

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

На правах рукописи

НАИЛЯ МЕРАДЖ ГЫЗЫ КАЛАНТАРЛЫ

**РАЗРУШЕНИЕ КРУГОВЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ
ДИСКОВ**

2002.01 – Механика деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора наук по механике

Баку – 2016

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RİYAZİYYAT VƏ MEXANİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

NAİLƏ MERAC QIZI KƏLƏNTƏRLİ

DAİRƏVİ VƏ HƏLQƏŞƏKİLLİ DISKLƏRİN
DAĞILMASI

2002.01 – Deformasiya olunan bərk cism mexanikası

Mexanika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

Bakı - 2016

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RİYAZİYYAT VƏ MEXANİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

NAİLƏ MERAC qızı KƏLƏNTƏRLİ

DAİRƏVİ VƏ HƏLQƏŞƏKİLLİ DISKLƏRİN
DAĞILMASI

2002.01 – Deformasiya olunan bərk cism mexanikası

Mexanika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

Bakı - 2016

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

На правах рукописи

НАИЛЯ МЕРАДЖ ГЫЗЫ КАЛАНТАРЛЫ

РАЗРУШЕНИЕ КРУГОВЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ
ДИСКОВ

2002.01 – Механика деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора наук по механике

Баку – 2016

Dissertasiya işi **AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun**
“Sürüncəklik nəzəriyyəsi” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Rəsmi opponetlər:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. **Vaqif C.Hacıyev**
(AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu)
akademik **Hətəm Q.Quliyev**
(AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu);
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. **Lətif X. Talıblı**
(Milli Aviasiya Akademiyası).

Aparıcı təşkilat:

Bakı Dövlət Universiteti

“Tətbiqi analizin riyazi üsulları” kafedrası

Dissertasiyanın müdafiəsi 13 may 2016-cı il saat 14⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun nəzdində elmlər doktoru və fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün D 01.111 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Ünvan: AZ 1141, Bakı şəhəri, B.Vahabzadə küç. 9.

Avtoreferat göndərilib 11 aprel 2016-cı il.

AMEA RMI-nın D 01.111
Dissertasiya Şurasının
elmi katibi

r.e.d. Rövşən Bəndəliyev

Работа выполнена в отделе «Теория ползучести» **Института Математики и Механики НАН Азербайджана.**

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, проф. **Вагиф Д. Гаджиев**
(Института Математики и Механики НАН Азербайджана);
академик **Гатам Г. Кулиев**
(Институт Геологии и Геофизики НАН Азербайджана);
доктор физико-математических наук, проф. **Ляtif X. Талыблы**
(Национальная Академия Авиации).

Ведущая организация

Бакинский Государственный Университет
кафедра «Математические методы прикладного анализа».

Защита диссертации состоится 13 мая 2016 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.111 по присуждению ученой степени доктора наук и доктора философии при Институте Математики и Механики Национальной Академии Наук Азербайджана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Математики и Механики Национальной Академии Наук Азербайджана.

Адрес: AZ 1141, г.Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9.

Автореферат разослан 11 апреля 2016 года.

**Ученый секретарь
Диссертационного Совета
Д 01.111 ИММ НАНА**

д.м.н. Ровшан Бандалиев

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Dairəvi və həlqəvari disklər şəklində olan texniki vasitələr texnikanın bir çox sahələrində istifadə olunur. İstismar prosesində çatların yaranması və inkişafı dairəvi və halqəşəkili disklərin dağılması ilə nəticələnir. Gərginlik konsentrantlarının mövcudluğu şəraitində dairəvi və həlqəvari disklərin gərginlikli-deformasiya vəziyyətinin tədqiq edilməsi, həm elmi, həm də praktiki baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Disklərdə çatların yaranması və inkişafının dağılma mexanikası problemlərinin tətqiqi mühəndislik sahələri üçün aktualdır. Yeni materialların intensiv inkişafı və tətbiqi ilə əlaqədar olaraq, dairəvi və həlqəvari disklərin gərginlikli- deformasiya vəziyyətinin hesabı üzrə bərk cism mexanikasının məsələləri xüsusi aktualıq kəsb edir.

Material öz aparıcılıq qabiliyyətini itirəndə konstruksiyaların dağılması baş verir. Bu da öz növbəsində yeni material səthinin yaranması ilə nəticələnir. Konstruksiyanın mexanizmlərinin dağılmasının və fiziki aspektlərinin öyrənilməsi həm bütöv mühit mexanikasının (xüsusi nöqtələrsiz), həm də çatabənzər qüsurları olan cisimlər dağılma mexanikasının tədqiqat predmetidir.

Çatsız cisimlər üçün materialın həddi vəziyyətinin ilkin şərtlərinin istifadə olunmasına Q.Qaliley, M.Sen-Venan, Ş.Kulon, O.Mor, E.Beltrami kimi alimlərin işlərində tapmaq olar. Y.B.Fridman, D.Draker, V.Prager, A.A.Lebedev, Q.S.Pisarenko, B.İ.Kovalçuk, V.P.Baqmutov və bir sıra xarici tədqiqatçılar bu problem üzərində çalışmışlar.

Materialların və konstruksiyaların möhkəmliyi haqqında elmin müasir inkişaf mərhələsində materialların dağılması mexanikasına mühüm diqqət ayrılır. Və eyni zamanda dağılma prosesi, yəni davamlılığın itirilməsi, deformasiya olunan bərk cisimdə çatların yaranması və inkişafı prosesi kimi izah edilir.

Dissertasyada, dairəvi və həlqəvari disklərdə çat kimi qüsurların yaranması və inkişaf etməsi haqqında dağılma mexanikasının bəzi sərhəd məsələləri bağlılıb.

Dairəvi və həlqəvari disklər müasir maşınlarda, xüsusən buxar və qaz turbinlərdə, kompressorlarda, havalandırma qurğularında və kimya sənayesi maşınlarında geniş istifadə olunur. Disklər, onları dartılma deformasiyasına uğradan yüklərin, həmçinin yüksək temperaturun təsirinə məruz qalır.

İşdə göstərilən xülasə, müxtəlif yüklənmə şəraitlərində dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranması və inkişafının tətqiq edilməsinin zəruri olduğunu göstərir.

Dairəvi disklərdə çatların yaranmasının tətqiq edilməsi məlumatların hesabı zamanı, onların istismar müddətinin proqnozlaşdırılmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bütün bunlar məmulatların müxtəlif istismar şəraitində dairəvi və həlqəvari disklərdə çat kimi qüsurların yaranmasını və inkişaf etməsini təsvir edən riyazi modelin qurulmasına həsr edilmiş tətqiqatları zəruri edir.

Təqdim olunan dissertasiya işi dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranması və inkişaf məsələlərinin modelləşdirilməsi və həllinə həsr olunub.

İşin məqsədi elə bir riyazi modelin qurulmasıdır ki, onun çərçivəsində dairəvi və həlqəvari disklərdə çat kimi qüsurların yaranmasının təsvir edilməsi mümkün olsun; müxtəlif yüklənmələr şəraitində dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların əmələ gəlməsinin tətqiq edilməsidir; dairəvi və həlqəvari disklərdə uc zonalarında sərhədlər arası rabitələrə malik çatların inkişafının tətqiq edilməsidir.

Elmi yenilik. İlk dəfə dairəvi və həlqəvari disklərdə plastik axıcılıq bazasında mexaniki yüklənmələr zamanı çatların yaranmasını və inkişafını təsvir edən riyazi model qurulmuşdur. Müntəzəm fırlanan dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranması məsələləri həll edilmişdir. Sinqulyar inteqral tənliklərin köməkliyi ilə gərginlikli - deformasiya vəziyyətin qiymətləndirilməsinin hesablama metodikası, dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların əmələ gəlməsini yaradan son həddə çatmış yükləmə alınmışdır. Həmçinin dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranmasına səbəb olan həddi yüklər və onları təyin edən şərtlər qurulmuşdur.

Çatın yaranma zonalarının ölçüləri, ilişmə qüvvələrinin təsir zonalarının uzunluqları, dağılma öncəsi zonalarındakı qüvvələrlə tətbiq olunan qüvvələr və dairəvi və həlqəvari disklərin həndəsi parametirləri arasındakı asılılıqlar əldə edilmişdir.

Tədqiqat üsulu Dissertasiyada istifadə olunan üsullar analitik funksiyaların nəzəriyyəsinə əsaslanırlar.

Dissertasiyada qoyulmuş məsələlərin təqdim olunan həll üsulu müxtəlif analitik və ədədi üsulların kombinasiyasından ibarətdir.

Müdafiyyə aşağıda sadalanan nəticələr çıxarılır:

- dairəvi və həlqəvari disklərdə çat kimi qüsurların yaranmasının modelləşdirilməsi;
- güc və istilik təsirləri zamanı dairəvi və həlqəvari disklərin dağılmasının riyazi təsviri;
- güc və istilik təsirləri zamanı dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranmasının dağılma mexanikası məsələlərinin qoyuluşu və həlli;
- sərhədlərində qarışıq şərtlər verilmiş dairəvi və həlqəvari diskdə çatların yaranması və inkişafı məsələlərinin qoyuluşu və həlli;
- müntəzəm fırlanan dairəvi və həlqəvari disklərdə çatların yaranması və inkişafı məsələlərinin qoyuluşu və həlli;
- çatın düzxətli formasından cüzi kənara cixmaların onun inkişafına təsirinin tətqiq edilməsi.

Nəticələrin dəqiqliyi. Məsələlərin və onların həll üsullarının riyazi cəhətdən düzgün qoyuluşu, mexanikanın fundamental qanunlarının tətbiq olunması və əldə olunmuş nəticələrin artıq xüsusi halda mövcud olanlarla müqayisə ilə təmin olunur.

Praktik dəyər. Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti, müasir texnikanın müxtəlif sahələrində dairəvi və həlqəvari disk formasında olan qurğuların geniş tətbiqi ilə təyin olunur. Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr bilavasitə maşın və məmulatlarda disk elementlərinin möhkəmliyinin və uzunömürlülüyünün mühəndis hesablamalarında istifadə oluna bilərlər.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri məruzə olunmuşdur: “Riyaziyyat, mexanika və informatikanın müasir problemləri” Beynəlxalq elmi -konfransda, Tula, 17-19 fevral, 2004-cü il; “Konstruksiyalar və bütöv mühitlər mexanikasının dinamik və texnoloji problemləri” XI Beynəlxalq simpoziumda, 14 – 18 fevral, 2005-ci il; Dağılma üzrə VII Beynəlxalq konfransda, Izmit-Kocaeli, Turkey, 19 – 21 oktyabr 2005-ci il; “Nəqliyyat vasitələrinin və sistemlərin proqresi” Beynəlxalq konfransda – 2005», Volqoqrad, 20 – 23 sentyabr, 2005-ci il; “Deformasiya olunan bərk cismin mexanikasında plastikliyin və davamlılığın müasir problemləri”VI Beynəlxalq elmi simpoziumda, Tver 1 – 3 mart 2006-cı il; “Riyaziyyat və mexanikanın aktual problemləri” Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 55 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfransda, Bakı, 15 – 16 may 2014-cü il; “Riyaziyyat və mexanika, informatikanın müasir problemləri” Beynəlxalq elmi konfransda, Tula, 16 – 19 sentyabr, 2014-cü il; Azərbaycan Texniki Universitetinin “Texniki mexanika” kafedrasının elmi

seminarlarında. Dissertasiya, bütövlüklə, Azərbaycanın MEA-nın Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunda ümumi elmi seminarda məruzə və müzakirə olunmuşdur.

Nəşrlər. Dissertasiyanın məzmunu 32 işdə dərc olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya, giriş, dörd fəsil, nəticələr və 201 adda ədəbiyyat siyahısından, 53 şəkildən ibarətdir. İşin həcmi 346 səhifədir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə tədqiq olunan problemin məqsəd və aktuallığı qısa müəyyən edilmişdir, baxılan məsələlərin mövzusu üzrə işlərin qısa xülasəsi verilmişdir, müzakirə olunan problemin əhatə dairəsi göstərilmişdir.

Birinci fəsil daimi gərginlik zamanı plastik axın vəziyyətində dağılma öncəsi zonanın modeli bazasında dairəvi diskdə çətin yaranmasının riyazi modelləşməsinə həsr olunub.

1.1-də, temperatur gərginlikləri təsiri altında dairəvi metal diskdə çətin əmələ gəlməsi haqqında məsələ qoyulub həll olunmuşdur. Məsələ, səthi-gərgin vəziyyətin qoyulmasında kvazistatik kimi baxılır. Hesab edilir ki, istilik yükü ilə işləmə prosesində disk yükləndikcə onda sərbəst yerləşmiş düzxətli zəifləmiş dağılma öncəsi N zonalər əmələ gəlir. Qəbul olunubdur ki, dağılma öncəsi zonalarda daim gərginlikdə plastik axın yer tutur. Qoyulmuş məsələ gərginlik tenzorunun σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ komponentlərinin diskin dairəvi sərhədinin yüklənməməsi şərtindən, təkcinsli tarazlıq tənliklərinin və deformasiyaların müştərəkliyi tənliklərinin müəyyən edilməsindən ibarətdir. Qəbul olunubdur ki, dairəvi diskdə temperatur sahəsi ox simmetriyasına malikdir, elastik sabitlər və materialın xətti temperatur genişlənməsinin əmsalı isə temperaturdan asılı deyillər. Dağılma öncəsi zonalər (həddindən artıq gərginləşmiş materialın təbəqələri) maksimal genişlənen gərginliklər istiqamətində yönəliblər. Bu zaman zəifləmiş dağılma öncəsi zonaların ölçüləri öncədən məlum deyil və müəyyən edilməlidir. Dağılma öncəsi zonalarının sərhədlərinin açılmasını tapmaq üçün sinqulyar inteqral tənliklərin sistemi alınmışdır. Qauss-Çebişevin kvadratur düstürlərinin köməkliyi ilə inteqral tənliklər sistemi cəbri tənliklərinin yekun $N \times M$ vahid sistemə birləşdirilir. Dağılma öncəsi zonaların qeyri-məlum uzunluqlarına görə cəbri sisteminin qeyri-xətti olması aşkar olunub. Onun həlli üsulu izah edilib. Dairəvi diskin

isinin iki rejimi araşdırılıb: a) diskin xarici sərhəd temperaturunun yüksəlməsinin daimi sürəti verilib; b) diskin xarici sərhədində daimi istilik axını verilmişdir.

Diskdə istilik təsirinin intensivliyini xarakterizə edən β parametri və plastik axın zonasında material əlaqələrinin qırılması arasına müvafiqliyi təyin edən kritik şərt alınmışdır. Alınmış nəticələri, δ_c zəifləmiş zonaların (materialın çatın əmələ gəlməsinə qarşı müqavimət göstəricisi) kənarlarının və temperatur asılılığının kritik açılmasının təcrübi təyin edilməsi üçün bilavasitə istifadə etmək.

1.2-də dairəvi diskdə çatlara əmələ gəlməsinin həcmi qüvvələrinin təsiri araşdırılır. Hesab olunur ki, disk hissəciklərinə $F = X + iY$, həcmi qüvvələr təsir edir ki, orada $X(x, y)$, və $Y(x, y)$ verilmiş funksiyalardır. Hesab olunur ki, dairəvi diskdə dağılma öncəsi N düzxətli zonaları mövcuddur. Dairəvi diskdə çatlara əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikasının məsələsinin sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir

$$\sigma_r = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0 \quad r = R \quad \text{olduğunda} \quad (1)$$

Zəifləmiş dağılma öncəsi zonalarının kənarlarında

$$\sigma_{y_k} = \sigma_s; \quad \tau_{x_k y_k} = \tau_s, \quad |x_k| \leq \ell_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

Çatın əmələ gəlməsi kriterisi qismində dağılma öncəsi zonasının kənarlarının kritik açılması kriterisi götürülüb.

$$\left| (v_k^+ - v_k^-) - i(u_k^+ - u_k^-) \right| = \delta_c, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Harada ki, $(v_k^+ - v_k^-)$ – dağılma öncəsi zonanın kənarlarının açılmasının normal komponentidir; $(u_k^+ - u_k^-)$ – dağılma öncəsi zonanın kənarlarının açılmasının toxunan komponentidir.

Superpozisiya və sinqulyar inteqral tənliklər üsulları ilə dairəvi diskdə həcmi qüvvələrin təsiri altında çatlara əmələ gəlməsi məsələsi həll olunmuşdur.

1.3.-də mərkəzləşmiş özü-özünə balanslaşdırılmış məqamlarla yüklənmiş dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi araşdırılır. $Z_1=R$, $Z_2=-R$ nöqtələrdə qoyulmuş iki M məqamla bir nöqtədə mərkəzləşmiş R radiuslu metal disk tədqiq olunur.

Bir nöqtədə mərkəzləşmiş məqamların təsiri altında dairəvi diskdə çatlara əmələ gəlməsi haqqında məsələ superpozisiya və sinqulyar inteqral tənliklər üsulları ilə həll olunmuşdur.

1.4-də dairəvi diskin konturunda bir nöqtədə mərkəzləşmiş P qüvvələrində çətin əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikasının məsələsi qoyulub və həll olunmuşdur. $Z_1=R$, $Z_2=-R$ nöqtələrdə qoyulmuş, bir nöqtədə mərkəzləşmiş iki P gücü ilə konturda yüklənmiş R radiuslu izotrop metal disk tədqiq edilir. Çətin əmələ gəlməsi prosesi zonasının baxılmasına əsaslanan dairəvi diskdə çətin əmələ gəlməsi modeli təqdim olunub. Elə hesab olunur ki, çətin əmələ gəlmə prosesinin zonası, ayrı-ayrı struktur elementlər arasında qismən pozulmuş əlaqəli materialı tərkib edən son uzunluq təbəqəsindən ibarətdir.

Alınmış nisbətlər, təsiri altından çətin əmələ gəlməsini yaradan xarici yükün kritik qiymətinin müəyyən edilməsi üçündür.

1.5-də sərhəddə qarışıq sərhəd şərtləri verilmiş dairəvi metal diskdə çətin əmələ gəlməsi haqqında məsələ qoyulub həll olunmuşdur.

Qoy diskin dairəvi sərhəddə ancaq $v_r(t)$ normal yerdəyişmə və $N_\theta(t)$ səthi gücün toxunan komponentləri verilmişdir. Yükləmə artdıqca dairəvi metal diskdə zəifləmiş dağılma öncəsi zonaları əmələ gələcək. Elə qəbul olunub ki, diskin yüklə yüklənməsi zamanı onlarda plastik axın əmələ gəlir. Hesab olunur ki səthi gərginlik vəziyyət yer alır. Və, dairəvi diskə xarici yükün təsiri zamanı, zəifləmiş dağılma öncəsi zonalarında səthlər arasında qarşılıqlı əlaqə sabit normal σ_s və toxunan τ_s gərginlikləri ilə xarakterizə olunur.

Zəifləmiş dağılma öncəsi zonanın kənarları öz aralarında elə qarşılıqlı əlaqə yaradırlar ki, bu qarşılıqlı əlaqə çətin əmələ gəlməsini saxlayır. Hesab olunur ki, daimi gərginlik olarkən yükləmə zamanı dairəvi diskdə plastik axının (dağılma öncəsinin) N düzxətli zonası yaranmışdır. Plastik axın zonalarının ölçüləri məlum deyil və təyin edilməlidir.

Məsələdə tədqiq olunan sərhəd şərtləri aşağıda göstərilən kimidir:

$$\begin{aligned} \tau_{r\theta} &= N_\theta(\theta); & v_r &= f_r(\theta); & L &\text{ üçün} & (4) \\ \sigma_{y_k} &= \sigma_s; & \tau_{x_k y_k} &= \tau_s, & L_k &(k=1, 2, \dots, N) &\text{ üçün,} \end{aligned}$$

Harada ki, σ_s – dartılmaya dair diskin materialının axarlıq həddidir; τ_s – yerindən tərpənməyə dair materialın axarlıq həddidir; L – diskin dairəvi sərhədi; L_k – k zəifləmiş plastik axın zonasının kənarları.

Analitik davam haqqında teorem və Koşi tipli inteqralın xüsusiyyətləri əsasında və $(\omega(t) \in H)$ Gelder sinifindən diskin dairəvi konturuna daxil edilən məlum olmayan $\omega(t)$ köməkçi funksiyanın köməkliyi ilə tədqiq

edilən məsələ həmin zəifləmiş plastik axın zonaları ilə kompleks səth üçün olan məsələyə gətirib çıxarır. Plastik axın zonaları olan bütün kompleks səth üçün köməkçi məsələ, plastik axın zonaları boyunca məlum olmayan hərəkətlərə uyğun olan Kolosov-Musxelivşili potensiallarının aşkar formasında qurulma üsulu ilə həll olunur. Sonra, $\omega(t)$ funksiyasının məchul əmsallarının təyin edilməsi üçün cəbri tənliklərinin sonsuz sistemi qurulur. Alınmış həll əsasında çətin əmələ gəlməsinin son şərti alınıb.

İkinci fəsil kənarlar arasında əlaqələrlə dağılma öncəsi zonasının modeli bazasında dairəvi diskdə çətin əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsinə həsr olunub.

2.1-də zəifləmiş hissəciklər arası zonaların sərbəst sisteminin isidilən dairəvi diskdəkənarlar arasında əlaqələr ilə qarşılıqlı əlaqəsi tədqiq olunur. İş prosesində istilik təsiri altında diskdə dağılma öncəsi zonaları əmələ gələcək (həddindən artıq gərginləşmiş materialın təbəqələri) ki, onlar materialın zəifləmiş hissəciklərarası əlaqələrin sahələri kimi modelləşdirilir. Çətinləmənin haqqında məsələ, səthi-gərgin vəziyyətin qoyulmasında kvazistatik kimi baxılır. Qəbul olunubdur ki, dairəvi diskdə temperatur sahəsi ox simmetriyasına malikdir, elastik sabitlər və materialın xətti temperatur genişlənməsinin əmsalı isə temperaturdan asılı deyillər. Hesab edilir ki, diskin materialında sərbəst yerləşmiş düzxətli zəifləmiş dağılma öncəsi N zonalar əmələ gəlib. Dağılma öncəsi zonanın kənarlarının qarşılıqlı təsirini zəifləmiş zonalarının kənarları arasına deformasiyanın verilmiş diaqramına malik olan əlaqələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdiririk. Belə əlaqələrin fiziki təbiəti və dağılma öncəsi sahələrinin ölçüləri materialın növündən asılıdır. Hesab olunur ki, materialların hissəciklərarası əlaqələrinin deformasiya qanunu verilib.

Dağılma öncəsi zonanın modeli əsasında diskin çətin davamlılığının kənarlar arası əlaqələrlə modelləşdirilməsi üç əsas etaplardan ibarətdir:

1) zəifləmiş zonanın kənarları arasında əlaqələrin deformasiya qanununun tapılmasından;

2) dağılma öncəsi zonada gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyətin təhlilindən;

3) əlaqələrdə əmələ gələn yüklərin və çəlpəşmə güclərinin (qüvvətinin) təsiri zamanı dağılma öncəsi zonanın həddi tarazlığının təhlilindən.

Dairəvi diskdə temperatur gərginliklərinin qarşılıqlı təsiri zamanı, dağılma öncəsi zonanın kənarlarını birləşdirən əlaqələrdə normal $q_{y_k}(x_k)$

və toxunan $q_{x_k y_k}(x_k)$ ($k=1, 2, \dots, N$) qüvvələr əmələ gələcək. Bu gərginliklərin qiyməti və dağılma öncəsi ℓ_k zonaların ölçüləri əvvəlcədən məlum deyil və son məsələnin həll olunması prosesində müəyyən edilməli olmalıdırlar.

İsidilən diskdə çatın əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş misaldakı sərhəd şərtlər aşağıdakı şəkildədir:

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = 0 \quad L \text{ üçün};$$

$$(5) \sigma_{y_k} + i\tau_{x_k y_k} = q_{y_k}(x_k) + iq_{x_k y_k}(x_k) \quad y_k = 0 \text{ olan zaman, } |x_k| \leq \ell_k,$$

i – uydurma vahid; L – dairənin (diskin) sərhədi.

Qoyulmuş məsələnin nisbətləri, dağılma öncəsi zonaların sərhədlərinin açıqlamasını və müvafiq əlaqələrdə gücləri əlaqələndirən tənliklərlə tamamlanmalıdırlar. Bu tənlikləri, qoyulmuş məsələdə ümumiliyin itirilməsi olmadan aşağıdakı şəkildə təsvir etmək olar

$$\begin{aligned} & (\nu_k^+(x_k, 0) - \nu_k^-(x_k, 0)) - i(u_k^+(x_k, 0) - u_k^-(x_k, 0)) = \\ & = \Pi(x_k, \sigma_k)(q_{y_k}(x_k) - iq_{x_k y_k}(x_k)), \quad (k=1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (6)$$

Harada ki $\Pi(x_k, \sigma_k)$ funksiyalar, əlaqələrin dartılmasından asılı olan əlaqələrin effektiv uyuşqanlıqdan ibarətdir; $\sigma_k = \sqrt{q_{y_k}^2 + q_{x_k y_k}^2}$ – müvafiq əlaqələrdə güc vektorunun modulları; $(\nu_k^+ - \nu_k^-)$ – normal və $(u_k^+ - u_k^-)$ – toxunan dağılma öncəsi zonaların kənarlarının komponentləri.

Qoyulmuş məsələnin həlli, dağılma öncəsi zonaları dövr etmə zamanı hərəkətlərin birmənəliğini təmin edən əlavə şərtləri olan sinqulyar integral tənliklərinin sisteminə gətirib çıxarır. Əlavə şərtləri olan sinqulyar integral tənliklər sistemi dəyişənlərin əvəz edilməsi və cəbrləşmə prosedurun köməkliliyi ilə cəbri tənliklərinin $N \times M$ sisteminə gətirib çıxarır, $g_k(t_m)$ ($k=1, 2, \dots, N$; $m=1, 2, \dots, M$) qeyri müəyyən təxmini qiyməti $N \times M$ təyin etmək üçün. Cəbri sistemlərin sağ hissələrinə dağılma öncəsi zonaların müvafiq düyün nöqtələrində normal $q_{y_k}(x_k)$ və toxunan $q_{x_k y_k}(x_k)$ gərginliklərin məlum olmayan qiymətləri daxildir. Onları tapılması üçün (6) tənliklər var. Alınmış həlli istifadə edərək, əldə

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx_k} \left[\Pi(x_k, \sigma_k)(q_{y_k}(x_k) - iq_{x_k y_k}(x_k)) \right] &= \frac{i(1+\kappa)}{2\mu} g_k(x_k) \\ & (k=1, 2, \dots, N) \text{ var} \end{aligned} \quad (7)$$

Bu kompleks diferensiasiya tənlikləri, zəifləmiş dağılma öncəsi zonaların kənarları arasında əlaqələrdə q_{y_k} и $q_{x_k y_k}$ ($k=1, 2, \dots, N$) gərginliklərin təyin edilməsi üçün xidmət edirlər. Düyün nöqtələrində $q_{y_k}(t_m)$ и $q_{x_k y_k}(t_m)$ ($m = 1, 2, \dots, M$) gərginliyin təxmini qiymətinin tapılması üçün çatışmayan cəbri tənliklərini qurmaq üçün dağılma öncəsi zonalarda t_m düyün nöqtələrində (7) şərtlərinin yerinə yetirilməsini tələb edirik. Bu zaman son fərqlər üsulu istifadə edilir. Nəticədə, dağılma öncəsi zonalarının düyün nöqtələrində $q_{y_k}(t_m)$, $q_{x_k y_k}(t_m)$ ($k=1, 2, \dots, N; m=1, 2, \dots, M$) təxmini qiymətlərin müəyyən edilməsi üçün $N \times M$ tənliklərindən kompleks cəbri sistem alınıb.

İsidilən dairəvi diskdə gərginliklər məhdud olduğundan, kompleks sinqulyar inteqral tənliklərinin həlli məhdud funksiyalar (gərginliklər) sinfinin hər yerində axtarılmalıdır. Belə həll inteqral tənliklərin şərtlərinin həll olunması zamanı mövcuddur. Alınmış cəbri tənliklərin qapalılığı üçün, sinqulyar inteqral tənlikləri həll olunması şərtlərini ifadə edən ($x_k = \pm \ell_k$ ($k=1, 2, \dots, N$)) zəifləmiş zonaların zirvələrinin ətrafındakı gərginliklərin sonluqlarının şərtləri) $2 \times N$ tənliklər çatdırılır.

$x_k = \pm \ell_k$ olduğu zaman gərginliyin sonluğunun şərtlərini yazaraq, çatışmayan tənlikləri tapırıq. $g_k(t_m)$, $q_{y_k}(t_m)$, $q_{x_k y_k}(t_m)$ ($k=1, 2, \dots, N; m=1, 2, \dots, M$) dairəvi tənliklər sistemləri, materialın əlaqələrinin verilmiş xüsusiyyətləri olmaqla, materialda dağılma öncəsi zonaların sərbəst rəqəmi olduğu zaman isidilən diskin gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyətini tapmağa şərait yaradırlar. 1.1-də olduğu kimi, diskin isidilməsinin iki rejimi araşdırılmışdır. Əlaqələrin deformasiya olunmasının qeyri-xətti halında, dağılma öncəsi zonalarda gərginliyin tapılması üçün həmçinin A.A. İlyuşinin möhkəm həllərin üsuluna bənzər alqoritm istifadə olunmuşdur. Çatın əmələ gəldiyi həddi-tarazi vəziyyətin tapılması üçün dağılma öncəsi zonanın kənarlarının kritik açılmasının şərti istifadə olunur. β isitmə parametri və diskin materialının hissəciklərarası fərqin arasındakı uyğunluğu təyin edən və istilik təsirinin kritik ölçü intensivliyini tapmağa imkan yaradan nisbət alınmışdır ki, onun mövcudluğunda çatlar əmələ gəlir.

2.2.-də həcmi qüvvələrin təsiri altında dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikası məsələlərinin həlli verilmişdir.

Dağılma öncəsi zonanın kənarları arasındakı əlaqələrin modeli istifadə olunur. Hesab olunur ki, dairəvi diskin hissəciklərinə $F = X + iY$ həcmi qüvvələr təsir edir. Burada $X(x, y)$ və $Y(x, y)$ verilmiş funksiyalardır. Elə qəbul olunub ki, dairəvi diskdə uzunluğu $2\ell_k$ ($k=1, 2, \dots, N$) olan N dağılma öncəsi düzxətli zonalar var. Həcmi qüvvələrin təsiri altında dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş məsələnin sonu aşağıdakı şəkildədir:

Diskdə dairəvi sərhəddə

$$\sigma_r = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0 \quad (8)$$

Materialın zəifləmiş zonalarının kənarlarında

$$\sigma_{y_k} = q_{y_k}(x_k); \quad \tau_{x_k y_k} = q_{x_k y_k}(x_k), \quad k=1, 2, \dots, N \quad (9)$$

Superpozisiya və sinqulyar integral tənlikləri üsulları ilə həcmi qüvvələrin təsiri altında dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş məsələ həll olunmuşdur. Diskdə çatın əmələ gəlməsinin ən son şərti alınmışdır.

2.3-də, cəmləmiş özündə tarazlaşmış məqamlarda yüklənmiş dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş məsələ qoyulub həll olunmuşdur. $Z_1=R$, $Z_2=-R$ nöqtələrdə qoyulmuş iki M məqamla bir nöqtədə mərkəzləşmiş R radiuslu metal disk tədqiq olunur. Hesab olunur ki, diskdə materialın zəifləmiş hissəciklərarası əlaqələrin N düzxətli zonası mövcuddur. Superpozisiya və sinqulyar integral tənlikləri üsulları ilə mərkəzləşmiş məqamların altında dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş məsələ həll olunmuşdur.

2.4-də $Z_1=R$, $Z_2=-R$ nöqtələrdə qoyulmuş, bir nöqtədə mərkəzləşmiş iki P gücləri ilə konturda yüklənmiş R radiuslu izotrop metal disk tədqiq edilir. Çatın əmələ gəlməsi prosesi zonasının baxılmasına əsaslanan dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi modeli təqdim olunub. Elə hesab olunur ki, çatın əmələ gəlmə prosesinin zonası, ayrı-ayrı struktur elementlər arasında qismən pozulmuş əlaqəli materialı tərkib edən son uzunluq təbəqəsindən ibarətdir.

Superpozisiya və sinqulyar integral tənlikləri üsulları ilə mərkəzləşmiş məqamların altında dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi haqqında qoyulmuş məsələ həll olunmuşdur. Təsiri altından çatın əmələ gəlməsini yaradan xarici yükün kritik qiymətinin müəyyən edilməsi üçün nisbətlər alınmışdır.

2.5-də, qarışıq sərhəd şərtlər zamanı dairəvi diskdə çatların əmələ gəlməsi modeli təqdim olunmuşdur. Çatların əmələ gəlməsi modeli çatın

əmələ gəlməsi zonasının tədqiq edilməsinə əsaslanmışdır. Elə hesab olunur ki, çətin əmələ gəlmə prosesinin zonası, ayrı-ayrı struktur elementlər arasında qismən pozulmuş əlaqəli materialı tərkib edən son uzunluq təbəqəsindən ibarətdir.

Materialın zəifləmiş hissəciklərarası əlaqələr zonasının kənarları arasındakı əlaqələrin mövcudluğu əlaqələrin mövcudluğu ilə əmələ gələn çəlpəşmə qüvvələrinin dağılma öncəsi zonaların səthlərinə əlavə edilməsi ilə modelləşdirilir. Tədqiq olunan halda diskdə çətin əmələ gəlməsinin riyazi təsviri üçün materialda N düzxətli dağılma öncəsi zonalər mövcud olduqda disk üçün səthi nəzəriyyə möhkəmliyinin qarışıq statistik məsələsinə gəlirik. Analitik davam haqqında teorem və Koşi tipli inteqralın xüsusiyyətləri əsasında və diskin dairəvi konturuna daxil edilən məlum olmayan $(\omega(t) \in H)$ köməkçi funksiyanın köməkliyi ilə tədqiq edilən məsələ həmin zəifləmiş plastik axın zonaları ilə kompleks səth üçün olan məsələyə gətirib çıxarır. Kənarlar arasında əlaqələrlə dağılma öncəsi zonaları olan bütün kompleks səth üçün köməkçi məsələ analitik funksiyalar nəzəriyyəsi üsulları və sinqulyar inteqral tənliklərlə həll olunur. Sərhəndə qarışıq tənliklər verilmiş dairəvi diskdə dağılma öncəsi zonanın həddi tarazlığının təhlili materialın əlaqələrinin son dartılma kriterisi əsasında yerinə yetirilir və aşağıdakıları daxil edir: 1) çəlpəşmə qüvvələrinin dağılma öncəsi zonalarının açılmasından asılılığın müəyyən edilməsini; 2) xarici yüklər və çəlpəşmə qüvvələri nəzərə alınmaqla dağılma öncəsi zonanın yaxınlığında gərginlik vəziyyətinin qiymətləndirilməsini; 3) mövcudluğunda çat əmələ gələn kritik xarici yüklərin diskin həndəsi parametrlərindən asılılığının müəyyən edilməsini.

Üçüncü fəsil güc və istilik yüklərinin təsiri zamanı həlqəvi diskdə çatların əmələ gəlməsinin modelləşdirilməsinə həsr olunub.

3.1-də, sərhəndə birinci əsas məsələnin şərtləri verilən dairəvi diskdə çətin əmələ gəlməsinin riyazi təsviri və hesablanması verilmişdir. Təxmin edilir ki, dairəvi diskin köndələn kəsiyi $z = x + iy$ kompleks müstəvisində R_1 radiuslu çevrə ilə xaricdən, daxildən isə R radiuslu çevrə ilə əhatə olunan S ərazini doldurur. Yükün normal və toxunan gərginliyinin təsiri zamanı dairəvi diskdə gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyət tədqiq edilir.

Hesab edilir ki, səthi-gərgin vəziyyətin yeri var. Dairəvi disk yükləndikcə diskdə, materialın zəifləmiş hissəciklərarası sahələr kimi modelləşdirdiyimiz dağılma öncəsi zonalar əmələ gələcək. Bu sahələrin

kənarları arasında qarşılıqlı təsiri dağılma öncəsi zonaların kənarları arasına deformasiyanın verilmiş diaqramına malik olan əlaqələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Dairəvi diskdə temperatur gərginliklərinin qarşılıqlı təsiri zamanı, dağılma öncəsi zonanın kənarlarını birləşdirən əlaqələrdə normal $q_{y_k}(x_k)$ və toxunan $q_{x_k y_k}(x_k)$ ($k = 1, 2, \dots, N$) gərginliklər əmələ gələcək. Dairəvi diskdə çatlın əmələ gəlməsinin kriteriləri ifadə edilib. Dairəvi diskin gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyətinin tapılması sinqulyar inteqral tənliyinin həll olunması gətirib çıxarır. Tapılmış həllə əsasən çatın əmələ gəlməsi xarakterinin analizi aparılmışdır. Bu paraqrafın sonuncu hissəsində sərbəst yerləşmiş zəiflənmiş dağılma öncəsi zonaların sistemin halına bu məsələnin ümumiləşdirilməsi göstərilir. Həlli birbaşa ədədi üsullarla alınan sinqulyar inteqral tənliklər sistemi alınmışdır.

3.2-də, sərhədində birinci əsas məsələnin şərtləri verilən həlqəvi diskdə çatın əmələ gəlməsinin riyazi təsviri və hesablanması verilmişdir. Dairəvi diskdə gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyətdə həll olunur, o hala ki, dairəvi diskin xarici səthi hərəkətsizdir, yəni sərt çənbər ilə bərkidilib. Diskin xarici səthində $r = R$ olduqda xarici yük verilib.

İlk öncə, dairəvi diskin kəsiyində bir dağılma öncəsi zonanın halı araşdırılır.

Verilmiş məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir:

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = f_1(\theta) - if_2(\theta) \quad |z| = R \text{ olduqda} \quad (10)$$

$$\nu_r - i\nu_\theta = 0 \quad |z| = R_1 \text{ olduqda,}$$

$$\sigma_{y_1} = q_{y_1}(x_1); \quad \tau_{x_1 y_1} = q_{x_1 y_1}(x_1) \quad y_1 = 0, \quad |x_1| \leq \ell_1 \text{ olduqda} \quad (11)$$

Verilmiş məsələnin əsas nisbətləri, dağılma öncəsi zonaların kənarlarının açılmasını əlaqələrdəki güclə bağlayan tənlik ilə tamamlanır. Analitik funksiyalar nəzəriyyəsi aparatını tətbiq edərək, verilmiş məsələ kompleks sinqulyar inteqral tənliyin həll olunmasına gətirib çıxarır. Çatın əmələ gəlməsinə yaradan xarici güc yükünün kritik qiymətini müəyyən edən nisbət alınıb. Bu paraqrafın sonuncu hissəsində, kənarlar arasındakı əlaqələrlə dairəvi diskin materialında sərbəst şəkildə yerləşmiş dağılma öncəsi zonalar sisteminin yer alması halı araşdırılır.

3.3-də, bərabər sürətlə fırlanan həlqəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikası məsələsi qoyulub həll olunmuşdur. Hesab olunur ki, disk, ω sabit bucaq sürəti ilə, dairəvi diskin kəsik müstəvisinə perpendikulyar olan və onun mərkəzi daxilindən keçən ox ətrafında fırlanır.

Dairəvi diskin materialında materialın (gərginliklər konsentratoru) zəifləmiş hissəsciklərarası əlaqələr zonası var. Diski inersiya qüvvələri ilə yükləyəndə onlarda (gərgin materialın təbəqələri) dağılma öncəsi zona əmələ gəlir. Zəifləmiş dağılma öncəsi zonanın kənarlarının qarşılıqlı təsiri, onun kənarları arasına deformasiyanın verilmiş diaqramına malik olan əlaqələrin (çəlpəşmə qüvvələrin) daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Kənarlararası əlaqələrdəki gərginlik və zəifləmiş dağılma öncəsi zonanın ölçüləri məlum deyil və təyin edilməlidir. Dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi kriterisi ifadə edilmişdir. Dağılma öncəsi zonanın kənarlarının açılmasını tapmaq üçün sinqulyar inteqral tənlik alınmışdır. Qauss-Çebişevin kvadratur düsturlarının köməkliyi ilə inteqral tənlik cəbri tənliklərinin yekun sisteminə birləşdirilir. Dağılma öncəsi zonaların qeyri-məlum uzunluqlarına görə, hətta xətti-möhkəm əlaqələr halında cəbri sisteminin qeyri-xətti olması aşkar olunub. ω parametri və dairəvi disk materiaları əlaqələrinin dağılma öncəsi zonada qırılmasının arasındakı uyğunluğu təyin edən nisbət alınıb.

Bu paraqrafın əldə edilmiş elmi nəticələrinə əsasən növbəti praktik tövsiyələr etmək olar. Maşın və mexanizm elementlərinin dairəvi disk şəklində layihələndirilməsi mərhələsində diskin parametrlərini seçmək lazımdır ki, dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsini yaradan fırlanmanın maksimal bucaq sürəti ω_c bucaq sürətinin kritik qiymətindən artıq olmasın.

Bu paraqrafta zəifləmiş dağılma öncəsi zonaların sərbəst sayının halı tədqiq olunur. Sərhəd məsələnin həlli, dairəvi diskin yüklənməsi prosesində, kənarlararası əlaqələrlə N sərbəst yerləşmiş düzxətli dağılma öncəsi zonaların əmələ gəlmə halına ümumiləşdirilir.

Sərhəd məsələsinin həlli, zəifləmiş zonanın konturunu dövrələmə zaman yerdəyişmənin birmənəliqliyini təmin edən daxili zəifləmiş zonalar üçün əlavə şərtləri olan N sinqulyar inteqral tənliklər sisteminə gətirib çıxarılır. Qauss-Çebişevin kvadratur düsturlarının köməkliyi ilə kompleks sinqulyar tənliklər sistemi, $N \times M$ məchul kəmiyyətlərin tapılması üçün kompleks cəbri tənliklərinin $N \times M$ sistemində yekun sistemə birləşdirilir. Bu sistemin sağ hissəsinə zəifləmiş zonalara məxsus düyün nöqtələrində gərginliklərin q_{y_k} və q_{x_k, y_k} məchul qiymətləri daxildir. Dağılma öncəsi zonaların əlaqələrində məchul gərginliklərin təyin edilməsinə xidmət göstərən şərtlər –nisbətdir (6).

Çatışmayan cəbri tənliklərin qurulması üçün, dağılma öncəsi zonalara məxsus düyün nöqtələrində (7) şərtlərin yerinə yetirilməsini tələb edirik. Və bu zaman son fərqlər üsulundan istifadə olunur. Əlaqələrin deformasiyasının qeyri-xətti qanunu zamanı dağılma öncəsi zonalarda gərginliklərin tapılması üçün, elastik həllər üsuluna bənzər interasiya alqoritmi tədbiq edilmişdir. Hər dağılma öncəsi zonada həddi tarazlılığın araşdırılması üçün müvafiq zəifləmiş zona üçün çatın əmələ gəlməsi kriterisinin analoqu istifadə olunmuşdur.

3.4-də, qeyri-bərabər isidilmiş həlqəvi diskdə çatın əmələ gəlməsinin riyazi modelləşdirilməsi göstərilmişdir. Qəbul olunubdur ki, $T(r, \theta)$ temperaturunun paylanması istilik keçiriciliyi nəzəriyyəsi məsələsinin həllindən məlumdur, səthi gərgin vəziyyət yer alıb. Qeyri-bərabər temperatur sahəsi şəraitlərində kənarlar arasında əlaqələrlə zəifləmiş dağılma öncəsi zonaları olan dairəvi diskin tarazlığı haqqında məsələnin həlli sinqulyar inteqral tənlikləri sisteminin həllinə gətirir.

Çatın əmələ gəlməsi şəraiti zəifləmiş dağılma öncəsi zonanın kənarlarının həddi açılmasının kriterisi nəzərə alınmaqla formalaşır. Dairəvi diskin verilmiş xüsusiyyətləri ilə istilik yükünün kritik kəmiyyətini tapmağa şərait yaranan alınmış nisbət, son tarazlıq vəziyyəti üçündür.

Maşın və mezanizm elementlərinin dairəvi disk şəklində layihələndirilməsi zamanı dairəvi diskin parametrlərini elə seçmək lazımdır ki, istilik təsirinin maksimal intensivliyi dairəvi diskdə çatı yaranan istilik təsirinin intensivliyinin kritik qiymətindən artıq olmasın.

Dördüncü fəsil kənarlar arasında əlaqələrlə həlqəvi diskdə çatların inkişaf etməsinə həsr olunub.

4.1-də, diskin kənarında birinci əsas məsələnin şərtləri verildiyi zaman uc zonalarda kənarlararası əlaqələrlə sərbəst yerləşmiş çatlarla zəifləmiş zonalarda dairəvi diskin dağılması tədqiq edilib.

Hesab edilir ki, dairəvi diskin köndələn kəsiyi $x + iy$ kompleks müstəvisində R_1 radiuslu çevrə ilə xaricdən, daxildən isə R radiuslu çevrə ilə əhatə olunan S ərazini doldurur.

Yükün normal və toxunan gərginliyin təsiri zamanı dairəvi diskdə gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyət tədqiq edilir. Hesab edilir ki, səthi-gərgin vəziyyətin yeri var. Hesab edilir ki, dairəvi diskin kəsiyində dağılma öncəsinin axır zonaları olan düzxətli çatların sərbəst yerləşmiş sistemi mövcuddur. Çatın ucuna yaxın gərginliklərin yüksək

konsentrasiyası, çatı əhatə edən materialın möhkəmliyinin itirilməsinə gətirib çıxaran bir səbəb olur. Bu, materialın dağılma öncəsi zonalarının əmələ gəlməsində özünü büruzə verir. Təcrübə məlumatlarının, həmçinin çatın, onun kənarlarının möhkəmliyin itirilməsi zonaları ilə qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla tarazlıq şəraitlərinin və əmələ gəlməsinin təhlili çatın modelinə gətirib çıxardır ki, orada elə qəbul olunur ki, ölçüləri çatın uzunluğu ilə ortaq ölçülən axırdakı zonalarda zədələr(materialın zəifləmiş hissəciklərarası zonalər) mövcudur. Çatların, onun uclarına birləşən, daxilində hazırkı material üçün dağılma öncəsi zonalarının kənarları arasında əlaqə olan d_{1k} и d_{2k} sahələrini (uc zonalər) qeyd edək. Uc zonalarda çatların kənarlarının qarşılıqlı təsiri, onun kənarları arasına, deformasiya qanunu verilmiş əlaqələrin (çəlpəşmə qüvvələrin) daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Dağılma öncəsi zonaların kənarları arasındakı əlaqələrdə uc zonaların ölçüləri və gərginliklər öncədən məlum deyil və müəyyən olunmalıdırlar. Uc zonalər xaricində (çatın daxili hissəsində) çatın kənarları yükədən azaddır.

Məsələnin sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir:

S həlqəvi sahəsinin sərhədində:

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = f_1(\theta) - if_2(\theta) \quad |z| = R \text{ olanda} \quad (12)$$

$$\sigma_r - i\tau_{r\theta} = f_3(\theta) - if_4(\theta) \quad |z| = R_1, \text{ olanda}$$

həm də bu güclərin əsas vektoru və əsas məqamı sifirə bərabərdir.

Uc zonaları olan çatların kənarlarında

$$\sigma_{y_k} = 0; \quad \tau_{x_k y_k} = 0 \quad L' \text{ üçün } (k = 1, 2, \dots, N) \quad (13)$$

$$\sigma_{y_k} = q_{y_k}; \quad \tau_{x_k y_k} = q_{x_k y_k} \quad L'' \text{ üçün,}$$

Harada ki L' – çat kənarlarının məcmusu; L'' – uc zonalarda çat kənarlarının məcmusu.

Kənarlar arasında əlaqələrlə axır zonaları olan çatların kənarlarının açılmasını tapmaq üçün sinqulyar inteqral tənliklər sistemi alınmışdır. Qauss-Çebışevin kvadratur düstürlərinin köməkliyi ilə inteqral tənliklər sistemi cəbri tənliklərinin yekun sisteminə gətirib çıxarır. Axır zonaların uzunluğunun məchul olması səbəbindən hətta xətti-möhkəm əlaqələr üçün cəbri sistemin qeyri-xətti olması aşkar olundu. Həlqəvi diskin materialında yük və çatın uzunluğu arasında uyğunluğu təyin edən şərt alınmışdır.

4.2.-də diskin kənarında qarışıq son şərtlər verilən zaman, axır zonalarda kənarlar arasında əlaqələr ilə düzxətli çatların sistemi ilə zəifləmiş dairəvi diskin gərginlik-deformasiya olunmuş vəziyyəti araşdırılmışdır.

$$\sigma_r = f_1(\theta), \quad \tau_{r\theta} = f_2(\theta) \quad |z| = R \text{ olarkən} \quad (14)$$

$$\nu_r = 0, \quad \nu_\theta = 0 \quad |z| = R_1 \text{ olarkən}$$

$$\sigma_{y_k} = 0; \quad \tau_{x_k y_k} = 0 \quad L' \text{ üçün } (k=1, 2, \dots, N) \quad (15)$$

$$\sigma_{y_k} = q_{y_k}; \quad \tau_{x_k y_k} = q_{x_k y_k} \quad L'' \text{ üçün}$$

Mövcudluğunda uc zonalı çatların böyüməsi yer alan, xarici güc yükünün kritik vəziyyətini tapmağa imkan yaradan şərt alınmışdır.

4.3-də bərabər fırlanan həlqəvi diskdə uc zonalarda əlaqələrlə çatların əmələ gəlməsi araşdırılır. Səthi-gərgin vəziyyət yer alıb. Hesab olunur ki, həlqəvi diskdə uc zonalarda kənarlar arası əlaqələr olan sərbəst yerləşmiş düzxətli çat var. Uc zonalarda çatların kənarlarını birləşdirən əlaqələrdə inersiya qüvvələrinin təsiri altında normal $q_{y_1}(x_1)$ və toxunan $q_{x_1 y_1}(x_1)$ gərginliklər var. Çatın daxili hissəsində uc zonanların xaricində çatın kənarları xarici yüklərdən azaddır. Uc zonaların ölçüləri və əlaqələrdəki gərginliklər öncədən məlum deyil və müəyyən edilməlidirlər.

ω künc sürəti və dairəvi disk materialları daxilində çatın uzunluğu arasında uyğunluğu müəyyən edən şərt alınmışdır. Həmin paraqrafda, uc zonalarda kənarlararası əlaqələri olan N sərbəst yerləşmiş düzxətli çatlar halı üçün məsələ ümumiləşdirilir. Uc zonaların ölçüləri çatın uzunluğu ilə bərabər ölçülə bərabərdir və öncədən məchuldur. Uc zonalarda kənarlar arası əlaqələr ilə çatın böyüməsini xarakterizə edən məchul parametrlərin müəyyən edilməsi, sinqulyar ineqral tənliklərin sisteminin həllinə gətirib çıxarır. Qauss-Çebişevin kvadratur düsturlarının köməkliyi ilə inteqral tənliklər sistemi cəbri tənliklərinin yekun sistemə gətirib çıxarır, A.A.İlyuşinin ardıcıl yaxınlaşmalar üsulları və elastik həlləri ilə həll olunur.

4.4-də, axır zonalarda kənarlar arası əlaqələr ilə düzxətli çatların sərbəst sistemi ilə zəifləmiş qeyri-bərabər isidilmiş həlqəvi diskin həddi-tarazlıq vəziyyəti öyrənilib. Dairəvi diskə istilik təsirinin intensivliyinin kritik qiymətinin tapmağa imkan yaradan və mövcudluğunda çatın əmələ gəlməsi yer ala biləcək nisbət alınıb.

Dissertasiyanın yekun hissəsində əsas nəticələr göstərilir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR VƏ XÜLASƏLƏR

1. Çatın əmələ gəlməsi prosesi zonasının tətqiq edilməsi əsasında dairəvi və həlqəvari disklərdə çatın yaranmasının yeni riyazi modeli yaradılmışdır; hesab edilir ki, çatın yaranma zonası struktur elementləri arasında qismən pozulmuş rabitələrə malik materialdan təşkil olunmuş sonlu uzunluqlu təbəqə şəklindədir.

2. Alınmış hesablama modelinin köməkliyi ilə: dairəvi və həlqəvari disklərdə çat tipli qüsurların əmələ gəlməsi və inkişafı prosesi tətqiq edilmişdir; dairəvi və həlqəvari disklərdə dağılma öncəsi zonalarının kənarları arasında yaranan qüvvələrinin hesablama üsulu təklif edilmişdir; dairəvi və həlqəvari disklərdə dağılma öncəsi zonalarının sərhədlərinin yerdəyişmə vektorunun komponentlərinin hesablanması üsulu işlənilib hazırlanmışdır; zəiflədilmiş zonalar sistemində malik materiallı dairəvi və həlqəvari disklərin gərginlik-deformasiya vəziyyəti tətqiq edilmişdir.

3. Qüvvə və istilik yüklənmələri zamanı dağılma öncəsi zonalarının böhran müvazinət vəziyyətinin təhlili, material daxili rabitələrin həddi qırılması kriteriyası əsasında aparılmış və aşağıdakılardan ibarət olmuşdur:

a) koqezion ilişmə qüvvələri ilə dağılma öncəsi zonalarının açılma ölçüləri arasındakı asılılığın müəyyən edilməsi;

b) xarici qüvvə və istilik yüklərinin, koqezion ilişmə qüvvələrinin təsiri nəzərə alınmaqla dağılma öncəsi zonalarının yaxınlığında gərginlik-deformasiya vəziyyətinin qiymətləndirilməsi;

c) çatın əmələ gəlməsinə səbəb olan həddi xarici qüvvələr, istilik yükləri ilə diskin həndəsi xarakteristikaları arasındakı asılılığın təyin edilməsi.

4. Qarışıq sərhəd şərtlər daxilində dairəvi diskdə çatın yaranma məsələsinin həlli üsulu təklif olunmuşdur. Dağılma öncəsi zonalarının kənarlarının bağlandığı sahədə məchul qüvvələrin təyini iki inteqrodifferensial tənliklər sisteminin həllinə gətirib çıxarır. Məsələnin həlli cəbri tənliklər sisteminin həllinə gətirilir.

5. İxtiyarı sayda dağılma öncəsi zonalarına malik dairəvi diskdə çatın əmələ gəlməsi haqqında dağılma mexanikasının məsələsi həll olunub. Yükləmə prosesində dağılma öncəsi zonalarının kənarlarının açılmasını xarakterizə edən funksiyaların təyini sinqulyar inteqral tənliklər sistemində gətirilir. Sistemin həlli hər tərəfdən məxdud funksiyalar sinfində tapılmışdır.

6. Sonlu-zonalı çatlar modeli çərçivəsində müxtəlif qüvvə və istilik yüklənmələrinə məruz qalan dairəvi və həlqəvari disklər üçün qeyri-xətti dağılma mexanikasının yeni sinif məsələlərinin həlli tapılmışdır.

7. Diskin dağılmasının böhran parametrlərinin əsas qiymətlərinin və materialın xüsusiyyətlərinin onlara təsirinin öyrənilməsi layihələndirmə mərhələsində konstruktör-texnoloji həllər yolu ilə çatların əmələ gəlməsi və inkişafı prosesini əsaslandırılmış şəkildə idarə etməyə imkan verir.

8. Hazırlanmış riyazi modelin praktiki baxımdan həyata keçirilməsi dairəvi və həlqəvari disklərin işinin effektivliyinin və etibarlılığının yüksəldilməsinə xidmət edəcək. Dairəvi və həlqəvari disklərin hazırlanması və istismarı zamanı qüsurların buraxıla bilən normalarının elmi cəhətdən seçimi böhran vəziyyətlərinin yaranmasını vaxtında aşkar etməyə və mümkün qədər qarşısını almağa imkan verəcək.

9. Dairəvi və həlqəvari disklərin həndəsi parametrləri, xarici yüklənmələri, rabitələrin deformasiya olunma qanunundan asılı olaraq dağılma öncəsi zonalarının ölçüləri, kənarlarının açılması və rabitələrdəki qüvvələr üçün münasibətlər alınmışdır.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı işlərdə dərc olunmuşdur:

1. Мирсалимов В.М., Калантарлы Н.М. Решение задачи механики разрушения о зарождении трещины в круговом диске // Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород / Сб. статей к 75-летию акад. Е.И. Шемякина. М.: Физматлит, 2006. С. 468 – 475.
2. Мирсалимов В.М., Калантарлы Н.М. Зарождение трещины в круговом нагреваемом диске // Математическое моделирование. 2006, т. 18, №11, С. 44 – 54. Москва.
3. Мирсалимов В.М., Калантарлы Н.М. Зарождение дефекта типа трещины в круговом нагреваемом диске // Труды VI Межд. научного симпозиума «Современные проблемы пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела», Тверь, 2006, С. 72 – 79.
4. Мирсалимов В.М., Калантарлы Н.М. Зарождение дефекта типа трещина в круговом нагреваемом диске // Тез. докладов VI Межд. научного симпозиума «Современные проблемы пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела», Тверь, 2006, С. 41 – 42.
5. Калантарлы Н.М., Мирсалимов В.М. Моделирование зарождения трещины в круговом диске, на границе которого заданы условия первой основной задачи // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости. Сб. статей к 75-летию со дня рождения В.Г. Зубчаникова. Тверь: ТГТУ, 2007, с. 119 – 128.
6. Калантарлы Н.М. Упругопластическая задача для внешности кругового отверстия при неравномерном тепловом поле // Механика-машиностроение, 2007, № 3, 21-24
7. Kalantarly N.M. Influence of small random deviations from form of prefracture zone on cracking in a circular disk // Transaction of Nat. Academy of Science of Azerbaijan, 2007, v. XXVII, No4, p. 129 – 136.
8. Калантарлы Н.М. Решение задачи механики разрушения для кругового диска, нагруженного сосредоточенными самоуравновешенными усилиями // Elmi əsərlər – Fundamental elmlər, 2010, №3, cild IX(35), s. 75 – 79.

9. Калантарлы Н.М. Зарождение трещины в круговом диске, нагруженного сосредоточенными самоуравновешенными усилиями // Вестник ТулГУ, серия: Актуальные вопросы механики, 2011, вып. 7, с. 74 – 79. Тула
10. Калантарлы Н.М. Взаимодействие зон предразрушения в круговом диске // AzTU: Elmi əsərlər, 2013, №1, cild 1, s. 143 – 148.
11. Калантарлы Н.М. Трещинообразование в круговом диске, нагруженном сосредоточенными самоуравновешенными моментами // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, серия: Механика предельного состояния, 2014, №1(29), с. 14 – 22.
12. Калантарлы Н.М. Влияние объемных сил на зарождение трещины в круговом диске // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2014, №2(304), с. 17 – 22. Орел.
13. Калантарлы Н.М. Зарождение трещины в кольцевом диске, на границе которого заданы условия первой основной задачи // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, серия: Механика предельного состояния, 2014, №2(20), с. 46 – 56. Чебоксары.
14. Калантарлы Н.М. Моделирование трещинообразования в неравномерно нагретом кольцевом диске // Тяжелое машиностроение, 2014, №9, С. 21–26. Москва.
15. Калантарлы Н.М. Зарождение трещины в равномерно вращающемся кольцевом диске // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2014, №5(307), с. 13 – 22.
16. Калантарлы Н.М. Разрушение неравномерно нагретого кольцевого диска // Проблемы машиностроения. НАН Украины, 2014, т.17, №3, с. 19 – 25. Харьков.
17. Калантарлы Н.М. Зарождение трещин в круговом диске при силовой нагрузке // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, №4, с. 53–59. Минск.
18. Калантарлы Н.М. Решение задачи механики разрушения о зарождении трещины в кольцевом диске // Материалы Межд. научной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики», 2014, Тула: ТГУ, с. 216 – 223.
19. Калантарлы Н.М. Трещинообразование в круговом диске под действием объемных сил // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014, №6, с. 23 – 30. Москва.

20. Калантарлы Н.М. Влияние повреждений на напряженно-деформированное состояние кругового диска // Материалы Межд. научной конф. «Актуальные проблемы математики и механики», посв. 55-летию ИММ, Баку, 2014, с. 198 – 200.
21. Калантарлы Н.М. Предельно-равновесное состояние неравномерно нагретого кольцевого диска, ослабленного произвольной системой когезионных трещин // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, серия: Механика предельного состояния. 2014, №3(21), с. 37 – 47. Чебоксары.
22. Kalantarly N.M. Cracking in an annular disk with mixed boundary conditions on the boundary // Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics, 2014, vol. 40, No2, p. 132 – 140.
23. Калантарлы Н.М. Взаимодействие системы ослабленных межчастичных зон в круговом нагреваемом диске // Тяжелое машиностроение, 2015, № 6. 30-35. Москва.
24. Калантарлы Н.М. Расчетная модель трещинообразования в круговом нагреваемом диске // Проблемы машиностроения. 2015, т.18, №1, С. 30– 39. Харьков.
25. Калантарлы Н.М. Взаимодействие системы ослабленных межчастичных зон со связями между берегами в круговом нагреваемом диске // Изв. ТулГУ, серия: Естественные науки, 2015, № 1, 30-42. Тула.
26. Калантарлы Н.М. Рост трещины со связями между берегами в концевых зонах в равномерно вращающемся кольцевом диске // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, серия: Механика предельного состояния, 2015, №1(23), с. 163 – 171. Чебоксары.
27. Калантарлы Н.М. Напряженно-деформированное состояние кольцевого диска, ослабленного системой трещин со связями между берегами в концевых зонах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2015, №1(309), С. 10 – 16. Орел.
28. Мирсалимов В.М., Калантарлы Н.М. Моделирование зарождения трещины в круговом диске, загруженном сосредоточенными силами // Изв. Саратовского гос. ун-та Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика, 2015, т.15, №1, С. 90 – 97. Саратов.

29. Mirsalimov V.M. and Kalantarly N.M. Cracking in a circular disk under mixed boundary conditions // Acta mechanica, 2015, vol. 226, No6, p. 1897-1907, **Springer, Austrian, Vienna**
30. Mirsalimov V.M. and Kalantarly N.M. Crack nucleation in circular disk under mixed boundary conditions // Archives of Mechanics, 2015, vol. 67, No2, p.115 – 136, **Poland, Warsaw**
31. Mirsalimov V.M. and Kalantarly N.M. Fracture of a circular disk with mixed conditions on the boundary // Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2015, Vol. 59, № 3, 2015, 423- 432, **Budapest**
32. Mirsalimov V.M. and Kalantarly N.M. Interaction of bridged cracks in a circular mixed boundary conditions // Mechanika, 2015, Vol. 21 (5), 361-366, Litva, **Kaunus**.

НАИЛЯ МЕРАДЖ кызы КАЛАНТАРЛИ

РАЗРУШЕНИЕ КРУГОВЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ДИСКОВ

РЕЗЮМЕ

Данная диссертационная работа посвящена некоторым краевым задачам механики разрушения о зарождении и развитии дефекта типа трещин в круговых и кольцевых дисках.

Впервые исследован класс плоских задач механики разрушения о зарождении трещин в круговых и кольцевых дисках, решен новый класс задач теории упругости с неизвестной границей для круговых и кольцевых дисков при различных силовых и тепловых нагрузках. Решены задачи о трещинообразовании в равномерно вращающихся круговых и кольцевых дисках. Получены зависимости размеров зоны зарождения трещины, длин зон действия сил сцепления, усилий в зонах предразрушения от приложенной нагрузки и геометрических параметров круговых и кольцевых дисков.

Первая глава посвящена математическому моделированию зарождения трещины в круговом диске на базе модели зоны предразрушения в состоянии пластического течения при постоянном напряжении. Вторая глава посвящена математическому моделированию зарождения трещины в круговом диске на базе модели зоны предразрушения со связями между берегами. Третья глава диссертации посвящена моделированию зарождения трещин в кольцевом диске при действии силовой и тепловой нагрузок. Четвертая глава диссертации посвящена исследованию развития трещин со связями между берегами в кольцевом диске.

NAILYA MERAJ kizi KALANTARLI

FRACTURE OF CIRCULAR AND ANNULAR DISKS

ABSTRACT

The work is devoted to some boundary value problems of fracture mechanics on initiation and development of crack type defects in circular and annular disks. For the first time, a class of plane problems of fracture mechanics on crack initiation in circular and annular disks was studied, a new class of problems of elasticity theory with an unknown boundary for circular and annular disks under different force and thermal loading was solved. The problems of crack initiation and uniformly rotating annular and circular disks were solved. The dependences of crack initiation zone sizes, lengths of zones of adhesive forces action, forces in prefracture zones from the applied load and geometrical parameters of annular and circular disks were obtained.

Chapter I is devoted to mathematical simulation of a crack in a circular disk on the basis of a prefracture zone model in plastic flow state under constant pressure.

Chapter II is devoted to mathematical simulation of crack initiation in a circular disk on the basis of bridged crack prefracture zone.

Chapter III of the work is devoted to simulation of crack initiation in an annular disk under the action of force and thermal loads.

Chapter IV is devoted to investigation of bridged crack in an annular disk.