

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

PORŞENLİ KOMPRESSORLARIN KONTAKT CÜTLƏRİNİN MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN TƏMİN EDİLMƏSİ

İxtisas: 2004.01 – “Maşınların, cihazların və aparatların dinamikası, möhkəmliyi”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **İsmayıl Allahverdi oğlu İsmayıl**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ - 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Mexanika" kafedrasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Valeh İsmixan oğlu Baxşəli

Rəsmi opponentlər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Şahin Hümbət oğlu Həsənov

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azər Dəmir oğlu Əhmədov

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Tahir Süleyman oğlu Süleymanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.09 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: t.e.d., professor

Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov

Dissertasiya şurasının elmi katibi: t.e.n., dosent

Püzlüli Rəsul oğlu Rəsulov

Elmi seminarın sədri: t.e.d., professor

Əsgər Həbib oğlu Tağızadə

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hazırda texniki tərəqqinin və İKT vasitələrinin sürətlə inkişafı maşın və mexanizmlərin hissələrinin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi, yeni materialların yaradılması, onların istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılması, enerjitutumunun azaldılması və maşınların uzunömürlüliyünün artırılması üçün yeni yanaşmaları şərtləndirir.

Maşın və mexanizmlərin etibarlığı və uzunömürlüüyü onların konstruksiyalarında istifadə olunan hissələrin sürtünmə və yeyilməyədavamlılığı ilə müəyyən edilir.

Neft və qaz sənaye sahəsində tətbiq olunan porşenli maşınlarda (PM) yaranan mexaniki itkilər kinematik cütlərin sürtünmə və yeyilməyədavamlılığının kifayət etməməsi səbəbindən işgörmə qabiliyyətinin və uzunömürlülüyünün azalmasına və maşınlarda imtinaların artmasına səbəb olur.

Porşenli maşınların kinematik cütlərinin yastıq birləşmələrindəki mexaniki itkilər iş prosesində aşağıdakı faktorların təsiri ilə müəyyənləşir: işçi təzyiq, temperatur, nisbi sürüşmə sürəti, titrəmə, ətraf mühitin təsiri və s. Bu amillərin birlikdə təsiri maşınlarda neqativ proseslərin yaranmasına və onların kinematik cütlərindəki hissələrin keyfiyyət göstəricilərinin aşağı düşməsinə səbəb olur.

Neft və qaz sənayesində ən çox istifadə olunan maşın və avadanlıqlar içərisində porşenli nasos və kompressorlar xüsusi yer tuturlar. Bu maşınların kinematik cütlərinin keyfiyyət göstəriciləri, onların sürtünmə və yeyilməyədavamlılığı yüksək olan metal, metalplastik və özüyağlanan materiallarından asılıdır. Həmin hissələrin kontakt səthlərinin mexaniki xassələri (təzyiq, nisbi sürət, titrəmə, kələ-kötürlük və s.) istehsal zamanı formalaşan və istismar zamanı dəyişən səth təbəqəsinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinə görə müəyyənləşir. Bu məsələlərin həlli proşenli kompressorların sürtünmə birləşmələrində yeyilməyədavamlılığın yüksəldilməsi üsullarının təkmilləşdirilməsi zərurətini yaradır.

PM-də tətbiq edilən özüyağlanan materialların istismar göstəricilərinin, yeyilmə səthlərinin keyfiyyətinin, yastıq

birləşmələrinin və kinematik cütlərin hərəkətli hissələrinin mexaniki xassələrinin yaxşılaşdırılması aktual problemlərdir.

Özüyağlanan materialların səthlərində sürtünmə və yeyilmənin riyazi modelləşdirilməsi üçün elmi əsaslandırılmış üsulların işlənməsi və materialların tribotexniki xassələrinin yaxşılaşdırılması, eyni zamanda yağlama səviyyəsinin və sürtünmə birləşmələrində hermetikliyin artırılması mexanika mühəndisliyi qarşısında duran vacib məsələlərdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı neft və qaz sənayesində tətbiq olunan porşenli kompressorlardır. Tədqiqat obyektlərinin əsas istiqamətləri maşın və mexanizmlərin sürtünən birləşmələrindəki hissələrin materiallarının seçilməsi, sərhəd və hidrodinamik yağlama rejimlərinin əsaslandırılmasıdır. Tədqiqatın predmeti bu maşınların riyazi modelləşdirməsi və uzunömürlülüyünün yüksəldilməsi üçün kontakt cütlərindəki materialların mexaniki xassələrinin yüksəldilməsidir. Tədqiqatın əsas istiqamətləri maşın və mexanizmlərin sürtünən birləşmələrindəki hissələrin materiallarının seçilməsi, sərhəd və hidrodinamik yağlama rejimlərinin əsaslandırılmasıdır. Tədqiqat prosesində dirsəkli val, sürgüqolu və digər hissələrin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün müasir kompüter proqramları ilə simulyasiyaların aparılmasıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi porşenli kompressorların kontakt cütlərinin mexaniki xassələrinin sistemli araşdırılması əsasında sürtünmə, yeyilmə və yağlamanın kontakt səthinə təsiri, həmçinin kinematik cütlərdə istifadə olunan xüsusi materialların fiziki-mexaniki və keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsidir.

Dissertasiyanın bu məqsədinə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulmuşdur:

1. Porşenli maşınların işçi prosesinin qiymətləndirilməsi, texniki göstəricilərin analizi,
2. Porşenli maşınların istismar göstəricilərinin yüksəldilməsi,
3. Porşenli maşınların kontakt cütlərinin riyazi modelləşdirilməsi,

4. Porşenli kompressorların hissələrinin kompüter simulyasiyası.

Tədqiq olunan özüyağlanan materiallarda məsamələrin forma və ölçülərinin riyazi modelləşdirmə əsasında optimallaşdırılması praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Yastıq oymaqlarında hopdurulmuş bərk yağların sərfi mexanizminin tədqiqi də çox vacibdir. Belə ki, məsamələrin gec dağılması və yağ təbəqəsinin azalması kontakt səthində sürtünmə əmsalının və temperaturun yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Temperaturun artması nəticəsində məsamələrdəki yağda istilik genişlənməsi baş verir və həmin yağ təbəqəsi kontakt səthinə dağılaraq burada sərhəd sürtünmə rejimini təmin edir. Odur ki, vahid zamanda səthə çıxan yağın miqdarının idarə olunmasının nəzəri və praktiki tədqiqi özüyağlanan sürüşmə yastıqlarının optimal layihələndirilməsi üçün böyük əhəmiyyətə malikdir.

Dissertasiya işində kinematik cütlərin birləşmələrindəki sürtünmə və yeyilmənin fiziki mahiyyəti və səthlərinin qarşılıqlı təsirinə nəzəri tədqiqi kontakt mexanikasına, abraziv yeyilmə, mexaniki sürtünmə və hidrodinamik yağlama nəzəriyyələrinə, həmçinin riyazi fizika tənliklərinə əsaslanır.

Porşenli maşınların kontakt cütləri bir sıra mexaniki xassələrə malikdir. Bu xassələrin müəyyən həddi keçməsi maşınların etibarlılığının və iş prosesinin pozulmasına, istismar prosesində maşın hissələrində bərpa olunmaz dəyişikliklərin toplanmasına və hissələrin tədricən sıradan çıxmasına gətirib çıxarır. Sıradan çıxmanın əsas səbəbləri içərisində sürtünmə, yeyilmə, titrəmə və ayrı-ayrı hissələrin zərbə prosesləri mühüm yer tutur.

Qeyd etmək lazımdır ki, bütün bu proseslər eyni vaxtda baş verir, maşınlardakı sürtünmə, titrəmə və zərbə prosesləri bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə gedir. Bu o deməkdir ki, bu proseslərdən birinin baş verməsi digərini doğurur. Belə ki, sürtünmə nəticəsində maşın hissələrində yeyilmə yaranır və kinematik cütlərin hissələri arasında əvvəlcədən nəzərdə tutulmamış ara boşluqları yaranır. Nəticədə maşın hissələrinin bir-biri ilə qarşılıqlı təsiri və ya zərbə hadisəsi baş verir. Eyni zamanda dəyişən qüvvənin təsiri altında bütün deformasiya olunan hissələrin möhkəmlik və dayanıqlığı azalır.

Ona görə də PM-də bütün dinamik proseslərin qarşılıqlı əlaqəli şəkildə tədqiq olunması daha real praktiki nəticələrin alınmasına zəmin yaradır. Həllini gözləyən bu məsələləri tədqiq etmək üçün mürəkkəb hesablaşma və kompüter simulyasiyası tələb olunur.

PM-in indiyədək aparılmış nəzəri və praktiki tədqiqatları göstərir ki, istismar prosesində yaranan imtinaların çoxu sürtünmə, yeyilmə, zərbə və titrəmə nəticəsində baş verir. Hazırda PM-in termodinamik işçi rejiminin nəzərə alınması ilə uzunömürlük, möhkəmlik və dayanıqlılığının hesablanması üçün tətbiq olunan ənənəvi metodlar kifayət deyildir.

İşin vəzifələrindən biri neft sənayesində istifadə olunan porşenli maşın və mexanizmlərin layihələndirməsində kinematik cütlərdəki sürtünmə birləşmələrinin keyfiyyət göstəricilərinin və tribotexniki parametrlərinin yüksəldilməsi üçün riyazi model işlənməsidir.

Maşın və mexanizmlərin müxtəlif sürtünmə cütlərində baş verən mexaniki proseslərin tədqiqi sahəsində bir sıra klassik və müasir müəlliflərin elmi tədqiqat işləri mövcuddur. Bu işlərdən Azərbaycan, MDB və digər xarici ölkələrin tədqiqatçılarından Bouden F.P., Teybor D., Braun E.D., Bruyeviç N.Q., Serqeyev V.İ., Qalaxov M.A., Usov P.P., Qalın L.A., Qoryaçeva İ.Q., Davitaşvili N.S., Koqayev V.P., Kraqeliski İ.V., Plastinin P.İ., Fotin, B.S., Frenkel M.İ., Enqliş K., Blox, H.P., Proppe C., Burstein L., Foreman S., Rangvala A.S., Soedel V., Taylor R., Vittenburg J, V. Seaman, Mirzəcanzadə A.X., Qədirov N.B., Məmmədov A.T., Şükürov R.İ., Əlizadə R.İ., Hüseynov Ə.G., Baxşəli V.İ. və digərlərinin işlərini göstərmək olar. Göstərilən müəlliflərin işlərindən dissertasiyada qarşıya qoyulan məsələlərin həllində baza kimi istifadə edilmişdir. Xeyli işlər görülməsinə baxmayaraq neft və qaz sənayesində ağır şəraitdə işləyən porşenli kompressorların kontakt cütlərinin mexaniki xassələrinin və materiallarının keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsinə ehtiyac vardır. Dissertasiya işində həmin maşın hissələrinin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün yeni metodika işlənməmiş və onların etibarlı iş rejiminin təmin olunması üçün nəzəri və praktiki elmi tədqiqat işləri aparılmışdır.

Tədqiqat metodları. Dissertasiyada riyazi fizika, texniki termodinamika və sürtünmənin riyazi nəzəriyyəsi tənliklərinin analitik və təcrübi üsullarının tətbiqi ilə qarşıya qoyulan məsələlərin həllinə baxılmışdır.

Problemin həllini məsələnin qoyuluşunda qarşıya çıxan çox sayda parametrlər mürəkkəbləşdirmişdir. Odur ki, bir neçə elmlərin qovşağında yerləşən bu məsələlərin həlli üçün nəzəri və kompüter simulyasiyası ilə mexaniki parametrləri tapılmışdır. Sürtünmə, rəqs və zərbə xarakteristikalarından istifadə etməklə, effektiv analitik üsullarla PM-in keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsinə baxılmış, alınan nəticələr təcrübi və mövcud parametrlərlə müqayisə edilmişdir.

Müəyyən olunmuşdur ki, maşınların uzunömürlülüyünün riyazi modelləşdirmə səviyyəsi tribologiya, mexanika, fizika və materialşünaslıq elmlərinin nəzəri əsasları ilə bağlıdır. Bununla yanaşı, işdə dinamika, hidrodinamika, deformasiya olunan bərk cisim mexanikası və dağılma mexanikasının müddəələrindən istifadə olunmuşdur.

Tədqiqatlar göstərir ki, PM-in kinematik cütlərinin mexaniki xassələrinin riyazi modelləşdirməsi, kompüter simulyasiyası və nəticələrin praktiki cəhətdən araşdırılması bu maşınların uzunömürlülüyünün yüksəldilməsi üçün ən effektiv üsullardandır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində göstərilən məqsədə uyğun olaraq aşağıdakı əsas müddəalar irəli sürülmüşdür:

1. Porşenli maşın və mexanizmlərin kontakt cütlərinin materiallarının yeyilməyədavamlılığının yüksəldilməsinin nəzəri və təcrübi əsaslarının işlənilib hazırlanması;
2. Müxtəlif bərk və maye yağlayıcılardan istifadə edərək sürtünmə cütlərinin model və tribotexniki sistemlərinin yaradılması və yastıq birləşmələrinin sürtünmə və yeyilməyədavamlılığının yüksəldilməsi;
3. Müasir texnologiyalardan istifadə etməklə yeni antifriksion materialların yaradılması və kompüter simulyasiyası;

4. Porşenli maşınların dirsək-sürüngəc mexanizminin müxtəlif hissələrinin dinamik və kinematik analizi əsasında yeyilməyə davamlı alternativ materialların təkmilləşdirilməsi;
5. Alınan nəticələrin təcrübədə tətbiqi üçün tövsiyələrin hazırlanması və tədqiqatların nəticələrinin praktiki tətbiq sahələrinin müəyyənləşdirilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işinin əsas elmi yeniliyi PM-in perspektiv inkişafı üçün kinematik cütlərində istifadə olunan materialların uzunömürlülüyünün və tribosistemlərin keyfiyyət göstəricilərinin artırılmasını təmin edən kompüter simulyasiyasından ibarətdir.

Dissertasiya işində əldə edilmiş konkret elmi yeniliklər və nəticələr aşağıdakılardır:

1. PM-in dinamik yüklənmiş kontakt cütlərinin riyazi modeli işlənmişdir.
2. PM-in kinematik cütlərində sürtünmə prosesini təsvir edən diferensial tənliklər alınmış və həll edilmişdir.
3. Kinematik cütlərdəki struktur dəyişiklikləri və mexaniki parametrlərin hesablanması üçün kompüter simulyasiyası aparılmışdır.
4. Porşen qrupunun mexaniki parametrlərinin seçilməsinin nəzəri və texnoloji prinsipləri işlənmişdir.

Alınan nəticələrin dürüstlüyü aşağıdakı mülahizələrlə təmin olunur:

1. Məsələnin qoyuluşu və həllinin korrekliyi mexanika, tribologiya və materialşünaslığın klassik qanunlarına və prinsiplərinə əsaslanır. Burada riyazi fizika və dinamikanın dəqiq tənliklərinin istifadə olunması texniki həllərin həllinin dürüstlüyünə zəmanət verir.
2. Alınan elmi nəticələrin doğruluğu neft və qaz sənayesində istismar olunan porşenli maşınların istismar göstəriciləri ilə müqayisədə təsdiq olunur.
3. Əldə olunmuş nəticələrin öz aralarında uyğunluğu və digər müəlliflərin aldıkları nəticələrə zidd olmaması onların dürüstlüyünə zəmanət verir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

1. Porşenli maşın və mexanizmlərin kinematik sürtünmə cütlərinin yeyilməyədavamlılığının artırılması üçün praktiki tövsiyələr hazırlanmışdır.
2. Nəzəri və təcrübi araşdırmalar əsasında PM-in kontakt cütlərinin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün alqoritm yaradılmışdır.
3. Maşın və mexanizmlərin yastıq birləşmələrinin konstruksiyasında yağlama və hermetiklik proseslərinin nəzəri və eksperimental əsasları işlənmişdir.
4. Özüyağlanan materiallarda vahid zamanda səthə çıxan yağın miqdarının idarə olunmasının riyazi modeli işlənmişdir.

İşin nəticələrinin reallaşdırılması və tətbiq olunması.

Dissertasiya işi AzTU-nun Koordinasiya Şurasının planı əsasında yerinə yetirilmişdir. İşin əsas nəzəri və praktiki nəticələri AzTU-nun dövlət büdcəli elmi-tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə edilmişdir (2015-2022). Dissertasiya işində alınan ayrı-ayrı nəticələr Azərbaycan Respublikasının neft və qaz sənayesinin müxtəlif sahələrində tətbiq olunmuşdur.

Aprobasiya və tətbiqi. Dissertasiya işinin nəticələri elmi konfranslarda, seminarlarda müzakirə edilmişdir:

• *Beynəlxalq elmi-texniki və elmi-praktiki konfranslar:*

1. Материалы докладов международной конференции по механике и баллистике «VIII Окуневские чтения», Санкт-Петербург, Россия, 2013;
2. Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - ICSCCW- 2013, Izmir, Turkey, 2013;
3. International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, special issue of the International Conference “Mechanics-2014”, Tbilisi, Georgia, 2014;
4. Тезисы докладов международной научно - технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (Поликомтриб-2015), Гомель, Беларусь, 2015;

5. International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, Tbilisi, Georgia, 2019;
6. Тезисы докладов международной научно - технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (Policomtrib - 2019), Гомель, Беларусь, 2019;
7. International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, Tbilisi, Georgia, 2020;
8. International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, Tbilisi, Georgia, 2021;
9. Proceedings of 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions and Artificial Intelligence - ICSCCW-2021, Antalya, Turkey, August 23-24, 2021;
10. Proceedings of 4th International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering - ICAIAME-2022;
11. 15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools - ICAFS 2022, Budva, Montenegro, August 26 - 27 2022.

- ***Respublika elmi və elmi-texniki konfranslar:***

1. Materials of International Scientific-Technical Conference "Intellectual technologies in mechanical engineering", Baku, 2016;
2. "Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri" mövzusunda 2-ci beynəlxalq Elmi-texniki konfransın materialları, Bakı, 2017;
3. International scientific-technical conference "Natural disasters and human life safety", Baku, 2017;
4. “Riyaziyyat və mexanikanın aktual problemləri” mövzusunda respublika elmi konfransının materialları, Bakı, 2017;
5. “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, Bakı, 2018;
6. 1st International Science and Engineering Conference, Baku, 2018;

7. "Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya" Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, Bakı, 2019;
8. "Gənclər və elmi innovasiyalar" mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı, Bakı, 2020;
9. "Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies" international scientific - practical conference. Bakı, 2021;
 - Azərbaycan Texniki Universitetinin "Mexanika" kafedrasının elmi seminarları (2015-2022);
 - "Abşeronneft" NQÇİ-nin elmi seminarı.

Dissertasiya işi üzrə 21 elmi əsər, o cümlədən 9 məqalə və 12 konfrans məruzələrinin tezisləri və materialları çap edilmişdir. 9 məqalədən 3 məqalə və 11 konfrans məruzələrinin tezisləri və materiallarından 1-i həmmüəllifsiz, 4 məqalə Ali Attestasiya Komissiyasının tövsiyə etdiyi beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə (bazalarına) daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə, respublika və ya beynəlxalq miqyaslı elmi tədbirlərin nəticələri üzrə dərc olunmuş 12 əsərdən 5-i xaricdə dərc olunmuşdur. Ümumilikdə 21 elmi əsərin 11 respublika daxilində, 10 iş isə xaricdə nəşr edilmişdir.

Dissertasiya işində alınan ayrı-ayrı nəticələr "İqlim" EİB və "Abşeronneft" NQÇİ-də tətbiq olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Mexanika" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiyanın əsas nəticələri müəllif tərəfindən müstəqil alınmışdır. Əsas elmi nəticələrin işlənməsi müəllifin birbaşa iştirakı ilə və ya onun məsul icraçısı kimi həyata keçirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işinin strukturunu titul səhifəsi (391 işarə), mündəricat (2115 işarə), giriş (24 379 işarə), 4 fəsil (I fəsil – 52 870 işarə, II fəsil – 26 150 işarə, III fəsil 21 080 işarə, IV fəsil – 42 585 işarə), nəticə (958

işarə), istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı, əlavələr və ixtisarların və şərti işarələrinin siyahısı (40 297 işarə) təşkil edir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 43 şəkil, 16 qrafik, 16 cədvəl, 133 adda ədəbiyyat siyahısı olmaqla mətni kompüterdə yazılmış 166 səhifə, şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 163 615 işarədən ibarətdir

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU.

Dissertasiyanın girişində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın əsas məqsədi və məsələləri müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi, praktik əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar və dissertasiyanın əsas bölmələrinin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsildə porşenli maşınların (PM) işçi prosesinin qiymətləndirilməsi və texniki göstəricilərinin analizi aparılmışdır. Araşdırmalar əsasında porşenli kompressorlardakı kinematik cütlərdəki mexaniki itkilərin hesablanma metodikası işlənmişdir. Göstərilmişdir ki, sürtünməyə sərf olunan iş L_{fr} maşının bütün kinematik cütlərindəki sürtünmə qüvvələrinin gördüyü işlərin cəmindən ibarətdir. PM-də mexaniki itkilərinin tapılması üçün aşağıdakı ifadədən istifadə edirik:

$$L_{fr} = L_s + L_c + L_{F_k^{fr}} + L_{F_{o'}^{fr}} + L_{F_A^{fr}} + L_{k.n} \quad (1)$$

Burada L_s – silindrdəki itkilər, L_c – kipləşdiricilərdəki mexaniki itkilər, $L_{F_k^{fr}}$ – kreyskopfdakı itkilər, $L_{F_{o'}^{fr}}$ – sürgüqolu-porşen oynaqı cütündəki itkilər, $L_{F_A^{fr}}$ – dirsəkli val-sürgüqolu cütüyündəki itkilər, $L_{k.n}$ – baş yastığın başlığı ilə sürüngəc arasındakı mexaniki itkilərdir.

Dissertasiya işində PM-də yaranan mexaniki itkilərin (1) ifadəsindəki sürtünmə qüvvələrinin işinin tapılması üçün metodika işlənmiş, faydalı iş əmsalı tapılmış və bunun əsasında maşın hissələrinin optimal konstruksiya və materiallarının seçilməsi üçün praktiki tövsiyələr hazırlanmışdır [3]¹.

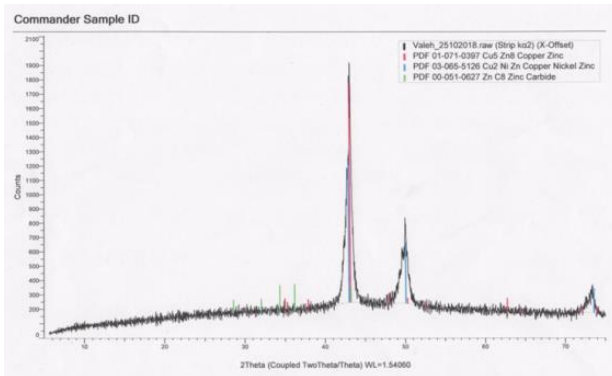
¹ Development of methods of calculating the mechanical losses and increase the efficiency of the piston machines. V. Bakhshaliev, F. Kahramanov, İ. İsmail

Bu fəsildə PM-in konstruksiya elementləri üçün alternativ materiallar tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, porşenli maşınların kinematik cütlərindəki özüyağlanan materiallardan hazırlanmış xüsusi yastıqların keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üçün böyük əhəmiyyətə malikdir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, özüyağlanan örtüklü yastıqlar quru və sərhəd sürtünməsi şəraitində işləyir, maşınların etibarlılığını və dayanıqlılığını artırır (şəkil 1).



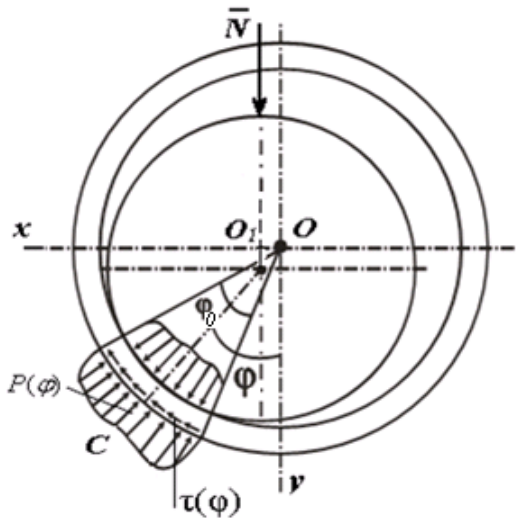
Şəkil 1. Özüyağlanan sürüşmə yastığı

Xüsusi avadanlıq vasitəsilə qrafik 1-də özüyağlanan ovuntu materialdan hazırlanan sürüşmə yastığının rentgen-difraktometri verilmişdir (qrafik 1)



Qrafik 1. Sürüşmə yastığının avtomatik qurulmuş rentgen-difraktometri

Sürüşmə yastığının kinematik cütündəki valın oxu və içliyi vala təsir edən qüvvələrlə şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Sürüşmə yastığının içliyinin val oxuna təsir edən qüvvə ilə eksentrik yerləşməsi

Sürüşmə yastığı içliyinin daxili səthindəki elastiki yerdəyişmənin təyini üçün aşağıdakı analitik ifadə alınmışdır:

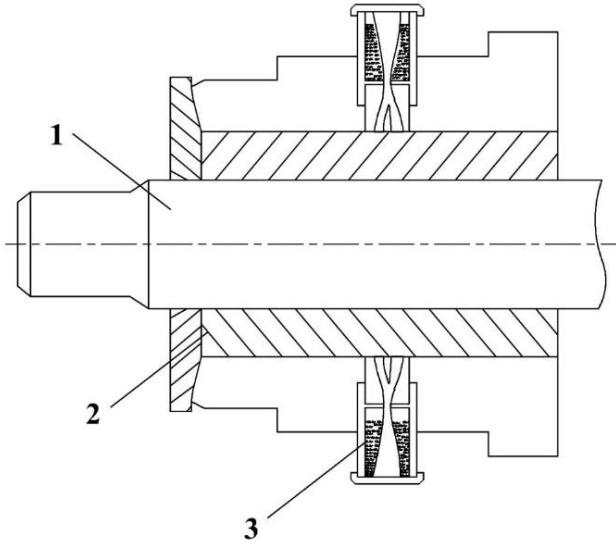
$$w = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)E} (\varepsilon - i)P(\varphi) \quad (2)$$

Burada w – içlik səthi elementinin deformasiyası, $i(\varphi, t)$ – içliyin mütləq yeyilməsi, ν – Puasson əmsalı, E – elastiklik modulu, ε – özüyələnən içlik səthinin qalınlığıdır [4]².

Metalkeramik yastıqların xüsusi konstruksiyaları yaradılmış, təcrübən keçirilmiş və praktikada tövsiyə olunmuşdur. Yağ rezervuarından metalkeramik materiallardan hazırlanmış yastığa yağ damcılarının müxtəlif üsullarla verilməsinin yeni konstruktiv həlli təklif olunmuşdur (şəkil 3). Metalkeramik yastıqların

² К вопросу теплового расчета подшипника скольжения. В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил

materiallarındakı məsamələrdə yağ ehtiyatı az olduğu üçün onların divarlarının qalınlığının artırılması tələb olunur və işgörmə qabiliyyətinin müəyyən qısamüddətli istismar şəraitində və aşağı sürətlərdə mümkünlüyü qəbul edilir.



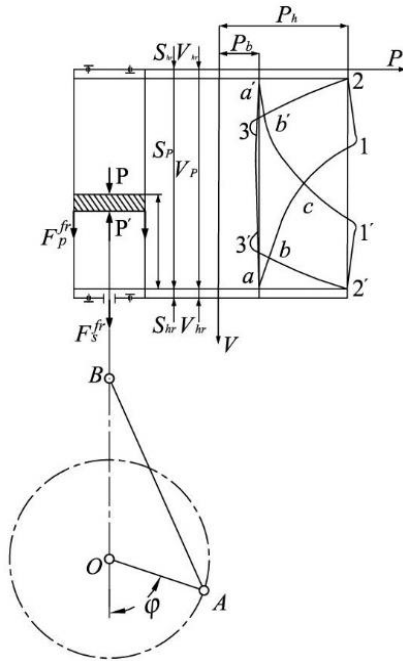
**Şəkil 3. Xüsusi yağlama kameralı metalkeramik sürüşmə yastığı:
1-val, 2-yastıq, 3-yağlama kamerası**

Göstərilmişdir ki, porşenli maşınlar ağır şəraitdə istismar olunan sistemlər olduğu üçün böyük gərginlik və yeyilmə prosesləri səbəbindən zədələnmələrə məruz qalır. Bu maşınların sürüşən hissələrindəki nanosəthlərin müfəssəl təhlillərinə zərurət və tələblərə müvafiq olaraq uzunömürlülüyü və dayanıqlılığının artırılmasının praktiki əhəmiyyəti vardır [9]³.

Dirək-sürüngəc mexanizminin birləşmələrində iş prosesi sürtünən səthlərin uzunömürlülük və yeyilmə intensivliyinin

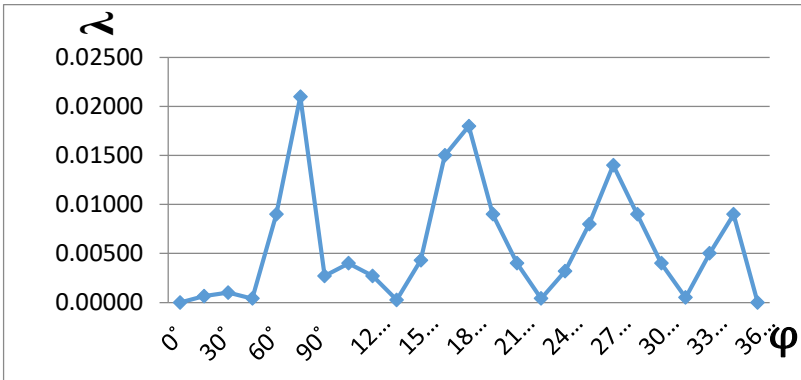
³ Трение и изнашивания наноповрхностей подшипников скольжения, изготовленных из самосмазывающихся материалов. В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил

səthlərin vəziyyətindən asılılığını, təbəqələrin səthlərinin mexaniki xassələrini, tribotexniki xüsusiyyətlərin qeyri-stabilliyini və işçi rejimlərini ifadə edir. Val-oymaq gövdəsindəki yeyilmə prosesinin tədqiqatlarından əldə edilən nəticələr porşenli maşınların dirsək-sürüngəc mexanizminin dinamik təhlili möhkəmlik və uzunömürlülük parametrlərinə təsir edən ara boşluqlarını nəzərə almağa imkan verir.



Şəkil 4. PK-nın dirsək-sürüngəc mexanizmi və indikator diaqramı

PM-in dirsək-sürüngəc mexanizmlərinin konstruktiv və mexaniki parametrlərinin analizi aparılmışdır (şəkil 4). Dirsəkli valın φ dönmə bucağına görə kinematik cütün çarxqolu-sürüngəc mexanizmindəki ara boşluqlarının $\lambda_1(e_1)$ diaqramları qurulmuşdur (qrafik 2).



Qrafik 2. Porşenli kompressorun dirsəkli valının dönmə bucağı və ara boşluqları arasındakı əlaqə diaqramı

Göstərilmişdir ki, polad valın polimer triboplast örtüklü yastığın ara boşluğundan asılılıq diaqramının praktiki əhəmiyyəti vardır. Müəyyən olunmuşdur ki, polimer örtüyün xətti yeyilmə intensivliyi mütləq yeyilmənin qiyməti, sürüşmə səthindəki toxunan gərginlik, materialın sürüşmədə möhkəmlik həddi, yastığın yüklənmə dərəcəsi və səthin sürüşmə sürətindən asılı olaraq dəyişir [2]⁴.

İkinci fəsildə porşenli maşınların istismar göstəricilərinin analizi aparılmış və PM-in hissələrinin etibarlılığı və uzunömürlülüüyünün artırılması metodikası işlənmişdir. PM-in silindr, porşen, porşen halqaları, sürgüqolu və kipləşdiricilərin gərgin vəziyyəti öyrənilmiş və bu hissələrin materiallarının seçilməsi üçün praktiki tövsiyələr verilmişdir. Bu məqsədlə xüsusi kompüter proqramlarından (SolidWorks2020, ANSYS 2020 R2, PYTHON və s.) istifadə edilmişdir [6]⁵.

Analitik araşdırmaların nəticələrindən istifadə edərək porşen halqalarının texnoloji əsaslarına və onların materiallarının seçilmə

⁴ Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil industry. V.I. Bakhshaliev, F.E. Aslanzadə, I. A. İsmail

⁵ Porşenli maşınların dirsək-sürüngəc mexanizminin mexaniki xassələrinin analizi. V.İ. Baxşəliyev, İ.A. İsmayıl

üsullarına baxılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, qalvanik bərk xromlaşdırılmada kiçik halqalar üçün 0,1...0,2 mm, böyük halqalar üçün isə 0,6 mm-dək qalınlığında xrom çəkilməsi məqsədəuyğundur. Xromlaşdırmadan sonra qalın örtüklü halqalardakı qeyri-bərabərliyi aradan qaldırmaq üçün onları yenidən emal etmək lazımdır.

Məsaməli xromlaşmış halqanın yeyilməyədavamlığı məsaməli qatın quruluşu və ölçüsündən asılıdır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, ən yaxşı nəticə 0,03...0,08 mm² ölçülü məsamələrdə olur. Xromlaşmış üzlüklü halqalar adi çuqun üzlüklülərə nisbətən 10-15 dəfə çox yeyilməyədavamlı olur. Porşen halqalarının yeyilməyədavamlığının yüksəldilməsi üçün oksidləşdirmə (Fe₃O₄ oksidəmir maqnit qatı 500...550°C atmosferdə yaranır), fosfatlaşdırma (Fe, Mn, Zn elementlərindən istifadə edərək halqa səthində yağı yaxşı udan fosfatlardan ibarət məsaməli kristal qatın yaradılması) və digər üsullar praktikada özünü doğruldu.

Göstərilmişdir ki, porşen halqaları diffuziya silisiumlaşdırma (1000°C yaxın temperaturda SiC ovuntusu) vasitəsilə səthin zənginləşdirilməsi, diffuziya xromlaşdırılması (üst qatın xrom-xlorlaşdırılması CrCl₂ və ya 1000°C temperaturda xrom-xloridli qaz mühitində səthin xrom təbəqəsi ilə doymasının təmin edilməsi), alminiumlaşdırma (1000°C yaxın temperaturda Al₂O₃ maddəsilə həlqənin dözümünün artırılması), sulfidləşdirmə (həlqənin NaOH, NaCH, Na₂SO₄ isti məhlulunda həlqənin dözümünün artırılması) üsulu ilə səthin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi təmin edilə bilər.

Aparılan nəzəri və təcrübi tədqiqatlar göstərir ki, sulfidləşmiş qat sıxılmaya və yeyilməyə xüsusi davamlığı ilə seçilir və misləşdirmə, qalvanik qalaylaşdırma həlqənin əlavə örtüyünün keyfiyyətinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır [8]⁶.

Porşenli maşınların hissələrinin konstruktiv və texnoloji xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Porşenli kompressorların işçi prosesinin labirint kipləşdiricilərində kipləşdirmə kamerasındakı qazın təzyiqi aşağıdakı kimi təyin edilir:

⁶ Modern technologies of increasing the durability of piston rings. İ.A. İsmail

$$P_z = P \left[1 - \frac{z}{z_1} \left(1 - \frac{(P')^{2,5}}{P^{2,5}} \right) \right]^{2,5}; \quad (3)$$

burada z_1 – kameraların sayı, z – yüksək təzyiqli mühitində alınan kameraların say ardıcılığı, P_0 və P_1 – kameraların aşağı və yuxarı hissəsindəki qaz axınının kipləşdirmə təzyiqidir.

Kipləşdiricilərdə və porşen-silindr cütliyündə mexaniki itkilər (4) ifadəsi əsasında tapılır. Porşen və çubuğun ağırlığının təsiri altında meydana gələn əlavə sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınmaqla porşen halqalarının silindr içliyinin səthi arasındakı sürtünmə qüvvəsini aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$F_p^{fr} = \mu_p \left[2\pi b a \left(2,242P + 0,933 \frac{(P^g)^{2,5}}{P^{1,5}} - 0,242 \frac{(P^g)^5}{P^4} + 0,057 \frac{(P^g)^{7,5}}{P^{6,5}} - 0,016 \frac{(P^g)^{10}}{P^9} \right) + \pi b (0,5D - a)P - 0,5\pi b (D - 2a)P^g + 4\pi b D P_{el} + M_p g \right] \quad (4)$$

burada a – porşen halqasının qalınlığı, b – halqanın hündürlüyü, D – silindrin diametri, P_{el} – silindr içliyinin səthi ilə hərəkət edən porşen halqasının elastiklik qüvvəsi, μ_p – silindrlə porşen halqası arasındakı sürtünmə əmsəlidir.

Göstərilmişdir ki, maşın hissələrinin möhkəmlik məsələlərinin həlli, kinematik cütlərdə yaranan sürtünmə qüvvələrinin tapılması, habelə mexaniki yeyilmənin təyini ilk növbədə hissələrin layihələndirmə və hesablanması əsasını təşkil edir. Sürtünmə və yeyilmə prosesləri və onların kompleks xüsusiyyəti olduqca mürəkkəb riyazi problemin həllini tələb edir. Bu hallarda oxşarlıq və riyazi modelləşdirmə nəzəriyyəsi metodları tətbiq olunur. Kontakt cütlərində yeyilməni hesablamağın son məqsədi tribotexniki xarakteristikaların tənzimləməsi və maşın hissələrinin keyfiyyətinin əsas göstəricisi olan uzunömürlüyün artırılmasıdır [12]⁷.

⁷ К вопросу изнашивания самосмазывающегося наноповерхностей подшипников скольжения. В.И. Бахшалиев, А.А. Саламов, И.А. Исмаил

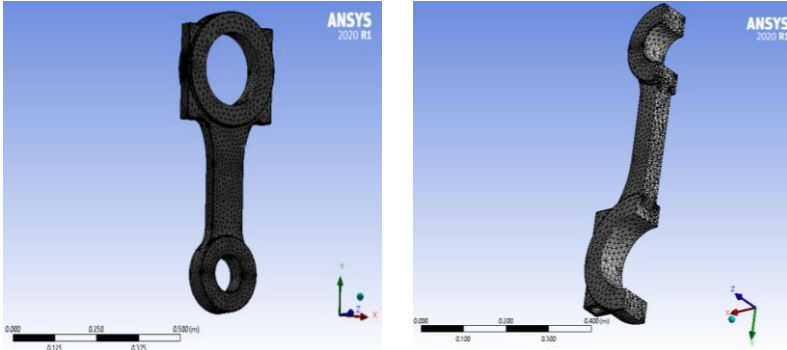
Bu fəsildə porşenli maşınların normal iş rejiminin təmin olunması üçün tədqiq olunan maşın hissələrinin materiallarının seçilməsinə baxılmışdır.

Üçüncü fəsildə müasir nanomaterialların praktiki modelləşdirilməsinin texnoloji aspektləri araşdırılmış, yeyilməyədavamlı materialların porşenli maşınların müxtəlif hissələrinin hazırlanmasında perspektivləri göstərilmişdir. Göstərilmişdir ki, hazırda polad və polad əsaslı materialların burada geniş istifadə olunması dirsək-sürüngəc mexanizminin kütləsinin, həmçinin hissələrin inersiya qüvvələrinin və gərginliklərin artmasına səbəb olur. Odur ki, porşen, silindr, sürgüqolu və s. hissələrin sürtünmə cütlərində tribotexniki xüsusiyyətlərin yüksəldilməsi üçün bürünc, babbıt və dəmir-fosfatdan hazırlanmış antifriksion nanomaterialların tətbiqi məqsədəuyğundur.

Bu məqsədlə ənənəvi polad 40X və nanostrukturulu karbonla gücləndirilmiş AK9 markalı alüminium ərintisindən hazırlanmış kompozit materiallardan hazırlanmış sürüşmə yastıqları, porşen, porşen halqası və sürqolunun mexaniki xassələri araşdırılmış və praktiki tövsiyələr hazırlanmışdır. Porşenli kompressorun (505VP15/18 və s.) dirsək-sürüngəc mexanizmində sonlu elementlər metodunun köməyi ilə gərilmə deformasiyası vəziyyətinin modelləşdirilməsi həyata keçirilmişdir. Sonlu elementlər metodunun riyazi modelləşdirilməsi və müasir kompüter proqramlarından (ANSYS2020 R2, SolidWorks2020) istifadə edərək mühəndis analizi vasitəsilə nəzəri tədqiqatlar aparılmış və praktiki nəticələr əldə edilmişdir (şəkil 5). Həmin kompüter proqramları vasitəsilə böhran gərginliyinin praktiki təyini üçün mühəndis metodikası tapılması metodikası işlənmiş və tədqiq olunan hissələrin istənilən nöqtəsində ekvivalent gərginliyin məlum ifadəsi nəzərə alınmışdır:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \leq [\sigma_{lim}] \quad (5)$$

burada σ_1 , σ_2 , σ_3 – baş gərginliklərdir.



Şəkil 5. AK9 markalı sürgüqolu və sürgüqolu kəsiyinin tor formalı modeli (ANSYS)

Polad və alüminium əsaslı kompozit materialların kütlələri və mexaniki ehtiyat əmsallarının müqayisəli təhlili nanomaterialların üstünlüklərini və çatışmazlıqlarını aşkar etməyə imkan verir. Belə ki, maksimum gərginlik sürgüqolunun baş hissəsinin səthindəki birləşmə səthlərində və porşen çubuğunun silindrə yaxın məntəqəsində müşahidə olunur. Bu nəticənin mühüm praktiki əhəmiyyəti vardır.

Hesablamalar sürgüqolunda hər iki bağlayıcı barmaqlıqlarının gövdəsində qalıcı deformasiyanın olmadığını göstərir. Möhkəmliyin hesablanması yuxarıda göstərilən düsturlarla aparılmış və kompüter proqramları vasitəsilə təsdiq edilmişdir.

Materialların texnoloji təminatı üçün sürgüqolunun eksperimental tədqiqi və onların möhkəmlik xassələrinin artırılması metodları işlənmişdir [11]⁸.

PM-in gərginlik altında işləyən hissəsinin uzunluğu boyunca dağılmasının başlanğıc koordinatlarını tapmaq üçün $u(\eta, t)$ yerdəyişməsinə η və t parametrlərinə nəzərən diferensiallaraq aşağıdakı ifadədən istifadə edilmişdir:

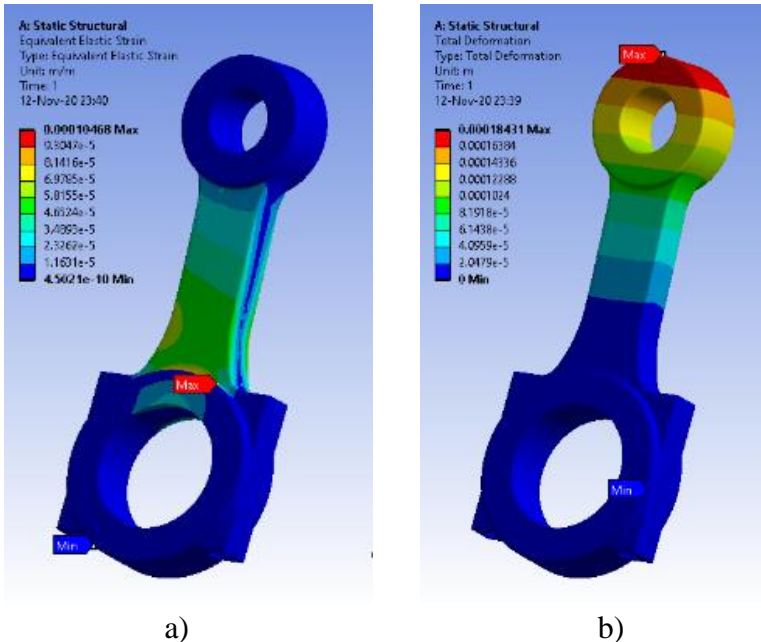
$$\frac{\partial^2[u(\eta, t)]}{\partial \eta \partial t} = \dot{\epsilon}_{kr} \quad (6)$$

⁸ Optimization the wear process and clearances in rotating nanosurfaces of the kinematic couples of reciprocating machines. V.Bakhshaliyev, I. Ismail, A. Bakirova

burada $\dot{\epsilon}_{kr}$ – deformasiya sürətidir.

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, sürgüqolunun təhlükəli kəsiklərində yaranan ən böyük normal gərginlik çarxqolunun dirsəkli vala yaxın olan hissələrində müşahidə olunur. Məsələn, 505 VP 20/18 tipli kompressor üçün aşağıdakı qiymətlər tapılmışdır:

- a) $\eta = \frac{L}{8}$ olduqda $\sigma = 2,2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$,
- b) $\eta = \frac{L}{4}$ olduqda $\sigma = 2,13 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$,
- c) $\eta = \frac{L}{2}$ olduqda $\sigma = 1,99 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$,
- d) $\eta = \frac{3L}{4}$ olduqda $\sigma = 1,82 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$.



Şəkil 6. Sürgüqolunun yerdəyişmə (a) və defomasiya halları (b) (ANSYS)

Alınan nəticələri göstərmişdir ki, test zamanı gərginliyin vəziyyəti səthdə, həm də təhlükəli hissədə qeyri-bərabər paylanmaqla xarakterizə olunur. Gərilmə boyunca maksimum gərginlik qiymətləri sürgüqolunun baş hissəsinin səthindəki birləşmə hissələrinin səthlərində və porşen çubuğunun silindrə yaxın məntəqəsində müşahidə olunur. Bu nəticənin praktiki əhəmiyyəti vardır.

Hesablamalar sürgüqolunda hər iki bağlayıcı barmaqlıqlarının gövdəsində qalıcı deformasiyanın olmadığını göstərir. Möhkəmliyin hesablanması yuxarıda göstərilən formullarla aparılmış və kompüter proqramları vasitəsi ilə təsdiq edilmişdir (şəkil 6) [14]⁹.

Dördüncü fəsildə PM-in kinematik cütlərində yeyilməyə davamlı materiallar tədqiq edilmiş, metal əsaslı kompozit polimer materialların müxtəlif hissələrin hazırlanmasında istifadə olunması perspektivləri araşdırılmışdır. Porşenli maşınlarda sürtünmə prosesinin analizi və porşen halqalarının materiallarının seçilməsi üsulları işlənmişdir.

Porşenli maşınların kinematik cütlərindəki mexaniki itkilərinin tapılması üçün riyazi model işlənmiş, bu maşınlarda mexaniki faydalı iş əmsalının optimal qiymətinin tapılması üçün ifadələr çıxarılmışdır. Porşenli maşınların uzunömürlülüğünün artırılması və məhsuldarlığın yüksəldilməsi maşınların keyfiyyət göstəriciləri və onların müxtəlif hissələrinin materiallarının düzgün və optimal seçilməsindən asılıdır. Sürtünmə cütlərində istifadə olunan materiallara qoyulan texniki tələblər araşdırılmış, porşen halqaları üzlüklərinin yeyilməyə davamlı və uzunömürlülük xassələrinin yüksəldilməsi üçün metodika işlənmişdir. Alınan nəticələr porşen halqaları materiallarının seçilməsi və onların normal iş rejiminin təmin olunması üçün tətbiq olunmuşdur. Neft və qaz sənaye sahəsində istifadə olunan porşenli maşınların layihələndirilməsi, istehsalı və istismarı üçün əməli tövsiyələr hazırlanmışdır.

Aparılan analitik tədqiqatlar zamanı dörd sürüngəc halqaları ilə silindr divarı arasındakı sürtünmə qüvvəsini tapmaq üçün porşen kameralarındakı qaz təzyiqi, halqaların elastiklik qüvvələri, porşen

⁹ Porşenli maşınlarda sürtünmə prosesinin analizi və porşen halqaların materiallarının seçilməsi üsullarının işlənməsi. İ. İsmayıl

qrupunun ağırlıq qüvvələri nəzərə alınmışdır. Bu halda sürüngəc halqalarının sürtünmə qüvvəsinin tapılması üçün aşağıdakı ifadə çıxarılmışdır:

$$F_p^{fr} = \mu_n \left[2\pi b a \left(2,242P + 0,933 \frac{(P')^{2,5}}{P^{1,5}} - 0,242 \frac{(P')^5}{P^4} + 0,057 \frac{(P')^{7,5}}{P^{6,5}} - 0,016 \frac{(P')^{10}}{P^9} \right) + \pi b (0,5D - a)P - 0,5\pi b (D - 2a)P' + 4\pi b D P_{el} + M_p g \right] \quad (7)$$

Burada a - sürüngəc halqasının qalınlığı, b - halqanın hündürlüyü, D - silindrin diametri, P_{el} - silindr divarı ilə hərəkət edən sürüngəc halqasının elastiki qüvvəsi, μ_p - silindrə sürtünmə əmsalıdır.

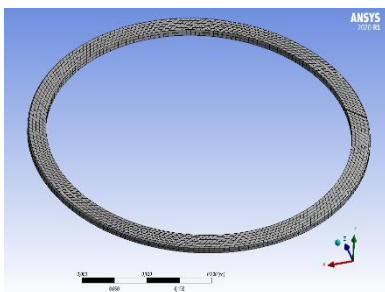
Porşenli maşınların məhsuldarlığı onların mexaniki faydalı iş əmsalından asılıdır. Mexaniki f.i.ə. əldə olunan faydalı enerjinin sərf olunan enrjiyə nisbəti ilə ifadə olunur. Porşenli maşınların mexaniki f.i.ə. aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$\eta_M = \frac{L_i}{L_i + L_{fr}} = 1 - \frac{L_{fr}}{L_i + L_{fr}} = 1 - \varphi_M \quad (8)$$

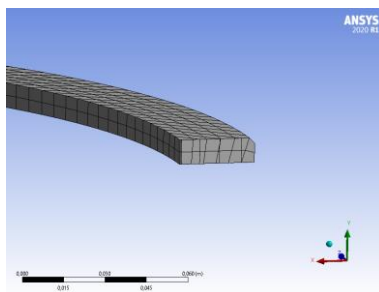
Burada L_i - PM-in indikator işi, L_{fr} - sürtünmə qüvvələrinin işi, φ_M - maşının itki əmsalıdır [15]¹⁰.

SolidWorks2020 proqram təminatından istifadə edərək porşen halqası modelləşdirilmiş, daha sonra IGES formatında saxlanılmışdır. IGES formatında saxlanılmış porşen halqası ANSYS2020 R2 proqram təminatına daxil edilmişdir. ANSYS2020 R2 proqram təminatına daxil edilmiş çuqundan hazırlanmış porşen halqasının modelləri şəkil 7-də göstərilmişdir.

¹⁰ Investigation of the tribotechnical properties of the materials for piston machines. V.Bakhshaliev, F. Kahramanov, E. Aslanov, I. Ismail



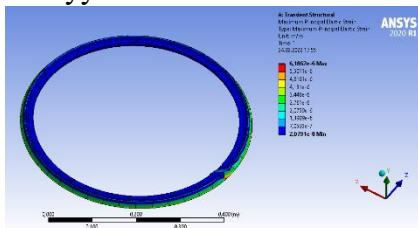
a)



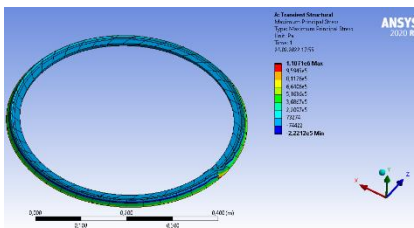
b)

Şəkil 7. Porşen halqası (a) və halqanın kəsiyinin tor formalı (b) modelləri

ANSYS2020 R2 program təminatından istifadə edərək Sonlu Elementlər Analizi (SEA) ilə sürgüqolunun statik analizi aparılmışdır. Porşen halqası üzərindəki qaz təzyiqlərini nəzərə alaraq, porşen halqası üzərindəki təzyiq $p=0.2$ MPa qəbul edilir. Görtərilən təzyiqlər altında analizi aparmaq üçün porşen halqası aşağı hissədən bərkidilmişdir. Şəkil 8-də şəkillərindəki porşen halqasının deformasiya, yerdəyişmə və gərginlik modelləri göstərilmişdir. ANSYS2020 R2 program təminatı ilə alınan nəticələrin praktiki əhəmiyyəti vardır.



a)



b)

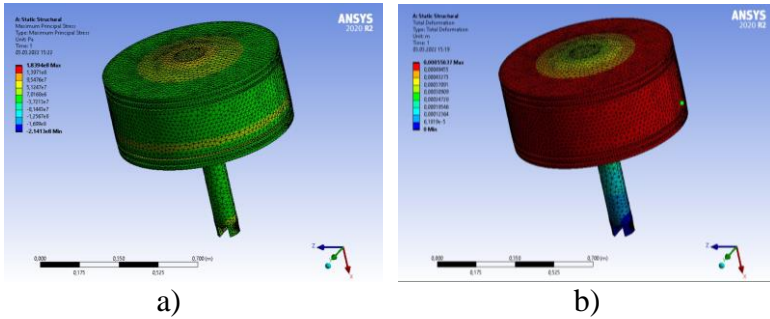
Şəkil 8. Porşen halqasının yerdəyişmə (a) və gərginlik (b) modelləri (ANSYS)

SolidWorks2020 program təminatından istifadə edərək porşen qrupu modelləşdirilmiş, daha sonra IGES formatında saxlanılmışdır. IGES formatında saxlanılmış porşen qrupu ANSYS2020 R2 program təminatına daxil edilmişdir. ANSYS2020 R2 program təminatına

daxil edilmiş çuqun materialdan hazırlanmış porşen qrupu şəkil 8-də göstərilmişdir [18]¹¹.

Çuqundan hazırlanmış porşen qrupunun ANSYS2020 R2 proqram təminatında struktur analizi aparılır. ANSYS2020 R2 proqram təminatında porşen qrupunun Sonlu Elementlər Analizi (SEA) ilə tədqiqinə baxaq. Tədqiqatı aparmaq üçün müxtəlif giriş məlumatları daxil edilir. SolidWorks2020 proqram təminatında hazırlanmış IGES formatındakı model daha sonra ANSYS2020 R2 daxil edilir və aşağıdakı şəkildə mexaniki parametrləri təyin edilir. ANSYS2020 R2 proqram təminatı vasitəsilə porşen qrupunun sonlu elementlərin metodu ilə tor modeli (parabolik tetraedral elementləri - 7146 element) yaradılır. Tor modelini qurmaq üçün avtomatik üsuldən istifadə olunur.

Şəkil 9-da porşen qrupunun ANSYS2020 R2 proqram təminatında tor (tetraedralr) formalı modeli qurulmuşdur.



Şəkil 9. Porşenin gərginlik (a) və deformasiya (b) modeli (ANSYS)

Porşen qrupunun faktiki işləmə prosesinin termodinamika qanunları və şərtləri əsasında ikitəsirli porşenli kompressorlar nəzərdən keçirilmiş və porşen qrupu üzərindəki qazın təzyiqi və bu qüvvələrin təyin edilməsi üçün təqdim olunan analitik üsullar əsaslandırılmışdır. ANSYS2020 R2 proqram təminatı ilə porşen

¹¹ Dynamic analysis of connecting rod of piston machine used in oil industry. I.A. Ismayil

qrupunun struktur analizi aparılmış, verilmiş yük altında statik gərginlik və zədələnməyə dair proqram məlumatları analiz edilmişdir. Alınan nəticələr porşen qrupunun təhlükəsiz iş rejiminin təmin edilməsi üçün istifadə edilə bilər. Tədqiqatın nəticələri porşenli maşınların xidmət müddətinin artırılması, həmçinin layihələndirilməsi və istismarı zamanı faydalı ola bilər [16]¹².

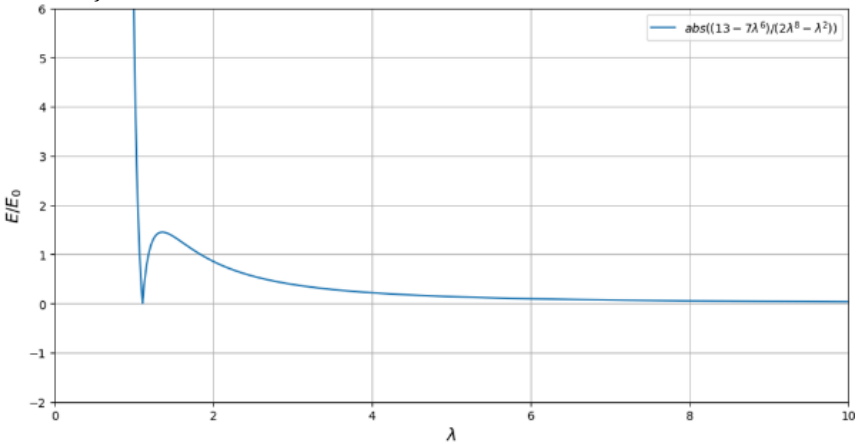
Real materialların heç bir sadələşdirmə və hipotezlər qəbul edilmədən mexaniki xassələrinin nəzəri və eksperimental üsullarla öyrənilməsi Nanomexanikanın predmetinə daxildir. Qeyd edildiyi kimi, real materialın nano strukturunda mövcud olan məsələləri nəzərə alıqda materialın kəsilməzliyi haqqında hipotez öz əhəmiyyətini itirir. Həmin məsələlərin nanohissəciklərlə doldurulması nəticəsində kompozit nano materialların praktikada alınması üsulları işlənmişdir. Alınmış nano kompozit materialın mexaniki xassələrinin tədqiqi müasir mexanikanın qarşısında duran aktual problemlərdən biridir.

Monokristal quruluşa və ya quruluşu ona yaxın olan materialın daxili kristal quruluşundakı düyünlərə nanohissəciklərin yerləşdiyi qüvvə sahəsi kimi baxılmışdır. Başqa sözlə, onun daxili hissəciklərinin arası qüvvə sahəsinə malik boşluqlardan ibarət olduğu nəzərə alınmışdır. Bu işə öz növbəsində materialın real mənzərəsini yaradır və onun anizotrop xassələrini özündə əks etdirir. Materialın daxilində ölçüləri 100 nanometrdən kiçik olan elementar hissəciklərdən ibarət kristal qəfəslər 3-D formatda göstərilmişdir (3-cü ölçü sabit vahid qəbul edilmişdir). Burada materialın daxili kristal quruluşuna potensiallı qüvvə sahəsində hərəkət edən maddi nöqtələrin mexaniki sistemi kimi baxılmışdır.

Məlumdur ki, adətən makro sistemlərdə daxili qüvvələrin əvəzləyicisi 0 (sıfır) qəbul edilir. Lakin, nano sistemin hissəciklərinin mexaniki hərəkəti daxili qüvvələrin təsiri altında baş verir. Odur ki, baxdığımız halda nano sistemə təsir edən xarici qüvvələr nəzərə alınmır və hissəciyə təsir edən daxili qüvvə F_i^j , qüvvə sahəsinin $U(r_i)$ potensialından asılı olaraq tapılır. Python Packages proqramı

¹² The structural analysis for the connecting rod of piston machine using ANSYS Software. I.A. Ismayil

əsasında qrafik 4-də nanomaterial araşdırılmış və nisbi elastiklik modulunun dəyişməsinə səciyyəli olan praktiki diaqramlar qurulmuşdur [17]¹³.



Qrafik 4. Nisbi elastiklik modulunun PYTHON Packages proqramı vasitəsilə alınmış diaqramı

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, materialların elastiklik xassələrini ifadə edən kəmiyyətlərin makro və nano səviyyələrdə araşdırılması əsaslı şəkildə fərqlənir. Bu müddədən çıxış edərək, materialın izotropluğu və kəsilməzliyi barədə hipotezlərdən imtina edilmiş və materialın daxili quruluşu nanomexanika prinsipləri əsasında araşdırılmışdır. Potensiallı qüvvə sahəsində nanohissəciyin hərəkətinin diferensial tənlikləri yazılmışdır. Lennard-Cons potensial funksiyasına əsasən həmin tənliklər həll edilmiş, sahə qüvvəsi və onun potensiallı qüvvə sahəsində gördüyü iş və materialın real elastiklik modulunun tapılması üçün praktiki ifadələr çıxarılmışdır. Bu ifadələrin əsasında materialın elastiklik modulunun ölçüsüz qiymətinin hissəciyin radius vektorundan asılı olaraq praktiki diaqramları qurulmuşdur. Tədqiqatların nəticələri konstruksiya materiallarının real mexaniki xassələrinin təmin edilməsi üçün faydalı ola bilər.

¹³ Neft və qaz sənaye sahəsində tətbiq olunan porşenli maşınların sürtünən elementlərinin dinamik analizi. İ.A. İsmayıl

NƏTİCƏ

1. Porşenli maşınların sürtünən hissələrinin materiallarının yeyilməyədavamlılığının yüksəldilməsi üçün nəzəri və təcrübi metodika işlənmişdir [2]¹⁴, [9]¹⁵.
2. Porşenli maşınların kontakt cütlərinin materiallarının yeyilməyə davamlılığının yüksəldilməsinin nəzəri əsasları işlənmişdir [3]¹⁶, [10]¹⁷.
3. Yastıq birləşmələrinin konstruksiyasında yağlama prosesinin təkmilləşdirməsinə imkan verən nəzəri və təcrübi model işlənmişdir [1]¹⁸, [4]¹⁹.
4. Ovuntu metallurqiyasının müasir üsullarından istifadə etməklə alınmış yeni antifriksion materialların kompüter simulyasiyası aparılmışdır [6]²⁰, [12]²¹.
5. PM-in dirsək-sürüngəc mexanizminin müxtəlif hissələrinin dinamik və kinematik analizi əsasında mexaniki xassələrin

¹⁴ Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil industry. V.I. Bakhshaliev, F.E. Aslanzadə, I. A. İsmail

¹⁵ Трение и изнашивания наноповерхностей подшипников скольжения, изготовленных из самосмазывающихся материалов. В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил

¹⁶ Development of methods of calculating the mechanical losses and increase the efficiency of the piston machines. V. Bakhshaliev, F. Kahramanov, İ. İsmail

¹⁷ About impact processes in kinematical couples of reciprocating compressors. V.I. Bakhshaliev, I.A. İsmail, A.A. Bakirova

¹⁸ К вопросу кинематики «плавающего» шатуна кривошипно-ползунного механизма поршневых машин. В.И. Бахшалиев, Ф.Э. Асланзаде, И.А. Исмаил

¹⁹ К вопросу теплового расчета подшипника скольжения. В.И. Бахшалиев, И.А. Исмаил

²⁰ Porşenli maşınların dirsək-sürüngəc mexanizminin mexaniki xassələrinin analizi. V.İ. Вахşəliyev, İ.А. İsmayıl

²¹ К вопросу изнашивания самосмазывающегося наноповерхностей подшипников скольжения. В.И. Бахшалиев, А.А. Саламов, И.А. Исмаил

- yüksəldilməsi üçün praktiki tövsiyələr hazırlanmışdır [13]²², [15]²³.
6. PM-in dinamik yüklənmiş kontakt səthlərinin sürtünmə prosesinin elmi əsaslandırılmış hesablaşma üsulları işlənmişdir [11]²⁴, [14]²⁵.
 7. PM-in hissələrinin nanosəthlərinin sürtünmə prosesini təsvir edən diferensial tənliklər yazılmış və həll edilmişdir [8]²⁶, [16]²⁷.
 8. Kinematik cütlərdə kontakt səthlərinin riyazi modeli yaradılmış və kompüter simulyasiyası aparılmışdır [17]²⁸ [18]²⁹.
 9. PM-in kinematik cütlərində sürtünmə və yeyilmə prosesinin riyazi modeli yaradılmış və elmi əsasları işlənmişdir [19]³⁰, [20]³¹.

²² Yüksək temperaturda porşen həlqələri materialının sürtünmə prosesinin tədqiqi. V.İ. Baxşəli, F.Q. Qəhrəmanov, İ.A. İsmayıl

²³ Investigation of the tribotechnical properties of the materials for piston machines. V.Bakhshaliyev, F. Kahramanov, E. Aslanov, I. Ismail

²⁴ Optimization the wear process and clearances in rotating nanosurfaces of the kinematic couples of reciprocating machines. V.Bakhshaliyev, I. Ismail, A. Bakirova

²⁵ Porşenli maşınlarda sürtünmə prosesinin analizi və porşen halqaların materiallarının seçilməsi üsullarının işlənməsi. İ. İsmayıl

²⁶ Modern technologies of increasing the durability of piston rings. İ.A. İsmail

²⁷ The structural analysis for the connecting rod of piston machine using ANSYS Software. İ.A. İsmayıl

²⁸ Neft və qaz sənaye sahəsində tətbiq olunan porşenli maşınların sürtünən elementlərinin dinamik analizi. İ.A. İsmayıl

²⁹ Dynamic analysis of connecting rod of piston machine used in oil industry. İ.A. İsmayıl

³⁰ Structural analysis of the strained parts of piston machines using ANSYS software. V.I. Bakhshali, İ.A. İsmayıl

³¹ Development of Methods for Processing Acoustic Emission Signals of Sensors for the Compressor-Pump Station's Control. V.I. Bakhshali, N.T. Mardanov, A.A. Bekirova, İ.A. İsmayıl

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə çap olunub.

1. Бахшалиев, В.И., Асланзаде, Ф.Э., Исмаил, И.А. К вопросу кинематики «плавающего» шатуна кривошипно-ползунного механизма поршневых машин // Материалы докладов международной конференции по механике и баллистике «VIII Окуневские чтения», – Санкт-Петербург, Россия: – 25-28 июня, – 2013, – с. 62-64.
2. Bakhshaliev, V.I., Aslan-zada, F.E., Ismail, I.A., Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil industry // In: Proceedings of Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - ICSCCW2013, – Izmir, Turkey: September 2-3, – 2013, – p. 101-110.
3. Bakhshaliev, V., Kahramanov, F., İsmail, İ. Development of methods of calculating the mechanical losses and increase the efficiency of the piston machines // – Tbilisi, Georgia: International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, “Mechanics-2014”, – 2014, № 2 (55), – p. 61-67.
4. Бахшалиев, В.И., Исмаил, И.А. К вопросу теплового расчета подшипника скольжения // Тезисы докладов международной научно - технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (ПОЛИКОМТРИБ-2015), – Гомель, Беларусь: – 23-26 июня, – 2015, – с. 94.
5. Bakhshaliev, V.I., Aslanov, E.A., Ismail, I.A. Investigation the mechanical properties of the parts of piston machines used in oil industry // Materials of International Scientific-Technical Conference "Intellectual technologies in mechanical engineering", – Baku, Azerbaijan: – 2016, – p. 457- 460.
6. Baxşəliyev, V.İ., İsmayıl, İ.A. Pörşənli maşınların dirsək-sürüngəc mexanizminin mexaniki xassələrinin analizi // "Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri" mövzusunda 2-ci beynəlxalq Elmi-texniki konfransın materialları, – Bakı, Azərbaycan: – 28-30 noyabr, – 2017, – s. 311-312.

7. Bakhshaliev, V.İ., İsmail, İ.A. About technical security of the main pipeline Baku-Tbilisi-Ceyhan // International scientific-technical conference "Natural disasters and human life safety", – Baku, Azerbaijan: – December 04-06, – 2017, – p. 241-243.
8. İsmail, İ.A. Modern technologies of increasing the durability of piston rings // “Riyaziyyat və mexanikanın aktual problemləri” adlı respublika elmi konfransının materialları, – Bakı, Azerbaijan: – 17-18 may, – 2018, – s. 58-59.
9. Бахшалиев, В.И., Исмаил, И.А. Трение и изнашивания наноповерхностей подшипников скольжения, изготовленных из самосмазывающихся материалов // “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları – Bakı, Azərbaycan: – 21-23 noyabr, – 2018, – s. 169-172.
10. Bakhshaliev, V.I., Ismail, I.A., Bakirova, A.A. About impact processes in kinematical couples of reciprocating compressors // 1st International science and engineering conference, – Bakı, Azerbaijan: – 29-30 noyabr, – 2018, – p. 148-150.
11. Bakhshaliev, V., Ismail, I., Bakirova, A. Optimization the wear process and clearances in rotating nanosurfaces of the kinematic couples of reciprocating machines // – Tbilisi, Georgia: International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, – 2019. №1 (74), – p.7-23.
12. Бахшалиев, В.И., Саламов, А.А., Исмаил, И.А. К вопросу изнашивания самосмазывающегося наноповерхностей подшипников скольжения // Тезисы докладов международной научно - технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (Policomtrib - 2019), – Гомель, Беларусь: – 25-28 июня, – 2019, – с. 216.
13. Baxşəli, V.İ., Qəhrəmanov, F.Q., İsmayıl, İ.A. Yüksək temperaturda porşen həlqələri materialının sürtünmə prosesinin tədqiqi // “Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya” Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, – Bakı, Azərbaycan: – 18-20 dekabr, – 2019-cu il, – s. 312-315.
14. Baxşəliyev, V.İ, İsmayıl, İ.A. Porşenli maşınlarda sürtünmə prosesinin analizi və porşen halqaların materiallarının seçilməsi

- üsullarının işlənməsi // – Bakı, Azərbaycan: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı j., – 2019. №10, – s. 35-38.
15. Bakhshali, V. Investigation of the tribotechnical properties of the materials for piston machines / V. Bakhshali, F. Qahramanov, E. Aslanov [et al.] // Inter. scient. J. of IFToMM “Problems of Mechanics”, – Tbilisi, Georgia: – 2020. №2 (74), – p. 21-28.
 16. İsmayil, A.I. The structural analysis for the connecting rod of piston machine using ANSYS Software // – Tbilisi, Georgia: International scientific journal of IFToMM “Problems of Mechanics”, – 2021. №2(83), – p. 19-25.
 17. İsmayıl, İ.A. Neft və qaz sənaye sahəsində tətbiq olunan porşenli maşınların sürtünən elementlərinin dinamik analizi // – Bakı, Azərbaycan: Elmi – texniki və istehsalat j., – 2021. №4, – s.73-77.
 18. İsmayil, I.A. Dynamic analysis of connecting rod of piston machine used in oil industry // – Bakı, Azərbaycan: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı j., – 2021. №9, – p. 32-36.
 19. Bakhshali, V.I., İsmayil, I.A. Structural analysis of the strained parts of piston machines using ANSYS software // “Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” international scientific-practical conference, – Baku, Azerbaijan: – December 2-3, – 2021, – p. 116-118.
 20. Bakhshali, V.I., Development of Methods for Processing Acoustic Emission Signals of Sensors for the Compressor-Pump Station’s Control / V.I. Bakhshali, N.T. Mardanov, I.A. İsmayil [et al.] // In: Proceedings of 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions and Artificial Intelligence - ICSCCW2021, (ICSCCW 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 362). Springer, Cham, – 2022, – p. 704-710.
 21. Bakhshali, V., Mardanov, N., İsmayil, I., Bekirova, A. Dynamic And Structural Analysis of Piston Machines Used in Oil and Gas Transportation // 4th International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2022), – 20-22 May, – 2022.

Çap edilmiş işlərdə iddiaçının şəxsi töhfəsi.

[8, 16, 17, 18] sayılı işlər müəllif tərəfindən sərbəst yerinə yetirilmişdir.

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20] sayılı işlərdə tədqiqat məsələlərinin qoyuluşu, nəzəri tədqiqatlar, diferensial tənliklərin həlli, hesablamaların aparılması, məqalənin tərtibində iştirak və elmi müddəaların formalaşdırılması müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Qalan hissələr müəlliflər tərəfindən bərabər səviyyədə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 18 oktyabr 2022-ci il tarixində saat 13:00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.09 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı ş., H. Cavid prospekti 25, Azərbaycan Texniki Universitetinin əsas binası, otaq № 317

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat _____ il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 15.09.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37087

Tiraj: 100