Maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin etibarlıq göstəricilərinin qiymətləndirilməsi ilə bağlı nəzərdən keçirilən tədqiqatların analizi belə bir nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, bu sahədə çoxlu sayda tədqiqatların aparılmasına baxmayaraq, mexatron

strukturlu müasir ötürmələrin imtinalarının sistemli analizi və aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların etibarlıq göstəricilərinə təsiri kifayət qədər araşdırılmamış, ötürücü mexanizmlərin əsas işçi elementlərinin uzunömürlüliyünün müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi aparılmamışdır. Bundan başqa mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin etibarlığının proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan mövcud statistik modellər bütün istismar dövrünə dəqiqliklə şamil oluna bilmirlər və bu məqsədlə tam istismar dövrünü əhatə edən paylanma funksiyalarının işlənməsinə zərurət vardır.

Qeyd olunanlar əsasında belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin imtinalarının sistemli analizi, etibarlığın proqnozlaşdırılmasına imkan verən yeni statistik modellərin işlənməsi, aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların nəzərə alınması ilə etibarlığın qiymətləndirilməsi, ötürmələrin əsas işçi elementlərinin uzunömürlük göstəricilərinin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi və bunun əsasında onların resursunun artırılması aktual bir məsələ kimi qarşıya çıxır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərinin etibarlığının qiymətləndirilməsinə və yüksəldilməsinə imkan verən innovativ metodların və vasitələrin sistemli tədqiqidir.

Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulmuşdur:

1. Mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin çoxkriteriyalı etibarlıq analizinin riyazi modelinin qurulması;
2. Müasir maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu ötürücü mexanizmlərinin imtinalarının sistemli analizi;
3. Ötürücü mexanizmlərin və onların əsas işçi elementlərinin etibarlığının qiymətləndirilməsi üçün statistik modellərin işlənməsi;

4. Dişli çarx və sonsuz vint ötürmələrinin əsas işçi elementlərinin uzunömürlüylüyünün müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi;

5. Ötürücü mexanizmlərin uzunömürlüylüyünün artırılması üsullarının işlənməsi;

6. İnnovativ konstruksiyalı daha etibarlı, qənaətli və yığcam ötürücü mexanizm modellərinin işlənməsi;

7. Aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların nəzərə alınması ilə ötürücü mexanizmlərin sistemli etibarlılıq analizi;

8. Aparılan tədqiqatların texniki-iqtisadi effektivliyinin qiymətləndirilməsi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş məsələlər nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında həll edilmişdir. Tədqiqatların aparılmasında ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistikanın metodlarından, Markov modelindən və bu model əsasında alınmış diferensial tənliklər sisteminin həlli üçün isə Laplas çevirməsindən istifadə olunmuşdur. Analitik üsulla həlli mümkünsüz olan diferensial tənliklər sistemi MATLAB proqramının tətbiqi ilə həll olunmuşdur. Ötürücü mexanizmlərin mexaniki elementlərinin etibarlılığının qiymətləndirilməsində yorulma ayrılardan və “Yük – Yükəötürmə qabiliyyəti” modelindən istifadə edilmişdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- Maşın və avadanlıqların mexatron ötürücü mexanizmlərinin çoxkriteriyalı etibarlılıq analizinin riyazi modelinin qurulması;

- Mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin əsas imtina səbəblərinin sistemli analizi və imtinaların paylanma xarakterinin müqayisəli təhlili;

- Maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərinin və onların əsas işçi elementlərinin, eləcə də insan-maşın sisteminin imtinalarının paylanmasını daha dəqiq əks etdirən yeni riyazi modellərin işlənməsi;

- Dişli çarxların imtina səbəblərinin təhlili, onların uzunömürlük göstəricilərinin əyilmə və kontakt möhkəmliyi meyarlarına görə müxtəlif amillərin təsirini nəzərə almaqla müqayisəli analizi;

- Dişin işçi profilinin qeyri-işçi profillə əvəz edilməsi yolu ilə dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlüylüyünün artırılması üsullarının işlənməsi;
- Yeni konstruktiv icralı daha etibarlı, qənaətli və yığcam ötürücü mexanizm modellərinin işlənməsi;
- Aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların nəzərə alınması şərti ilə müasir ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının sistemli analizi;
- İmtinaların yeni təklif edilmiş paylanma qanunları əsasında müəyyən istismar dövrü ərzində ehtiyat hissələrinə olan tələbatın təyin olunması.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərinin və onların əsas işçi elementlərinin, eləcə də insan-maşın sisteminin imtinalarının paylanmasını daha dəqiq əks etdirməyə imkan verən yeni riyazi modellər təklif olunmuş və imtinalar haqqında praktikadan alınan statistik məlumatlar əsasında bu paylanmaların doğruluğu sübuta yetirilmişdir.

İlk dəfə olaraq dişli çarx və sonsuz vint ötürmələrinin uzunömürlük göstəricilərinin bir sıra amillərin təsirini nəzərə almaqla müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi aparılmış və bu analizin nəticəsi olaraq ötürücü mexanizmin resursunun artırılması yolları araşdırılmışdır. Müəyyən istismar müddətindən sonra çarxların dişlərinin işçi profilərinin qeyri-işçi profillərlə əvəz edilməsi yolu ilə silindrik və konusvari dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlüylüyünü 50-60%, sonsuz vint ötürmələrinin uzunömürlüylüyünü isə 30-50%-ə qədər yüksəltməyin mümkünlüyü əsaslandırılmışdır.

Tırtıllı maşınların ötürücü dönmə mexanizminin misalında innovativ konstruksiyalı daha etibarlı, qənaətli və yığcam ötürücü mexanizm modeli işlənmiş, texniki vəziyyəti qiymətləndirilərək patentləşdirilmişdir.

Aradan qaldırılan və aradan qaldırıla bilməyən imtinaların nəzərə alınması şərti ilə ilk dəfə olaraq ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının sistemli analizi aparılmış və imtinaların yeni təklif edilmiş paylanma

qanunları əsasında müəyyən istismar dövrü ərzində ehtiyat hissələrinə olan tələbatın təyin olunması məsələsinə baxılmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Təklif olunan yeni statistik modellər maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərinin və onların əsas işçi elementlərinin, eləcə də insan-maşın sisteminin etibarlığının qiymətləndirilməsində nəzəri və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Layihələndirmə mərhələsində həndəsi parametrlərin və materialların düzgün seçilməsi şərti ilə əyilmə gərginliklərinə görə lazımi möhkəmliyi təmin etməklə ötürücü mexanizmin müəyyən istismar müddətindən sonra dişlərin işçi profillərinin qeyri-işçi profillərlə əvəz edilməsi yolu ilə silindrik və konusvari dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlüyünü 50-60%, sonsuz vint ötürmələrinin uzunömürlüyünü isə 30-50%-ə qədər yüksəltmək mümkündür.

Tırtıllı maşınların intiqalı üçün patentləşdirilən innovativ konstruksiyalı ötürücü dönmə mexanizmi daha etibarlı, qənaətli və yığcam olmaqla, praktikada tətbiq oluna bilər.

Aradan qaldırılan və aradan qaldırıla bilməyən imtinaların nəzərə alınması şərti ilə ötürücü mexanizmlərin sistemli etibarlıq analizi yeni təklif edilmiş paylanma qanunları əsasında müəyyən istismar dövrü ərzində ehtiyat hissələrinə olan tələbatın daha dəqiq təyin olunmasına imkan verə bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı beynəlxalq və respublika konfrans, simpozium və seminarlarında təqdim olunaraq müzakirə olumuşdur:

- Türkiyədə keçirilən 9. Uluslararası Makina Tasarımı ve İmalat Kongresində, Ankara şəhəri, Türkiyə: 13-15 Eylül, 2000;
- Almaniyanın Ştutqart Universitetinin “Maşın elementləri” İnstitutunun seminarlarında, Ştutqart, Almaniya, 2004, 2008;
- Alman Mühəndislər Birliyinin təşkilatçılığı ilə “Texniki etibarlıq” adı altında keçirilən konfranslarda, Ştutqart şəhəri, Almaniya, 2005, 2007, 2019;
- Almaniyanın Drezden şəhərində keçirilən simpoziumda, Drezden şəhəri, Almaniya, 2007;

- AzTU-nun 60 illiyinə həsr olunmuş Respublika elmi-texniki konfransında, Bakı şəhəri, AzTU, 2-3 may, 2010;
- Almaniyanın Xemnitz (Chemnitz) Universitetinin “Konstruksiyaetmə və ötürmələr texnikası” İnstitutunun (IKAT) seminarında, Xemnits, Almaniya, 2011;
- Almaniyanın Braunşvayq (Braunschweig) Universitetinin “Hərəkətin təhlükəsizliyi və avtomatlaşdırma texnikası” İnstitutunun seminarlarında, Braunşvayq, Almaniya, 2013, 2015;
- “Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar” beynəlxalq elmi-texniki konfransında, Bakı, AzTU, 2016;
- Almaniyanın Münxen Texniki Universitetinin “Maşın elementləri” İnstitutunun seminarında, Münxen, Almaniya, 2019;
- Azərbaycan Texniki Universitetinin “Maşınların konstruksiya edilməsi” (hal-hazırda “Mexatronika və maşın dizaynı”) kafedrasının seminarında, Bakı, 2019;
- ”Tikinti istehsalatında texnoloji maşınların istifadəsinin müasir problemləri” mövzusunda Respublika elmi-praktiki konfransında, Bakı, AzMIU, 20-21 dekabr, 2019;
- IX Beynəlxalq qiyabi elmi-ixtisaslaşdırılmış konfransda (IX International correspondence scientific specialized conference «International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science»), Boston, USA. February 12-13, 2019.

Dissertasiyanın nəticələri tədris prosesində, elmi-tədqiqat işlərində və praktikada tətbiq oluna bilər. Tədris prosesində dissertasiyanın əsas nəticələri AzTU-nun “Mexatronika və maşın dizaynı” kafedrasında etibarlıqla bağlı tədris olunan fənlərin proqramına salınmışdır. Dissertasiya işinin praktiki nəticələrinin “Texnika Reduktor Servis” MMC, “Bakı Yastıq Zavodu” ASC, “Azərpambıq ASK” MMC, “Azərbaycan Dəmir Yolları” QSC-yə aid müəssisə və sexlərdə istehsal və istismar olunan ötürücü mexanizmlərin uzunömürlüliyünün artırılmasında tətbiqi tövsiyə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Maşınların konstruksiya edilməsi” (hal-hazırda “Mexatronika və maşın dizaynı”) kafedrasında

yerinə yetirilmişdir. Sonsuz vint ötürməsi üzərində uzunömürlük sınaqları Almaniyanın Xemnits (Chemniz) Universitetinin “Konstruksiyaetmə və ötürmələr texnikası” İnstitutunun laboratoriyasında aparılmışdır.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi girişdən, 7 fəsildən, ümumi nəticələrdən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir. Dissertasiyanın “Giriş” hissəsinin həcmi 17669, I fəslin həcmi 50842, II fəslin həcmi 44396, III fəslin həcmi 56654, IV fəslin həcmi 48116, V fəslin həcmi 68417, VI fəslin həcmi 68818, VII fəslin həcmi 23581 işarədən, ümumi həcmi isə 382283 işarədən ibarətdir.

Dissertasiya 309 səhifə A4 formatında tərtib olunmuş yazı materialından, o cümlədən 64 şəkil, 87 qrafik, 23 cədvəl, 190 adda ədəbiyyat mənbəyi və əlavələrdən ibarətdir.

Giriş hissəsində müasir maşın və avadanlıqlarda ötürücü mexanizmlərin rolu, mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, tədqiqat metodları və müdafiyyə çıxarılan əsas elmi müddəalar, işin elmi yeniliyi, onun nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, aprobasiyası və tətbiqi, strukturu və həcmi haqqında məlumat verilmişdir.

Dissertasiya işinin **birinci fəslində** maşın və avadanlıqlarda istifadə olunan ötürücü mexanizmlərin inkişaf tarixi və onların iş prinsipinə, strukturuna və funksional əlamətinə görə təsnifatı verilmiş, mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin konstruksiyasına verilən əsas tələblər haqqında məlumat verilmiş, onların etibarlığının qiymətləndirilməsi ilə bağlı mövcud tədqiqatların və müasir metodların qısa icmalı əks olunmuşdur.

Ötürücü mexanizmlərin etibarlığının qiymətləndirilməsi ilə bağlı nəzərdən keçirilən ədəbiyyatın analizi belə bir nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, bu sahədə çoxlu sayda tədqiqatların aparılmasına baxmayaraq, mexatron strukturlu müasir intiqalların imtinalarının sistemli analizi və aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların etibarlıq göstəricilərinə təsiri kifayət qədər araşdırılmamış, ötürücü

mexanizmlərin əsas işçi elementlərinin uzunömürlük göstəricilərinin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi aparılmamışdır. Bundan başqa ötürücü mexanizmlərin etibarlığının proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan mövcud statistik modellər bütün istismar dövrünə dəqiqliklə şamil oluna bilmirlər və bu məqsədlə tam istismar dövrünü əhatə edən paylanma funksiyalarının işlənməsinə zərurət vardır.

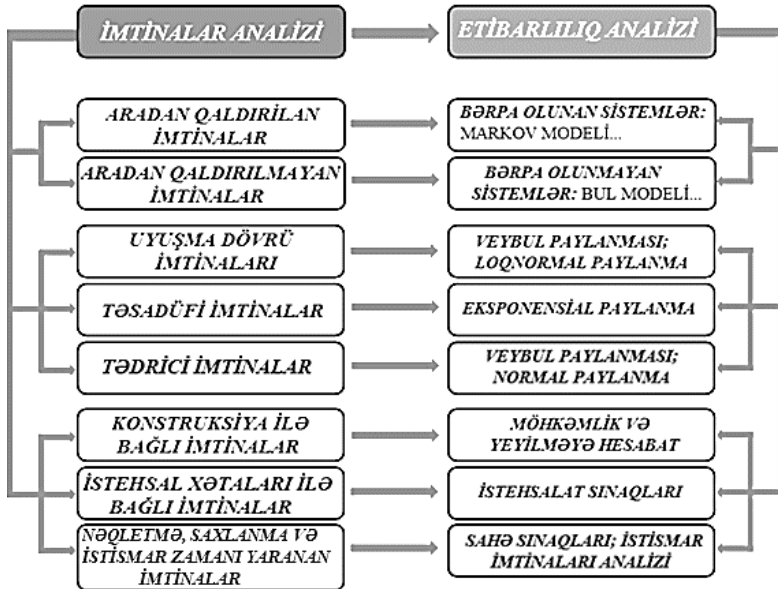
Ötürücü mexanizmlər mexatron strukturlu müasir maşın və avadanlıqların əsas tərkib hissələrindən biridir və onların etibarlığının düzgün qiymətləndirilməsi, uzunömürlüyünün və təmirəyararlıq qabiliyyətinin yüksəldilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bütün qeyd olunanları nəzərə alaraq müasir ötürücü mexanizmlərin imtinalarının sistemli analizi, etibarlığın proqnozlaşdırılmasına imkan verən yeni statistik modellərin işlənməsi, aradan qaldırılması mümkün olmayan imtinaların nəzərə alınması ilə etibarlığın qiymətləndirilməsi, ötürmələrin əsas işçi elementlərinin uzunömürlük göstəricilərinin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi və bunun əsasında onların resursunun artırılması məsələləri aktual olaraq qarşıya çıxır.

İkinci fəsil müasir maşın və avadanlıqların mexatron strukturlu ötürücü mexanizmlərinin mexaniki, hidravlik, elektrik və s. iş prinsipinə malik elementlərinin müxtəlif xarakterli imtinalarının və onların səbəblərinin analizinə, etibarlığın əsas göstəricilərinin təyin olunmasının nəzəri və statistik üsullarına, ötürücü mexanizmlərin etibarlığının sistemli analizinin struktur sxeminin qurulmasına və tədqiqatın əsas istiqamətlərinin müəyyən olunmasına həsr olunmuşdur.

Mexatron strukturlu müasir ötürücü mexanizmlərin imtinalarının analizi göstərir ki, mexaniki elementlərin əsas imtinaları yeyilmə, yorulma və s. kimi proqnozlaşdırıla və hesablanıla bilən olsalar da, ötürmə sisteminin hidravlik, elektrik və elektromaqnit elementlərində, eləcə də elektron komponentlərində əvvəlcədən proqnozlaşdırıla bilməyən stoxastik xarakterli imtinaların yaranma ehtimalı daha yüksəkdir. Ona görə də ötürücü mexanizmin bütövlükdə etibarlığının

qiymətləndirilməsi və ya proqnozlaşdırılması üçün sistemli yanaşma tələb olunur. Ötürmələrin etibarlığının qiymətləndirilməsində daha dürüst nəticələrin alınması üçün istismar prosesindəki imtinaların analizini aparmaq lazım gəlir. Şəkil 1-də ötürmə sistemlərində meydana gələn imtinaların əsas növləri və müvafiq etibarlıq analizi üsulları əks olunmuşdur.



Şəkil 1. İmtinalar analizi və etibarlığın qiymətləndirilməsi üsulları

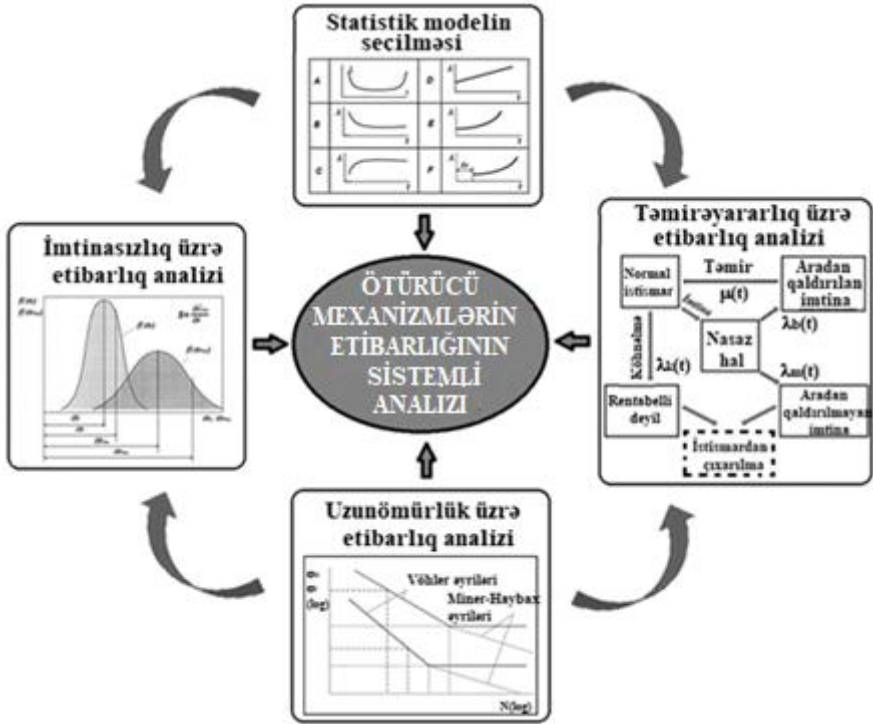
Maşın və ya avadanlığın ötürücü mexanizminin imtinaları əsasən onun istismarı zamanı meydana çıxırlar. Bir çox hallarda bu imtinalar uzunmüddətli istismardan sonra yeyilmə, yorulma, vibrasiya və korroziyanın təsirindən əsas işçi detalların öz işləmə qabiliyyətini itirməsi ilə bağlı olur. Təsadüfi həddi yükləmələr, insan-maşın sisteminin xətalrı və nəzarət sistemindəki qüsurlar da bəzən imtinalara səbəb ola bilərlər.

Qeyd olunanlar əsasında müasir maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin etibarlığının sistemli analizinin struktur sxemini şəkil 2-də olduğu kimi təsvir etmək olar. Ötürücü mexanizmin həm aradan qaldırılan, həm də aradan qaldırılmayan imtinaları üçün etibarlığının qiymətləndirilməsi üsulunun və statistik modelin düzgün seçilməsi çox vacibdir. Burada imtinaların xarakteri və onların istismarın hansı dövründə daha çox meydana gəlməsi nəzərə alınmalıdır.

Tədqiqatın başqa bir istiqaməti isə aradan qaldırılan və qaldırılma bilməyən imtinaların sistemli şəkildə nəzərə alınmasıdır. Mövcud ədəbiyyatda bu imtinalar müxtəlif obyektlər üçün ayrı-ayrılıqda baxılır və eyni bir obyekt üçün hər iki imtinaların nəzərə alınması hallarına baxılmamışdır. Ötürücü mexanizmlər təmirəyararlılıq qabiliyyətinə malikdirlər, yəni imtinalar baş verdikdən sonra bu imtinalar əksər hallarda aradan qaldırılır və işgörmə qabiliyyəti bərpa edilir. Lakin bir sıra hallarda elə imtinalar da baş verə bilər ki, işgörmə qabiliyyətinin bərpası texniki nöqtəyi-nəzərdən və ya rentabelliyin aşağı düşməsi səbəbindən məqsədəuyğun olmasın. Bu, qəza və ya köhnəlmə nəticəsində əsas işçi elementlərin tam yararsız hala düşməsi ilə əlaqədar ola bilər. Ona görə də maşın parkının hazırlıq əmsalının yüksəldilməsi və lazımi ehtiyat hissələri ilə təminatın həyata keçirilməsi üçün aradan qaldırılma bilməyən imtinaların nəzərə alınması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

İmtinaları aradan qaldırılma bilməyən elementlərin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə uzunömürlük analizinin aparılması da xüsusi əhəmiyyətə malik ola bilər. Bu cür analiz xüsusən də dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlüyünün artırılmasında rol oynaya bilər. Kontakt gərginlikləri nəticəsində dişlərin bir qayda olaraq işçi səthləri sıradan çıxır. Əyilmə gərginlikləri isə hər iki səth üzrə dişlərin sınımasına səbəb ola bilər. Əyilmə möhkəmliyi daha yüksək olan dişli çarxlarda müəyyən istismar müddətindən sonra işçi səthləri qeyri-ışçı səthlərlə əvəz etməklə ötürücü mexanizmin resursunu artırmaq mümkündür. Ona görə də dişli çarx ötürmələrinin kontakt və əyilmə

möhkəmliyi meyarlarına görə uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizi mühüm praktiki əhəmiyyət kəsb edə bilər.



Şəkil 2. Maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin etibarlığının sistemli analizinin struktur sxemi

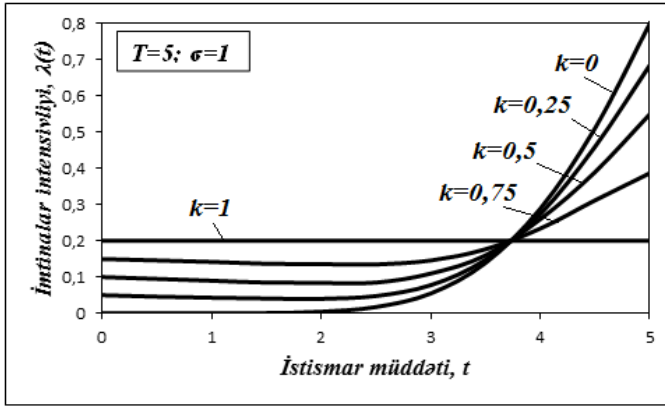
Dissertasiyanın *üçüncü fəsl*i ötürücü mexanizmlərin etibarlığının qiymətləndirilməsində ən çox istifadə olunan mövcud statistik modellərin analizinə, bütün istismar müddəti ərzində etibarlıq göstəricilərinin daha dəqiq proqnozlaşdırılmasına imkan verən yeni paylanma funksiyalarının işlənməsinə və onların praktikada tətbiqinin yoxlanmasına həsr olunmuşdur.

İmtinaların mövcud paylanma funksiyaları bir sıra üstünlüklərə malik olsalar da, əksər hallarda bütün istismar dövrü ərzində müasir

ötürücü mexanizmlərin imtinalarını nəzərə almağa imkan vermir. Bu məqsədlə imtinaların mövcud paylanma qanunlarının superpozisiyasından istifadə edilməsi daha məqsədəuyğun olur. Eksponensial və normal paylanmaların superpozisiyasından ibarət olan statistik modelin paylanma sıxlığı üçün aşağıdakı ifadədən istifadə etmək olar:

$$f(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{1-k}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

burada düsturun birinci həddi imtinalar intensivliyi $\lambda_0=1/T$ -yə bərabər olan eksponensial paylanma, ikinci həddi isə riyazi gözləməsi T , orta kvadratik sapması σ olan normal paylanma ilə eynidir. k əmsalı ($0 \leq k \leq 1$) bu iki klassik paylanmanın statistik modeldəki rolunu əks etdirir. (1) düsturunda $k=0$ olduqda xalis normal paylanma, $k=1$ olduqda isə xalis eksponensial paylanmaya çevrilir (şəkil 3).



Şəkil 3. k əmsalının müxtəlif qiymətlərində imtinalar intensivliyinin zamandan asılılığı

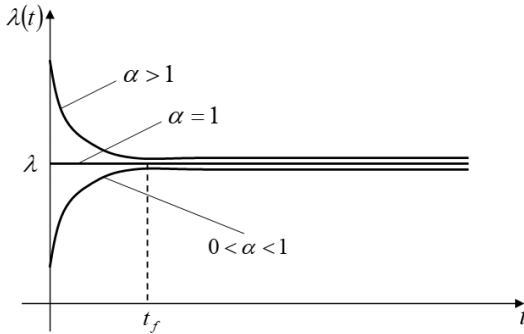
k -nın müxtəlif qiymətlərində imtinalar intensivliyinin zamandan asılılıq qrafikindən görünür ki, yeni model hər iki klassik paylanmanın üstün cəhətlərini özündə birləşdirir, çatışmayan cəhətlərini isə aradan qaldırır. Eksponensial paylanmadan fərqli olaraq yeni model köhnəlmə dövründə imtinalar intensivliyinin artmasını, normal

paylanmadan fərqli olaraq isə uyuşma və normal istismar dövründə baş verən imtinaları nəzərə alır.

Ötürücü mexanizmin və onun ayrı-ayrı elementlərinin bir sıra imtinaları qəfləti xarakter daşıyır. Bunlara imtinaları əvvəlcədən proqnozlaşdırıla bilməyən detal və düyünlərin, məsələn kipləşdiricilərin, elektromaqnitlərin, elektron idarəetmə qurğularının sıradan çıxmasını aid etmək olar. Bu hallarda imtinalar intensivliyi üçün aşağıdakı üçparametrlı paylanma təklif olunmuşdur:

$$\lambda(t) = \lambda \left[1 + (\alpha - 1) e^{-\beta t} \right]. \quad (2)$$

Burada λ – normal istismar dövründə imtinalar intensivliyinin qiyməti; α – paylanmanın forma parametridir və istismarın başlanğıc anında imtinalar intensivliyinin qiymətini (λ_0) nəzərə alır, yəni $\alpha = \lambda_0 / \lambda$; β – istismarın birinci dövrünün (uyuşma dövrü) uzunluğunu (şəkil 4-də t_f) nəzərə alan əmsaldır.



Şəkil 4. Üçparametrlı paylanmaya görə imtinalar intensivliyinin zamana görə dəyişməsi

Şəkil 4-də qrafiklərdən görüldüyü kimi α -nın qiymətindən asılı olaraq imtinalar intensivliyinin zamana görə dəyişmə xarakteri fərqli olur. $\alpha > 1$ olduqda imtinalar intensivliyi istismarın əvvəlində yüksək qiymət alır, sonra isə müəyyən qiymətə qədər azalaraq bütün istismar müddəti boyunca sabit qalır. İmtinalar intensivliyinin bu cür dəyişməsi layihələndirmədə yol verilən xətalara və istehsalat qüsurları ilə bağlı

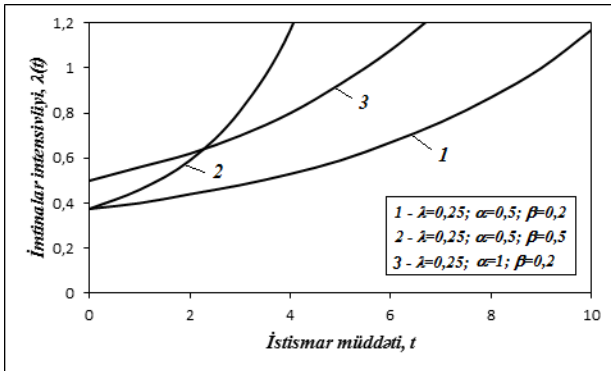
ola bilər. Bu hal insan-maşın sisteminin etibarlığının qiymətləndirilməsində də tətbiq oluna bilər. Çünki yeni işə başlayan maşinist lazımi peşəkarlıq səviyyəsinə çatana qədər xətalara daha çox yol verir. Peşəkarlıq lazımi səviyyəyə çatdıqdan sonra işə imtinalar intensivliyi sabit olur. $\alpha < 1$ olduqda imtinalar intensivliyi müəyyən minimal qiymətdən hər hansı bir həddə qədər artır, sonra işə bütün istismar müddəti boyunca sabit qalır.

Ekstremal qiymətlər paylanmasını da ifadə etməyə imkan verən daha universal paylanma əldə etmək üçün imtinalar intensivliyi üçün aşağıdakı ifadə təklif olunmuşdur:

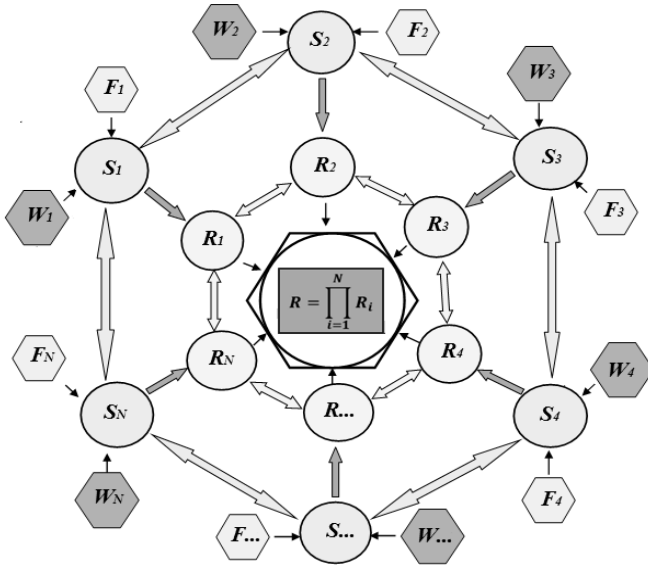
$$\lambda(t) = \lambda(1 + \alpha \cdot e^{\beta t}). \quad (3)$$

Burada λ – istismarın başlanğıcında imtinalar intensivliyinin qiymətini nəzərə alır; α – paylanmanın forma əmsəlidir; β – imtinalar intensivliyinin zamandan asılı dəyişməsinə göstərir.

$\alpha > 0$, $\beta < 0$ və $\alpha < 0$, $\beta < 0$ olduqda şəkil 4-də əks olunmuş iki hala uyğun olaraq imtinalar intensivliyinin zamandan asılılığını almaq olar. (3) ifadəsində $\alpha > 0$, $\beta > 0$ olduqda işə imtinalar intensivliyi hər hansı bir minimal qiymətdən başlayaraq monoton olaraq artır (şəkil 5). İmtinaların bu cür paylanması detallarının əksər hissəsi yeyilmə, yorulma, korroziya və ya köhnəlmə nəticəsində tədricən sıradan çıxan maşınlarla, məsələn texnoloji avadanlıqlara xasdır.



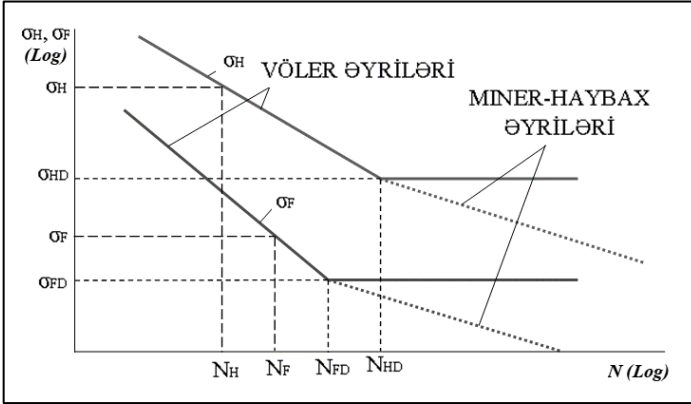
Şəkil 5. $\alpha > 0$ və $\beta > 0$ olduqda imtinalar intensivliyinin monoton artması halı



Şəkil 6. Ötürücü mexanizmin layihələndirmə mərhələsində sistemli etibarlıq analizinin struktur sxemi

Maşınların ötürücü mexanizmlərinin əksər mexaniki elementləri daha çox uzunmüddətli dəyişən gərginliklərin təsirindən sonra yorulma möhkəmliyinin itirilməsi nəticəsində imtinaya məruz qalırlar. Dişli çarxlar həm əyilmə, həm də kontakt gərginliklərinin təsiri ilə sıradan çıxa bilərlər. Bu gərginliklərin təsiri zamandan asılı olaraq müxtəlif dəyişmə xüsusiyyətinə malik ola bilər. Ötürücü mexanizm statik xarici yükün təsiri altında olduqda belə, dişli çarxın bir tam dövrü ərzində onun hər bir dişi ən azı bir dəfə ilişməyə daxil olur və bu zaman kontakt və əyilmə gərginlikləri periodik olaraq dəyişir. Yəni, ötürülən fırladıcı moment sabit olduqda belə, dişli çarxlar dövrü dəyişən əyilmə və kontakt gərginliklərinin təsirinə məruz qalırlar.

Dəyişən gərginliklərin təsir etdiyi detalların etibarlılığını təyin etmək üçün yorulma əyrilərindən istifadə edirlər. Şəkil 7-də dişli çarxlardakı əyilmə və kontakt gərginliklərinə görə yorulma əyriləri əks olunmuşdur.



Şəkil 7. Dişli çarxlar üçün əyilmə və kontakt gərginliklərinə görə yorulma əyriləri

Dişli çarxların resursunun təyində dözümlük həddindən kiçik oblastlarda Miner-Haybax, böyük oblastlarda isə Vöhler hipotezindən istifadə edirlər. Faktiki və həddi gərginliklərin qiymətlərinin normal paylanmaya tabe olduğunu qəbul edərək yorulma əyriləri əsasında sabit yüklənmədə imtinasız işləmə ehtimalının təyininin qrafiki interpretasiyasını şəkil 8-dəki kimi təsvir etmək olar.

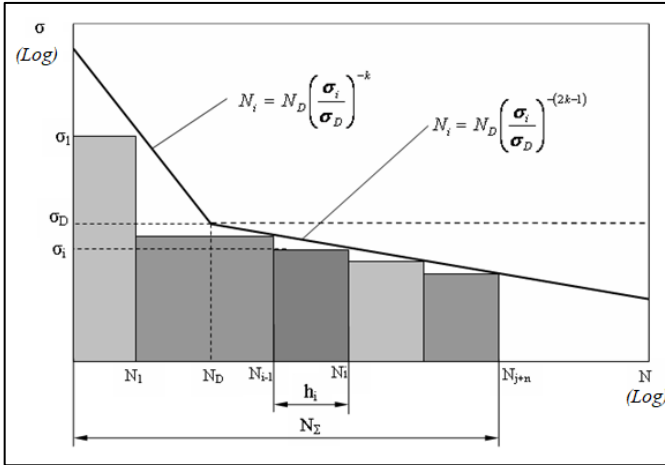
Dəyişən yüklənmədə hər bir rejim üçün resursun və imtinasız işləmə ehtimalının təyin olunması zəruridir (şəkil 9). Bu cür yüklənmədə hər hansı bir işgörmə qabiliyyəti meyarına görə dişli çarxın tam resursu aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər¹:

$$N_{\Sigma} = N_D \frac{\sum_{i=1}^{j+n} h_i}{\sum_{i=1}^j h_i \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_D} \right)^k + \sum_{i=j+1}^{j+n} h_i \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_D} \right)^{2k-1}} \quad (5)$$

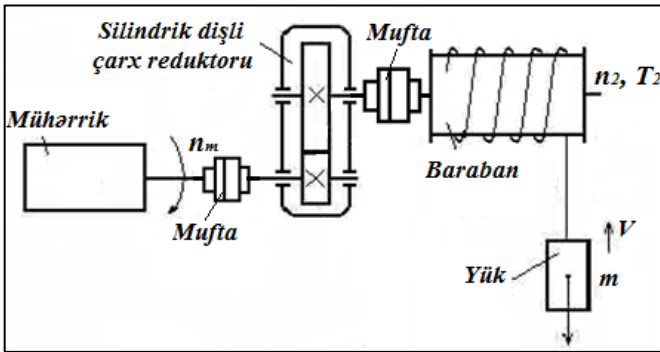
Burada σ_i – faktiki gərginliklərin qiymətləri (σ_H və ya σ_F); j - ($\sigma_F \geq \sigma_{FD}$; $\sigma_H \geq \sigma_{HD}$) şərtlərinin ödəndiyi yüklənmə rejimlərinin sayı;

¹ Naunheimer H. Fahrzeuggetriebe. Lehrbuch/H. Naunheimer, B. Bertsche, G. Lechner. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, -2007. 710 S.

və kontakt gərginliklərinə görə intinasız işləmə ehtimalı istismar müddətindən asılı olaraq təyin edilmişdir.



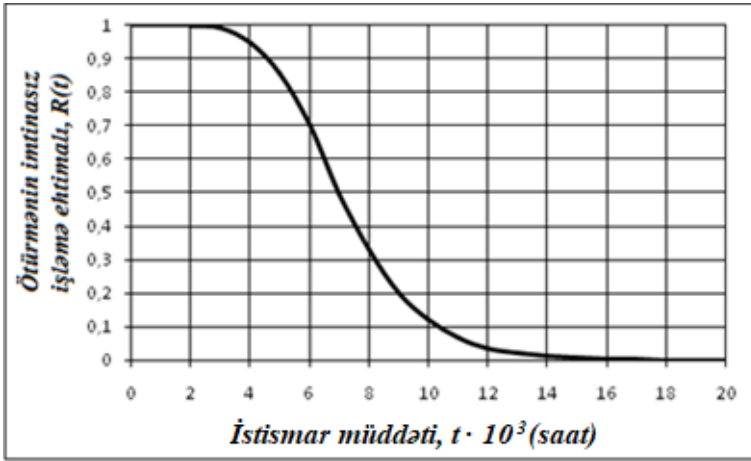
Şəkil 9. Dəyişən yükləmədə resursun təyini



Şəkil 10. Yükləyici qabiliyyəti 10 kN olan bucurqadın intiqalının sxemi

Hesabatlar göstərmişdir ki, aparıcı dişli çarxda əyilmə gərginlikləri nəticəsində sıradan çıxma ehtimalı daha böyükdür. Bu, həmin çarxın materialının səthi bərkliyinin böyük olması ilə bağlıdır. Aparılan dişli

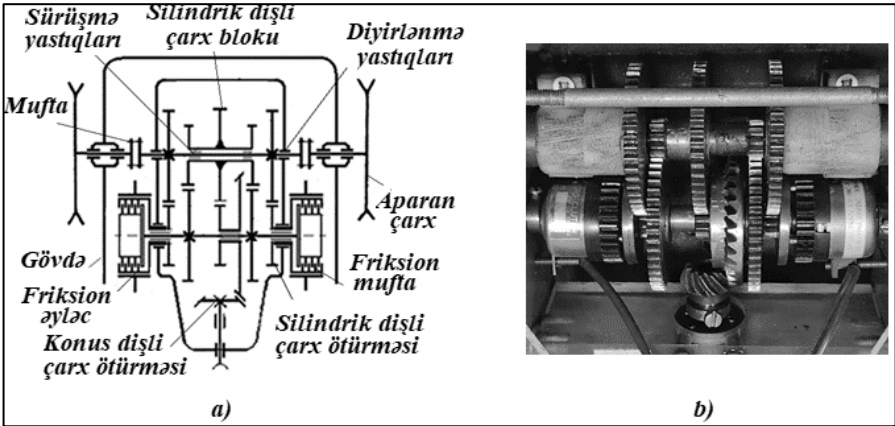
çarxda isə kontakt gərginlikləri nəticəsində sıradan çıxma ehtimalı böyük olmuşdur. Hesabatlarla sübut olunmuşdur ki, ötürmənin ən zəif elementi aparılan dişli çarxdır. Ona görə də ümumi etibarlıq dərəcəsi məhz aparılan çarxın kontakt möhkəmliyinə görə imtinasız işləmə ehtimalı ilə müəyyən olunur. Aparılan dişli çarxın kontakt möhkəmliyini artırmaq üçün bərkliyi daha yüksək olan material seçmək və ya termiki emalın növünü dəyişmək tələb olunur. Silindrik dişli çarx reduktorunun ümumi imtinasız işləmə ehtimalının zamandan asılılığı şəkil 11-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 11. Silindrik dişli çarx ötürməsinin imtinasız işləmə ehtimalının zamandan asılılığı

Layihələndirmə zamanı maşınların və onların intiqal sistemlərinin etibarlılığının yüksəldilməsində əsas üsullardan biri konstruksiyanın təkmilləşdirilməsidir. Son illər ərzində AZTU-nun “Maşınların konstruksiya edilməsi” (hal-hazırda “Mexatronika və maşın dizaynı”) kafedrasında bu istiqamətdə xeyli tədqiqatlar aparılmış və innovativ layihələr yerinə yetirilmişdir. Təklif olunan yeni konstruktiv icralı ötürücü mexanizmlər öz kompaktlığı, yüksək istismar göstəriciləri və etibarlılığı ilə böyük üstünlüklərə malikdirlər. Konstruksiyanın

kompaktlığı təklif olunan paket tipli ötürücü mexanizmlərdə valların sayının azaldılması hesabına əldə olunur. Təqdim olunan dissertasiya işində tırtıllı maşınların intiqal sistemlərinin konstruksiyaları və keyfiyyət göstəriciləri təhlil edilmiş, daha yüksək etibarlığa və kiçik metal tutumuna malik olan yeni icralı ötürücü mexanizmin kinematik sxemi işlənərək Avrasiya patenti alınmışdır. Təklif olunan ixtiranın məqsədi ötürmə ədədinin, etibarlığın, f.i.ə.-nin və texnolojilik göstəricilərinin yüksəldilməsi, çəkinin və qabarit ölçülərin azaldılmasıdır. Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün tırtıllı maşının intiqalı üçün dördpilləli ikiaxınlı ötürücü dönmə mexanizmi təklif olunmuşdur(şəkil 12).



Şəkil 12. Tırtıllı maşının təklif olunmuş ötürücü dönmə mexanizminin kinematik sxemi və ümumi görünüşü

Tırtıllı maşınların dördpilləli ikiaxınlı ötürücü dönmə mexanizminin təklif olunan konstruksiyası hal-hazırda mövcud olan mexanizmlərlə müqayisədə daha yaxşı hərəkət xarakteristikasına malikdir və ötürmə ədədinin yüksəldilməsinə imkan verir. Bununla bərabər reduktorun əksər dişli çarxları eyni həndəsi ölçülərə malik olduğundan istehsalın texnolojiliyi və unifikasiya təmin olunur, konstruksiyanın hazırlanma və quraşdırılma dəqiqliyinə xüsusi

tələblər qoyulmur, mexaniki sistemdən iki aralıq valın və iki cüt diyirlənmə yastığının ixtisar olunması hesabına ötürücü mexanizmin etibarlıq dərəcəsi yüksəlir.

Təklif olunan innovativ konstruksiyanın işləmə qabiliyyətinin yoxlanması məqsədi ilə tırtıllı maşınların dördpilləli ikiiaxınlı ötürücü dönmə mexanizminin laboratoriya nümunəsi layihələndirilmiş, hazırlanmış və sınaqdan keçirilmişdir. İlkin qiymətləndirmənin nəticələrinə əsasən aşağıdakılar müəyyən edilmişdir:

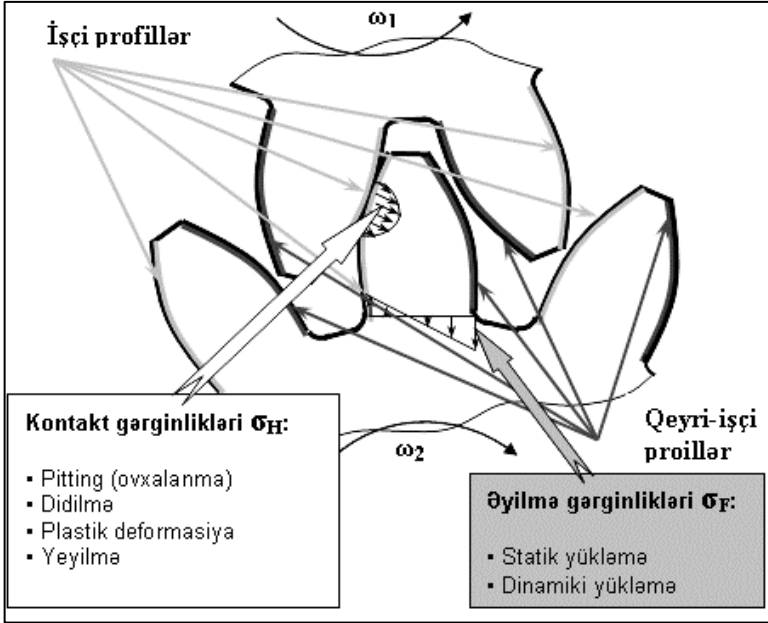
- dördpilləli ikiiaxınlı ötürücü dönmə mexanizminin yeni konstruktiv həlli normal işləyir və öz funksional vəzifəsini yerinə yetirir;
- f.i.ə.-nin artması hesabına yanacaq sərfi azalır;
- intiqal sisteminin qabarit-kütlə xarakteristikaları azalır;
- ötürücü dönmə mexanizminin eni boyunca dişli çarxların artırılması hesabına ötürmə ədədinin artırılması mümkündür;

Beşinci fəsilə dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlük göstəricilərinin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi məsələsinə baxılmışdır. Dişli çarxlarda yaranan imtinalar ümumi halda dişlərdə yaranan kontakt və əyilmə gərginlikləri ilə bağlı olur (şəkil 13).

Müasir maşın və avadanlıqların dişli çarx ötürmələrində ən çox rast gəlinən imtina halları əyilmə gərginliklərinin uzun müddətli təsirindən sonra yorulma möhkəmliyinin itirilməsi nəticəsində dişlərin sınıması və kontakt gərginliklərinin təsirindən dişin işçi səthlərinin yorulma nəticəsində ovxalanmaya (pitting) məruz qalmasıdır². Mövcud ədəbiyyatda dişli çarxların müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə möhkəmliyə və uzunömürlülyə hesabatı ayrı-ayrılıqda aparılır və bu zaman müqayisəli analiz aparılmır. Ona görə də bu tədqiqatlarda layihələndirilən dişli çarxda hansı imtina ehtimalının daha yüksək olması və hansı sıradan çıxma halının daha erkən baş verməsinin mümkün olması haqqında hər hansı bir nəticə hasil olunmur. Dişlərin

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

sınması daha təhlükəlidir və bu imtina yalnız baxılan dişli çarxın deyil, bütün ötürmənin sıradan çıxması ilə nəticələnir. Dişlərin işçi səthində meydana gələn pitting və digər kontakt gərginliyi ilə bağlı olan imtinalar isə heç də həmişə dişli çarxın tam sıradan çıxması ilə nəticələnmirlər.



Şəkil 13. Dişlərdə yaranan gərginliklər və onların sıradan çıxma səbəbləri

İstismar zamanı ötürücü mexanizmin dişli çarxları yalnız bir istiqamətdə fırlanarsa (əksər maşın və avadanlıqlarda bu hal üstünlük təşkil edir), kontakt gərginliyinin təsirindən yaranan sıradan çıxma halları (pitting, didilmə, plastiki deformasiya və s.) dişlərin işçi səthlərində yaranan zədələnmələrlə bağlı olur. Dişlərin qeyri-ışçi əks profilləri isə bu zaman kontakt gərginliklərinin təsirinə məruz qalmırlar və bu səthlərdə hər hansı bir zədələnmə baş vermir (şəkil 13). Bunun əksinə olaraq əyilmə gərginlikləri həm işçi profildə, həm də qeyri-ışçi profildə təsir edirlər. Buna görə də, müəyyən istismar

dövründən sonra dişlərin yorulma nəticəsində nisbətən zədələnmiş işçi profillərini qeyri-işçi profillərlə əvəz etməklə ötürücü mexanizmin uzunömürlüyünü artırmaq mümkündür. Lakin bu zaman nəzərə alınmalıdır ki, dişlərin əyilmə möhkəmliyi kifayət qədər yüksək olmazsa, bu əməliyyatın heç bir əhəmiyyəti yoxdur. Çünki əyilmə gərginlikləri dişlərin həm işçi və həm də qeyri-işçi profilləri üzrə sınımaya səbəb ola bilər. Beləliklə, təklif olunan üsulla dişli çarxların uzunömürlüyünü yalnız o zaman artırmaq mümkündür ki, dişlərin əyilmə möhkəmliyi kifayət qədər yüksək olsun. Ona görə də birstiqamətli hərəkət edən dişli çarxlarda kontakt və əyilmə gərginliklərinə görə uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizi xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, dişli çarxların reversiv yüklənməsi halında da işarəcə dəyişən əyilmə gərginlikləri kontakt gərginlikləri ilə müqayisədə daha təhlükəlidir. Beləliklə, dişli çarxların dişlərinin həm birtərəfli, həm də ikitərəfli yüklənməsində əyilmə möhkəmliyinin yüksək olması mühüm praktiki əhəmiyyətə malikdir. Ona görə də iki müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarına görə - əyilmə və kontakt gərginliklərinə görə möhkəmlik şərti əsasında dişli çarxların uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizinin aparılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Belə analizin aparılması yeni qurğuların layihələndirilməsi prosesində dişli çarxların materialının, işləmə modulunun və en əmsallarının düzgün seçilməsində mühüm rol oynaya bilər.

Dişli çarxların resursunun iki müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarına görə müqayisəli analizini aparmaq üçün uzunömürlük nisbəti adlanan ölçüsüz K_{FH} kəmiyyətindən istifadə olunmuşdur:

$$K_{FH} = \frac{N_F}{N_H}. \quad (6)$$

Burada N_F – dişlərin dağılmasına (sınmasına) səbəb olan dəyişən əyilmə gərginliklərinin (σ_F) tsikllər sayının hesabi həddi qiymətidir; N_H - dişlərin dağılmasına (pitting və s. nəticəsində) səbəb olan dəyişən kontakt gərginliklərinin (σ_H) tsikllər sayının hesabi həddi qiymətidir;

Düzümlük həddindən kiçik oblastlarda N_F və N_H yüklənmə tsikllərinin sayı Miner-Haybax, böyük oblastlarda isə Vöhler hipotezi əsasında yorulma əyrilərindən istifadə etməklə təyin olunur (şəkil 7). Dəyişən yüklənmədə isə bunlar (5) ifadəsi əsasında təyin edilməlidirlər.

Qeyd olunduğu kimi dəyişən əyilmə gərginlikləri reduktorun dişli çarxları üçün daha təhlükəli hesab olunur. Dişlərin ikitərəfli yüklənməsində əyilmə gərginliklərinə görə möhkəmlik şərti əsasında resursun kontakt gərginlikləri ilə müqayisədə daha çox olması üçün $K_{FH} > 2$ şərtinin ödənməsi zəruridir. Dişlərin birtərəfli yüklənməsi halında da yalnız $K_{FH} > 2$ şərti ödəndiyi halda istismarın müəyyən dövründən sonra işçi səthin qeyri-işçi səthlə əvəz olunması üsulu ilə uzunömürlüyün artırılması mümkündür. Ona görə də K_{FH} əmsalının müxtəlif amillərdən, məsələn, dişli çarxların çevrəvi sürətindən, materialların mexaniki xarakteristikalarından, ilişmə modulundan və en əmsalından asılı olaraq dəyişməsinin tədqiqi mühüm əhəmiyyətə malikdir.

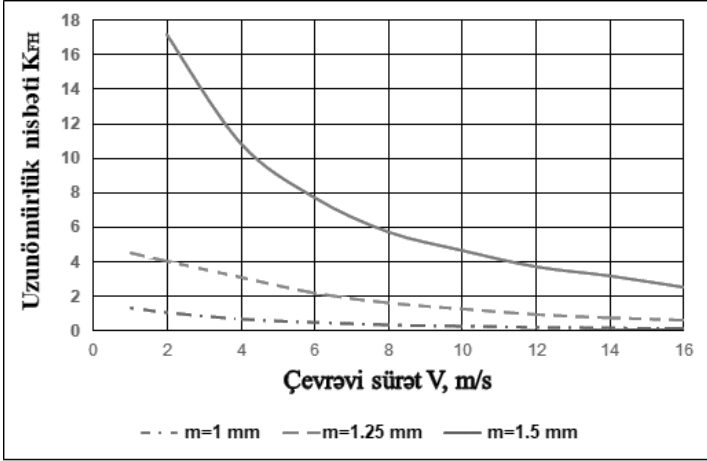
Müxtəlif parametrlərin uzunömürlülük nisbəti K_{FH} -a təsirini araşdırmaq məqsədi ilə təqdim olunan metodika əsasında müxtəlif növ ötürmələr üçün hesablamalar aparılmışdır. Mərkəzlərarası məsafəsi $a_w = 160$ mm, ötürmə ədədi $u = 4$ olan düzdişli silindrik çarx ötürməsinin aparıcı çarxı üçün uzunömürlük nisbətinin dişli çarxların çevrəvi sürətindən, ilişmə modulundan və dişli çarxın diametrə görə en əmsalından asılılıqları 14 –17-ci şəkillərdə göstərilmişdir.

Şəkil 14 və 15-dən görüldüyü kimi həm yaxşılaşdırılmış poladlardan, həm də tablanmış poladlardan hazırlanmış dişli çarxlarda çevrəvi sürətin (V) artması ilə uzunömürlük nisbəti K_{FH} azalır.

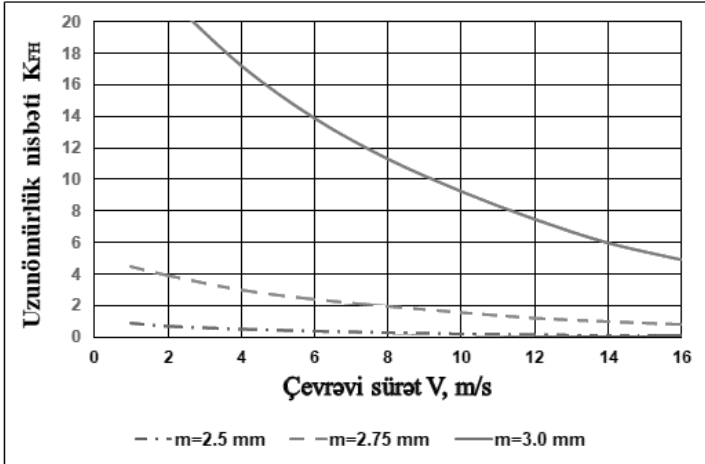
Dişlərin ilişmə modulu (m) və diametrə görə en əmsalı (ψ_{bd}) da uzunömürlük əmsalına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Şəkil 16-dan görüldüyü kimi yaxşılaşdırılmış poladdan ($34CrMo4$, $\sigma_{FD} = 520$ N/mm² və $\sigma_{HD} = 530$ N/mm²)³ hazırlanmış dişli çarxlar üçün ilişmə

³ Decker K.-H. Maschinenelemente: Funktion, Gestaltung und Berechnung. Lehrbuch/K.-H. Decker. - München Wien: Carl Hanser Verlag, - 2018. 677 S.

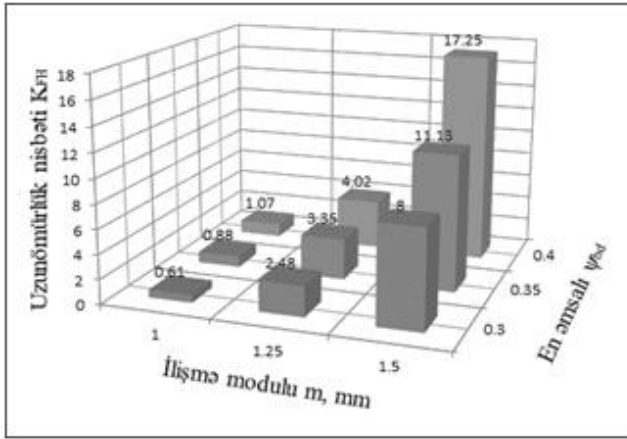
modulunun $m > 1,25$ mm və diametrə görə en əmsalının $\psi_{bd} > 0,3$ qiymətlərində artıq $K_{FH} > 2$ şərti ödənilir.



Şəkil 14. 34CrMo4 markalı yaxşılaşdırılmış poladdan hazırlanan dişli çarxlarda K_{FH} əmsalının çevrəvi sürətdən asılılığı (mərkəzlərarası məsafə $a_w=160$ mm; çevrəvi qüvvə $F_t=3125$ N)



Şəkil 15. 16MnCr5 markalı tablanmış poladdan hazırlanan dişli çarxlarda uzunömürlük əmsalının çevrəvi sürətdən asılılığı (mərkəzlərarası məsafə $a_w=160$ mm; çevrəvi qüvvə $F_t=7800$ N)

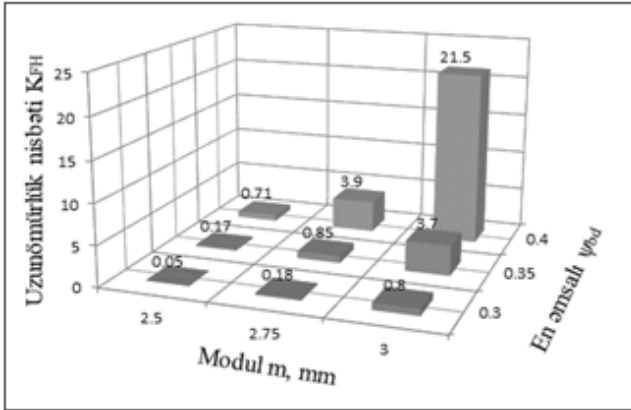


Şəkil 16. 34CrMo4 markalı yaxşılaşdırılmış polad dişli çarxlarda K_{FH} əmsalının ilişmə modulundan və en əmsalından asılılığı (mərkəzlərarası məsafə $a_w=160$ mm; çevrəvi qüvvə $F_t=3125$ N)

Tablanmış poladlardan hazırlanmış dişli çarxlarda vəziyyət fərqli olur. Termiki emal nəticəsində dişlərin səthi bərkliyi daha çox artdığı üçün tablanmış poladlarda kontakt gərginliyi meyarına görə resurs daha böyük olur. Bu hal xüsusilə də səthi tablamaya uğradılmış dişli çarxlarda özünü büruzə verir. Şəkil 17-dən göründüyü kimi 16MnCr5 markalı tablanmış poladdan ($\sigma_{FD}=860$ N/mm² və $\sigma_{HD}=1470$ N/mm²) hazırlanmış dişli çarxlarda yalnız $m>3$ mm və $\psi_{bd}>0,35$ (və ya $m>2,75$ mm və $\psi_{bd}>0,4$) olduqda $K_{FH} > 2$ şərti ödənilir.

Böyük ölçülü dişli çarx reduktorlarında iqtisadi nöqteyi-nəzərdən uzunömürlüyün artırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Buna görə də mancanaq dəzgahlarının reduktorlarında dişlərin müxtəlif işgörmə qabiliyyətinə görə uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizinə də baxılmışdır. AzTU-nun “Maşınların konstruksiya edilməsi” (hal-hazırda “Mexatronika və maşın dizaynı”) kafedrasında mancanaq dəzgahının ötürücü mexanizmi üçün təklif olunmuş yeni tipli ikiiaxınlı üçpilləli dişli çarx reduktoru üçün analoji hesabət aparılmışdır. Təklif olunan reduktor (şəkil 18) iki valdan, bu vallar üzərində yerləşdirilmiş dişli çarx və dişli çarx bloklarından ibarətdir. İtidedişli pillənin aparıcı

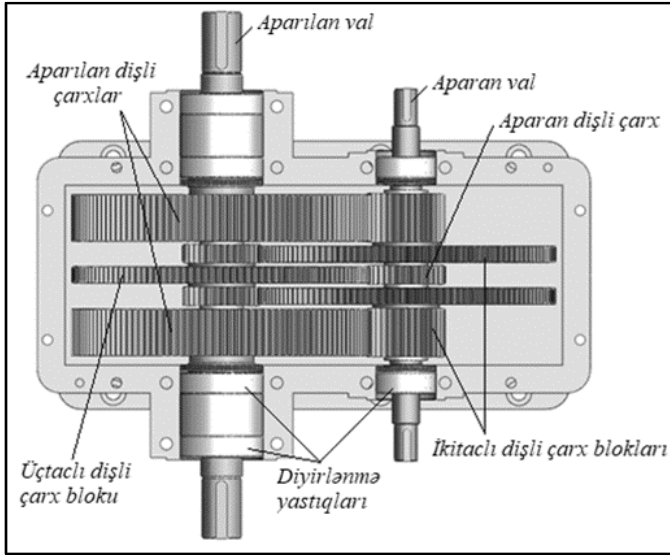
çarxı aparın valla işgil birləşdirməsinin köməyi ilə tərənəmz bərkidilmişdir. Yavaşgedişli pillənin aparılan dişli çarxları da aparılan vala işgil vasitəsi ilə tərənəmz birləşdirilmişdir. İkitəclı və üçtəclı aralıq dişli çarx blokları isə vallar üzərində sürüşmə yastıqları üzərində sərbəst fırlanırlar. Təqdim olunan konstruksiyanın əsas üstünlükləri onun yığcamlığı, etibarlığı, texnolojiliyi və böyük ötürmə ədədinə malik olmasıdır.



Şəkil 17. 16MnCr5 markalı tablanmış polad dişli çarxlarda K_{FH} əmsalının ilişmə modulundan və en əmsalından asılılığı (mərkəzlərarası məsafə $a_w=160$ mm; çevrəvi qüvvə $F_t=7800$ N)

Çıxış valındakı momentdən və tələb olunan ötürmə ədədindən asılı olaraq təqdim olunan yeni tipli reduktorun müxtəlif modifikasiyaları layihələndirilmişdir. Mərkəzlərarası məsafəsi $a_w=315$ mm və ümumi ötürmə ədədi $u=91,1$ olan ikiaxınlı üçpilləli silindrik dişli çarx reduktorunun dişli çarxlarının uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizinə baxılmışdır. Hər bir pillənin ötürmə ədədi 4,5-ə bərabərdir. Ən böyük yüklənmə yavaşgedişli pillədə yarandığına görə hesabat bu pillənin dişli çarxlarına görə aparılmışdır. Dişli çarxların digər parametrləri (məsələn, dişlərin sayı, ilişmə modulları, en

əmsalları, materialların mexaniki xarakteristikaları və s.) müqayisəli analizin aparılması üçün müəyyən hədlərdə variasiya olunmuşdurlar.



Şəkil 18. İkiixanlı üçpilləli düzdişli çarx reduktoru

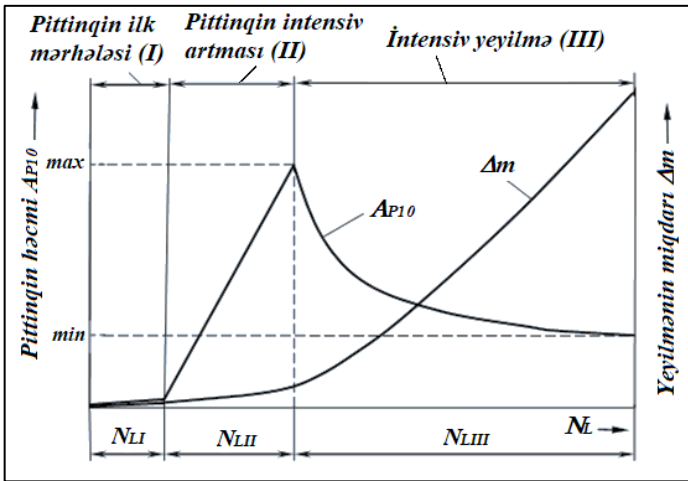
Hesablamaların nəticəsi göstərmişdir ki, 34CrMo4 markalı yaxşılaşdırılmış poladdan ($\sigma_{FD}=520 \text{ N/mm}^2$ və $\sigma_{HD}=530 \text{ N/mm}^2$) hazırlanmış dişli çarxlarda ilişmə modulunun $m>2 \text{ mm}$ və mərkəzlərarası məsafəyə görə çarxın en əmsalının $\psi_{ba}>0,225$ (və ya $m>2,5 \text{ mm}$ və $\psi_{ba}>0,2$) qiymətlərində uzunömürlük nisbəti $K_{FH}>2$ şərti ödənilir. 16MnCr5 markalı tablanmış poladdan hazırlanmış (düzümlük hədləri uyğun olaraq $\sigma_{FD}=860 \text{ N/mm}^2$ və $\sigma_{HD}=1470 \text{ N/mm}^2$) dişli çarxlar üzərində aparılan hesablamalar isə göstərmişdir ki, bu halda uzunömürlük nisbətini $K_{FH}>2$ şərtini ödəməsi üçün ilişmə modulu $m>5,5 \text{ mm}$ və $\psi_{ba}>0,25$ (və ya $m>6 \text{ mm}$ və $\psi_{ba}>0,225$) şərti ödənməlidir. Buradan görünür ki, böyük ölçülü dişli çarx reduktorlarında da eyni modula malik tablanmış dişli çarxlar üçün uzunömürlük nisbətini qiyməti yaxşılaşdırılmış poladlardan hazırlanmış dişli çarxlarla müqayisədə xeyli kiçik qiymət alır.

Hal-hazırda Azərbaycanın və bir sıra MDB ölkələrinin neftçıxarma sənayesində istismar olunan mancanaq dəzgahlarının intiqallarında Novikov ötürməli ikipilləli və üçpilləli silindrik dişli çarx reduktorlarından istifadə olunur. Mancanaq dəzgahlarında istifadə olunan І3НІІІ-450-28 markalı üçpilləli Novikov ötürməli silindrik dişli çarx reduktorlarından biri üzərində analoji tədqiqat aparılmışdır. Tədqiq olunan reduktorun ümumi ötürmə ədədi $u=64,57$ -yə, ötürdüyü nominal fırlanma momenti isə $28 \text{ kN}\cdot\text{m}$ -ə bərabərdir.

Baxılan І3НІІІ-450-28 markalı üçpilləli Novikov ötürməli silindrik dişli çarx reduktorunun dişli çarxlarının müxtəlif yüklənmə hallarına uyğun gələn uzunömürlük nisbətindən qiymətləri təklif olunan metodologiya əsasında təyin olunmuşdur. Nominal yükün təsiri zamanı reduktorun bütün pillələrinin dişli çarxları üçün uzunömürlük nisbəti çox yüksək qiymət almışdır. İtgedişli pillədə bu vəziyyət nominal yükədən dəfələrlə böyük yüklənmə rejimlərində də təkrar olunur. Reduktorun aralıq pilləsinin və yavaşgedişli pilləsinin dişli çarxları üçün böyük yükləmələrdə uzunömürlük nisbətindən qiyməti nəzərəcarpacaq dərəcədə azalsa da, hətta nominal yükədən üç dəfə artıq yükləmədə belə $K_{FH} > 2$ şərti ödənilir. Buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, layihələndirmə və istehsal xətlərinə yol verilmədikdə və istismar qaydalarına tam riayət etdikdə bu çarxların əyilmə gərginliklərinin təsiri ilə sıradan çıxma (dişlərin sınıması) ehtimalı çox azdır. Dişlərin sıradan çıxması əksər hallarda dişin işçi profilində təsir edən kontakt gərginliklərinin təsiri ilə baş verən zədələnmələrlə bağlı olur.

Müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə resursun müqayisəli analizi sonsuz vint ötürmələri üçün də aparılmışdır. Sonsuz vint ötürmələri digər mexaniki ötürmələrlə müqayisədə böyük ötürmə ədədinə, yüksək kinematik dəqiqliyə, səlis və səssiz iş rejiminə malik olduqları üçün maşınqayırmannın bir çox sahələrində çox geniş tətbiq olunurlar. Bu ötürmələrin çatışmayan cəhətlərindən biri isə onların materialının və hazırlanmasının baha başa gəlməsidir. Ona görə də sonsuz vint ötürmələrinin etibarlılığının artırılması ilə bağlı qabaqlayıcı tədbirlərin həyata keçirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqatlar göstərir ki, sonsuz vint ötürməsinin elementlərində baş verən sıradan çıxma halları bir-biri ilə sıx əlaqədardır. Məsələn, tuncdan hazırlanan sonsuz vint çarxlarında temperaturun artması ilə işçi səthin didilməsi nəticəsində meydana çıxan zədələnmə təzahürləri daha sonra yeyilmənin artması ilə yoxa çıxırlar. Eyni məsələni pittingə də aid etmək olar. Pitting bir qayda olaraq uzun müddətli istismardan sonra öz maksimal həddinə çatır və bundan sonra səthin intensiv yeyilməsi prosesi başlanır. Yeyilmə nəticəsində dişlərin qalınlığı azalır və dişlərin əyilmə gərginliklərinə görə möhkəmliyi aşağı düşür. Əyilmə gərginliklərinin təsiri nəticəsində sınıma əksər hallarda ən çox yeyilməyə məruz qalmış dişlərdə baş verir. Müəyyən olunmuşdur ki, (şəkil 19) tuncdan hazırlanan sonsuz vint çarxlarının imtinaya qədər olan istismar müddətini əksər hallarda üç mərhələyə bölmək olar⁴.



Şəkil 19. Tuncdan hazırlanan sonsuz vint çarxında imtinaların baş vermə mərhələləri

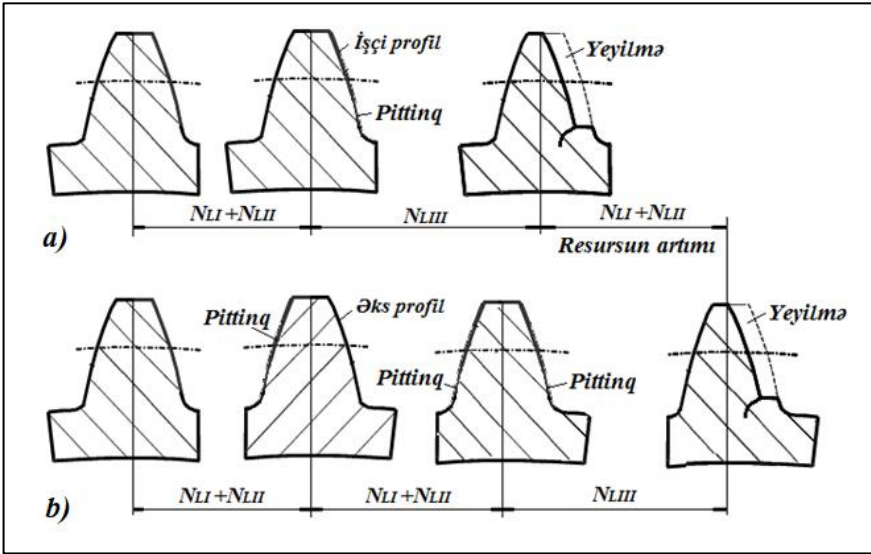
⁴ Rank, B. Versuche zur Grübchentragsfähigkeit von Schneckengetrieben: Untersuchungen an Zylinder-Schneckengetrieben - Grübchenbildung, Verschleiß/B. Rank. – München: TUM. FVA-Forschungsvorhaben 12/IV. Heft 494, -1996. 286 S.

İstismarın ilk mərhələsi pittingin meydana çıxması ilə yekunlaşır və tuncdan hazırlanan sonsuz vint çarxlarında bu mərhələnin (N_{LI}) uzunluğu dişin işçi səthində yaranan faktiki kontakt gərginliklərindən və sürüşmə sürətindən asılı olur. Nominal yükədən kiçik yükləmələrdə pittingin ilk mərhələsi kifayət qədər uzun sürə bilər. Bu mərhələnin sonunda pittingin təsiri ilə zədələnmiş sahə dişin işçi səthinin təxminən 2%-ni təşkil edir. Pittingin ilk təzahürlərinin meydana çıxmasından sonra onun inkişaf prosesi sürətlənir və istismarın ikinci mərhələsi başlanır. Bu mərhələ dişin işçi səthlərində pittingin sürətlə yayılması ilə xarakterizə olunur. Adətən pitting bütün işçi səthi əhatə etmir. Tədqiqatlar göstərir ki, pittingin yayıldığı sahə işçi səthin 50-60%-ni əhatə etdikdən sonra səthdə yeyilmə intensivliyinin artması onun tədricən azalmasına səbəb olur. Bundan sonra istismarın üçüncü mərhələsi başlanır. Bu mərhələ işçi səthin yeyilmə intensivliyinin kəskin artması ilə xarakterizə olunur. Üçüncü mərhələ bir qayda olaraq dişin yol verilən həddən çox yeyilərək sıradan çıxması ilə və ya onun yeyilmə nəticəsində zəifləyərək əyilmə gərginliklərinin təsiri altında sınıması ilə nəticələnir. Sonsuz vint çarxının dişlərində imtinaların baş vermə mərhələləri şəkil 20, a-da əks olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi dişin səthində yaranan zədələnmələr bir qayda olaraq onun işçi profillərində meydana gəlir. Qeyri-işçi əks profillər isə uzunmüddətli istismardan sonra demək olar ki, heç bir zədələnməyə məruz qalmırlar. Ona görə də istismarın ikinci mərhələsinin sonunda işçi profilləri qeyri işçi profillərlə əvəz etməklə sonsuz vint ötürməsinin uzunömürlüyünü artırmaq mümkündür. Şəkil 20, b-dən görüldüyü kimi bu üsulla resursun artımı təxminən $N_{LI}+N_{LII}$ ölçüsündə olacaqdır. Beləliklə, uzunömürlüyün nisbi artımını qiymətləndirmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə etmək olar:

$$\Delta L(\%) = \frac{N_{LI}+N_{LII}}{N_{LI}+N_{LII}+N_{LIII}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Təqdim olunan metodikadan istifadə etməklə mərkəzlərarası məsafəsi $a_w=160$ mm, sonsuz vint çarxının valında fırlanma momenti $T_2=4900$ Nm olan sonsuz vint ötürməsi üçün ötürmə ədədinin (u) və sonsuz vint valının dövrlər sayının (n_1) müxtəlif qiymətləri üçün

hesabatlar aparılmışdır. Hesabatlar zamanı sonsuz vintin materialı 16MnCr5 markalı tablanmış polad (səthi bərklik 58÷62 HRC), sonsuz vint çarxının dişli tacının materialı isə mərkəzdənqaçma üsulu ilə tökmə nəticəsində alınmış CuSn12Ni2-C-GZ markalı tunc ərintisi ($\sigma_{HD}=520 \text{ N/mm}^2$) qəbul edilmişdir.

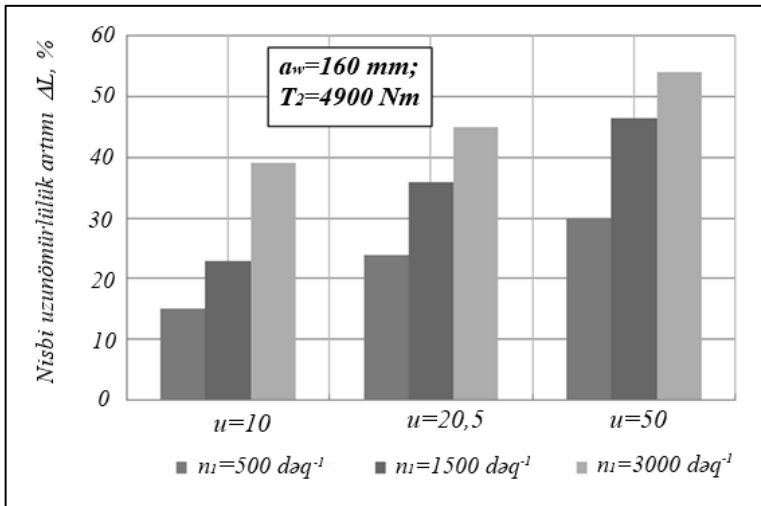


Şəkil 20. Sonsuz vint çarxında imtinaların baş vermə mərhələləri

Hesablamalar üçün lazım olan digər parametrlərin qiymətləri alman standartı DIN 3996 üzrə təyin edilmişdir. Hesabatların nəticələri şəkil 21-də əks olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi sonsuz vint valının dövrlər sayı artdıqca nisbi uzunömürlük artımının da qiyməti yüksəlir. Bu onunla əlaqədardır ki, sonsuz vintin kiçik sürətlərində pittingin meydana gəlməsi və intensiv artması mərhələləri (N_{LI} və N_{LII}) qısa olur və intensiv yeyilmə prosesi (N_{LIII}) tez başlanır. Hesabatlar göstərir ki, sonsuz vintin valının fırlanma tezliyi $n_1=3000 \text{ dəq}^{-1}$ olduqda çarxın dişlərinin işçi profillərini qeyri-ışçı profillərlə əvəz etməklə, ötürmənin resursunu 40÷55% artırmaq

imkanı yaranır. Göründüyü kimi ötürmə ədədinin də nisbi uzunömürlük artımına əhəmiyyətli təsiri vardır. Ötürmə ədədinin böyük qiymətlərində resursun artırılması imkanı daha böyük olur. Ötürmə ədədinin $u=20,5$ qiymətində resursu fırlanma tezliyindən asılı olaraq $25\div 45\%$, $u=50$ qiymətində isə $30\div 55\%$ artırmaq mümkündür.

Təklif olunan üsulla sonsuz vint çarxının resursunun artırılmasının mümkün olması üçün əsas şərtlərdən biri dişin əyilmə gərginliklərinin təsiri altında sınıma ehtimalının olmamasıdır. Üçüncü mərhələdə dişin işçi səthinin intensiv yeyilməsi onun qalınlığının azalmasına və beləliklə də əyilmə möhkəmliyinin itirilməsi nəticəsində sınımasına səbəb ola bilər. Bu səbəbdən sonsuz vint çarxının dişinin əyilmə və kontakt gərginlikləri meyarlarına görə uzunömürlük göstəricilərinin müqayisəli analizi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.



Şəkil 21. Sonsuz vint çarxının nisbi uzunömürlük artımının ötürmə ədədindən və sonsuz vint valının dövrlər sayından asılılığı

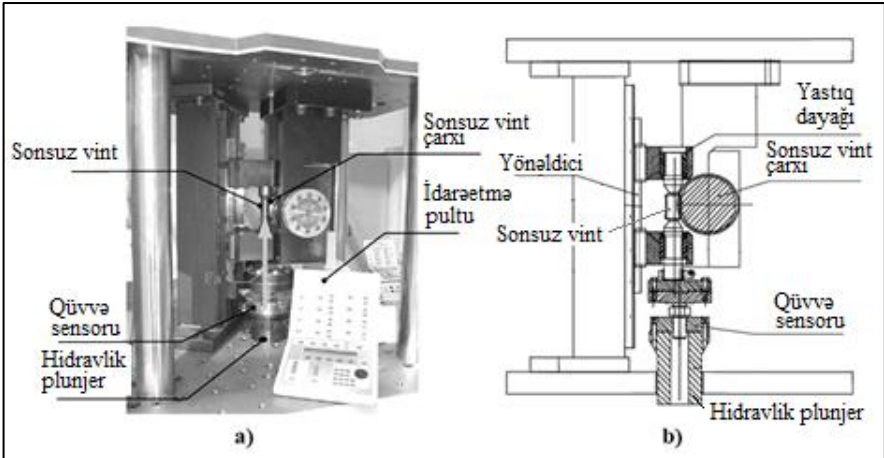
Mərkəzlərarası məsafəsi $a_w=160 \text{ mm}$, ötürmə ədədi $u=20,5$ olan sonsuz vint ötürməsi üçün aparılan valdakı fırlanma momentinin (T_2),

ilişmə modulunun (m) və sonsuz vint valının dövrlər sayının (n_1) müxtəlif qiymətləri üçün K_{FH} parametrinin qiymətləri təyin olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, sonsuz vint çarxının valında yük artdıqca uzunömürlük nisbəti K_{FH} -in qiyməti azalır. Lakin nominal yükləmə hədlərində ($T_2 < T_{2max}$) bu parametrin qiyməti modulun $m=5,0$ mm qiymətlərində 2-dən böyükdür. Modulun bundan böyük qiymətlərində isə ($m=6,25$ mm və $m=7,87$ mm) K_{FH} parametrinin qiyməti kifayət qədər yüksək olur. Modulun $m < 5$ mm qiymətlərində isə əyilmə gərginlikləri kifayət qədər təhlükəli olurlar və dişlərin bu gərginliklərin təsirindən sınıması ehtimalı daha yüksək olur. Sonsuz vint valının fırlanma tezliyi (n_1) də uzunömürlük nisbəti K_{FH} -a kifayət qədər böyük təsir göstərir. Yükləmənin böyük qiymətlərində ($T_2 > T_{2max}$) n_1 -in qiyməti artanda K_{FH} parametri azalır.

Müxtəlif həndəsi ölçülərə malik olan sonsuz vint ötürmələrinin kinematik parametrlərin və yüklənmənin fərqli qiymətlərində sınaqlarının analizi göstərir ki, sonsuz vint çarxının işçi səthinin intensiv yeyilməsi mərhələsindən əvvəl pittinqin yaranması və səth boyunca yayılması mərhələsi baş verir. Bir çox hallarda bu mərhələ kifayət qədər böyük ola bilər. İstismarın bütün mərhələlərinin müddəti yüklənmədən və sonsuz vint valının dövrlər sayından asılı olur. Lakin bütün hallarda uzunömürlük nisbəti kifayət qədər böyük qiymətlər alır. Bu da irəli sürülən mühakimə əsasında istismarın müəyyən dövründən sonra dişlərin işçi səthinin qeyri-ışçı səthlə əvəz edilməsi yolu ilə sonsuz vint ötürməsinin resursunu artırmağa imkan verir.

Yüklənmə istiqamətinin dəyişməsinin tunc ərintisindən hazırlanmış sonsuz vint çarxının dişlərinin əyilmə möhkəmliyinə təsirini tədqiq etmək məqsədi ilə Almaniyanın Xemnitz Texniki Universitetinin (TU Chemnitz) “Konstruksiyaetmə və ötürmələr texnikası” institutunun (IKAT – Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik) elmi-tədqiqat laboratoriyasında təqdim olunan dissertasiya işinin müəllifinin iştirakı ilə sınaqlar aparılmışdır. Eksperimental sınaqlar UPM 140/95 markalı servohidravlik intiqallı universal pulsatorlu sınaq qurğusunda aparılmışdır (şəkil 22). Qurğu müxtəlif ölçülü sonsuz vint çarxlarının dişlərinin əyilmədə

möhkəmliyini nisbətən qısa müddətdə sınaqdan keçirməyə imkan verir. Sınaqlar mərkəzlərarası məsafəsi $a_w=100$ mm və $a_w=160$ mm, ötürmə ədədi $u=20,5$ və $u=20$ olan sonsuz vint ötürmələri üzərində aparılmışdır. Sonsuz vint çarxının dişli tacının materialı mərkəzdənqaçma üsulu ilə tökmə nəticəsində alınmış CuSn12Ni2-C-GZ markalı tunc, sonsuz vintin materialı isə 16MnCr5 markalı polad götürülmüşdür. Oxboyu qüvvənin yalnız sınaqdan keçirilən diş tərəfindən qəbul olunmasını təmin etmək üçün ona qonşu olan dişlər frezlə kəsilmişdir. Yeyilməyə məruz qalmış dişin əyilməyə möhkəmliyini sınaqdan keçirmək məqsədi ilə dişin profili yol verilən yeyilmə həddi ölçüsündə xüsusi frezlə yonulmuşdur. Aparılan bütün sınaqlar zamanı dişin işçi və əks profillərinin hər iki istiqamətdə yüklənmə zamanı $5 \cdot 10^6$ yüklənmə tsuiklindən sonra da sıradan çıxması qeydə alınmışdır. Yol verilən yeyilmə həddində ($\delta_{WD}=5,2$ mm) qalınlığı azaldılmış dişlər isə sınaq müddətinin başa çatmasından əvvəl əyilmə möhkəmliyini itirərək sınıma nəticəsində sıradan çıxmışdır.



Şəkil 22. UPM 140/95 markalı universal pulsatorlu sınaq qurğusunun ümumi görünüşü (a) və struktur sxemi (b)

Dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlük göstəricilərinin müxtəlif işgörmə qabiliyyəti meyarlarına görə müqayisəli analizi belə bir nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, ötürmənin həndəsi ölçülərindən, kinematik parametrlərindən və materialların mexaniki xarakteristikalarından asılı olaraq istismarın müəyyən mərhələsindən sonra dişlərin işçi profilini qeyri-işçi profillə əvəz etməklə ötürmənin uzunömürlüyünü artırmaq mümkündür. Maşın və avadanlıqlarda istifadə olunan ötürücü mexanizmlər iş prinsipinə, konstruksiyasına, funksiyasına və istismar şəraitinə görə bir-birindən fərqlənirlər. Ona görə də hər bir mexaniki ötürmədə dişlərin işçi profilinin qeyri-işçi profillə əvəz edilməsi üsulu maşının konstruktiv xüsusiyyətlərindən və istismar şərtlərindən asılı olaraq fərdi şəkildə müəyyən oluna bilər. Ümumi halda bu proses aşağıdakı üsullardan biri ilə həyata keçirilə bilər:

- Elektrik mühərrikinin fırlanma istiqamətinin dəyişdirilməsi;
- Reduktorların komplekt şəkildə dəyişdirilməsi üsulu;
- Dişli çarxların çevrilməsi üsulu;
- Valların üzərindəki detallarla birlikdə komplekt çevrilməsi;
- Kombinə edilmiş üsul.

Altıncı fəsilə maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin təmirəyararlıq meyarı üzrə etibarlığının qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Maşın və avadanlıqların, eləcə də onların struktur elementlərinin təmirəyararlıq qabiliyyəti onların etibarlıq səviyyəsini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Texniki sistemin təmirəyararlıq üzrə göstəricilərinin qiymətləndirilməsi istismar zamanı təmir və texniki qulluq işlərinin düzgün təşkili, təmir dövründə boşdayanmaların minimuma endirilməsi, ehtiyat hissələri ilə təminatın düzgün idarə edilməsi məsələlərində mühüm texniki-iqtisadi əhəmiyyətə malikdir.

Bir çox hallarda maşın və ya avadanlığın ayrıca götürülmüş bir ötürücü qurğusunun təmirəyararlıq meyarı üzrə etibarlıq göstəricilərinin təyin olunması vacib olur. Bu, dişli çarx reduktoru, mufta düyünü və s. ola bilər. Çox zaman bu düyünlər ixtisaslaşdırılmış istehsalçı müəssisə tərəfindən hazırlanır və istehsalçı üçün məhz

həmin düynün etibarlıq göstəriciləri əhəmiyyət kəsb edir. İstismarçı müəssisə üçün isə bütövlükdə maşının etibarlıq göstəriciləri əhəmiyyət daşıdığı kimi, onun müxtəlif istehsalçılar tərəfindən təchiz olunmuş ayrı-ayrı komponentlərinin etibarlılığı da maraq kəsb edir. Bu, təmir prosesində ehtiyat hissələrinə tələbatın qiymətləndirilməsi nöqtəyi-nəzərindən xüsusi ilə əhəmiyyətlidir.

Təqdim olunan dissertasiya işində ilk dəfə olaraq ötürücü mexanizmin aradan qaldırılan və aradan qaldırılma bilməyən imtinalarının nəzərə alınması ilə etibarlıq göstəricilərinin təyin olunması məsələsinə baxılmışdır. Mövcud ədəbiyyatda iş qabiliyyəti bərpa olunan texniki sistemlərin etibarlılığının qiymətləndirilməsi zamanı baş verən bütün imtinaların aradan qaldırılma bilən olması qəbul edilir. Həqiqətdə isə bu cür yanaşma heç də həmişə reallığı əks etdirmir, yəni əksər texniki qurğuların istismarı zamanı meydana çıxan imtinalar heç də həmişə aradan qaldırılma bilmir. Bəzən istismar zamanı elə imtinalar baş verir ki, onların aradan qaldırılması mümkün olmur və texniki sistem iş qabiliyyətini tamamilə itirərək istismardan çıxarılır. Məsələn, avtomobillər və onların ötürmə sistemləri bərpa olunan sistemlərə aiddir. Onların istismarı zamanı meydana çıxan əksər imtinalar təmir vasitəsi ilə aradan qaldırılma bilir, lakin təsadüfi hadisələr (məsələn qəza, yanğın, qeyri-peşəkar idarəetmə və s.) nəticəsində elə imtinalar da baş verə bilər ki, onların aradan qaldırılması heç cür mümkün olmasın. Ona görə də bu cür sistemlərin etibarlılığının qiymətləndirilməsi zamanı aradan qaldırılma bilən və aradan qaldırılma bilməyən imtinaların ayrı-ayrılıqda analiz edilməsi aktual bir məsələ kimi qarşıya çıxır.

Bərpa olunan sistemlərin etibarlılığının qiymətləndirilməsində köhnəlmə prosesinin təsiri də nəzərə alınmalıdır. Çünki sistemin bir çox elementlərinin köhnəlməsi, yeyilməsi və yorulma müqavimətinin itirilməsi nəticəsində müəyyən istismar dövründən sonra iş qabiliyyətinin bərpa olunması daha çox xərc tələb edir, beləliklə iqtisadi səmərə şərtləri ilə əlaqədar olaraq onun istismardan çıxarılması lazım gəlir.

Beləliklə, iş qabiliyyəti bərpa olunan qurğu və avadanlıqların etibarlığının daha dürüst qiymətləndirilməsi üçün müxtəlif xarakterli imtinaların ayrı-ayrılıqda analiz edilməsi və hər bir hal üçün daha uyğun riyazi modelin seçilməsi vacibdir. İş qabiliyyəti bərpa olunan ötürmə sistemlərində imtinaların xarakterindən və aradan qaldırılıb-qaldırılmamasından asılı olaraq üç müxtəlif prosesin ayrı-ayrılıqda nəzərdən keçirilməsi etibarlığın qiymətləndirilməsində mühüm rol oynaya bilər. Bu proseslər şəkil 23-də hallar qrafı sxemində əks olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi birinci proses aradan qaldırılan imtinalarla bağlıdır. Bu proses aradan qaldırılan imtinaların intensivliyi $\lambda_b(t)$ və bərpa olunma intensivliyi $\mu(t)$ ilə xarakterizə olunur. İmtinaların baş verməsi II prosesə uyğun olduqda, yəni onların aradan qaldırılması müxtəlif səbəblərdən mümkün olmadıqda, texniki sistemin istismardan tamamilə çıxarılması ilə nəticələnir. Bu proses imtinalar intensivliyi $\lambda_m(t)$ ilə xarakterizə olunur. III proses zamanı detalların yeyilməsi, yorulma möhkəmliyini itirməsi və köhnəlməsi ilə əlaqədar olaraq qurğunun rentabelliği aşağı düşür, onun istismarı iqtisadi cəhətdən əlverişli olmur və istismardan çıxarılır. Bu proses $\lambda_k(t)$ imtinalar intensivliyi ilə xarakterizə olunur.

Ən sadə halda imtinalar intensivliyi zamandan asılı olaraq dəyişmədikdə etibarlığın qiymətləndirilməsi üçün Markov modeli istifadə oluna bilər. İstismar prosesində bərpa olunan obyekt iki halda ola bilər: S_0 – qurğu tam saz halda istismardadır və S_1 – aradan qaldırılan imtinadan sonra qurğu təmirdədir. Bundan başqa aradan qaldırılıb bilməyən imtinalar nəticəsində qurğu tam yararsız hala düşdükdən və ya köhnələrək rentabelliğini itirdikdən sonra istismardan çıxarılaraq S_2 halına keçə bilər. İmtinalar və bərpa olunma intensivliklərinin sabit olmasını qəbul etdikdə bu parametrləri aşağıdakı kimi götürmək olar: $\lambda_b(t)=\lambda_b$, $\mu(t)=\mu$, $\lambda_m(t)+\lambda_k(t)=\lambda_c$.

Dişli çarx reduktorunun hər bir vəziyyətdə olma ehtimalını uyğun olaraq $P_0(t)$, $P_1(t)$ və $P_2(t)$ ilə işarə etsək, baxılan sistemin Markov modeli üçün Kolmoqorovun diferensial tənliklər sistemini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

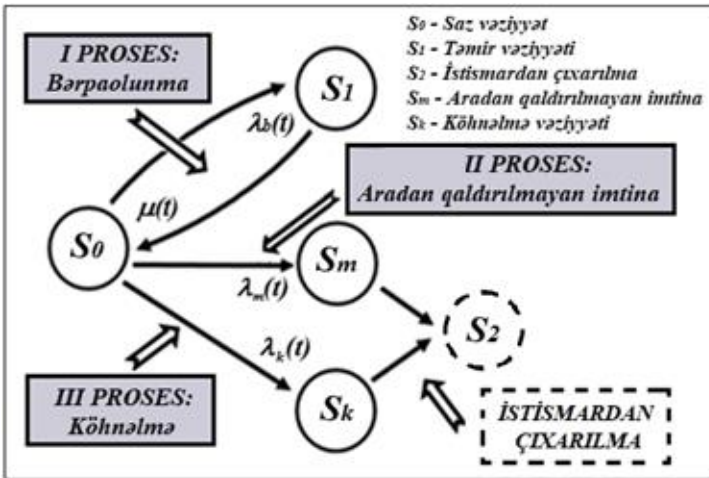
$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_b + \lambda_c) \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_b \cdot P_0(t) - \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_c \cdot P_0(t) \end{cases} \quad (8)$$

Baxılan texniki obyekt həmişə üç müxtəlif haldan yalnız birində ola bildiyinə görə istismarın istənilən anında həmin vəziyyətlərdə olma ehtimallarının cəmi vahidə bərabərdir. Bunu nəzərə alaraq aşağıdakı normalaşdırma şərtini yazı bilərik:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1. \quad (9)$$

İstismarın başlanğıc anında dişli çarx reduktoru bir qayda olaraq saz halda olduğuna görə aşağıdakı başlanğıc şərtlərini yazı bilərik:

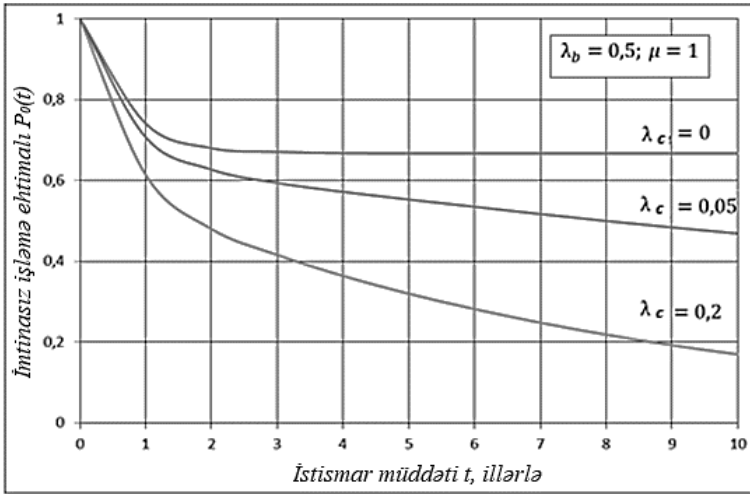
$$P_0(0) = 1 \text{ və } P_i(0) = 0, \quad i = 1, 2 \text{ olduqda.} \quad (10)$$



Şəkil 23. İmtinaların yaranması və aradan qaldırılması qrafları

Reduktorun hər bir vəziyyətdə olma ehtimalını təyin etmək üçün normalaşdırma (9) və başlanğıc (10) şərtlərini nəzərə almaqla (8) diferensial tənliklər sistemi Laplas çevirməsinin tətbiqi ilə həll edilmişdir.

Təqdim olunan metodika əsasında aradan qaldırılan imtinalarının intensivliyi $\lambda_b=0,5 \text{ il}^{-1}$, bərpaolunma intensivliyi $\mu=1 \text{ il}^{-1}$ olan dişli çarx reduktorunun imtinasız işləmə ehtimalının zamandan asılılığı aradan qaldırılma bilməyən imtina intensivliklərinin müxtəlif qiymətlərində təyin olunmuşdur. Hesablamaların nəticələri şəkil 24-də qrafiki olaraq göstərilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi, baxılan dişli çarx reduktorunun etibarlığı bərpaolunmayan imtinaların intensivliyindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.



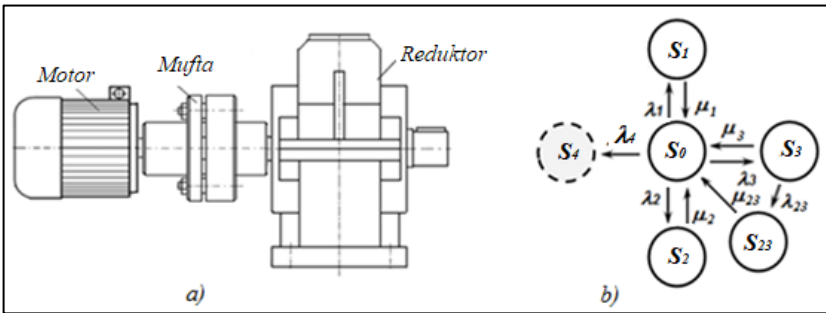
Şəkil 24. Dişli çarx reduktorunun imtinasız işləmə ehtimalının zamandan asılılığı

Aradan qaldırılma bilməyən imtinaları nəzərə almaqla maşın və avadanlıqların intiqal sistemlərində ən çox rast gəlinən və üç komponentdən – motordan, muftadan və reduktordan ibarət olan sistemin (şəkil 25, a) etibarlıq göstəricilərinin qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Baxdığımız sistemdə reduktorun nasazlıqları nəticəsində muftanın imtina etməsi ehtimalı da nəzərə alınmışdır. Bundan başqa istismar prosesində müxtəlif səbəblərdən (qəza, köhnəlmə, qeyri-peşəkar idarəetmə və s.) hər üç komponentin yararsız

hala düşməsi nəticəsində bütün sistemin total imtinası və beləliklə də sonrakı istismarın qeyri-mümkünlüyü halı da istisna edilmir.

Bütün bu halları nəzərə alaraq baxılan üçkomponentli sistemin Markov modelinin qraflarla təsvirini şəkil 25, b-yə uyğun olaraq göstərə bilirik. Burada λ_{23} – reduktorun nasazlığı nəticəsində muftanın imtinalarının intensivliyini, μ_{23} isə hər iki komponentin birlikdə bərpa olunma intensivliyini əks etdirir. Baxılan üçkomponentli sistemin təqdim olunan Markov modeli əsasında Kolmoqorovun diferensial tənliklər sistemini aşağıdakı kimi yaza bilirik:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot P_0(t) + \mu_1 \cdot P_1(t) + \mu_2 \cdot P_2(t) + \mu_3 \cdot P_3(t) + \mu_{23} \cdot P_{23}(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_1 \cdot P_0(t) - \mu_1 \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_0(t) - \mu_2 \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_3 \cdot P_0(t) - (\mu_3 + \lambda_{23}) \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_{23}(t)}{dt} = \lambda_{23} \cdot P_3(t) - \mu_{23} \cdot P_{23}(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_4 \cdot P_0(t) \end{array} \right. \quad (11)$$

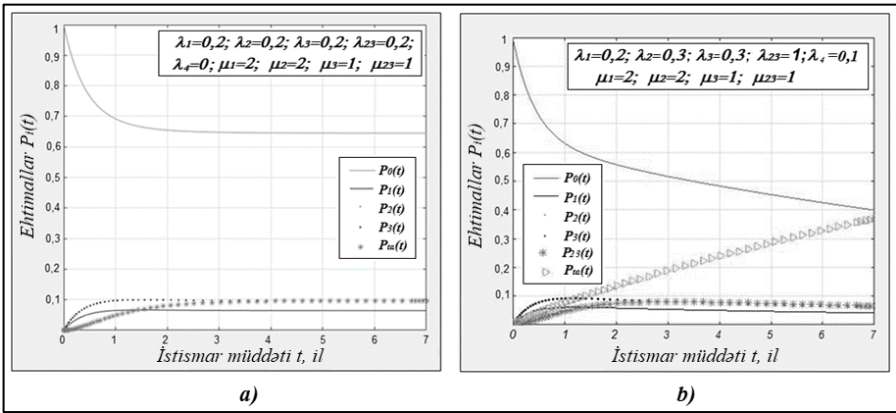


Şəkil 25. Üç komponentdən ibarət intiqal sistemi (a) və onun Markov modelinin qraflarla təsviri (b)

(11) diferensial tənliklər sisteminin analitik olaraq həlli olduqca mürəkkəbdir. Ona görə də normallaşdırma və başlanğıc şərtləri nəzərə

alınaraq (11) diferensial tənliklər sistemi «MATLAB» proqramının vasitəsi ilə həll edilmişdir və sistemin aldığı vəziyyət ehtimallarının zamandan asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 26). Baxılan sistemin əsas komponentlərinin imtina və bərpa olunma intensivliklərinin müxtəlif qiymətlərində aradan qaldırılma bilməyən imtinalar da nəzərə alınmaqla (şəkil 26, b) etibarlıq göstəricilərinin zamandan asılılığı müəyyən edilmişdir.

Alınan nəticələrdən görünür ki, iş qabiliyyəti bərpa olunan intiqal sistemlərinin aradan qaldırılma bilməyən imtinaları onların etibarlıq göstəricilərinə ciddi təsir göstərir və hazırlıq əmsalının sabit saxlanmasına imkan vermir, onun tədricən azalmasına səbəb olur. Ona görə də ehtiyat hissələrinə olan tələbatın daha düzgün qiymətləndirilməsi üçün aradan qaldırılma bilməyən imtinaların nəzərə alınması vacibdir.



Şəkil 26. Motor-mufta-reduktor sisteminin aldığı vəziyyət ehtimallarının zamandan asılılıq qrafikləri

Yeddinci fəsil aparılan tədqiqatların texniki-iqtisadi effektivliyinin qiymətləndirilməsi məsələsinə həsr olunmuşdur.

Maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmləri iş qabiliyyəti bərpa olunan texniki sistemlərə aid olduğu üçün təmir zamanı boşdayanmaların azaldılması məqsədi ilə ehtiyat hissələrin lazımı

miqdarının ambarda saxlanması zəruridir. Hər hansı bir detala və ya düyünə görə tələb olunan ehtiyat hissələrinin miqdarı istismarın müxtəlif mərhələlərində imtinalar intensivliyinin qiymətindən asılı olaraq fərqli ola bilər. Buna görə də ehtiyat hissələri saxlanılacaq detal və ya düyünlərin imtinalar intensivliyinin zamandan asılılığını düzgün təyin etmək və bunun əsasında müəyyən istismar mərhələləri üzrə tələb olunan miqdarda ehtiyat hissələrinin saxlamaq mühüm iqtisadi əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, aylar, rüblər, illər və ya təmir tsiklləri üzrə tələb olunan ehtiyat hissələrinin miqdarının təyin edilməsi daha məqsədəuyğundur. Qeyd olunanları nəzərə alaraq müəyyən Δt_i istismar dövrü ərzində (ay, rüb, il və s.) tələb olunan ehtiyat hissələrinin miqdarını aşağıdakı kimi təyin etmək olar⁵:

$$m_i = n \cdot N \cdot \lambda(t_i) \cdot \Delta t_i, \text{ əgər } \lambda(t_i) \cdot \Delta t_i \leq 0,2 \text{ olarsa;} \quad (12)$$

və ya

$$m_i = n \cdot N \cdot (1 - e^{-\lambda(t_i) \cdot \Delta t_i}), \text{ əgər } \lambda(t_i) \cdot \Delta t_i > 0,2 \text{ olarsa.} \quad (13)$$

Burada Δt_i – ehtiyat hissələrinin miqdarının təyin olunduğu istismar dövrü; $\lambda(t_i)$ – baxılan istismar dövründə imtinalar intensivliyinin riyazi gözləməsidir.

Təqdim olunan metodika əsasında $N=300$ sayda ötürücü mexanizmin istismarı zamanı $T=10$ il ərzində illər üzrə tələb olunan elektromaqnit muftaların sayı təyin edilmiş və dissertasiyada əks olunmuşdur.

Hal-hazırda Azərbaycanda neftçixarma sənayesi sahələrində müxtəlif tipli mancanaq dəzgahları istismar olunur. Bu qurğularda əsasən Novikov ötürməli dişli çarx reduktorları istifadə olunur. Cədvəl 1-də mancanaq dəzgahlarında ən çox tətbiq olunan dişli çarx reduktorlarının markaları, bazarda satış qiymətləri və dişli çarxların işçi profillərinin qeyri-işçi profillərlə əvəz edilməsi ilə uzunömürlülyün təxminən 50% artırılması halında əldə olunan qənaətin miqdarı əks

⁵ Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. Монография/В.М. Труханов. Москва: «Машиностроение», -2003. - 320 с.

olunmuşdur. “Azneft” istehsalat birliyində fəaliyyət göstərən Neft və Qazçıxarma idarələrində minlərlə mancanaq dəzgahının istismar olunduğunu nəzərə alsaq, dişli çarx reduktorlarının uzunömürlüyünün artırılması hesabına əldə olunan iqtisadi səmərənin dəyəri milyon manatlarla qiymətləndirilə bilər.

Cədvəl 1. Mancanaq dəzgahlarının reduktorlarında uzunömürlüyün 50% artırılması hesabına əldə olunan iqtisadi səmərənin qiymətləndirilməsi

Dişli çarx reduktorunun markası	Reduktorun bazarda satış qiyməti		Uzunömürlüyün 50% artırılması nəticəsində gözlənilən səmərə, manat
	ABŞ dolları ilə [79]	Məzənnəyə uyğun manatla (17.11.2021)	
U2HIII-450	16000	27200	13600
U2HIII-750	18000	30600	15300
U2HIII-315	12000	20400	10200
U2HIII-560	19000	32300	16150

Ticarət mərkəzlərində və metropoliten stansiyalarında enmə və qalxma eskalatorlarının hərəkət istiqamətinin qarşılıqlı olaraq dəyişdirilməsi sərnişinlərin hərəkətinin təşkilində hər hansı bir problem yaratmazsa, dişli çarxların işçi profillərinin qeyri-ışçı profillərlə əvəz edilməsi təqdim olunan üsulla həyata keçirilə bilər. Hal-hazırda Bakı metropoliteninin stansiyalarında “Thyssen Krupp” şirkəti tərəfindən quraşdırılan eskalatorlarda sonsuz vint reduktorları istifadə edilir. Cədvəl 2-də Bakı metropoliteni stansiyalarının eskalatorlarında istifadə olunan sonsuz vint reduktorlarının markaları, bazar qiymətləri və uzunömürlüyün təxminən 50% artırılması halında əldə olunan səmərənin miqdarı əks olunmuşdur. Baxılan reduktorların kifayət qədər baha olduğunu nəzərə aldıqda onların uzunömürlüyün artırılması mühüm iqtisadi əhəmiyyət kəsb edir.

Cədvəl 2. Eskalatorlarda istifadə olunan sonsuz vint reduktorlarında uzunömürlüyün 50% artırılması hesabına əldə olunan iqtisadi səmərənin qiymətləndirilməsi

Sonsuz vint reduktorunun markası	Reduktorun bazarda satış qiyməti		Uzunömürlüyün 50% artırılması nəticəsində gözlənilən səmərə, manat
	Avro ilə	Məzənnəyə uyğun manatla (17.11.2021)	
SOG-250	15000	28500	14250
SOG-320	17000	32300	16150

AzTU-nun “Maşınların konstruksiya edilməsi” kafedrasında işlənərək patentləşdirilən tırtıllı maşınların yeni icralı dönmə mexanizmi planetar ötürməli mövcud ötürücü dönmə mexanizmləri ilə müqayisə olunaraq təbii ki, effektivliyi qiymətləndirilmişdir. Yeni təklif olunmuş konstruksiyada valların, dişli çarxların, diyirlənmə yastıqlarının sayı azalır və beləliklə əsas ötürücü elementlərin ümumi sayı 38-dən 32-yə endirilir. Bu, təbii ki, konstruksiyanın qabaritinin, çəkisinin və eləcə də hazırlanmasının maya dəyərinin kifayət qədər azalmasına səbəb olur. Əsas konstruktiv elementlərin eyni istehsalçı zavod tərəfindən tələb olunan texniki səviyyədə hazırlandığını qəbul edərək hər iki konstruksiya üçün etibarlıq göstəricilərinin analizi aparılmışdır.

Ötürücü mexanizmin həm əhəmiyyəti, həm də yeni təklif olunmuş konstruksiyasında elementlərin imtinalarının bir-birindən asılı olmadığını qəbul edərək ümumi etibarlıq göstəricisi elementlərin ardıcıl birləşdirilməsi halına uyğun təyin edilmişdir. Aparılan hesablamalar yeni konstruksiyanın etibarlıq göstəricisinin əhəmiyyəti konstruksiya ilə müqayisədə 5,4% yüksək olduğunu göstərmişdir. Buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, tırtıllı maşının ötürücü dönmə mexanizminin yeni təklif olunan konstruksiyası qabarit ölçülərin, kütlənin və hazırlanmasının maya dəyərinin azaldılması ilə yanaşı etibarlıq göstəricilərinin də yüksəldilməsinə imkan verir.

NƏTİCƏLƏR

1. Eksponensial və normal paylanmaların superpozisiyasından ibarət olan yeni təklif olunan paylanma onların müsbət xüsusiyyətlərini saxlamaqla, çatışmayan cəhətlərini aradan qaldıra bilər, bu isə maşın və qurğuların etibarlılıq göstəricilərinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan verir;
2. Müasir mexatron strukturlu ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan imtinaların paylanma funksiyalarının real qurğuların sınağından alınan nəticələrə uyğunluq dərəcəsi yoxlanılmışdır və nəticələr müsbət olmuşdur. İmtinaların yeni təklif olunan paylanma funksiyası insan-maşın sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsində də tətbiq oluna bilər;
3. Maşın və avadanlıqların ötürücü mexanizmlərinin detal və düyünlərinin yenilənməsi məqsədi ilə ehtiyat hissələrinin müəyyən istismar dövrü ərzində və ya təmir tsikli üzrə tələb olunan miqdarını proqnozlaşdırmaq üçün həmin komponentlərin imtinalarının paylanma qanunlarını düzgün seçmək və imtinalar intensivliyinin zamandan asılılığını müəyyənləşdirməklə, yalnız lazım olan sayda ehtiyat hissələri saxlamaq ambar xərclərinin minimum olmasına, ambarlarda həmişə ehtiyat hissəsinin olması isə imtinalar zamanı boşdayanmaların azalmasına, istehsalat prosesinin intensivləşməsinə və əmək məhsuldarlığının yüksəlməsinə səbəb olur;
4. Əyilmə və kontakt gərginliklərinə görə möhkəmlik meyarlarına görə dişli çarxların uzunömürlük nisbəti ötürmənin həndəsi və kinematik parametrlərindən, materialların mexaniki xarakteristikalarından asılıdır. Modulun və çarxın eninin artırılması uzunömürlük nisbətinin yüksəldilməsinə imkan verir;
5. Həndəsi parametrlərin və materialların düzgün seçilməsi şərti ilə əyilmə gərginliklərinə görə lazımi möhkəmliyi təmin etməklə müəyyən istismar müddətindən sonra dişlərin işçi profillərinin qeyri-ışçı profillərlə əvəz edilməsi dişli çarxların uzunömürlüyünün artırılmasına imkan verir;

6. Əyilmə möhkəmliyi meyarına görə proqnozlaşdırılan resurs kontakt möhkəmliyi meyarına görə proqnozlaşdırılan resursdan kifayət qədər böyük olduqda müəyyən istismar müddətindən sonra çarxların dişlərinin işçi profillərinin qeyri-işçi profillərlə əvəz edilməsi yolu ilə silindrik və konusvari dişli çarx ötürmələrinin uzunömürlüliyünü 50-60%, sonsuz vint ötürmələrinin uzunömürlüliyünü isə 30-50%-ə qədər yüksəltmək mümkündür;

7. Hesablamalarla sübuta yetirilmişdir ki, müəyyən istismar dövründən sonra dişlərin işçi profillərini qeyri-işçi profillərlə əvəz etməklə uzunömürlüyü 50% artırıqda mancanaq dəzgahlarında istifadə olunan U2HIII markalı reduktorların istismarında 13-16 min manat, metropoliten eskalatorlarında istifadə olunan SOG markalı sonsuz vint reduktorlarının istismarında isə 15-17 min manat büdcə vəsaitinə qənaət etmək olar;

8. AzTU-nun "Maşınların konstruksiya edilməsi" kafedrasında işlənərək patentləşdirilən tırtıllı maşınların yeni icralı dönmə mexanizminin planetar ötürməli mövcud ötürücü dönmə mexanizmləri ilə müqayisəsi göstərmişdir ki, yeni konstruksiya qabarit ölçülərin, kütlənin və hazırlanmasının maya dəyərinin azaldılması ilə yanaşı etibarlıq göstəricilərinin də 5,4%-dək yüksəldilməsinə imkan verir;

9. İş qabiliyyəti bərpa olunan intiqal sistemlərinin aradan qaldırılma bilməyən imtinaları onların etibarlıq göstəricilərinə ciddi təsir göstərir və hazırlıq əmsalının sabit saxlanmasını təmin etmir, onun tədricən azalmasına səbəb olur. Ona görə də ehtiyat hissələrinə olan tələbatın daha düzgün qiymətləndirilməsi üçün aradan qaldırılma bilməyən imtinaların nəzərə alınması vacibdir;

10. Hesablamalar nəticəsində sübut olunmuşdur ki, intiqal sisteminin komponentlərinin bir-birindən asılı olan imtinalarının intensivliklərinin qiyməti sistemin etibarlığına ciddi təsir göstərmir, lakin müvafiq bərpaolunmalar intensivliyinin qiymətinin təsiri kifayət qədər yüksəkdir.

DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1. Абдуллаев А.И., Чалабиев И.Г. К вопросу проектирования стяжных болтов цилиндрического редуктора на основе системного вероятностного расчета//Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, - 1999. №3, - s. 20-24.
2. Çelebiyev İ. Otomobillerin transmissiya mexanizmalarının güvenlilik göstergelerinin degerlendirilmesi//9. Uluslararası Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, - Ankara, Türkiyə: 13-15 Eylül, - 2000. - s. 49 – 52.
3. Çələbi İ.Q. Maşın və aqreqların etibarlılığının qiymətləndirilməsi// - Bakı: «Механика-машиностроение» jurnalı, - 2004. № 2, - s. 52-54.
4. Tschalabi I., Jäger P. Systematische Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse für Schraubenverbindungen//Konstruktion. - 2005. Nr.1-2, S. 59-64.
5. Tschalabi I. Lebensdauervertelung zur Beschreibung des Ausfallverhaltens von elektronischen Geräten und komplexen Bauteilen//22. Tagung Technische Zuverlässigkeit. - Stuttgart, Germany: 7-8 April, - 2005, S. 259-270.
6. Абдуллаев А.И., Чалаби И.Г. Оценка показателей надежности машин и конструкций на основе закона распределения отказов//AzTU-nun elmi əsərləri - Bakı: - 2006. №2, - s. 5-8.
7. Tschalabi I., Bertsche B. Untersuchung der Konstruktionsmethode Arbeitsflankenwechsel der Zähne zur Lebensdauer- und Zuverlässigkeitserhöhung von Industriegetrieben//23. Tagung Technische Zuverlässigkeit. – Stuttgart, Germany: 22-23 März, - 2007, S. 339-347.
8. Tschalabi I. Vergleichsmäßige Lebensdauerbewertung für hochbelastete Kegelradgetriebe nach unterschiedlichen Ausfallkriterien// Dresdner Maschinenelemente Kolloquium DMK 2007. – Dresden, Germany: 5-6 Dezember, -2007, S. 147–159.

9. Абдуллаев А.И., Чалаби И.Г., Берче Б. Повышение долговечности зубчатых редукторов нефтепромыслового оборудования//“Azərbaycan Neft Təsərrüffatı” jurnalı, - Bakı: - 2008. № 6, -s. 38-42.
10. Tschalabi I. Lebensdauererhöhung von Zahnradgetrieben durch Aktivierung der Rückflanke//Antriebstechnik. -2008. Nr. 3, S. 48-51
11. Çələbi İ.Q. Sonsuz vint ötürməsinin uzunömürlülüyünün artırılması məsələsinə dair//-Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, - 2009. №4, - s. 35-37.
12. Çələbi İ.Q., Xəlilov İ.Ə. Metropoliten eskalatorlarının baş intiqalının uzunömürlülüyünün artırılması//AzTU-nun 60 illiyinə həsr olunmuş Respublika elmi-texniki konfransının materialları, Bakı: - 2-3 may, - 2010. – s. 568 – 570.
13. Чалаби И.Г. Сравнительный анализ показателей долговечности элементов червячной передачи// “Механика-Маşınqayıрма” jurnalı, Bakı: - 2011. №2, s. 29-32.
14. Tschalabi I. Lebensdauererhöhung von Schneckengetrieben durch Flankenwechsel der Radzähne/I. Tshalabi, E. Leidich, J. Reißmann //ANT Journal. -2012. Nr. 12, S. 14-17.
15. Чалаби И.Г. Функция распределения отказов для оценки показателей надежности современных механических систем//Вестник Севастопольского Национального Технического Университета: Серия - Механика, Энергетика, Экология. Севастополь: -2013, Выпуск 137, с. 289-293.
16. Çələbi İ.Q. Ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının statistik üsullarla qiymətləndirilməsi// - Bakı: «Maşınşünaslıq» jurnalı, - 2014. № 1, - s. 11-14.
17. Çələbi İ.Q. Ötürmə sistemlərinin etibarlılığının qiymətləndirilməsində yeni statistik modelin tətbiqi// - Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, - 2014. №1, - s. 65-71.
18. Чалаби И.Г. Оценка надежности технических систем при постепенных отказах//Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin xəbərləri, - Bakı: - 2014. № 6(94), - s. 35-40.

19. Чалаби И.Г. Оценка показателей надежности современных машиностроительных изделий// "Вестник машиностроения", Москва: -2014. № 7, с. 54-56.
20. Çələbi İ.Q. İş qabiliyyəti bərpa olunan ötürmə sistemlərinin etibarlılığının qiymətləndirilməsi// - Bakı: «Maşınşünaslıq» jurnalı, - 2015. Cild 4, № 1, - s. 24-28.
21. Çələbi İ.Q. Layihələndirmə mərhələsində ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının proqnozlaşdırılması// - Bakı: AzTU-nun Elmi əsərləri, - 2015. № 4, s. 185 - 192.
22. Çələbi İ.Q. Ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının innovativ metodlarla qiymətləndirilməsi// - Bakı: «Maşınşünaslıq» jurnalı, - 2016. Cild 5, № 1, - s. 19-22.
23. Çələbi İ.Q. Ötürücü mexanizmlərin etibarlılığının keyfiyyət və kəmiyyət göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üsulları// - Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, - 2016. №4, - s. 115-120.
24. Чалаби И.Г., Гашимов Р.Д., Юсубов Ш.Т. Оценка надежности системы муфта-редуктор с помощью марковской модели// «Maşınşünaslıq» jurnalı, - Bakı: - 2017. Cild 6, № 1, - s. 35-38.
25. Чалаби И. Г., Гасанов Ш. Г. Оценка надежности системы мотор-редуктор с учетом невозстановливаемых отказов // "Maşınşünaslıq" jurnalı, - Bakı: - 2018. №1, s. 5 – 9.
26. Çələbi İ.Q., Yusubov Ş.T. Tırtıllı maşınların ötürmə sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi// "Tikinti istehsalatında texnoloji maşınların istifadəsinin müasir problemləri" mövzusunda Respublika elmi-praktiki konfransının materialları, Bakı: -20-21 dekabr, -2019. – s. 107-112.
27. Tschalabi I. Zuverlässigkeitsanalyse für reparierbare Systeme unter Berücksichtigung der nicht behebbaren Ausfälle// 29. Tagung Technische Zuverlässigkeit. – Stuttgart, Germany: 7-8 Mai, - 2019, S. 73-84.
28. Чалаби И. Г., Гасанов Ш. Г. Оценка надежности системы мотор-редуктор с учетом невозстановливаемых отказов//IX International correspondence scientific specialized conference «International scientific review of the technical sciences, mathematics

and computer science», Boston, USA. February 12-13, 2019. pp. 58-66.

29. Абдуллаев А.И. Четырехступенчатый двухпоточный передаточно-поворотный механизм гусеничных машин. Евразийский патент № 033813. ЕАПО/А.И. Абдуллаев, А.М.Наджафов, И.Г.Чалаби [и др.]. – 2019.

30. Abdullayev A. I., Chalabi I.G. Estimation of the Reliability of the Gear–Motor System Using a Markov Model//Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2020. Vol. 49, No. 2, pp. 129-136.

31. Tschalabi I. Zuverlässigkeitsanalyse für technische Systeme unter Berücksichtigung der behebbaren und nicht behebbaren Ausfälle//Forschung im Ingenieurwesen. – 2020. Volume 84, Nr. 1, S. 47-54.

32. Chalabi I. Comparative Service Life Analysis for Gears According to Different Failure Criteria//Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020. p. 2137-2144. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-01029-y>

33. Chalabi İ. A new lifetime distribution for reliability evaluation of modern machines and human-machine systems// “Maşınşünaslıq” jurnalı, - Bakı: - 2020. №1, s. 53 – 60.

34. Chalabi I., Ahmedov B., Hajiyev A. Comparative analysis of gears service life of mechanical drive for sucker-rod pumps//Oil Qas European Magazine. -2021. 47. Edition, Issue 1, p. 39-45. <https://www.energie-archiv.de/SingleView.aspx?show=2251454>

Dərc edilmiş işlərdə müəllifin iştirakı.

[2, 3, 5, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 31, 32, 33] sayılı işlər iddiaçı tərəfindən müstəqil olaraq yerinə yetirilmişdir. [4, 6, 7, 9, 12, 14, 24, 25, 26, 28, 34] sayılı işlərdə məsələlərin qoyuluşu, nəzəri tədqiqatlar, nəticələrin işlənməsi iddiaçı tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

[1, 29, 30] sayılı işlər müəlliflər tərəfindən bərabər olaraq yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 07 aprel 2022-ci il tarixində

saat 14-00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət

göstərən ED 2.32 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

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

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında
taniş olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat 01 mart 2022-ci il tarixində zəruri unvanlara
göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 21.02. 2022

Kağızın formatı: 60x84 ¹/₁₆

Həcm: 72510 işarə

Tiraj: 100