

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RİYAZİYYAT VƏ MEXANİKA İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

EBRAHİM İSKENDER OĞLU ZOLGHARNEİN

**SİLİNDRİK CİSİMLƏRİN DAXİLİ SIXILMASI
HAQQINDA KONTAKT DAĞILMA MEXANİKASININ
MÜSTƏVİ MƏSƏLƏLƏRİ**

01.02.04 – Deformasiya olunan bərk cismin mexanikası

riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru

alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyasının

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

BAKI – 2012

İŞİN ÜMÜMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. İstismar zamanı maşın və avadanlıqların etibarlılığını və uzunömürlüklüyünü müəyyən edən ən məsul maşın qovşaqlarından biri neft-mədən avadanlıqlarının, çoxlu nəqliyyat maşınlarının tərkibinə daxil olan kontaktlı (kinematik) cütlərdir. Avadanlıqların, maşınların resursu əhəmiyyətli dərəcədə kontakt cütlüyü hissəllərinin iş qabiliyyəti ilə, onların aşınmaya davamlılığı və qarşılıqlı əlaqə zonalarında gərginliklərin paylanması ilə müəyyən olunur. Maşınların kontakt cütlüyü hissəllərinin işinin tədqiqi kontaktlı qarşılıqlı əlaqə mexanizmini, gərgin-deformasiya vəziyyətini, gərginliklərin konsentrasiyasının azaldılması üsullarını müəyyən etməyə, həddi möhkəmliyi, həmçinin onların məqsədyönlü tənzimlənməsi şərtlərini təyin etməyə imkan verir. Neftçıxarma sənayesində neftin və qazın çıxarılması və nəql edilməsi zamanı qazma nasoslarının, ştanqlı quyu nasoslarının, diafraqmalı nasosların aid olduğu müxtəlif maşınlardan, mexanizmlərdən istifadə olunur.

Real səthlər, ideal konstruktör hündəsəsindəkindən, emal prosesinin qaçılmaz nəticəsi olan nahamarlıqları ilə fərqlənirlər. Səthin kələ-kötürlüklüyü şəklində təzahür edən hündəsi təhriflərin kiçikliyinə baxmayaraq, sürtünmədə, aşınmada, dağılmada onların rolu olduqca böyükdür. Buna görə də, həm kələ-kötürlüklüyün özünün hündəsəsinin möhkəmliyinin, həm də kələ-kötürlüklüyün doğurduğu fiziki-texniki hadisələrin (sürtünmə, aşınma, dağılma və s.) onunla əlaqəsinin tədqiqinin gərəkiyi son dərəcə mühümdür. İstismar zamanı maşın hissəllərinin dağılması üst qatdan (təbəqədən) başlayır. Buna görə də, hissəllərin kələ-kötür səthlərinin yaxınlığında gərgin-deformasiya vəziyyətin tədqiqi mühüm hesab edilir.

Maşın hissəllərinin kontakt cütlərinin hesablanması məsələsi üzrə müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən icra olunmuş məlum işlərin təhlili əsasında belə bir nəticəyə gəlirik ki, bu işlər

əsasən empirik xarakter daşıyır. Detalların emal səthlərinin kələ-kötürlüklərinin paylanma xarakteri, həmçinin sürtünən cütlərin materialının struktur xarakterli qüsurları açıq şəkildə nəzərə alınmır. Buna görə də, kontakt cütlərinin etibarlılığının və istifadə səmərəliliyinin yüksəldilməsinə və ilk növbədə hissələrin sürtünən cütlərinin aşınmasının və dağılmasının minimuma endirilməsinə yönəlmiş tədqiqatlar xalq təsərrüfatı üçün böyük əhəmiyyətə malikdir. Neft-mədən avadanlıqlarının, nəqliyyat maşınlarının və s. kontakt cütlüyü elementlərinin vaxtından əvvəl dağılmasının qarşısının alınması layihələndirmənin əsas məsələsidir. Hərəkətli birləşmələrin yeni konstruksiyaların layihələndirilməsi mərhələsində konstruksiyaların ayrı-ayrı qovşaqlarda (oymaq, sürgüqolu) çatların əmələ gələ bilməsinə diqqət yetirmək lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq, əlverişsiz yerləşmiş təklif olunan ilkin çatların hesablanmış xidmət müddəti ərzində dağılmaya səbəb olacaq fəlakətli ölçülərədək böyüməyəcəyini müəyyən etmək üçün kontakt cütlüyünün elementlərini həddi təhlil etmək lazımdır. Çatın ilkin minimal ölçüsünü materialın layihə xarakteristikası kimi nəzərdən keçirmək lazımdır.

Bununla əlaqədar dissertasiyada ilk dəfə olaraq, oymaq və sürgüqolunun kələ-kötür səthi modeli əsasında yerinə yetirilən nəzəri təhlil əsasında hərəkətli birləşmə elementlərinin sürtünməsinə, aşınmasına və möhkəmliyinə mikrohəndəsi parametrlərin təsir dərəcəsi və xarakteri hərtərəfli qiymətləndirilir. Çatın ucu yaxınlığında ilişmə qüvvələrinin paylanması onun sonrakı inkişaf şərtlərini müəyyənləşdirir. Buna görə də, çatın uc zonasında çatın sahilləri arasında ilişmə qüvvələrinin tədqiqi konstruksiya və məmulatların hesablanması zamanı dağılma prosesinin təsvir edilməsi üçün mühüm əhəmiyyətə malikdir. Uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəsi olan çat modeli dağılmanın müxtəlif miqyaslarında istifadə edilə bilər və qüsurun əmələ gəlməsi, nano-, mikro-, mezo- və makrosəviyyələrdə çatın formalaşması və inkişafı mərhələləri də daxil olmaqla kompozitlərin və

adgeziyalı birləşmələrin dağılma proseslərini vahid mövqedən nəzərdən keçirməyə imkan verir. Məhz buna görə, səthlərin qarşılıqlı əlaqəsinin qeyri-xətti qanunları açıq-aşkar nəzərə alınmaqla kohezional çat modellərinin intensiv inkişafı davam etdirilir. Hal-hazırda, materialların daha əsaslı şəkildə seçilməsinə imkan verən hesablama metodlarının işlənilib hazırlanmasında kontakt dağılma mexanikasını tətbiq etməklə aşınma proseslərinin daha dərinə təhlil edilməsinin vaxtı çatmışdır. Kontakt dağılması mexanikasının, friksion cütüyün elementlərinin üst təbəqəsində çatların böyüməsinin, sürtünən cisimlərin kontaktı zamanı çat əmələ gəlməsinin və çatadavamlılığın tədqiqi kimi daha mürəkkəb və praktik olaraq mühüm məsələləri gündəlikdədir. Buna görə də, sürgüqolunun və oymağın real emal olunmuş səthləri, friksion cütüyün dağılması, aşınması nəzərə alınmaqla “sürgüqolu-oymaq” friksion cütüyünün kontakt qarşılıqlı əlaqəsinin tədqiqi aktual olub mühüm əhəmiyyətə malikdir və hərəkətli birləşmələrin optimal parametrlərini layihələndirmə mərhələsində formalaşdırmağa imkan verir.

İşin məqsədi silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı oymaqda gərgin-deformasiya vəziyyətin, çatların əmələ gəlməsinin və inkişafının tədqiqindən ibarətdir.

Elmi yenilik. İlk dəfə olaraq, sürtünmə səthinin kələkötürlüyü nəzərə alınmaqla silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı oymaqda çatların əmələ gəlməsi və inkişafı barədə kontakt dağılması mexanikasının müstəvi məsələləri sinfi tədqiq edilmişdir; silindrik cisimlərin sıxılması zamanı naməlum sərhədli elastiklik nəzəriyyəsinin yeni sinif məsələləri həll olunmuşdur.

Sinqulyar inteqral tənliklər nəzəriyyəsi aparatı əsasında, kontakt cütüyünün oymağında gərgin-deformasiya vəziyyətinin, çatın yaranmasına və inkişafına səbəb olan həddi yükləmələrin qiymətləndirilməsinin səmərəli hesablama metodikası və alqoritmləri işlənilib hazırlanmışdır.

Çat əmələ gələn zonaların, çatların cüzi kontakt sahillərinin

ölçülərinin, dağılmadan əvvəlki zonalarda qüvvələrin və kontakt gərginliklərinin tətbiq olunmuş yüklənmədən və məsələnin həndəsi parametrlərindən asılılıqları alınmışdır.

Müdafiyyə aşağıdakı nəticələr çıxarılır:

- oymağın və valın real kələ-kötürlüyü nəzərə alınmaqla, “oymaq-val” kontakt cütünü hissələrinin gərgin-deformasiya vəziyyətinin tədqiqi metodikasının işlənilib hazırlanması;

- silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı oymaqda çatın əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsi;

- kontakt cütünün oymağında çatın əmələ gəlməsi barədə dağılma mexanikası məsələsinin qoyuluşu və həlli;

- silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı oymaqda çatın inkişafı barədə dağılma mexanikası məsələsinin qoyuluşu və həlli;

- kontakt cütünün oymağında çatın qismən bağlanması riyazi modelləşdirilməsi;

- gərginliklərin intensivlik əmsallarının, materialın ilişmə qüvvələrinin təsir zonalarının həddi ölçülərinin tətbiq olunan yüklənmədən, sürtünmə səthinin həndəsi parametrlərindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiyada istifadə olunan tədqiqat metodları həyəcənlanmalar nəzəriyyəsi və analitik funksiyalar nəzəriyyəsi metodlarına əsaslanır.

Dissertasiyada qoyulmuş məsələlərin təklif olunan həlli üsulu müxtəlif analitik və hesabi metodların kombinasiyasından ibarətdir.

Həqiqilik. Alınmış nəticələrin həqiqiliyi məsələlərin fiziki və riyazi qoyuluşunun korrektliyi, mexanikanın fundamental qanunlarını tətbiqi və alınmış nəticələrin xüsusi hallarda məlum həllərlə müqayisəsi ilə təmin edilir.

Praktik dəyəri. İşin praktik əhəmiyyəti müasir texnikada friksionlu cütlərin istifadəsinin yuxarıda qeyd olunmuş praktik əlavələrinin geniş dairəsi ilə müəyyən olunur.

Alınmış nəticələri bilavasitə maşın və məmulatların kontakt cütlərinin möhkəmliyinin və uzunömürlüyünün mühəndis

hesablamalarında istifadə oluna bilər. Alınmış nəticələrin tətbiqi avadanlıqların boşdayanmalarının sayının və müddətinin, oymaqların və sürgüqollarının material tutumunun hissələrin sınıması və ya aşınması səbəbindən təmir xərclərinin, analitik seçim imkanları hesabına yeni layihələndirilən birləşmə cütlərinin konstruktiv parametrlərinin təcrübi təyin olunması xərclərinin azaldılmasına görə, istismar dövründəki təmirlərarası müddətin artırılmasına görə iqtisadi üstünlük təmin edilir.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin əsas nəticələri məruzə olunmuşdur:

- «Modern problems of mathematics, mechanics, computer science» Beynəlxalq Elmi Konfransında, Rusiya, Tula, 22-26 noyabr, 2010-cu il;

- «Deformasiya olunan bərk cismin mexanikasında möhkəmlilik, plastiklik və dayanıqlıq problemləri» Beynəlxalq Elmi simpoziumunda, Rusiya, Tver, 16-17 dekabr 2010-cu il;

- «Engineering systems - 2011» Beynəlxalq elmi-praktik konfransında, Rusiya, Moskva, 5-7 aprel;

- AzTU-nun «Materialar müqaviməti» kafedrasının elmi seminarlarında (2009-2010);

- AMEA-nın Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun «Sürüncəklik nəzəriyyəsi» şöbəsinin geniş elmi seminarında dissertasiya müzakirə edilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiyanın bütün əsas nəticələri müəllif tərəfindən şəxsən alınmışdır. Həmmüəllifliklə yazılmış işdə yalnız məsələnin qoyuluşu həmmüəllifə aiddir.

Nəşrlər. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 10 iş nəşr olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya girişdən, iki fəsildən, nəticələrdən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşə 157 səhifəlik mətn, 22 şəkil, 217 adda bibliografiya daxildir.

IŞIN MƏZMUNU

Girişdə qısa olaraq, nəzərdən keçirilən problemmin məqsədi və aktuallığı müəyyən edilmiş, tədqiq olunan məsələlərin mövzusunə bilavasitə yaxın olan işlərin xülasəsi verilmiş, həmçinin işin əsas nəticələri şərh edilmişdir.

Birinci fəsil. Dissertasiyanın bu fəslə valın oymağın daxili səthinə basılması barədə kontakt məsələsinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Yaxın radiuslu silindrik cisimlərin daxili sıxılması zaman kontakt deformasiyası nəzərdən keçirilir. Qəbul edilmişdir ki, xarici silindr (oymaq) qoyulan elastik silindrin diametrinə yaxın dairəvi deşikli sonsuz lövhədir. Kontakt təzyiqinin müəyyənləşdirilməsi üçün valın oymağı səthinə basılması barədə müstəvi aşınma (yeyilmə) kontakt məsələsi nəzərdən keçirilir. Kontakt zonasında normal təzyiqlərdən başqa Kulon qanuna görə kontakt təzyiqi ilə əlaqədar olan toxunan gərginliklər təsir göstərir. İş prosesində kontakt cütünün gərgin-deformasiya vəziyyətini təyin etmək üçün oymaq və val üçün elastiklik nəzəriyyəsi məsələləri həll edilir. Həyəcanlanmalar metodu istifadə olunur. Sərhəd məsələnin həlli üçün hər bir yaxınlaşmada üstlü sıraları metodu istifadə olunur. Əsas kontakt tənliyinin cəbrləşdirilməsi və həlli üçün kontakt təzyiqinin axtarılan funksiyaları ayrılmalarda şəklində axtarılır. Cəbri sistemin qurulması üçün hər bir yaxınlaşmada axtarılan əmsalların tapılması üçün eyni triqonometrik funksiyalar zaman ($\cos k\theta$ və $\sin k\theta$) əmsalları funksional tənliyi sol və sağ hissələrinə bərabərləşdiririk. Nəticədə, α_k^0 ($k=0, 1, 2, \dots$), β_k^0 ($k=1, 2, \dots$) və α_k^1 , β_k^1 və s. nəzərə alınmayan sonsuz cəbri sistem alır. θ_1 və θ_2 ($\theta_1 = \theta_1^0 + \varepsilon\theta_1^1 + \dots$; $\theta_2 = \theta_2^0 + \varepsilon\theta_2^1 + \dots$) kəmiyyətləri valın oymaq ilə təmas sahəsinin ucudur. Onların təyini üçün θ nöqtəsi $p(\theta_1)=0$; $p(\theta_2)=0$ təmas sahəsindən kənara çıxdıqda $p(\theta)$ təzyiqinin arasıkəsilmədən sıfıra keçməsinə ifadə edən şərtəndən istifadə edirik.

θ_1 və θ_2 kəmiyyətləri naməlum olduğuna görə hər bir yaxınlaşmada tənliklər sistemi qeyri-xətti olur. Onların həlli üçün mahiyyəti aşağıdakıdan ibarət olan ardıcıl yaxınlaşmalar metodu istifadə olunur.

Cəbri sistemi, naməlum α_k^o ($k=0, 1, 2, \dots, M$), β_k^o ($k=0, 1, 2, \dots, M$) nəzərə θ_1^* və θ_2^* bəzi müəyyən qiymətlərində həll edilir. Naməlum α_k^o , β_k^o sistemə xətti şəkildə daxildir. Bu təklif olunan üsulun istifadəsinə haqq qazandırır. θ_1^* və θ_2^* qiymətləri və α_k^o , β_k^o əmsallarının tapılmış qiymətləri istifadə olunmamış tənliklərdə qoyulur. θ_1^* və θ_2^* parametrlərinin götürülmüş qiymətləri və onlara uyğun olan α_k^o , β_k^o əmsallarının qiymətləri ümumiyyətlə desək, istifadə olunmamış tənlikləri ödəməyəcək. Buna görə də, θ_1 və θ_2 parametrlərinin qiymətlərini seçərkən hesablamaları o vaxtadək dəfələrlə təkrar edəcəyik ki, sistemin son tənlikləri verilmiş dəqiqliklə ödənməmiş olsun.

Axtarılan əmsallar təyin edildikdən sonra sıfırıncı və birinci yaxınlaşma üçün kontakt təzyiqinin hesablanması θ qütb bucaqlı funksiya kimi aparırıq. Hesablamalar, U8-6MA2 ikitərəfli qazma nasosuna, dərin buruq qurğularının stanqlı nasoslarına uyğun olaraq icra edilmişdir.

Hesablamalar göstərir ki, sıxma qüvvələrinin və kontakt cütliyü hissələrinin sərbəst parametrlərin eyni qiymətlərinin təsiri zamanı kontakt təzyiqi oymaq və valın səthinin kələ-kötürlük sinfindən asılıdır. Belə ki, daha yüksək kələ-kötürlük sinfinə yerli sıxılma hesabına val və oymağın az yaxınlaşması uyğun gəlir. Kələ-kötürlüyün artması kontakt gərginliyinin paylanması qrafikinə hamarlanmasına gətirib çıxarır. Bir qayda olaraq, kontakt gərginliyinin daha böyük qiymətləri səthin əhatə bucağından, sürtünmə əmsalından və kələ-kötürlük parametrlərindən asılı olaraq kontakt səthinin ortasında yerləşir. Sürtünmə, kontakt təzyiqinin paylanma qrafikinə

momentinin təsirinin əks tərəfinə yerdəyişməsi ilə müşayət olunur. Alınmış düsturların köməyi ilə valın üç hərəkət sürəti və oymağın emal olunmuş səthinin müxtəlif kələ-kötür sinifləri üçün $h(\theta, t)$ xətti aşınmasının hesabı aparılmışdır.

Hesablamanın nəticələrinin təhlili göstərir ki, kontakt təzyiqinin kiçik qiymətlərində kontakt sahəsinin uzunluğu boyunca oymağın aşınması qeyri-bərabər xarakterə malikdir və əksinə, kontakt təzyiqinin qiyməti və səthin kələ-kötür parametrləri ilə təyin olunur. Kontakt təzyiqi və sürtünən cütliyün səthlərin işlənmə prosesi böyüdükcə kontakt sahəsi boyunca oymağın aşınması bərabərləşmə meylinə malik olur və əsasən aşınma (sürtünmə) yolundan asılı olur. Oymağın aşınmasına sürtünmə cütliyi əmsalı əhəmiyyətli təsir göstərir. Maksimal xətti aşınmanın sürtünmə əmsalından asılılığının hesabı aparılmışdır.

İkinci fəsil. Dissertasiyanın bu fəslində iş prosesində kontakt cütliyünün oymağındakı çatların əmələ gəlməsi və inkişafı barədə kontakt dağılması mexanikası məsələlərinin tədqiqinə həsr edilmişdir.

2.1-də iş prosesində kontakt cütliyünün oymağındakı çatların əmələ gəlməsi tədqiq olunmuşdur. Kontakt cütliyünün qüvvə ilə yüklənməsinin iş prosesində oymaq yükləndikcə materialda dağılmadan əvvəlki zonada yaranmağa başlayacaq, hansıları ki, materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş zonalar kimi modelləşdirilirlər. Materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş zonalarının sahillərinin qarşılıqlı əlaqəsi sahillər arasında verilmiş deformasiya diaqramına malik olan rabitələrin (ilişmə qüvvələrinin) daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir.

Qəbul edilmişdir ki, oymağın daxili konturu və valın xarici konturu dairəviyə yaxındır və kələ-kötür səthə malikdir.

Oymağın L' daxili konturunun sərhədini aşağıdakı şəkildə verək

$$r = \rho(\theta), \quad \rho(\theta) = R + \varepsilon H(\theta)$$

Burada $\varepsilon = \frac{R_{\max}}{R}$ - kiçik parametr, R_{\max} - sürtünmə səthi nahamarlığının çıxıntısının (çökəkliyinin) ən böyük hündürlüyüdür.

Analaoji olaraq, valın konturunu

$$r = \rho_1(\theta), \quad \rho_1(\theta) = R' + \varepsilon H_1(\theta)$$

Hecab edəcəyik ki, dağılmadan əvvəlki zolaq oymaqda yaranan maksimal gərilmə gərginlikləri istiqamətində yönəlmişdir.

$|x_1| \leq l$, $y_1 = 0$ parçasında yerləşmiş, $2l$ uzunluqlu dağılmadan əvvəlki zolağı nəzərdən keçirək. x_1 oxu zolağın xətti ilə üst-üstə düşən və x ($\theta=0$) oxu ilə α bucağı əmələ gətirən $x_1 O_1 y_1$ lokal koordinat sisteminin başlanğıcını dağılmadan əvvəlki zolağın ortasında yerləşdirək.

Oymağa xarici yükləmənin təsiri zamanı dağılmadan əvvəlki zolağın sahillərini əlaqələndirən rabitələrdə $q_{y_1}(x_1)$ normal və $q_{x_1 y_1}(x_1)$ toxunan qüvvələri yaranacaq.

Bu gərginliklərin qiymətləri əvvəlcədən məlum deyil və dağılma mexanikasının sərhəd məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır.

Nəzərdən keçirilən məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildədir

kontakt sahəsində $r = \rho(\theta)$ olduqda $\sigma_n = -p(\theta)$; $\tau_{nt} = -fp(\theta)$

kontakt sahəsindən kənarında $r = \rho(\theta)$ olduqda $\sigma_n = 0$; $\tau_{nt} = 0$

dağılmadan əvvəlki zolağın sahillərində

$$|x_1| \leq l \text{ olduqda } \sigma_{y_1} = q_{y_1}(x_1); \quad \tau_{x_1 y_1} = q_{x_1 y_1}(x_1)$$

Nəzərdən keçirilən məsələnin nisbətləri aşağıdakı tənliklə tamamlanmalıdır

$$\begin{aligned} v^+(x_1, 0) - v^-(x_1, 0) - i(u^+(x_1, 0) - u^-(x_1, 0)) = \\ = C(x_1, \sigma_1)(q_{y_1}(x_1) - iq_{x_1 y_1}(x_1)) \end{aligned}$$

Burada $C(x_1, \sigma_1)$ funksiyasını gərilmədən asılı olan

rabitələrin səmərəli əks sərtliyi kimi nəzərdən keçirmək olar; σ_1 - rabitələrdəki qüvvə vektorunun modulu; $(u^+ - u^-)$ və $(v^+ - v^-)$ dağılmadan əvvəlki zolağın sahillərinin açılışı uyğun olaraq, toxunan və normal tərkib hissələridir.

Həyəcanlanmalar üsulundan istifadə etməklə, hər bir yaxınlaşmada kontakt dağılma mexanikası məsələsinin sərhəd şərtlərini tapırıq. Oymağda gərgin-deformasiya vəziyyətini hər yaxınlaşmada singular integral təliyin həllinə gətirilir. Alınmış həll əsasında çatın yaranma xarakteri təhlil olunmuşdur. Çatın meydana gəldiyi həddi tarazlıq vəziyyətinin təhlili aparılır.

δ_{cr} və G_c dağılmaya müqavimətin energetik xarakteristikası həddi kəmiyyətlərindən istifadə edərək, monoton yüklənmə zamanı tarazlığın və çatın əmələ gəlməsinin müxtəlif rejimləri (qaydaları) seçilmişdir. Rabitələrin qeyri-xətti deformasiyası qanunu halında dağılmadan əvvəlki zonada qüvvələrin təyini üçün elastik həllər metodunda olduğu kimi iterasiyalı alqoritm istifadə olunur.

Bu paragrafın sonunda ixtiyarı qaydada yerləşmiş dağılmadan əvvəlki zonaların sistemi halında bu məsələnin ümümləşməsi verilmişdir. Hər yaxınlaşmada tənliklər sistemi alınmışdır, hansının ki, həlli üçün birbaşa ədədi metodlardan istifadə olunur.

2.2-də yaxın radiuslu silindrik cisimlərin sıxılması zamanı kontakt deformasiyası nəzərdən keçirilir. Hesab edilir ki, xarici silindrik cisim (oymaq) sürtünmə səthi yaxınlığında sərbəst yerləşmiş xətti çatlar sistemi ilə zəiflədilmişdir. Məsələnin həlli kontakt təzyiqi funksiyasının paylanması əmsallarına nəzərən hər bir yaxınlaşmada kompleks sinqulyar inteqral tənliklər sisteminə və sonsuz cəbri sistemə gətirilir. Sinqulyar inteqral tənliklərin cəbrləşdirilməsi aparılaraq xətti cəbri tənliklər sistemi alınmışdır. Alınmış tənliklər sisteminin həlli üçün reduksiya və ardıcıl yaxınlaşmalar metodları istifadə olunmuşdur. Onun həllindən sonra gərginliklərin intensivliklərin əmsalları hesablanmışdır.

Analoji olaraq, çatların bir hissəsini bir ucu ilə oymağın daxili səthinə çıxdığı hal nəzərdən keçirilir. Bu halda, oymağın səthinə çıxan çatların sayına olan olan əlavə şərtlərin miqdarı aralır. Bu səthi çatlar üçün əlavə şərtlər $r=R$ səthinə çıxan ucda gərginliklərin sonlu olması şərti ilə əvəzlənir.

2.3-də yaxın radiuslu silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı kontakt deformasiya nəzərdən keçirilir. Hesab edilir ki, oymağda sahilləri qismən kontaktda olan çatlar var. Fərz edirik ki, sahilləri kontaktda olan çatların daxil olduğu zonalar mövcuddur, bu zonalar çatın zirvəsinə bitişikdir, onların ölçüləri isə naməlumdur və çatın ölçüsü ilə müqayisə oluna bilər. Çatın sahillərinin kontaktda daxil olduğu uc zonalarda $q_{y_1}(x_1)$ normal və $q_{x_1y_1}(x_1)$ toxunan gərginlikləri yaranacaq. Bu kontakt gərginliklərinin qiymətləri əvvəlcədən məlum deyil və kontakt dağılma mexanikasının sərhəd məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır.

Nəzərdən keçirilən məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı şəkildə olacaq

$r = \rho(\theta)$ olduqda $\sigma_n = -p(\theta)$, $\tau_{nt} = -fp(\theta)$ kontakt sahəsində

$$\sigma_n = 0; \quad \tau_{nt} = 0 \quad \text{kontakt sahəsində kənardə}$$

çatın sahillərində

$$-l_1 + d_1 < x_1 < l_1 - d_2 \quad \text{olduqda} \quad \sigma_{y_1} = 0; \quad \tau_{x_1y_1} = 0$$

$$-l_1 + d_1 > x_1 > -l_1, \quad l_1 - d_2 < x_1 < l_1 \quad \text{olduqda}$$

$$\sigma_{y_1} = q_{y_1}(x_1); \quad \tau_{x_1y_1} = q_{x_1y_1}(x_1)$$

Hər yaxınlaşmada oymağda gərgin-deformasiya vəziyyətinin təyini singular integral tənliyin həllinə qətilir.

Uc zonaların ölçülərinin təyininə xidmət edən şərt çatın zirvəsi ətrafında gərginliklərin sonlu olması şərtidir. Alınmış qeyri-xətti cəbri sistem reduksiya və ardıcıl yaxınlaşma metodları ilə həll edilmişdir.

Bu paragrafda həmçinin çatlarının sahilləri kontaktda daxil olan uc zonaların mövcudluğu zamanı oymaqla ixtiyari sayda çat hal nəzərdən keçirilmişdir. Bu halda, həmin üsulla həll

edilən N_0 kompleks sinqulyar integral tənliklər sistemi alınmışdır.

Analoji olaraq, çatların bir hissəsinin bir ucu ilə oymağın daxili səthinə çıxdığı hal nəzərdən keçirilir. Bu halda, oymağın səthinə çıxan çatların sayına olan əlavə şərtlərin miqdarı azalır. Bu səthi çatlar üçün əlavə şərtlər $r=R$ səthinə çıxan ucda gərginliklərin sonlu olması şərti ilə əvəzlənir.

2.4-də kontakt cütlüyünün iş prosesin da uc zonalarının sahilləri arasında rabitəsi olan çatların mövcudluğu zamanı oymağın həddi tarazlıq vəziyyəti tədqiq olunur.

Qəbul edilmişdir ki, yaxın radiuslu silindrik cisimlərin daxili sıxılması zamanı oymaqda sürtünmə səthi yaxınlığında uc zonalı düzxətli çat mövcuddur. Fərz edək ki, sahilləri qarşılıqlı əlaqədə olan çat zonaları mövcuddur, belə ki, bu qarşılıqlı əlaqə çatın açılmasının qarşısını alır. Bu zonada çatın zirvəsinə bitişikdir, onların ölçüləri isə çatın ölçüləri ilə müqayisə oluna bilər. Çatın uc zonalarındakı sahillərinin qarşılıqlı əlaqəsi, çatın sahilləri arasında verilmiş deformasiya diaqramına malik olan rabitələrin (ilişmə qüvvələrinin) daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Oymağa kontakt təzyiqinin təsiri zamanı çatların uc zonalarındakı sahilləri birləşdirən rabitələrdə normal və toxunan gərginlikləri yaranacaq. Bu gərginliklərin qiymətləri əvvəlcədən məlum deyil və kontakt dağılma mexanikasının sərhəd məsələsinin həlli prosesində təyin olunmalıdır. Bu sərhəd məsələ əvvəl şərh olunmuş metodla həll edilir. Monoton yüklənmə zamanı çatın tarazlıq və inkişaf rejimləri (qaydaları) tədqiq olunmuşdur. Gərginliklərin intensivlik əmsallarının hesabı aparılmışdır. Bu paraqrafda həmçinin uc zonalarındakı sahilləri arasında rabitəsi olan ixtiyari sayda çatlar halı üçün bu məsələnin ümumiləşməsi verilmişdir.

Dissertasiyanın yekun hissəsində əsas nəticələr verilir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. İş prosesində oymaq və valın kontakt yerlərində əmələ gələn, paylanmış, əvvəlcədən məlum olmayıb, oymaq və valın kontakt qarşılıqlı əlaqəsi barədə məsələnin həllindən müəyyənləşdirilməli olan normal və toxunan yükləmələrin fəaliyyətdə olmasına, val sürtünmə səthlərinin kələ-kötürlüyünün və kontakt cütlüyü hissələrinin materiallarının səthi aşınmasının nəzərə alınmasına uyğun olaraq, həqiqi yükləmənin fiziki mahiyyətinə daha yaxın olan hesablama qüvvə sxemi təklif edilmişdir.

2. Təklif olunmuş hesablama sxeminə əsasən:

a) kontakt cütlüyü elementlərinin real emal olunmuş səthləri, sürtünmə səthin aşınması və struktur xarakterli qüsurlar nəzərə alınmaqla, «oymaq-val» kontakt cütlüyükdə kontakt təzyiqinin paylanması tədqiq olunmuşdur;

b) oymaqda real kələ-kötür sürtünmə səthləri və qüsurlar nəzərə alınmaqla «oymaq-val» kontakt cütlüyü elementlərindəki gərgin deformasiya vəziyyəti tədqiq olunmuşdur.

3. Sürtünən səthlərin kələ-kötürlüyü və aşınması nəzər alınmaqla, qüvvə yükləməsi zamanı kontakt cütlüyünün oymağında çatların yaranması və inkişafı barədə kontakt dağılma mexanikası məsələsinin effektiv həlli metodikası işlənib hazırlanmışdır.

4. İşlənib hazırlanmış hesablama modelinə əsasən:

a) iş prosesində kontakt cütlüyünün oymağında çatəmələgəlmə tədqiq olunmuşdur;

b) kontakt cütlüyünün oymağında çatların və materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş zonalı sahələrinin açılış vektorunun tərkibinin hesablama metodu işlənib hazırlanmışdır;

c) iş prosesində dağılmadan əvvəlki uc zonalı ixtiyari yerləşmiş çatlar sistemli kontakt cütlüyünün oymağında gərgin deformasiya vəziyyəti tədqiq olunmuşdur.

5. Friksion cütlüyün oymağında çatların əmələ gəlməsi mümkün olduğu zaman, kontakt cütlüyünün kritik yükləmə parametrlərinin hesablanma metodu işlənib hazırlanmışdır. Sürtünmə səthinin müxtəlif qüvvə yüklənmələri və kələ-kötürlüyü zamanı oymaqda çatəmələgəlməsi proqnozlaşdırmağa imkan verən, kontakt cütlüyünün oymağında çatın yaranması meyarı formaləşdirilmişdir.

6. Kontakt dağılmasının kritik parametrlərinin əsas qiymətlərini və materialın xüsusiyyətlərinin onlara təsirini bilməklə, onların layihələndirilməsi mərhələsində konstruktor-texnoloji həllər yolu ilə çatəmələgəlmə və çatların inkişafı proseslərini əsaslı idarə etmək olar.

7. İşlənib hazırlanmış riyazi model aşağıdakı praktik əhəmiyyətli məsələləri layihələndirmə mərhələsində həll etməyə imkan verir:

a) gözlənilən qüsurlar və yüklənmə şərtləri nəzərə alınmaqla, kontakt cütlüyü oymağının zamanət verilmiş resursunu qiymətləndirməyə;

b) kifayət qədər etibarlıq ehtiyatını təmin edən qüsurluluğunu buraxılabilən səviyyəsini və işçi yükləmələrin maksimal qiymətlərini təyin etməyə;

c) çatadayanıqlı zəruri statik və tsiklik xarakteristikalar kompleksli material seçimini aparmağa.

8. Təklif olunmuş tədbirlərin praktik realizəsi kontakt cütlüyü oymağının işinin effektivliyini və etibarlığının artmasına kömək edəcək. Belə ki, məsələn, friksion cütlüyü oymaqlarının hazırlanması və istismarı zamanə qüsurların buraxılabilən normasının əsaslı seçimi onlarda həddi vəziyyətin yaranmasını vaxtında aşkar etməyə və bunula da, mümkün qəza vəziyyətlərinin qarşısını almağa imkan verir.

9. Yaradılmış hesablama metodikası, sadəliyi və az əməktutumluğu ilə fərqlənərək, iş prosesində kontakt cütlüyünün oymağında gərgin deformasiya vəziyyətini doğru qiymətləndirməyə, çatəmələgəlmənin mümkünlüyünü və çatların inkişafını proqnozlaşdırmağa imkan verir.

DISSERTASIYA İŞİNİN MÖVZUSUNA AID NƏŞRLƏR

1. Зюлгернеин И.И. Моделирование частичного закрытия трещины при внутреннем сжатии цилиндрических тел // Механика. Машиностроение, 2009, №2, с. 37-40.
2. Зюлгернеин И.И. Разрушение при внутреннем сжатии цилиндрических тел // Вестник ТулГУ серия: Актуальные вопросы механики, 2009, вып. 5, с. 36-43.
3. Зюлгернеин И.И. Моделирование зарождения трещин при внутреннем сжатии цилиндрических тел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2009, №6(278), с. 22-29.
4. Zolgharnein Ebrahim. A problem on crack nucleation under compression of cylindrical bodies // Trans. Az. NAS issue math. and mechanics series of phys-tech. and math. science, 2010, v. XXX, №1, p. 211-220.
5. Zolgharnein Ebrahim. Inner compression contact failure of cylindrical bodies // Proc. of Inst. Math. and Mech., Baku, 2010, v. XXXII, p. 241-250.
6. Zolgharnein Ebrahim. Nucleation crack under inner compression of cylindrical bodies // Trans. Intern. Scietific of conf. "Modern problems of Mathematics, Mechanics, Computer science", Russia, Tula, Publishing House of TSU. 2010, p. 228-231.
7. Мирсалимов В.М., Золгарнеин И.И. Моделирование трещинообразования при внутреннем сжатии цилиндрических тел // Проблемы прочности пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела: Материалы межд. науч. симпозиума. Тверь: ТГТУ, 2010, с. 146-150.
8. Золгарнеин И.И., Мирсалимов В.М. Износоконтактная задача о внутреннем сжатии цилиндрических тел // Тезисы докл. Межд. научно-практ. конф. «Инженерные системы – 2011», М.: РУДН, 2011, с. 53.

9. Zolgharnein E., Mirsalimov V. Nucleation of a Crack under Inner Compression of Cylindrical Bodies // *Acta Polytechnica Hungarica*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 169-183.
10. Mirsalimov V. M. and Zolgharnein E. Cracks with interfacial bonds in the hub of a friction pair // *Meccanica*, 2012, Vol. 47, No. 7, pp. 1591-1600.

ИБРАГИМ ИСКЕНДЕР оглы ЗОЛГАРНЕИН

**ПЛОСКИЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОНТАКТНОГО
РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ВНУТРЕННЕМ СЖАТИИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ**

В диссертации впервые на основе теоретического анализа, выполняемого на основе модели шероховатой поверхности втулки и плунжера, всесторонне оценивается степень и характер воздействия параметров микрогеометрии на трение, износ и прочность элементов подвижного сопряжения. На основе предложенной расчетной схемы

а) исследовано распределение контактного давления в контактной паре «втулка-вал» с учетом реальной обработанной поверхности элементов контактной пары, износа поверхности трения и дефектов структурного характера;

б) исследовано напряженно-деформированное состояние в элементах контактной пары «втулка-вал» с учетом реальной шероховатой поверхности трения и дефектов во втулке.

Разработана эффективная методика решения задач механики контактного разрушения о зарождении и развитии трещин во втулке контактной пары при действии силовой нагрузки с учетом шероховатости и износа поверхности трения. На основе разработанной расчетной модели:

а) исследовано трещинообразование во втулке контактной пары в процессе работы;

б) разработан метод расчета составляющих вектора раскрытия берегов зон ослабленных межчастичных связей материала и трещин во втулке контактной пары;

в) исследовано напряженно-деформированное состояние во втулке контактной пары в процессе работы с системой произвольно размещенных трещин с концевыми зонами предразрушения.

EBRAHIM ISKENDER oqlu ZOLGHARNEIN

**PLANE PROBLEMS MECHANICS OF CONTACT
FRACTURE IN THE INTERNAL COMPRESSION
OF CYLINDRICAL BODIES**

SUMMARY

In the dissertational work based on the theoretical analysis performed on the model of the rough surface of the bushing and plunger, the extent and character of the influence parameters of microgeometry on friction, wear and strength of the moving conjugation comprehensively was assessed.

Based on the proposed calculation scheme

- a) The distribution of contact pressure in a contact pair "bushing-shaft" by considering the real machined surface of elements of a contact pair, wear of the friction surface and structural defects has been investigated.
- b) The stress-strain state in elements of a contact pair "bushing-shaft" in view of the real rough surface friction and structural defects in the bushing has been investigated.

Method of efficient solution of problem mechanics nucleation and development of cracks in the bushing of the contact pair has been developed.

On the basis of developed computational model:

- a) The cracking in the bushing of contact pair on the work process has been investigated.
- b) The method for calculating the vector components of disclosure faces of zones of weakened interparticle bonds in material and cracks in the bushing of contact pair has been developed.

The stress-strain state in the bushing of a contact pair in the work process with the system arbitrarily located cracks with end zones of prefracture has been investigated.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ**

на правах рукописи

ИБРАГИМ ИСКЕНДЕР ОГЛЫ ЗОЛГАРНЕИН

**ПЛОСКИЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОНТАКТНОГО
РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ВНУТРЕННЕМ СЖАТИИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ**

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по математике

Баку – 2012