

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

KİPLƏŞDİRİCİ ELEMENTLƏRLƏ HERMETİKLƏŞDİRMƏ PROSESİNİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

İxtisas: 2002.01 – Deformasiya olunan bərk cisim mexanikası

Elm sahəsi: Riyaziyyat

İddiaçı: **Kəlik Oruc qızı Rüstənova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Bakı Mühəndislər Universitetinin Mühəndislik fakültəsinin “Mexanika mühəndisliyi” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: mexanika elmləri doktoru, dosent
Elxan Məcid oğlu Abbasov

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Fəxrəddin Qurban oğlu İsayev

Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Lətif Xəlil oğlu Talıblı

fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Xalid Binnət oğlu Məmmədov

mexanika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Gülnar Rövşən qızı Mirzəyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.17 Dissertasiya şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü, f.-r. e.d., professor

_____ **Məhəmməd Fərman oğlu Mehdiyev**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: mex.üzrə e.d., dosent

_____ **Laura Faiq qızı Fətullayeva**

Elmi seminarın sədri: riy. üzrə e.d., professor

_____ **Natiq Qarakişi oğlu Əhmədov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Sənayenin müxtəlif sahələrində, o cümlədən neftqazçıxarma sənayesində hermetikləşdirilmiş sistemlər geniş tətbiq edilir. Hermetikləşdirilmiş sistemlərdə kipləşdirici elementlərdən istifadə edilir və avadanlığın işi tamamilə kipləşdiricinin iş qabiliyyətini təyin edən parametrlərdən asılı olur. Avadanlığın işçi təzyiqinin son həddi kipləşdirici texnikanın vəziyyətinə görə təyin edilir. Hermetikliyin itməsi prosesin texnologiyasının pozulmasına gətirib çıxarır. Neftqazçıxarmada istismar prosesi zamanı avadanlığın hermetikliyinin pozulması açıq fontana, yanğına və ekoloji qəzalara səbəb ola bilər. Ona görə də müxtəlif istismar şəraitində kipləşdirici elementlərin iş qabiliyyətinin hərtərəfli analizinin, tədqiqinin və bu əsasdan onun təkmilləşdirilməsinin böyük elmi və praktiki əhəmiyyəti vardır.

Təcrübə göstərir ki, neftqazçıxarmada tətbiq edilən kipləşdirici elementlərin istismar dövrünün sonunadək zaman keçdikcə hermetikləşdirmə qabiliyyəti pisləşir. Belə ki, kipləşdirici elementin materialı özlü-elastiki xüsusiyyətə malik olduğundan onda yaranan əvvəlki deformasiya və kontakt gərginliyi vaxt keçdikcə relaksasiya edir və dəyişir. Zaman keçdikcə deformasiya sabit saxlanıldığına baxmayaraq, kipləşdirici elementin materialının fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri dəyişir, kontakt gərginliyi azalır və hətta bəzi hallarda kipləşdirici element hermetikləşdirmə qabiliyyətini tam itirir. Digər tərəfdən kipləşdirici elementlə kipləşdirilən cismin divarı arasında əvvəlcədən yaradılmış kontakt gərginliyinin həm xarakteri və həm də qiyməti dəyişir. Nəticədə hermetiklik pozulduğundan avadanlıq öz funksiyasını yerinə yetirə bilmir. Qeyd etmək lazımdır ki, kipləşdirici elementin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin onun materialının irsiliyi nəzərə alınaraq öyrənilməsinə həm vətəndə və həm də xaricdə çoxsaylı işlər həsr edilmişdir. Lakin neft sənayesində istifadə edilən kipləşdirici elementlərin konfuqrasiyası, iş şəraiti və hermetikliyin alınma prosesi onların hermetikləşdirmə qabiliyyətinin real iş şəraiti nəzərə alınmaqla öyrənilməsinə tələb edir. Ona görə də

neftqazçıxarma sənayesində tətbiq edilən kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin yaxşılaşdırılması və real iş şəraiti nəzərə alınaraq hermetikləşdirmə problemlərinin həll metodlarının işlənməsi praktiki və elmi planda aktual məsələdir. Dissertasiya işi də məhz neftqazçıxarma sənayesində tətbiq edilən müxtəlif formalı kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri və sərhəd effektləri nəzərə alınmaqla riyazi həll modeli qurularaq öyrənilməsinə həsr edilmişdir.

Kipləşdirici elementin hermetikləşdirmə qabiliyyəti onun səthi ilə cismin kipləşdirilən hissəsi arasında yaranan kontakt gərginliyinin qiymətindən və paylanma xarakterindən, kontakt gərginliyinin qiyməti isə öz növbəsində kipləşdirici elementin həndəsi ölçülərindən və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən asılıdır. Kipləşdirici element üçün istifadə olunan bütün materiallarda elastiklik modulu sabit kəmiyyət deyil, zamandan asılı olaraq dəyişir. Kipləşdirici elementin materialı irsilik xüsusiyyəti daşdığından uzunmüddətli istismar zamanı yuxarıda qeyd edildiyi kimi kipləşdiricinin səthi ilə kipləşdirilən səth arasında yaranan kontakt gərginliyi relaksasiya edir və onun həm qiyməti, həm də paylanma xarakteri dəyişir. Kipləşdirici elementlərin istifadə praktikasından görünür ki, hermetikliyə nail olmaq üçün kipləşdiriciyə tətbiq olunmuş xarici qüvvənin təsir tempi onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə böyük təsir göstərir. Kipləşdirici elementin materialının irsilik xüsusiyyətinin nəzərə alınmaması yanlış nəticələrə gətirib çıxara bilər. Həmçinin ən az xarici qüvvə ilə hermetikliyin əldə edilməsi kipləşdirici elementin iş qabiliyyətinin yaxşılaşdırılmasına gətirib çıxarır. Kipləşdiricinin minimum xarici qüvvə ilə hermetikliyini təmin edən effektiv parametrlərinin təyininin böyük elmi əhəmiyyəti vardır. Belə ki, minimum xarici qüvvə ilə hermetikliyə nail olunması iş şəraitini yaxşılaşdırır, eləcə də kipləşdiricinin xidmət ömrünü uzadır. Kipləşdirici elementlərin tətbiqi təcrübəsi göstərir ki, sərhəd effektləri kipləşdiricinin hermetikləşdirmə qabiliyyətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Ona görə də kipləşdirici elementin materialının irsiliyi və sərhəd effektləri

nəzərə alınaraq onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinin tədqiqi və bu əsasdan onun iş qabiliyyətini yaxşılaşdıran effektiv ölçülərin təyin edilməsi həm elmi, həm də praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin tədqiqi və təkmilləşdirilməsi məsələlərinə həsr edilmiş bir çox xarici və yerli müəlliflərin işləri tədqiq edilmişdir. Lakin, neftqazçıxarma prosesində tətbiq olunan kipləşdirici elementlərin kipləşdiricinin materialının fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi və sərhəd effektləri nəzərə alınaraq hermetikləşdirmə qabiliyyətinin tədqiqi və yaxşılaşdırılması az öyrənilmiş olaraq qalır və növbəti tədqiqatların aparılmasını tələb edir ki, dissertasiya işi də məhz bu problemlərin həllinə həsr edilmişdir.

Tədqiqatın obyekt və predmeti. Sərhəd effektləri və irsiliyi nəzərə alaraq kipləşdirici elementlərin müxtəlif şəraitlərdə hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modelləşdirilməsi və tədqiqi.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi neftqazçıxarmada tətbiq edilən müxtəlif formalı kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi və sərhəd effektləri nəzərə alınmaqla prosesin riyazi modeli qurularaq öyrənilməsindən və alınan tənliklərin həll metodlarının işlənməsindən ibarətdir.

Tədqiqatın metodları. Qoyulan məsələlərin həllinə riyazi fizikanın, elastiklik və irsilik nəzəriyyələrinin fundamental metodları tətbiq edilmişdir. Variyasiya prinsipinə əsasən alınmış diferensial tənliklər Qalerkin və Rits metodları ilə həll edilmişdir.

Müəyyənləşdirilən əsas müddəalar.

1. Hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modeli qurularaq silindrik kipləşdirici elementlərin sərhəd effektləri, kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi nəzərə alınaraq deformasiya-gərginlik vəziyyətinin təyini metodu işlənmiş və müəyyən edilmişdir ki, hermetikliyi təmin edən oxboyu sıxıcı qüvvənin qiyməti kipləşdiricinin hündürlüyünü artırıdığca əvvəlcə azalır, hündürlüyün müəyyən qiymətindən sonra isə sabilləşir.

2. Kipləşdirici elementin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin onun fiziki-mexaniki göstəricilərindən

və həndəsi ölçülərindən asılı olaraq paylanma xarakterinin təyini mümkün olan analitik ifadələr alınmışdır. Göstərilmişdir ki, ən böyük kontakt gərginliyi kipləşdirici elementin aşağı oturacağına yaxın zonada yaranır, kipləşdiricinin hündürlüyü boyu yuxarı qaldıqca azalır və hündürlüyün müəyyən qiymətindən sonra isə praktiki olaraq yox olur. Müəyyən edilmişdir ki, kipləşdirici elementi eyni anda hər iki tərəfdən sıxmaqla nisbətən daha az oxboyu sıxıcı qüvvə ilə hermetiklik yaradıla bilər.

3. Müəyyən edilmişdir ki, kipləşdiricinin materialının irsilik xüsusiyyətinə malik olması hermetikliyi təmin edən əvvəlcədən verilmiş oxboyu qüvvənin təsirinin az müddətdə dəfələrlə azalmasına səbəb olur. Bu isə öz növbəsində kipləşdirici elementin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin və beləliklə də, onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinin azalmasına səbəb olur.

4. Oxboyu qüvvənin tətbiq sürətinin kipləşdirici elementin hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri tədqiq edilərək öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hermetikliyi təmin edən oxboyu qüvvənin tətbiq tempi azaldıqca kipləşdiricinin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin relaksasiya sürəti də azalır və zamanın müəyyən həddindən sonra sabilləşir.

5. Hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modeli qurularaq kəşik konus formalı və həlqəvi kipləşdirici elementlərin irsiliyi nəzərə alınmaqla kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinin təyini metodu işlənmişdir. Göstərilmişdir ki, oxboyu qüvvənin tətbiq tempi azaldıqca kontakt gərginliyinin relaksasiya sürəti də azalır və müəyyən zamandan sonra isə sabitləşir.

6. İrsilik nəzərə alınaraq dairəvi deşikli yarımsilindrik səth ilə kipləşdirici element arasında yaranan kontakt gərginliyinin təyin edilmə metodu işlənmiş və kontakt gərginliyinin paylanma xarakterini təyin edən analitik ifadə alınmışdır. Göstərilmişdir ki, kontakt gərginliyi zamandan asılı olaraq əvvəlcədən nisbətən kiçik sürətlə, sonradan isə bir qədər böyük sürətlə azalır və zamanın müəyyən anından sonra sabilləşir.

Tədqiqatın elmi yenilikləri. Tədqiqatın elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

- İşdə neftqazçıxarmada tətbiq edilən müxtəlif formalı kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətini xarakterizə edən kəmiyyətlərin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi və sərhəd effektləri nəzərə alaraq təyini üçün kiçik deformasiyalar oblastında prosesin riyazi modeli qurulmuş və alınan diferensial tənliklərin analitik həll metodu verilmişdir.
- Variyasiya prinsipindən istifadə edilərək hermetikliyi təmin edən oxboyu sıxıcı qüvvənin minimum qiymətini kipləşdiricinin həndəsi ölçülərindən və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən asılı olaraq təyin edən analitik ifadə alınmışdır.
- Kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi və sərhəd effektləri nəzərə alınaraq hermetikləşdirmə prosesi zamanı yaranan kontakt gərginliyin paylanma xarakteri müəyyən edilmişdir.
- Kipləşdirici elementin materialının irsilik xüsusiyyətinin onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri təyin edilmişdir.
- Hermetikləşdirmə prosesinin modeli qurularaq deformasiya tempinin müxtəlif hallarında irsiliyin kontakt gərginliyin paylanma xarakterinə təsiri təyin edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Alınan elmi nəticələr neftqazçıxarma sənayesində tətbiq edilən kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin tədqiqi və yaxşılaşdırılması üçün əhəmiyyətlidir və kipləşdirici elementin hermetikliyini təmin edən sıxıcı qüvvənin minimum qiymətini və kipləşdirici elementin effektiv ölçülərinin və materialının təyin edilməsi üçün istifadə edilə bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyanın əsas müddəaları və nəticələri Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr edilmiş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransında (Bakı-2013) [1], Akademik A.X.Mirzəcanzadənin 85 illik yubleyinə həsr olunmuş “Neftqaz sahəsində qeyri-Nyuton sistemlər” adlı Beynəlxalq Elmi Konfransda (Bakı-2013) [2], Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII Respublika Elmi Konfransında (Bakı-2013) [5], Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014»

(Uxta-2014) [6], Y.Ə.Əmənzadənin 100 illik yubleyinə həsr olunmuş “Mexikanın klassik və müasir problemləri” adlı Respublika Elmi Konfransda (Bakı-2014) [7], “Qaz və neftqazkondensat yataqlarının modelləşdirilməsi” adlı gənclərin VI elmi-praktiki konfransında (Moskva-2014) [8], Akademik A.X.Mirzəcanzadənin 90 illik yubleyinə həsr olunmuş “Neftqazçıxarmada innovativ texnologiyaların və tətbiqi riyaziyyatın müasir problemləri” adlı Beynəlxalq Elmi Konfransda (Bakı-2018) [13] müzakirə olunub.

Müəllifin şəxsi tövhəsi. Dissertasiya işində bəzi məsələlərin qoyuluşu istisna olmaqla əsas həllərdə ifadələrin alınması, məsələlərin tətbiqi proqram təminatı üzərindən həlli və nəticələr dissertasiya müəllifinə məxsusdur.

Müəllifin nəşrləri. Dissertasiya işi əsasında 11 (on bir) elmi məqalə və 7 (yeddi) konfrans materialı çap edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Mühəndislik Universitetinin Mühəndislik fakültəsinin “Mexanika mühəndisliyi” kafedrasının elmi planları çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, nəticə və istifadə olunan ədəbiyyat siyahısından ibarət olmaqla 155 səhifə həcmindədir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 222917 işarədir (titul səhifəsi – 365 işarə, mündəricat – 3293 işarə, giriş – 25068 işarə, birinci fəsil – 85581 işarə, ikinci fəsil – 60592 işarə, üçüncü fəsil – 45708 işarə, nəticə - 2310 işarə). Dissertasiyada 10 sayda şəkil, 44 sayda qrafik, 144 adda ədəbiyyat mövcuddur.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Birinci fəsil silindrik formalı kipləşdirici elementlərin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin tədqiqinin riyazi modeli qurularaq öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Birinci fəsil beş paragrafdan ibarətdir.

1.1-də kiçik deformasiyalar oblastında silindrik kipləşdirici element elastiki cisim qəbul olunaraq birtərəfli oxboyu sıxıcı qüvvənin təsirindən yaranan deformasiya-gərginlik vəziyyəti təyin edilmiş, kipləşdiricinin daxili səthi ilə kipləşdirilən silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinin onun fiziki-mexaniki göstəricilərindən və həndəsi ölçülərindən asılılığı nəzəri olaraq tədqiq edilmişdir [11]. Kipləşdirici elementin daxili səthi ilə kipləşdirilən silindrin divarı arasında hermetikliyə nail olmaq üçün lazım olan oxboyu qüvvənin qiyməti və kontakt gərginliyi üçün minimum potensial enerji prinsipi tətbiq edilərək analitik ifadələr alınmışdır. Kipləşdirilən silindrin xarici səthinə δ ara məsafəsi ilə geyindirilmiş silindrik formalı elementlə kipləşdirmə prosesinə baxılmışdır. Silindrin səthi ilə kipləşdirici elementin daxili səthi arasında kipləşdiricinin birtərəfli oxboyu sıxılması ilə hermetiklik yaradılır. Məsələnin həlli iki mərhələyə bölünür. Birinci mərhələdə kipləşdirici elementin daxili səthi ilə silindrin səthinin ilk kontaktı yaranana qədər sıxılması prosesinin, ikinci mərhələdə isə bu səthlər arasında hermetikliyə nail olunması prosesinin riyazi modelinin qurulmasına və həllinə baxılır. Kipləşdirici elementin materialı bircins və yüklənmə simmetrik olduğundan onun deformasiyası oxasimmetrik qəbul edilə bilər. Onda müstəvi kəsiklər hipotezini qəbul edək və fərz edək ki, kipləşdirici elementin oxboyu deformasiyası yalnız oxboyu yönəlmiş koordinatdan asılıdır:

$$w_1 = f_1(z), \quad (1)$$

burada $f_1(z)$ – z -dən asılı axtarılan naməlum funksiyadır.

Kipləşdirici elementin materialını sıxılmayan qəbul etsək, kipləşdiricinin ixtiyari nöqtəsinin radial istiqamətdəki nisbi deformasiyası üçün aşağıdakı bərabərliyi alırıq:

$$u_1(r, z) = \frac{1}{2} \left(\frac{R_2^2}{r} - r \right) f_1'(z). \quad (2)$$

Kipləşdirici elementin birinci mərhələdə deformasiyalanmasından sonra məsələnin oxasimmetrikliliyi nəzərə alınmaqla potensial enerjisi aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$\Pi = 4\pi G \int_0^H \int_{R_1}^{R_2} \left(\varepsilon_r^2 + \varepsilon_\theta^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{1}{2} \gamma_{rz}^2 \right) r dr dz - \int_0^H Q \cdot f_1'(z) dz, \quad (3)$$

burada G – kipləşdirici elementin materialının sürüşmə modulu, H – kipləşdirici elementin hündürlüyü, R_1 , R_2 – uyğun olaraq daxili və xarici radiusu, ε_r , ε_θ , ε_z və γ_{rz} – uyğun olaraq radial, tangensial, oxboyu və sürüşmə nisbi deformasiyalar, Q – oxboyu sıxıcı qüvvədir.

Sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\mu Q|_{z=H} = 2\pi G \int_{R_1}^{R_2} \gamma_{rz} r dr, \quad w_1|_{z=0} = 0, \quad u_1(r, z)|_{z=0} = -\delta, \quad (4)$$

burada μ – metal lövhəciklə kipləşdiricinin yuxarı oturacağı arasındakı sürtünmə əmsəlidir.

Eyler tənliyinə əsasən (3) funksionalından alırıq:

$$\varphi''(z) - k^2 \varphi(z) + A = 0, \quad (5)$$

burada $\varphi(z) = f_1'(z)$, k , A sabit ədədlərdir.

(5) diferensial tənliyini (4) sərhəd şərtləri daxilində inteqrallasaq, alırıq:

$$f_1(z) = \frac{c_2}{k} \operatorname{ch} kz + \frac{c_3}{k} \operatorname{sh} kz + \frac{A}{k^2} z + c_4, \quad (6)$$

burada c_2 , c_3 , c_4 inteqral sabitləridir.

Silindrik kipləşdirici elementin daxili səthi ilə silindrin səthinin ilk və tam kontaktını yaradan oxboyu Q və P qüvvələrinin qiymətinin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki göstəricilərindən və

həndəsi ölçülərindən asılılığını təyin edən aşağıdakı analitik ifadələr alınmışdır:

$$q = \sqrt[3]{-\frac{1}{2}\left(\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c\right) + \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c\right)^2 + \left(-\frac{a^2}{9} + \frac{b}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{1}{2}\left(\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c\right) - \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c\right)^2 + \left(-\frac{a^2}{9} + \frac{b}{3}\right)^3}} - \frac{a}{3}, \quad (7)$$

$$p = 2 \frac{R(h)\delta(h)}{R_2^2 - R^2(h)} \left(\frac{R_2^2}{R_0^2} + 3 \right), \quad (8)$$

burada $q = \frac{Q}{\pi G(R_2^2 - R_1^2)}$, $p = \frac{P}{\pi G(R_2^2 - R_0^2)}$, a, b, c sabit ədədlərdir.

Kipləşdirici elementin daxili səthi ilə silindrin divarı arasında onların tam toxunmasından sonra yaranan kontakt gərginliyi aşağıdakı kimi tapılmışdır:

$$\sigma_r = \frac{\nu \sigma_0}{1 - \nu} \exp\left(\frac{2 \mu \nu (h - z)}{(1 - \nu)(R_2 - R_0)}\right) + k_0 \cdot u_0(z). \quad (9)$$

σ_0 gərginliyinin qiyməti aşağıdakı hermetiklik şərtindən təyin edilir:

$$\frac{\nu \sigma_0}{1 - \nu} \exp\left(\frac{2 \mu \nu}{(1 - \nu)(R_2 - R_0)} h\right) + k_0 \cdot u_0(0) \geq P_{mühit},$$

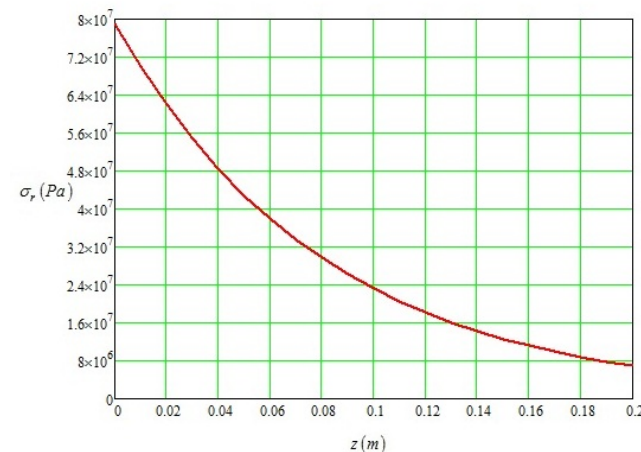
burada $P_{mühit}$ - mühitin təzyiqidir.

Kontakt gərginliyi və kipləşdirici elementi onun daxili səthinin silindrin divarına ilk və tam toxunana qədər deformasiya etdirmək üçün lazım olan oxboyu sıxıcı qüvvənin qiymətləri üçün (7), (8) və (9) düsturlarına əsasən verilənlərin aşağıdakı qiymətlərində ədədi hesabat aparılmışdır:

$$R_0 = 0.073m, \quad R_1 = 0.076m, \quad R_2 = 0.1m, \quad \delta = 0.003m, \quad \nu = 0.25,$$

$$P_{mühit} = 2 \cdot 10^7 Pa, \quad G = 1.3 \cdot 10^8 Pa, \quad k_0 = 6.7 \cdot 10^9 Pa/m, \quad \mu = 0.5.$$

Kipləşdirici elementin daxili səthi və silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin z koordinatından asılılıq qrafiki Şəkil 1-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 1. Kipləşdirici elementin daxili səthi və silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin z koordinatından asılılıq qrafiki ($H = 0.2 m$)

Qrafikdən görüldüyü kimi ən böyük kontakt gərginliyi kipləşdirici elementin aşağı oturacağında yaranır. z -in qiyməti artdıqca kontakt gərginliyi azalır, kipləşdirici elementin hündürlüyünün müəyyən qiymətindən sonra isə praktiki olaraq yox olur.

1.2-də materialının irsiliyi nəzərə alınmaqla kipləşdirilən silindrin xarici səthinə δ ara məsafəsi ilə geyindirilmiş silindrik kipləşdirici elementlə hermetikləşdirmə prosesinə baxılmışdır. Nəzəri tədqiqatlar əsasında kipləşdirici elementin materialının irsiliyinin onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri öyrənilmişdir [12]. İxtiyari yüklənmə halı üçün gərginlik tenzoru komponentləri ilə deformasiya tenzoru komponentləri arasında kipləşdirici elementin

materialının özlü-elastiklik xüsusiyyətini ən yaxşı təsvir edən asılılıq aşağıdakı kimidir:

$$\dot{\sigma} + \lambda^* \sigma = E_M \left(\dot{\varepsilon} + \nu^* \varepsilon \right), \quad (10)$$

burada $E_1 = E_M$, $\lambda^* = \frac{E_1 + E_2}{\eta}$, $\nu^* = \frac{E_2}{\eta}$, $n = \frac{1}{\nu^*}$ - relaksasiya

müddəti, η - kipləşdirici elementin materialının dinamik özlülük əmsalı, E_M - ani elastiklik modulu, E_2 - kipləşdiricinin materialının elastiklik modulu, σ - gərginlik, ε - nisbi deformasiya, $\dot{\sigma}$ və $\dot{\varepsilon}$ - gərginlik və deformasiya komponentlərinin zamana görə törəməsidir.

(10) diferensial tənliyindən $\sigma(t)$ - gərginlik və $\varepsilon(t)$ - nisbi deformasiya aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$\sigma(t) = E_M \left[\varepsilon(t) - \left(\lambda^* - \nu^* \right) \int_0^t e^{-\lambda^*(t-\xi)} \varepsilon(\xi) d\xi \right], \quad (11)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E_M} \left[\sigma(t) + \left(\lambda^* - \nu^* \right) \int_0^t e^{-\nu^*(t-\xi)} \sigma(\xi) d\xi \right]. \quad (12)$$

Kipləşdirici elementin oxboyu sıxılması ilə onun daxili səthi və silindrin divarı arasında hermetiklik yaranır. Kipləşdirici elementin materialının irsi-elastiki xüsusiyyətə malik olduğunu qəbul edək və kipləşdiricinin ani yüklənmə halına baxaq. Onda kipləşdirici elementin deformasiya prosesini kvazistatik qəbul edərək məsələni elastiki analogiya metodu ilə həll etmək olar. Kipləşdirici elementin ixtiyari nöqtəsindəki gərginliyi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\tau_{ij} = \left[2\varepsilon(\bar{x}) + \delta_{ij} s(\bar{x}) \right] G \left\{ e^{-\lambda^* t} + \int_0^t \left[(\varepsilon(\xi))_{,t} + \nu^* \varepsilon(\xi) \right] e^{-\lambda^*(t-\xi)} d\xi \right\}, \quad (13)$$

burada $\varepsilon(\bar{x})$, $\varepsilon(t)$ - uyğun olaraq x koordinatından və t zamanından asılı nisbi deformasiyalar, G - kipləşdirici elementin materialının sürüşmə modulu, δ_{ij} - Kroneker simvoludur.

Aşağıdakı əvəzləməni edək:

$$\bar{G} = G \left\{ e^{-\lambda^* t} + \int_0^t \left[(\varepsilon(\xi))_{,t} + \nu^* \varepsilon(\xi) \right] e^{-\lambda^*(t-\xi)} d\xi \right\}. \quad (14)$$

Onda (13) ifadəsini Huq qanununa oxşar şəkildə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\tau_{ij} = \bar{G} \left(2\varepsilon_{ij}(\bar{x}, t) + \delta_{ij} s(\bar{x}, t) \right). \quad (15)$$

Göründüyü kimi qoyulmuş məsələnin elastiki halda həlli tapıldıqdan sonra (14) və (15) ifadələrindən istifadə etməklə kipləşdiricinin materialının irsiliyi nəzərə alınaraq gərginlikləri təyin etmək mümkündür.

Elastiki analogiya həll metoduna uyğun olaraq kipləşdirici elementin eninə kəsik müstəvisinin oxboyu deformasiyasını aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$\varepsilon_1(z, t) = \varepsilon_1(\bar{z}) \cdot \varepsilon_1(t), \quad (16)$$

$$\varepsilon_1(t) = w_1(t) = 1.$$

(16) ifadəsini (14) bərabərliyində yerinə yazıb inteqrallasaq, alarıq:

$$\bar{G} = G \left[\left(1 - \frac{\nu^*}{\lambda^*} \right) e^{-\lambda^* t} + \frac{\nu^*}{\lambda^*} \right]. \quad (17)$$

Kipləşdirici elementi daxili səthinin silindrin divarına ilk və tam toxunana qədər sıxmaq üçün lazım olan oxboyu Q və P sıxıcı qüvvənin qiyməti onun materialının irsiliyi nəzərə alınaraq (7), (8) və (17) ifadələrindən tapıla bilər.

1.3-də isə oxboyu xarici qüvvənin təsirindən nisbi deformasiya tempinin zamandan asılı olaraq xətti dəyişməsi halında kipləşdirilən silindrin xarici səthinə δ ara məsafəsi ilə geyindirilmiş silindrik kipləşdirici elementlə hermetikləşdirmə prosesinə baxılmışdır [18].

Silindrik kipləşdirici elementin irsi-elastiki cisim olduğunu nəzərə alaraq və fərz edək ki, kipləşdiricinin sərhədində xarici qüvvə və deformasiyanın dəyişməsi yavaş sürətlə baş verir. Onda kipləşdirici elementin deformasiyalanma prosesini kvazistatik və məsələnin həlli üçün elastiki analogiya metodunu qəbul edə bilərik.

Elastiki analogiya metoduna əsaslanaraq kipləşdirici elementin eninə kəsik müstəvisinin oxboyu deformasiyasını aşağıdakı kimi yazı bilərik (Şəkil 2):

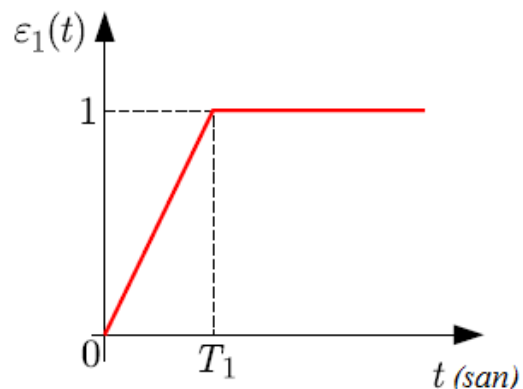
$$\varepsilon_1(z, t) = \varepsilon_1(\bar{z}) \cdot \varepsilon_1(t), \quad (18)$$

$$\varepsilon_1(t) = w_1(t) = \frac{t}{T_1} [H(t) - H(t - T_1)] + H(t - T_1), \quad (19)$$

burada $H(t)$ - Hevisayd funksiyası, T_1 - kipləşdirici elementin daxili səthinin silindrin divarına ilk toxunmasına qədər yuxarı oturacağıının deformasiyalanma müddətidir.

(14) ifadəsini (18) və (19) düsturlarını nəzərə almaqla integrallasaq, alırıq:

$$\bar{G}(t, T_1) = G \left\{ e^{-\lambda^* t} + \left[\left((\nu^* - \lambda^*) \left(1 - e^{-\lambda^* (t - T_1)} \right) - \nu^* \lambda^* (t - T_1) \right) H(t - T_1) - \left((\nu^* - \lambda^*) \left(1 - e^{-\lambda^* t} \right) - \nu^* \lambda^* t \right) H(t) \right] \right\}. \quad (20)$$



Şəkil 2. Nisbi deformasiyanın zamandan asılılıq qrafiki

Beləliklə, oxboyu xarici qüvvənin təsirindən nisbi deformasiya tempinin zamandan asılı olaraq xətti dəyişməsi halında kipləşdirici elementi daxili səthinin silindrin divarına ilk və tam toxunana qədər

sıxmaq üçün lazım olan oxboyu Q və P sıxıcı qüvvənin qiyməti onun materialının irsiliyi nəzərə alınaraq (7), (8) və (20) ifadələrindən tapıla bilər.

Parametrlərin aşağıda verilmiş qiymətlərində ədədi hesabat aparılmışdır:

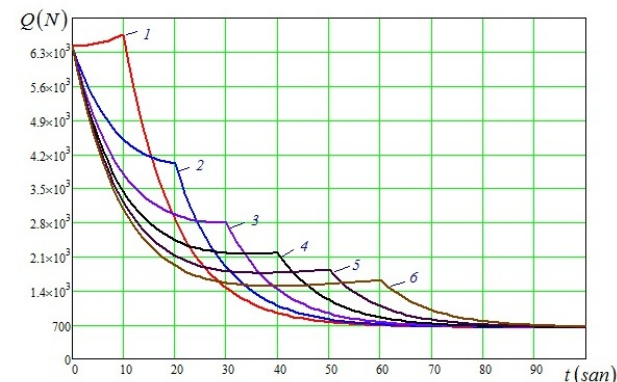
$$R_0 = 0.073 m, R_1 = 0.076 m, R_2 = 0.1 m, \delta = 0.003 m,$$

$$H = 0.02 m, G = 1.3 \cdot 10^8 Pa, k_0 = 6.7 \cdot 10^9 Pa/m, \mu = 0.5, \nu = 0.25,$$

$$\nu^* = 0.01, \lambda^* = 0.1, T_1 = 10, 15, 20, 25, 30, 35 san.$$

Ədədi hesabatın nəticəsi Şəkil 3-də verilmişdir.

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi kipləşdirici elementin kiçik temple deformasiyalanma müddətində Q oxboyu qüvvəsinin qiyməti kiçik sürətlə azalır və bir müddətdən sonra stabilləşirlər.



1- $T_1 = 10 san$, 2- $T_1 = 20 san$, 3- $T_1 = 30 san$, 4- $T_1 = 40 san$,

5- $T_1 = 50 san$, 6- $T_1 = 60 san$

Şəkil 3. İrsilik nəzərə alındıqda kipləşdirici elementin daxili səthinin silindrin divarına ilk toxunana qədər deformasiya etdirmək üçün lazım olan oxboyu Q qüvvəsinin qiymətinin zamandan asılılıq qrafiki

İrsilik nəzərə alınaraq kipləşdirici elementi onun daxili səthinin silindrin divarına ilk toxunana qədər sıxılması üçün lazım olan oxboyu qüvvənin qiyməti irsilik nəzərə alınmayan hala nisbətən doqquz dəfəyə qədər azalır. Bu isə öz növbəsində kipləşdirici elementin daxili səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin relaksasiyasına və beləliklə də kipləşdiricinin hermetikləşdirmə qabiliyyətinin pisləşməsinə gətirib çıxarır.

1.4-də nəzəri tədqiqatlar əsasında silindrik formalı kipləşdirici elementin xarici səthi ilə hermetikləşdirmə prosesi zamanı yaranan deformasiya-gərginlik vəziyyəti öyrənilmişdir [17]. Elastiki analogiya metoduna əsasən kipləşdirici elementin materialının irsilik xüsusiyyətinin onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri tədqiq edilmişdir.

Ani yüklənmə halında və oxboyu xarici qüvvənin təsirindən kipləşdirici elementin deformasiyalanma tempi zamandan asılı olaraq xətti dəyişməsi halında məsələ həll edilmiş, kipləşdirilən səthlər arasında hermetikliyi təmin edən sıxıcı qüvvənin qiyməti üçün analitik ifadələr alınmış, ədədi hesablamaların nəticələri qrafik şəkildə verilmişdir.

1.5-də elastiki cisim qəbul olunaraq silindrik kipləşdirici elementlə hermetikləşdirmə prosesi riyazi modeli qurularaq kipləşdiricinin ikitərəfli oxboyu sıxıcı qüvvənin təsirindən yaranan deformasiya-gərginlik vəziyyəti öyrənilmişdir [3]. Kipləşdirici elementin daxili səthi ilə kipləşdirilən silindrin divarı arasında kipləşdiricinin ikitərəfli oxboyu sıxılması ilə hermetikliyə nail olmaq üçün lazım olan oxboyu qüvvənin qiyməti və kontakt gərginliyi üçün minimum potensial enerji prinsipi tətbiq edilərək analitik ifadələr alınmışdır. Kipləşdirici elementin kiçik deformasiyalar oblastunda kipləşdirilən səthlər arasında lazımı hermetikliyə nail olmaq üçün kipləşdirici elementin effektiv hündürlüyü analitik hesablamalar vasitəsilə təyin edilmişdir.

İkinci fəsil həlqəvi və kəsik konus formalı kipləşdirici elementlərlə hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modelləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Kiçik deformasiyalar oblastunda minimum potensial enerji prinsipi əsasında kipləşdirici elementin tətbiq olunan sıxıcı

qüvvənin təsirindən yaranan deformasiya-gərginlik vəziyyətinin riyazi modeli qurulmuş və variyasiya metodunun tətbiqi ilə məsələ həll edilmişdir. İkinci fəsil beş paragrafdan ibarətdir.

2.1-də elastiki səthlərarası həlqəvi kipləşdirici elementin xarici yükün təsiri altında yaranan deformasiya-gərginlik vəziyyəti öyrənilmiş, həlqəvi kipləşdirici ilə hamar səth arasında yaranan kontakt gərginliyinin paylanma xarakterini və kipləşdiricinin effektiv ölçülərini təyin edən analitik ifadələr alınmışdır [4].

Aşağı oturacağı ilə hündürlüyünün müəyyən hissəsinə qədər yuvaya geyindirilmiş səthlərarası həlqəvi kipləşdirici elementlə hermetikləşdirmə prosesinə baxılır. Səthlərarası həlqəvi kipləşdiricinin yuvadan çıxan hissəsi hamar səthə söykənərək kontakt gərginliyi yaradır. Həlqəvi kipləşdirici elementin eni onun digər ölçülərinə nisbətən çox kiçik olduğundan en boyu yaranan kontakt gərginliyin müntəzəm paylandığını, onun deformasiya vəziyyətini isə oxasimmetrik qəbul edilir. Onda müstəvi kəsiklər hipotezini qəbul edərək həlqəvi kipləşdirici elementin yuvadan çıxan hissəsinin oxboyu deformasiyasını yalnız oxboyu yönəlmiş koordinatdan asılı götürmək olar.

Variyasiya prinsipindən istifadə edərək potensial enerji funksionaldan aşağıdakı diferensial tənlik alınmışdır:

$$\psi'' - \frac{2 \left[\frac{1}{1-\xi^2} - 3(1-\xi^2) \right]}{R_k^2 \left[\frac{1-\xi^4}{4} + (1-\xi^2) + \ln \frac{1}{\xi} \right]} \psi = P_0, \quad (21)$$

$$\text{burada } f'(z) = \psi(z), \quad \xi = \frac{R_1}{R_k}, \quad P_0 = \frac{P}{\pi G R_k^4 \left(\frac{1-\xi^4}{4} + 1 - \xi^2 - \ln \xi \right)}.$$

$$\omega \Big|_{z=0} = 0, \quad \tau_{rz} \Big|_{z=h} = \mu \sigma_z \Big|_{z=h}, \quad u \Big|_{z=0} = 0$$

sərhəd şərtləri daxilində tənliyin həlli tapılmışdır.

$$f(z) = \frac{B}{k} (\operatorname{ch} kz - 1) - \frac{P_0 R_k^2 \left(\frac{1-\xi^4}{4} + 1 - \xi^2 - \ln \xi \right)}{2 \left[\frac{1}{1-\xi^2} - 3(1-\xi^2) \right]} z, \quad (22)$$

$$B = \frac{\mu P_0 R_k^2 \left(\frac{1-\xi^4}{4} + 1 - \xi^2 - \ln \xi \right)}{(2\mu \operatorname{sh} kh + kR_k \operatorname{ch} kh) \left[\frac{1}{1-\xi^2} - 3(1-\xi^2) \right]}.$$

Hermetiklik yaradan xarici sıxıcı qüvvə qiyməti üçün aşağıdakı analitik ifadə alınmışdır:

$$P = \frac{\pi G \Delta k R_k^2 (2\mu \operatorname{sh} kh + k R_k \operatorname{ch} kh) \left[\frac{1}{1-\xi^2} - 3(1-\xi^2) \right]}{\mu (\operatorname{ch} kh - 1) + \frac{kh}{2} (2\mu \operatorname{sh} kh + k R_k \operatorname{ch} kh)}. \quad (23)$$

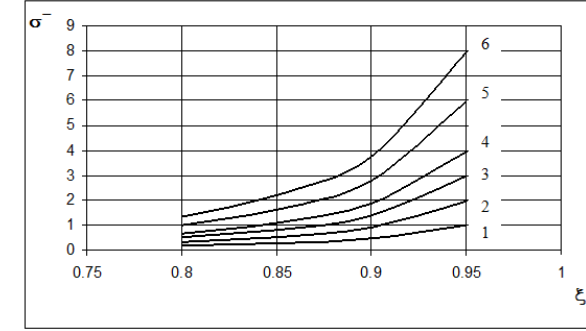
Kipləşdirici elementin kontakt gərginliyinin qiymətinin onun həndəsi ölçülərindən, fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən və oxboyu deformasiyadan asılılığı aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\sigma_k = \frac{G k \Delta \left[\frac{1}{1-\xi^2} - 3(1-\xi^2) \right] (2\mu \operatorname{sh} kh - k R_k \operatorname{ch} kh)}{\left(1 - \frac{R_1^2}{R_k^2} \right) \left(\mu (\operatorname{ch} kh - 1) + \frac{kh}{2} (2\mu \operatorname{sh} kh + k R_k \operatorname{ch} kh) \right)}. \quad (24)$$

Kipləşdirici elementin parametrlərinin aşağıdakı qiymətlərinə görə (24) düsturu əsasında ədədi hesabat aparılmışdır:

$$R_k = 5 \cdot 10^{-2} m, \Delta = 1, 2 \cdot 10^{-3} m, \mu = 0.07, \xi = 0.8 - 0.95, h = 1, 2, 5 \cdot 10^{-3} m$$

Şəkil 4-dən görüldüyü kimi ξ - parametrinin qiyməti artdıqca kipləşdiricinin kontakt gərginliyi də artır, bununla belə $\xi = 0,87$ qiymətinə qədər artım xətti xarakter daşıyır, $\xi = 0,87$ qiymətindən başlayaraq isə $0,87 \leq \xi \leq 0,95$ intervalında artımın tempi sürətlənir.



Şəkil 4. h və Δ kəmiyyətlərinin müxtəlif qiymətlərində σ_k/G nisbətinin $\xi = R_1/R_k$ nisbətindən asılılıq qrafiki

$$(1 - \Delta = 0,25 \cdot 10^{-3} m, 2 - \Delta = 0,5 \cdot 10^{-3} m, 3 - \Delta = 0,75 \cdot 10^{-3} m, 4 - \Delta = 10^{-3} mm, 5 - \Delta = 1,5 \cdot 10^{-3} m, 6 - \Delta = 2 \cdot 10^{-3} m, h = 5 \cdot 10^{-3} m)$$

2.2 həlqəvi kipləşdirici elementin xətti irsi-elastiki modeli qurularaq kontakt gərginliyinin relaksasiya prosesinin analizinə həsr edilmişdir. Həlqəvi kipləşdirici elementin irsi-elastiki xüsusiyyətinin onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri öyrənilir. Həlqəvi kipləşdirici elementin iki müxtəlif yüklənmə halında – ani və tədricən yüklənmə halında deformasiya-gərginlik vəziyyəti təyin edilmişdir. Ədədi hesabatın nəticələri qrafik şəklində verilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, kipləşdirici elementin materialının irsilik xüsusiyyəti onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinə böyük təsir göstərir və onun nəzərə alınmaması yanlış nəticələrə gətirib çıxarar. Kipləşdirici elementin materialının irsiliyinin təsirindən xarici oxboyu qüvvənin qiyməti bəzi hallarda yeddi dəfəyə qədər azalır.

2.3-də kəşik konus formalı xarici səthi divara otuzdurulmuş, daxili səthi ilə isə silindrin xarici səthinə δ ara məsafəsiylə geyindirilmiş kipləşdirici elementlə hermetikləşdirmə prosesinə baxılır [10]. Kipləşdiricinin daxili səthi ilə silindrin divarı arasında hermetikliyə kipləşdirici elementin birtərəfli oxboyu sıxılması ilə nail olunur.

Qoyulmuş məsələ konik kipləşdirici elementin materialının elastiki qəbul edildiyi halı üçün həll edilmiş, variasiya prinsipinin tətbiqi ilə II tərtib dəyişən əmsallı qeyri-bircins diferensial tənlik alınmışdır:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} R^4(z) \ln \frac{R(z)}{R_1} - \frac{3}{16} R^4(z) + \frac{1}{4} R_1^2 R^2(z) - \frac{1}{16} R_1^4 \right) \varphi''(z) + \left(\frac{1}{2} R^3(z) \ln \frac{R(z)}{R_1} \operatorname{tg} \alpha - \right. \\ & \left. - \frac{1}{4} R^3(z) \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{4} R_1^2 R(z) \operatorname{tg} \alpha \right) \varphi'(z) + \left(-\frac{5}{4} R^2(z) \operatorname{tg}^2 \alpha \ln \frac{R(z)}{R_1} - \frac{22 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{8} R^2(z) + \right. \\ & \left. + \frac{24 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{8} R_1^2 - \frac{1}{4} \frac{R^4(z)}{R_1^2} \right) \varphi(z) + \frac{1}{2} q (R_0^2 - R_1^2) = 0. \quad (25) \end{aligned}$$

burada $\varphi_1(z) = f_1'(z)$, $q = \frac{Q}{\pi G(R_0^2 - R_1^2)}$.

Sərhəd şərtləri olacaqdır:

$$\mu Q \Big|_{z=H} = 2\pi G \int_{R_1}^{R_0} \gamma_{zr} r dr, \quad w_1 \Big|_{z=0} = 0, \quad u_1(r, z) \Big|_{z=0, r=R_1} = -\delta, \quad (26)$$

burada μ – metal lövhəcəklə kipləşdiricinin yuxarı oturacağı arasındakı sürtünmə əmsalıdır.

Alınmış (25) diferensial tənliyini Rits metodu ilə həll edək. Bunun üçün (25) diferensial tənliyinin sərhəd şərtini ödəyən həllini aşağıdakı formada seçilmişdir:

$$f_1(z) = c_1 \frac{z}{H} + c_2 \left(\frac{z}{H} \right)^2 + c_3 \left(\frac{z}{H} \right)^3, \quad (27)$$

burada c_1, c_2, c_3 inteqral sabitləridir.

Konik kipləşdirici elementin daxili səthi ilə kipləşdirilən silindrin divarı arasında kontakt gərginliyinin paylanma xarakterini təyin edən aşağıdakı analitik ifadə alınmışdır:

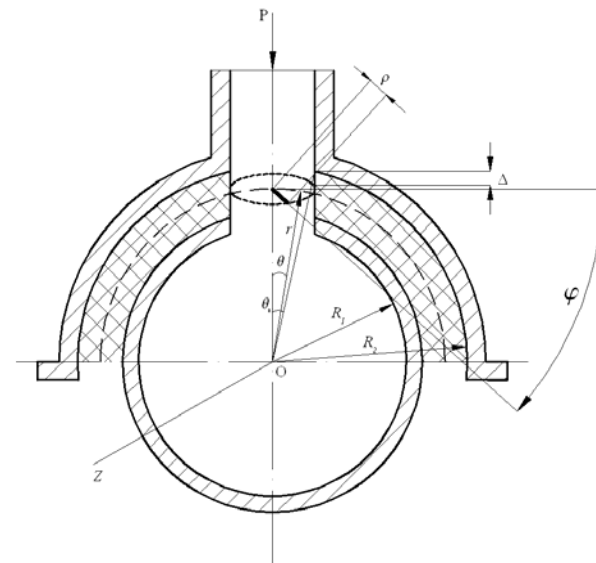
$$\sigma_r(z) = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_0 \cdot (R(z) - R_3)^{\frac{2\nu}{(1-\nu)\operatorname{tg} \alpha}} \left(R^2(z) - R_3^2 \right)^{\frac{\nu}{1-\nu} \cos \alpha} + k_0 \cdot u_0(z). \quad (28)$$

2.4 və 2.5-də kipləşdirici elementin materialının irsiliyi nəzərə alınan hallarda konik forma üçün qoyulan məsələ həll edilmişdir

[14]. İrsiliyin kipləşdirici elementin hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri öyrənilmişdir.

Üçüncü fəsil deşikli yarım silindrik səthin hermetikləşdirilməsinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modeli qurularaq deşikli yarım silindrik səth ilə kipləşdirici element arasında kontakt gərginliyinin paylanma xarakteri tədqiq edilmişdir (Şəkil 5). Üzərində mövcud olan deşik nəzərə alınmaqla variyasiya prinsipindən istifadə edilərək hermetikliyi təmin edən sıxıcı qüvvənin minimum qiymətini kipləşdiricinin həndəsi ölçülərindən və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən asılı olaraq təyin edən analitik ifadələr alınmışdır. Deformasiya tempinin müxtəlif hallarında irsiliyin kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinə təsiri təyin edilmişdir.

3.1-də deşikli yarım silindrik səthə baxılır [9]. Bu səthə kipləşdirici element yarım silindrik sıxac vasitəsilə sıxılmışdır (Şəkil 5).



Şəkil 5. Hesabat sxemi

Baxılan modeldə deşiyin diametri silindrin diametri ilə müqayisədə çox kiçik olduğundan deşiyin kontur əyrisini müstəvi əyrisi kimi qəbul edilir. Silindrik koordinat sisteminin başlanğıcı silindrin eninə kəsik müstəvisinin mərkəzində yerləşdirilmiş, r koordinat oxu radiusun böyüməsi istiqamətində yönəldilmişdir (Şəkil 5). Bundan əlavə, φ və ρ koordinatları ilə deşik sahəsindəki nöqtələrin vəziyyətini təyin edilir (Şəkil 5).

Sərhəd şərtlərini nəzərə alaraq kipləşdirici elementin radial deformasiyasını aşağıdakı formada qəbul edilmişdir:

$$u(r, \theta) = -\Delta f(r) \cos \theta, \quad (29)$$

burada $\Delta - \theta = 0$ -da kipləşdirici elementin deformasiyası, $f(r) - r$ koordinatından asılı naməlum funksiyadır.

Kipləşdirici elementin potensial enerjisini tapmaq üçün deşik olan oblastda sferik koordinat sistemi daxil edilir (Şəkil 5). Onda silindrdə olan deşiyi nəzərə alaraq kipləşdirici elementin potensial enerjisi üçün yaza bilirik:

$$\begin{aligned} \Pi = G \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^l \left(\varepsilon_r^2 + \varepsilon_\theta^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{1}{2} \gamma_{r\theta}^2 + \frac{1}{2} \gamma_{\theta z}^2 + \frac{1}{2} \gamma_{zr}^2 \right) r dz d\theta dr - \\ - G \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} \left(\varepsilon_r^2 + \varepsilon_\theta^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{1}{2} \gamma_{r\theta}^2 + \frac{1}{2} \gamma_{\theta z}^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \gamma_{zr}^2 \right) r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr - \int_{R_1}^{R_2} P \cdot u'_r \Big|_{\theta=0} dr, \quad (30) \end{aligned}$$

burada R_1 və R_2 - uyğun olaraq kipləşdirici elementin daxili və xarici divarının radiusu; θ_0 - deşiyin mərkəzindən və kontur nöqtəsindən keçən radiuslar arasındakı bucaq; l - kipləşdirici elementin uzunluğunun yarısı; P - kipləşdirici elementi silindrin divarına radial istiqamətdə sıxan xarici qüvvə; G - kipləşdiricinin materialının elastiki sürüşmə moduludur.

Eyler tənliyinin tətbiqi ilə potensial enerji funksionalından dördüncü tərtib dəyişən əmsallı diferensial tənlik alınmışdır:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l^3}{12} r^3 - \frac{1}{8} \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2} \cos \theta_0 - \frac{1}{6} \cos 3\theta_0 \right) r^6 \right) \cdot f^{IV}(r) + \left(\frac{l^3}{6} r^2 - \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2} \cos \theta_0 - \frac{1}{6} \cos 3\theta_0 \right) r^5 \right) \cdot f'''(r) - \\ - \left(\frac{l^3}{3} r + 4lr^3 - \left(\frac{4}{3} - \frac{15}{16} \cos \theta_0 - \frac{19}{48} \cos 3\theta_0 \right) r^4 \right) \cdot f''(r) + \left(\frac{l^3}{3} - 4lr^2 + \left(\frac{14}{3} - \frac{27}{8} \cos \theta_0 - \frac{31}{24} \cos 3\theta_0 \right) r^3 \right) \cdot f'(r) + \\ + \left(\frac{17l}{4} r - \left(\frac{25}{6} - \frac{23}{4} \cos \theta_0 + \frac{13}{12} \cos 3\theta_0 \right) r^2 \right) \cdot f(r) = 0 \quad (31) \end{aligned}$$

Sərhəd şərtləri:

$$u(r, \theta) \Big|_{r=R_2} = -\Delta, \quad u(r, \theta) \Big|_{r=R_2}^{\theta=\pm\pi/2} = 0, \quad \sigma_\theta \Big|_{\theta=\pi/2} = 0, \quad (32)$$

burada $\Delta -$ kipləşdiricinin $\theta = 0$, $r = R_2$ nöqtəsindəki radial deformasiyasıdır.

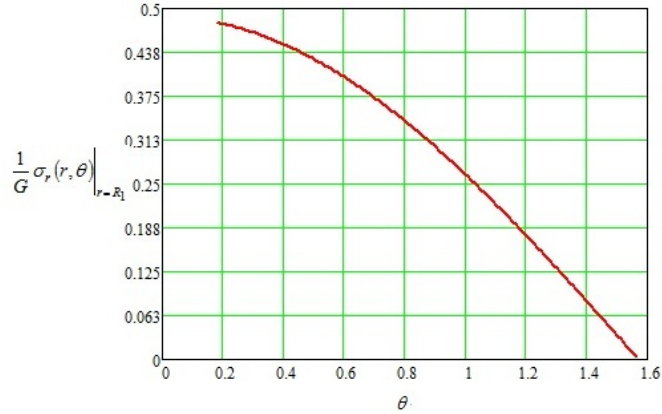
Alınmış (31) tənliyi dördüncü tərtib dəyişən əmsallı diferensial tənlikdir. Bu tənliyin dəqiq analitik həllini tapmaq mümkün deyil. Ona görə də (31) tənliyi Qalerkin metodunu tətbiq edərək təqribi yolla həll edilir. (32) sərhəd şərtlərini nəzərə alaraq (31) tənliyinin həlli aşağıdakı kimi seçilir:

$$f(r) = A_1 \frac{R_1 - r}{R_1} + A_2 \frac{(R_1 - r)^2}{R_1^2} + A_3 \frac{(R_1 - r)^3}{R_1^3} + A_4 \frac{(R_1 - r)^4}{R_1^4}, \quad (33)$$

burada A_1 , A_2 , A_3 və A_4 - naməlum sabitlərdir.

Kipləşdirilən səthlər arasında hermetiklik yaradan xarici sıxıcı qüvvənin qiymətinin və kontakt gərginliyin paylanma xarakterinin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki göstəricilərindən və həndəsi ölçülərindən asılılığını ifadə edən analitik ifadələr alınmışdır.

Alınmış ifadələrə əsasən ədədi hesabat aparılmışdır. Aparılmış ədədi hesabatlar əsasında silindrin divarı ilə kipləşdirici elementin daxili səthi arasında yaranan kontakt gərginliyin paylanma xarakterinin θ polyar bucağından asılılıq qrafiki Şəkil 6-da verilmişdir.



Şəkil 6. Silindrin divarı ilə kipləşdirici elementin daxili səthi arasında yaranan kontakt gərginliyin paylanma xarakterinin θ polyar bucağından asılılıq qrafiki

3.2-də də dəşikli yarımşilindrik səthə baxılmışdır (Şəkil 5). Kipləşdirici elementin divarının qalınlığı çoxaldıqda oxboyu deformasiyanın təsirini nəzərdən atmaq xətalara gətirib çıxarır. Ona görə də bu paraqrafda oxboyu deformasiyanın nəzərə alınmasının dəşikli yarımşilindrik səthdə yaranan kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinə təsiri öyrənilmişdir. Baxılan modeldə dəşiyin diametri silindrin diametri ilə müqayisədə çox kiçik olduğundan dəşiyin kontur əyrisini müstəvi əyrisi kimi qəbul edilir. Silindrik koordinat sisteminin başlanğıcı silindrin eninə kəsik müstəvisinin mərkəzində yerləşdirilmiş, r koordinat oxunu radiusun böyüməsi istiqamətində yönəldilmişdir (Şəkil 5). Bundan əlavə, φ və ρ koordinatları ilə dəşik sahəsindəki nöqtələrin vəziyyətini təyin edilir (Şəkil 5). Sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi olar:

$$u(r, \theta) \Big|_{\theta=\pm\frac{\pi}{2}} = 0, \quad v(r, \theta) \Big|_{\theta=0} = 0.$$

Sərhəd şərtlərini nəzərə alaraq kipləşdirici elementin radial və tangensial deformasiyasını aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$u(r, \theta) = -\Delta f(r) \cos \theta, \quad (34)$$

$$v(r, \theta) = f_1(r) \sin \theta, \quad (35)$$

burada Δ - $\theta = 0$ -da kipləşdirici elementin deformasiyası, $f(r)$ və $f_1(r)$ - r koordinatından asılı olan naməlum funksiyalardır.

Kipləşdirilən səthlər arasında hermetiklik yaradan xarici sıxıcı qüvvənin qiymətinin və kontakt gərginliyin paylanma xarakterinin kipləşdiricinin fiziki-mexaniki göstəricilərindən və həndəsi ölçülərindən asılılığını ifadə edən analitik ifadələr alınmışdır.

3.3 və 3.4-də dəşikli yarımşilindrik səthin hermetikləşdirilmə prosesinə kipləşdirici elementin irsiliyinin təsiri öyrənilmişdir. Ani yüklənmə halında və oxboyu deformasiyanın zamandan asılı olduğu halda kontakt gərginliyin paylanma xarakteri müəyyən edilmişdir.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işində aşağıdakı elmi nəticələr alınmışdır:

1. Hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modeli qurularaq silindrik kipləşdirici elementlərin sərhəd effektləri, kipləşdiricinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, eləcə də irsiliyi nəzərə alınaraq deformasiya-gərginlik vəziyyətinin təyini metodu işlənmiş və müəyyən edilmişdir ki, hermetikliyi təmin edən oxboyu sıxıcı qüvvənin qiyməti kipləşdiricinin hündürlüyünü artırıdığca əvvəlcə azalır, hündürlüyün müəyyən qiymətindən sonra isə stabilləşir.

2. Kipləşdirici elementin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin onun fiziki-mexaniki göstəricilərindən və həndəsi ölçülərindən asılı olaraq paylanma xarakterinin təyininə imkan verən analitik ifadələr alınmışdır. Göstərilmişdir ki, ən böyük kontakt gərginliyi kipləşdirici elementin aşağı oturacağına yaxın zonada yaranır, kipləşdiricinin hündürlüyü boyu yuxarı qaldıqca azalır və hündürlüyün müəyyən qiymətindən sonra isə praktiki olaraq yox olur. Müəyyən edilmişdir ki, kipləşdirici elementi eyni anda hər iki tərəfdən sıxmaqla nisbətən daha az oxboyu sıxıcı qüvvə ilə hermetiklik yaradıla bilər.

3. Müəyyən edilmişdir ki, kipləşdiricinin materialının irsilik xüsusiyyətinə malik olması hermetikliyi təmin edən əvvəlcədən verilmiş oxboyu qüvvənin təsirinin az müddətdə dəfələrlə azalmasına səbəb olur. Bu isə öz növbəsində kipləşdirici elementin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin və beləliklə də, onun hermetikləşdirmə qabiliyyətinin azalmasına səbəb olur.

4. Oxboyu qüvvənin tətbiq tempinin kipləşdirici elementin hermetikləşdirmə qabiliyyətinə təsiri tədqiq edilərək öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hermetikliyi təmin edən oxboyu qüvvənin tətbiq tempi azaldıqca kipləşdiricinin səthi ilə silindrin divarı arasında yaranan kontakt gərginliyinin relaksasiya sürəti də azalır və zamanın müəyyən həddindən sonra stabilləşir.

5. Hermetikləşdirmə prosesinin riyazi modeli qurularaq kəşik konus formalı və həlqəvi kipləşdirici elementlərin irsiliyi nəzərə alınmaqla kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinin təyini metodu

işlənmişdir. Göstərilmişdir ki, oxboyu qüvvənin tətbiq sürəti azaldıqca kontakt gərginliyinin relaksasiya sürəti də azalır və müəyyən zamandan sonra isə sabitləşir.

6. İrsilik nəzərə alınaraq dairəvi deşikli yarımsilindrik səth ilə kipləşdirici element arasında yaranan kontakt gərginliyinin təyin edilmə metodu işlənmiş və kontakt gərginliyinin paylanma xarakterini təyin edən analitik ifadə alınmışdır. Göstərilmişdir ki, kontakt gərginliyi zamandan asılı olaraq əvvəlcədən nisbətən kiçik sürətlə, sonradan isə bir qədər böyük sürətlə azalır və zamanın müəyyən anından sonra stabilləşir.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı elmi işlərdə dərc edilmişdir:

1. Rüstəмова, К.О. Kipləşdiricinin daxili səthi ilə borunun divarı arasındakı kontakt gərginliyin paylanması xarakterinin müəyyənləşdirilməsi // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr edilmiş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: Nurlar nəşr, – 25-26 aprel, – 2013, – s.373.
2. Abbasov, E.M., Rüstəмова, К.О. Birtərəfli sıxılma zamanı kipləşdiricinin daxili səthi ilə borunun divarı arasındakı kontakt gərginliyin paylanması xarakterinin təyini // Akademik A.X.Mirzəcanzadənin 85 illik yubleyinə həsr olunmuş “Neftqaz sahəsində qeyri-Nyuton sistemlər” adlı Beynəlxalq Elmi Konfransın Materialları, – Bakı: – 21-22 noyabr, – 2013, – s.40-41.
3. Rüstəмова, К.О. İkitərəfli sıxılma zamanı kipləşdiricinin daxili səthi ilə silindrin divarı arasında kontakt gərginliyinin paylanma xarakterinin təyini // Journal of Qafqaz University, – 2013. Vol.1, No 2, – p.113-122.
4. Аббасов, Э.М., Кахраманов, Х.Т., Рустамова, К.О. Определение контактного давления между наружной поверхности уплотнительного кольца и шибера прямоочной задвижки // SOCAR Proceedings, – 2013. № 3, – с. 57-59.

5. Rüstəmov, K.O. Konik kipləşdiricinin daxili səthi ilə silindrik borunun divarı arasındakı kontakt gərginliyin paylanması xarakterinin təyini // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: Mütərcim, – 19-20 dekabr, – 2013, – s.14-17.
6. Рустамова, К.О. Математическое моделирование определения характера распределения контактного давления между внутренней поверхностью конического уплотнителя и стенкой цилиндра / Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014», – Ухта: Типография УГТУ, –26-28 марта, – 2014, – с.225-228.
7. Abbasov, E.M., Rüstəmov, K.O. Deşikli yarım silindrik kipləşdirici element ilə silindrin xarici divarı arasında kontakt gərginliyin paylanma xarakterinin təyini // Y.Ə.Əmənşadənin 100 illik yubleyinə həsr olunmuş “Məxanikanın klassik və müasir problemləri” adlı Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 22 may, – 2014, – s.9-12.
8. Рустамова К.О. Математическое моделирование распределения контактного давления между полуцилиндрической поверхностью с отверстием и уплотнительным элементом / VI Молодежная научно-практическая конференция «Моделирование газовых и нефтегазоконденсатных месторождений», Москва: «Газпром ВНИИГАЗ», – 22-23 октября, – 2014, – с.79.
9. Исаев, Ф.Г., Аббасов, Э.М., Рустамова, К.О. Уплотнение полуцилиндрической поверхности с отверстием // Journal of Qafqaz University, – 2015. Vol. 3, No 2, – p. 121-130.
10. Рустамова, К.О. Математическое моделирование определения характера распределения контактного давления между внутренней поверхностью конического уплотнителя и стенкой цилиндра // Известия Коми научного центра УрО РАН, – 2015. Вып.1(21), – с. 73-82.
11. Аббасов, Э.М., Рустамова, К.О. О распределении контактного давления между внутренней поверхностью уплотнителя и стенкой цилиндра // Прикладная механика, – 2015. т. 51, № 5, – с. 125-136.
12. Рустамова, К.О. Влияние наследственности на характер распределения контактного давления между внутренней поверхностью уплотнителя и стенкой цилиндра // Вестник Бакинского Университета, серия физико-математических наук, – 2016. № 3, – с. 116-124.
13. Rustamova, K.O. Mathematical simulation of heredity effect on character of contact pressure distribution between semi-cylindrical surface with a hole and sealing element // Proceedings of the International Conference “Modern Problems of Innovative Technologies in Oil and Gas Production and Applied Mathematics” dedicated to the 90th anniversary of Academician A.Kh.Mirzajanzade, – Baku, – 13-14 december, – 2018, – p.84-87.
14. Рустамова, К.О. Математическое моделирование влияния наследственности на характер распределения контактного давления между внутренней поверхностью конического уплотнителя и стенкой цилиндра // Вестник Бакинского Университета, серия физико-математических наук, – 2018. № 4, – с. 103-114.
15. Abbasov, E.M., Rustamova, K.O. Mathematical simulation of heredity effect on character of contact pressure distribution between semi-cylindrical surface with a hole and sealing element // Transactions of NAS of Azerbaijan, series of Physical-Technical & Mathematical Science, Issue Mechanics, – 2019. 39 (7), – p. 3-11.
16. Rustamova, K.O., Darishova, A.O. Stress Relaxation Behavior of the Annular Sealing Element - A Linear Modeling Approach // Journal of Contemporary Applied Mathematics, – 2020. Vol. 10, No.1, – p.24-37.
17. Abbasov, E.M., Rustamova, K.O., Darishova, A.O. Contact pressure between the outside surface of the sealer and cylinder wall // Journal of Applied Mathematics and Physics, – 2020. Vol.8, No.2, – p.349-366. DOI: 10.4236/jamp.2020.82027

18. Abbasov, E.M., Rustamova, K.O., Darishova, A.O. Influence of viscous-elastic properties of the cylindrical sealing element on its sealing ability // Journal of Theoretical and Applied Mechanics (JTAM), – 2021. 59 (3), – p. 481–492. DOI:10.15632/jtam-pl/140228

Dissertasiyanın müdafiəsi **08 fevral 2022**-ci il tarixində saat **11⁰⁰**-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.17 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəh., akad.Z.Xəlilov küç., 23.

Dissertasiya işi ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya işi və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **07 yanvar 2021**-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 14.12.2022
Kağızın formatı: 60×84 1/16
Həcm: 40000
Tiraj: 100