

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN MEMARLIQ VƏ İNŞAAT UNİVERSİTETİ**

Əlyazması hüququnda

RAMİL ƏLƏMXAN OĞLU İSGƏNDƏROV

**ƏYİLMƏDƏ LÖVHƏLƏRİN DAĞILMA MEXANİKASININ
PERİODİK MƏSƏLƏLƏRİ**

İxtisas: 3305.02 – “İnşaat mexanikası”

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiya işinin

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

BAKI – 2015

İş Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika-riyaziyyat üzrə elmlər doktoru,
profesor V.M.Mirsəlimov

Rəsmi opponentlər: Fizika-riyaziyyat üzrə elmlər doktoru
prof.F.Q.İsayev
Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dos.
R.T.Qəribov

Aparıcı təşkilat: AMEA-nın Riyaziyyat və
mexanika İnstitutu. (şöbə:elastiklik və
plastiklik nəzəriyyəsi)

Müdafiə 22 may 2015-ci il, saat 12⁰⁰ Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində fəaliyyət göstərən **D 02.042** dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ.1073/1, Bakı şəh., A.Sultanova küç.5, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, I tədris korpusu, iclas zalı, otaq 317.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat _____ 2015-ci ildə göndərilmişdir.

**D 02.042 dissertasiya şurasının elmi katibi,
f-r.üzrə fəlsəfə doktoru, dosent**

A.M.İsayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Çoxsaylı dəşiklərlə zəiflədilmiş, lövhəşəkilli elastik detallar müasir texnikada geniş tətbiq olunur. Materialı lövhənin materialından fərqli olan həlqələrin dəşiklərə lehimləndiyi hal mühəndis praktikası üçün əhəmiyyətlidir. Belə lövhələri xarici yüklə yüklədikcə, boşluqların (daxiledilmələrin) ətrafında ilkin çatların əmələ gəlməsinə və cisimdə artıq mövcud olan çatların inkişafına səbəb ola bilən yüksək konsentrasiyalı gərginliklər yaranır.

Digər tərəfdən, real materiallarda həmişə çoxlu sayda çat tipli müxtəlif növ qüsurlar mövcud olur, hansılar ki, xarici yükləmənin təsiri altında inkişaf edərək materialın lokal və ya tam dağılmasına səbəb olur. Bu, xüsusilə kövrək dağılmaya meyilli olan, yüksək möhkəmlikli konstruksiya materiallarının tətbiq olunduğu yeni texnikanın müxtəlif detallarının hazırlanması zamanı daha çox meydana çıxır.

Təcrübə göstərir ki, maşınların, konstruksiyaların və qurğuların əksəriyyətinin dağılması bir qayda olaraq, detalların konstruksiyasını zəiflədən müxtəlif dəşiklərin, yarıqların və digər gərginlik konsentratorlarının səthindən başlanır. Konsentratorların yanındakı qeyri-bərabər gərginlik sahələrini hərtərəfli öyrənmədən bütün konstruksiyanın möhkəmliyini və etibarlı işləməsinə təmin etmək mümkün deyil. Buna görə də, müxtəlif yüklənmə növləri zamanı dəşik, daxiledilmə və çat tipli gərginlik konsentratorlu lövhəvari elementlərin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin tədqiqi əhəmiyyətli nəzəri və praktiki maraq doğurur. Çatların yaxınlığında gərginlik-deformasiya vəziyyətinin və onların böyümə kriteriyasının analizi kövrək dağılma mexanikasının möhkəmliyi haqqında elmin yeni qolunun əsasını təşkil edir. Bu problemin işlənməsinə həsr olunmuş işlərin əksəriyyətində əsasən dəşikləri (daxiledilmələri) və çatları olan lövhənin dartılması halı nəzərdən keçirilmişdir.

Perforasiya olunmuş əyilən lövhələrdəki çatların yaxınlığında gərginlik-deformasiya vəziyyətinin təyin olunması problemi hələ kifayət qədər işlənilməmişdir və buna görə elmi və tətbiqi cəhətdən öz aktuallığını saxlayır.

Periodik deşiklər (daxiledilmələr) və çatlar sistemi ilə zəiflədilmiş lövhənin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin tədqiq olunması inşaat mexanikasının vacib problemlərindən biridir və alimlərin diqqətini çoxdan özünə cəlb edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, öz aktuallığını bizim günlərdə də itirməyən elastiklik nəzəriyyəsinin periodik məsələləri son illərdə çoxlu tədqiqatçıların diqqətini cəlb edir. İnşaat texnikasının, texnoloji və nəqliyyat maşınqayırmasının, kimya və qida aparatlarının, energetika qurğularının və yeni texnikanın digər sahələrinin inkişafı ilə əlaqədar olaraq, bu məsələlərin tədqiqi əhəmiyyətlidir.

İşdə verilmiş xülasə əylən lövhələrdə deşiklərin (daxiledilmələrin) yaxınlığında çatların əmələ gəlməsinin və inkişafının tədqiq olunmasına ehtiyac yarandığını göstərir.

Buna görə də, periodik deşiklər (daxiledilmələr) sistemi və çatlarla zəiflədilmiş lövhələrin əyilmə nəzəriyyəsi məsələlərinin həlli böyük nəzəri və praktik maraq kəsb edir. Çatların əmələ gəlməsi problemi mühüm əhəmiyyətə malikdir. Dissertasiyada periodik dairəvi deşiklər (daxiledilmələr) sistemi və absis və ordinat oxları boyunca düzxətli iki tərəfə çıxan çatları olan lövhələrin xalis və eninə əyilməsinin bəzi məsələləri nəzərdən keçirilir.

İşin məqsədi momentlərlə və eninə bərabər paylanmış yüklə əyilmə zamanı periodik dairəvi deşiklər sistemi və absis və ordinat oxlarına kollinear olan iki tərəfə çıxan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş lövhələrin gərginlik-deformasiya vəziyyəti; yad daxiledilmələrin və çatların qarşılıqlı yerləşməsinin gərginliklərin intensivlik əmsallarına təsiri; periodik dairəvi deşiklər sistemi olan lövhədə çatların yaranması və inkişafının modelləşdirilməsi məsələlərinin tədqiq olunmasından ibarətdir.

Elmi yenilik. Periodik dairəvi deşiklər (daxiledilmələr) sistemi və absis və ordinat oxlarına kollinear olan iki tərəfə çıxan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş nazik lövhələrin əyilməsi barədə geniş sinifli məsələlərin həllinə vahid yanaşma təklif edilmişdir. İşdə, periodik deşiklər (daxiledilmələr) sistemi və çatlarla zəiflədilmiş lövhələr üçün klassik əyilmə nəzəriyyəsi məsələlərinin yeni sinfi həll edilmişdir. Yad elastik daxiledilmələr sisteminin və absis və ordinat oxlarına kollinear olan

müxtəlif uzunluqlu çatların qarşılıqlı təsiri tədqiq olunmuşdur. Gərginliklərin intensivlik əmsallarının tətbiq olunmuş əyici yüklənmədən, dəşiklərin (daxiledilmələrin) və çatların qarşılıqlı yerləşməsindən asılılıqları alınmışdır.

Periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş nazik lövhədə xalis və eninə əyilmə zamanı çatların əmələ gəlməsinin riyazi təsviri verilir. Dairəvi dəşiklərdən kənarında periodik paylanmış gərginliklər sinifli məsələləri təsvir edən həllərin ümumi təsəvvürləri qurulur. Xalis və eninə əyilmə zamanı nazik lövhələrdə çatların inkişafı haqqında elastik-plastik məsələlər nəzərdən keçirilmişdir.

Tədqiqatların ümumi metodikası. İşdə təklif olunmuş metodika kompleks dəyişənli funksiyalar nəzəriyyəsi metodundan istifadəyə əsaslanır. Dissertasiyada nəzərdən keçirilən məsələlərin təklif olunan həll üsulu müxtəlif analitik və hesabi metodların kombinasiyasından ibarətdir. Onlardan əsas olanları – sinqulyar inteqral tənliklər metodu, Musxelişvili qüvvət sıraları metodu, xətti cəbri tənliklərin sonsuz sisteminin reduksiya metodu, əsas elementi seçilməklə Qauss metodudur. Məsələlər, kompüterdə realizəsi ədədi məlumatlar almağa imkan verən hesablama sxemlərinə gətirilir və bu məlumatlar əsasında əlavələr üçün maraq kəsb edən nəticələr çıxarılır.

Həqiqilik. Alınmış nəticələrin həqiqiliyi qoyulmuş məsələlərin riyazi korrektliyi və onların həlli zamanı istifadə olunmuş riyazi fizika metodlarının aprobeasiyalı olması ilə, ədədi hesablamaların nəticələri ilə təmin olunur.

Praktik əhəmiyyəti. İşin praktik əhəmiyyəti yuxarıda qeyd olunmuş praktik əlavələrin geniş dairəsi ilə, həmçinin dissertasiyada alınmış elmi nəticələrin əksəriyyətinin düsturlar, cədvəllər, cəbri tənliklərin sistemləri şəklində təqdim olunması ilə müəyyən olunur. Onların kompüterdə hesablama proqramı səviyyəsinə tamamlanması isə onlardan konstruksiyaların lövhəvari elementlərinin möhkəmlik və uzunömürlüliyünün mühəndis hesablamalarında, optimal konstruktiv formaların seçilməsində, möhkəmlik resurslarının daha tam istifadəsi, məmulatların və yeni texnika konstruksiyalarının rəasional layihələndirilməsi üçün bilavasitə istifadə etməyə imkan verir ki, bu da dissertasiyaya əlavə edilmiş sənədlə təsdiq edilir.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işində əsas nəticələr məruzə və müzakirə edilmişdir:

- “Engineering systems-2012” Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransında, Rusiya, Moskva, 16-18 aprel 2012-ci il;

- “Modern problems of Mathematics, Mechanics, Computer Science” Beynəlxalq Elmi Konfransında, Rusiya, Tula, 16-20 sentyabr 2013-cü il;

- “Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии” XIV Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfransında, Rusiya, Tula, 26-29 iyun 2013-cü il;

- “Деформация и разрушение материалов и наноматериалов – DFMN-2013” V Beynəlxalq Elmi Konfransında, Rusiya, Moskva, 25-27 noyabr 2013-cü il;

- Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin “Nəzəri və inşaat mexanikası” kafedrasının elmi seminarlarında.

Dissertasiya işi tam şəkildə AMİU-nun “Nəzəri və inşaat mexanikası” kafedrasının geniş iclasında məruzə və müzakirə edilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiyanın bütün əsas nəticələri şəxsən müəllif tərəfindən alınmışdır. Həmmüəllifliklə yazılmış işlərdə yalnız məsələlərin qoyuluşu həmmüəllifə məxsusdur.

Nəşrlər. Dissertasiya materialları üzrə 10 iş nəşr olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi girişin, 8 paragrafın daxil olduğu 3 fəsilin, 8 şəkilin, 9 cədvəlin, nəticələrin və 125 adda ədəbiyyat siyahısının daxil olduğu 131 səhifə çap mətnindən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə nəzərdən keçirilən problemin aktuallığı əsaslandırılır, çat ilə zəiflədilmiş lövhələrin əyilmə nəzəriyyəsinə həsr olunmuş işlərin xülasəsi verilir, problemin hazırkı vəziyyətinin analizi verilmiş, tədqiqatın məqsədləri müəyyən olunur, dissertasiya işinin strukturu, həmçinin işin aprobasiyası və nəşrləri barədə məlumatlar göstərilir.

Birinci fəsil. Dissertasiyanın birinci fəslə dairəvi dəşiklərin periodik sistemi və absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş düzxətli ikitərəfə çıxan müxtəlif uzunluqlu çatlarla zəiflədilmiş nazik lövhənin momentlərlə və eninə yükləmə ilə əyilməsi məsələsinin həllinə həsr olunmuşdur.

Birinci paragrafda dairəvi dəşiklərin periodik sistemi və absis və ordinat oxlarına kollinear olan, düzxətli çatlarla zəiflədilmiş nazik lövhə nəzərdən keçirilir. Çatın sahilləri yükəmələrdən azaddır. Lövhə $M_x = M_x^\infty, M_y = M_y^\infty, H_{xy} = 0$ orta momentləri ilə əyilməyə (sonsuzluqda əyilmə) məruz qalır. Hesab edilir ki, lövhənin deformasiyası prosesində çatların qarşılıqlı sahilləri bir-biri ilə kontakta daxil olmur. Kirxhof nəzəriyyəsi və Kolosov-Musxelişvili münasibətləri, dairəvi dəşiklərin konturlarındakı və çatların sahillərindəki sərhəd şərtləri əsasında məsələ aşağıdakı sərhəd şərtlərindən $\Phi(z)$ və $\Psi(z)$ analitik funksiyalarının təyin olunmasına gətirilir

$$\varepsilon \overline{\Phi(\tau)} + \Phi(\tau) - [\overline{\tau} \Phi'(\tau) + \Psi(\tau)] e^{2i\theta} = f_1 + if_2 \quad (1.1)$$

$$\varepsilon \Phi(t) + \overline{\Phi(t)} + t \overline{\Phi'(t)} + \overline{\Psi(t)} = iC \quad (1.2)$$

$$\varepsilon \Phi(t_1) + \overline{\Phi(t_1)} + t_1 \overline{\Phi'(t_1)} + \overline{\Psi(t_1)} = iC_1, \quad (1.3)$$

harada ki, $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$); t və t_1 – uyğun olaraq, absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş çatların sahillərinin affiksləridir; C, C_1 – məsələnin həlli gedişində kəsiklərin zirvələrindəki əyinti sıçrayışının sifra bərabərlik şərtindən təyin olunan həqiqi

sabitlərdir; $\varepsilon = -\frac{3+\nu}{1-\nu}$ – birinci əsas məsələ üçündür; $\varepsilon=1$ – ikinci

əsas məsələ üçündür; ν – lövhə materialının Puasson əmsalıdır.

Qəbul edilmişdir ki, dəşiklərin L_m ($m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) konturlarında özütarazlaşan eyni momentlər və x və y koordinat oxlarına nəzərən simmetrik olan eninə qüvvələr sistemi fəaliyyət göstərir. Belə yükləmə lövhədə gərginliklərin periodik paylanması təmin edir.

Məsələnin qoyuluşu sərt daxiledilmə və sərbəst dəşiklər hallarını eyni zamanda əhatə edir, həm də çatlar dəşiyin konturuna çıxa bilər.

Sərhəd məsələsinin həlli üçün əvvəlcə dairəvi dəşiklərdən və düzxətli çatlardan kənarada gərginliklərin (momentlərin) periodik paylandığı məsələlər sinfini təsvir edən həllərin ümumi təsəvvürləri qurulur. Sərhəd şərtlərini ödəməklə, məsələnin həlli iki sonsuz cəbri tənliklər sisteminə və iki birinci tip sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir. Sonra məsələnin hər bir sinqulyar inteqral tənliyi Çebişev qovşaqları üzrə qurulmuş Laqranj interpolyasiya polinomunun köməyi ilə xətti cəbri tənliklərin sonlu sistemə gətirilir. Gərginliklərin intensivlik əmsallarının tapılması proseduru verilir. Alınmış sistemlər kəsmə və dairəvi dəşiklərin radiusundan asılı olaraq M -in (M – Çebişev qovşaqlarının sayıdır) müxtəlif qiymətləri üçün əsas elementi seçilməklə Qauss metodları ilə həll edilmişdir. Nəzərdən keçirilən bütün hallar üçün çatın uzunluğundan və dəşiklərin qarşılıqlı yerləşməsindən asılı olaraq, gərginliklərin (momentlərin) intensivlik əmsalları hesablanmışdır.

Alınmış tənliklər sisteminin həllinin yığılması $0 < \lambda \leq 0,8$ diapazonunda cəbri sistemlərin əmsallarının tərkibində yüksək dərəcəli λ parametrinin (λ - dəşiyin radiusudur) olması ilə izah olunur. Parametrin $\lambda > 0,8$ qiyməti λ -nin işçi dəyişmə diapazonundan kənara çıxır.

Tədqiqat göstərdi ki, əyilmə zamanı çatlar və dəşiklər sisteminin qarşılıqlı təsirinin nəzərə alınması tək dəşikli və təcrid olunmuş çat ilə müqayisədə gərginliklərin intensivlik əmsalını artırır. Lövhədə dəşiklər ətrafında gərginliklərin konsentrasiyası çox kiçik çatların böyüməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Çatların uzunluqları artdıqca bu təsir azalır və

artıq $\ell - \lambda > \lambda$ olduqda onu nəzərə almamaq olar, lakin bu zaman çatların qarşılıqlı təsiri özünü göstərir.

Bu fəslin ikinci paragrafında kənarları sərt bərkidilmiş, periodik dairəvi dəşiklər sırası olan izotrop elastik lövhə tədqiq edilir. Lövhə absis və ordinat oxlarına kollinear olan iki tərəfə çıxan düzxətli çatlarla zəiflədilmişdir və səth üzrə bərabər paylanmış eninə yükləmənin təsiri ilə əyilir. Periodik çatlar sisteminin sahilləri xarici yükləmədən azaddır, lövhənin deformasiyası prosesində bir-biri ilə kontakta daxil olmur. Dairəvi dəşiklərin çevrəsi boyunca elastik yerdəyişmələrin və absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş periodik çatlar sisteminin sahillərində xarici yükləmələrin olmadığını ifadə edən sərhəd şərtləri üzrə lövhənin gərginlik və deformasiya olunmuş vəziyyətini təyin etmək tələb olunur.

Klassik Kirxhof nəzəriyyəsi və Kolosov-Musxelişvili münasibətləri, həmçinin dairəvi dəşiklərin konturlarındakı və çatların sahillərindəki sərhəd şərtləri əsasında məsələ $\Phi(z)$ və $\Psi(z)$ analitik funksiyalarının təyin olunmasına gətirilir, sərhəd şərtlərindən

$$\frac{\tau\bar{\tau}}{32} + \Phi(\tau) + \overline{\Phi(\tau)} - [\tau\Phi'(\tau) + \Psi(\tau)]e^{2i\theta} = 0 \quad (1.4)$$

$$\varepsilon\Phi(t) + \overline{\Phi(t)} + t\overline{\Phi'(t)} + \overline{\Psi(t)} + \frac{3t^2}{32} = iC \quad (1.5)$$

$$\varepsilon\Phi(t_1) + \overline{\Phi(t_1)} + t_1\overline{\Phi'(t_1)} + \overline{\Psi(t_1)} + \frac{3t_1^2}{32} = iC_1 \quad (1.6)$$

Sərhəd məsələsinin həlli üçün əvvəlcə yerdəyişmələrin periodik paylandığı məsələlər sinfini təsvir edən həllərin ümumi təsəvvürləri qurulur. Sərhəd şərtlərini ödəməklə, məsələnin həlli iki sonsuz cəbri tənliklər sistemə və iki sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir. Əsas həlledici tənliklərin cəbrləşdirilməsi birinci paraqrafa analogi olaraq aparılır.

Periodik nöqtəvi dayaqqlar sistemə əsaslanan və absis və ordinat oxlarına kollinear olan iki tərəfə çıxan düzxətli periodik çatlar sistem ilə zəiflədilmiş lövhənin eninə əyilməsi barədə həddi hal nəzərdən keçirilmişdir.

İkinci fəsil. Dissertasiyanın bu fəslı lövhənin əyilməsi zamanı elastik yad materialdan hazırlanmış daxiledilmələrin periodik sistemi ilə düzxətli çatların qarşılıqlı təsiri məsələlərinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Yad materialdan olan elastik həlqələrlə doldurulmuş, çevrə boyunca lehimlənmiş periodik dairəvi deşiklər sistemi olan və iki tərəfə çıxan düzxətli çatlarla zəiflədilmiş lövhələrin əyilmə nəzəriyyəsi məsələlərinin həlli üsulu şərh edilmişdir. Birinci fəsildə olduğu kimi, hesab edilir ki, lövhənin deformasiyası prosesində çatların qarşılıqlı sahilləri bir-biri ilə kontakta daxil olmur.

Bu fəslin birinci paraqrafında periodik dairəvi deşiklər sistemi ilə zəiflədilmiş izotrop lövhə nəzərdən keçirilir. Dairəvi deşiklərə digər izotrop elastik materialdan hazırlanmış elastik həlqələr lehimlənmişdir. Hesab edilir ki, həlqələr (daxiledilmələr) iki tərəfə çıxan düzxətli çatlarla zəiflədilmişdir. Çatların sahilləri xarici yükləmələrdən azaddır. Lövhə bərabər paylanan sabit $M_x = M_x^\infty, M_y = M_y^\infty, H_{xy} = 0$ momentləri ilə əyilməyə (sonsuzluqda əyilmə) məruz qalır. Lövhənin deformasiyası zamanı daxiledilmələrin və lövhənin konturlarının bitişik nöqtələrinin eyni yerdəyişməyə malik olduqlarını, lövhə tərəfindən istənilən həlqəyə təsir edən qüvvələrin daxiledilmə tərəfindən lövhəyə təsir edən qüvvələrə qiymətə bərabər və işarəcə əks olduğunu nəzərə alaraq və Kolosov-Musxelişvili münasibətlərindən, həmçinin çatların sahillərindəki sərhəd şərtlərindən istifadə edərək, məsələ həlqəyə aid olan iki cüt $\Phi_0(z)$ və $\Psi_0(z)$ və lövhəyə aid olan $\Phi_*(z)$ və $\Psi_*(z)$ analitik funksiyalarının təyin olunmasına gətirilir, sərhəd şərtlərindən

$$\begin{aligned} \Phi_*(\tau) + \overline{\Phi_*(\tau)} - [\overline{\tau}\Phi'_*(\tau) + \Psi_*(\tau)]e^{2i\theta} = \\ = \Phi_0(\tau) + \overline{\Phi_0(\tau)} - [\overline{\tau}\Phi'_0(\tau) + \Psi_0(\tau)]e^{2i\theta}; \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon \overline{\Phi_*(\tau)} + \Phi_*(\tau) - [\overline{\tau}\Phi'_*(\tau) + \Psi_*(\tau)]e^{2i\theta} = \\ = \frac{D_0(1-\nu_0)}{D(1-\nu)} \left\{ \varepsilon_0 \overline{\Phi_0(\tau)} + \Phi_0(\tau) - [\overline{\tau}\Phi'_0(\tau) + \Psi_0(\tau)]e^{2i\theta} \right\}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_0 \Phi_0(x) + \overline{\Phi_0(x)} + x \overline{\Phi'_0(x)} + \overline{\Psi_0(x)} = iC_1, \quad (2.3)$$

harada ki, v_0 – daxilə dilmənin materialının Poisson əmsalidir; D_0 – həlqənin silindrik sərtliyidir; $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega$ ($m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$); $\varepsilon_0 = -\frac{3+v_0}{1-v_0}$; x – daxilə dilmədəki çatların sahil nöqtələrinin affiksləridir.

Sərhəd şərtlərini ödəməklə, məsələnin həlli sonsuz xətti cəbri tənliklər sisteminə və bir sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir. Əsas həlledici tənliklərin cəbrləşdirilməsi aparılmışdır. Gərginliklərin (momentlərin) intensivlik əmsallarının tapılması proseduru verilir.

Bu fəslin 2-ci paragrafında periodik dairəvi dəşiklər sistemi və absis və ordinat oxlarına kollinear olan iki tərəfə çıxan müxtəlif uzunluqlu düzxətli çatlarla zəiflədilmiş elastik lövhə nəzərdən keçirilir. Dairəvi dəşiklərə başqa elastik materialdan olan elastik həlqələr həlimlənmişdir. Periodik çatlar sisteminin sahilləri xarici yüklənmədən azaddır. Məsələ, (2.1)-(2.2) sərhəd şərtlərindən və absis və ordinat oxları boyunca istiqamətlənmiş periodik çatlar sistemindəki aşağıdakı sərhəd şərtlərindən iki cüt həlqəyə aid olan $\Phi_0(z)$ və $\Psi_0(z)$ və lövhəyə aid olan $\Phi_*(z)$ və $\Psi_*(z)$ analitik funksiyalarının təyin olunmasına gətirilir

$$\varepsilon\Phi_*(t) + \overline{\Phi_*(t)} + t\overline{\Phi_*(t)} + \overline{\Psi_*(t)} = iC_1 \quad (2.4)$$

$$\varepsilon\Phi_*(t_1) + \overline{\Phi_*(t_1)} + t_1\overline{\Phi_*(t_1)} + \overline{\Psi_*(t_1)} = iC_2 \quad (2.5)$$

harada ki, t və t_1 – absis və ordinat oxlarına kollinear olan, iki tərəfə çıxan, müxtəlif uzunluqlu düzxətli çatların periodik sisteminin sahil nöqtələrinin affiksləridir.

Məsələnin əsas həlledici tənlikləri əvvəlki paragrafa analogi olaraq qurulmuşdur. Mühitin həndəsi və fiziki parametrlərindən asılı olaraq, birtərəfli və hərtərəfli əyilmə üçün gərginliklərin intensivlik əmsalları hesablanmışdır.

Gərginliklərin (momentlərin) intensivlik əmsalları üçün aşağıdakı münasibətlər alınmışdır

$$K_1^{\lambda_1} = M_y^\infty \sqrt{\pi\ell} F_1(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h) + M_x^\infty \sqrt{\pi\ell} F_1'(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h);$$

$$K_1^\ell = M_y^\infty \sqrt{\pi\ell} F_2(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h) + M_x^\infty \sqrt{\pi\ell} F_2'(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h);$$

$$K_1^r = M_y^\infty \sqrt{\pi\ell} F_3(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h) + M_x^\infty \sqrt{\pi\ell} F_3'(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h);$$

$$K_1^h = M_y^\infty \sqrt{\pi \ell} F_4(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h) + M_x^\infty \sqrt{\pi \ell} F_4'(\lambda, \lambda_1, \ell, r, h).$$

Cədvəllərdə F_2, \dots, F_4' - funksiyalarının hesablamalarının nəticələri verilir.

Daxilədmənin sərtliyi və lövhənin sərtliyi münasibətlərini dəyişməklə, boş deşikdən başlayaraq, mütləq sərt daxiləlməyə qədər bütün variantları almaq olar.

Üçüncü fəsil. Dissertasiyanın bu fəslə əyilmə zamanı dağılmadan əvvəlki plastik uc zonalı çatların əmələ gəlməsinin və inkişafının riyazi modelləşdirilməsinə həsr olunmuşdur.

Birinci paraqrafta periodik dairəvi deşiklər sistem ilə zəiflədilmiş nazik lövhədə xalis əyilmə zamanı çatların əmələ gəlməsi modelinin riyazi təsviri verilir. Lövhə əyici momentlərlə yükləndikcə, materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş oblastları kimi modelləşdiridimiz dağılmadan əvvəlki zonalar yaranmağa başlayacaq. Dağılmadan əvvəlki zonalar (materialın həddən artıq gərginləşmiş qatları) sahilləri arasında rabitəsi olan ensiz təbəqələr şəklində modelləşdirilirlər. Dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərinin qarşılıqlı təsiri, dağılmadan əvvəlki zonanın sahilləri arasında verilmiş deformasiya diaqramına malik olan rabitələrin daxil edilməsi yolu ilə modelləşdirilir. Dağılmadan əvvəlki zona maksimal dartıcı gərginliklər istiqamətində yönəlmişdir. Hesab edilir ki, sabit gərginlik zamanı dağılmadan əvvəlki zonada plastik axın mövcuddur.

Məsələ, lövhənin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin təyin olunmasından, həmçinin çatın əmələ gəlməyə başladığı həddi yükləmənin tapılmasından ibarətdir.

Lövhədə axtarılan W əyinti funksiyasının təyini sərhəd məsələsinin həllinə gətirilir

$$\Delta \Delta W = 0$$

$$M_n = 0, \quad N_n + \frac{\partial H_{nt}}{\partial t} = 0 \quad \text{deşiklərin konturlarındakı}$$

$$M_n = M_s, \quad N_n + \frac{\partial H_{nt}}{\partial t} = 0 \quad \text{dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərindəki}$$

harada ki, $M_s = \frac{\sigma_s h^2}{4}$; σ_s – materialın axıcılıq həddi; Δ – Laplas operatorudur.

Dairəvi deşiklərdən kənarada gərginlikləri periodik paylanan məsələlər sinfini təsvir edən həllərin ümumi təsəvvürləri qurulur. Xalis əyilmə zamanı nazik lövhədə çat əmələ gəlməsi barədə məsələnin həlli iki sonsuz cəbri sistemə və Koşi nüvəli birinci növ iki sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir.

Bu fəslin ikinci paragrafında kənarları periodik deşiklər sistemi üzrə sərt bərkidilmiş nazik lövhədə eninə əyilmə zamanı çatların əmələ gəlməsinin riyazi modeli verilir. Nazik lövhə $q = \text{const}$ eninə qüvvəsi ilə yükləndikcə dağılmadan əvvəlki zonalər yaranmağa başlayacaq, hansılar ki, materialın hissəciklərarası rabitəsi zəifləmiş oblastları kimi modelləşdirilir. Dağılmadan əvvəlki oblastların inkişafının ilkin mərhələlərində onların cisimin elastik hissəsi ilə müqayisədə kiçik həcmə malik olan, ensiz zolaqlar şəklində formalaşmasının ümumi tendensiyası təcrübədən yaxşı məlumdur. Dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərinin qarşılıqlı təsirini riyazi təsvir etmək üçün hesab edilir ki, bu zonalardakı sahillər arasında rabitələr mövcuddur, hansılar ki, dağılmadan əvvəlki zonaların açılmasının qarşısını alır. Qəbul edilmişdir ki, sabit gərginlik zamanı dağılmadan əvvəlki zonada plastik axın mövcuddur.

Lövhənin axtarılan W əyinti funksiyasının təyini aşağıdakı sərhəd məsələsinin həllinə gətirilir

$$\Delta\Delta W = \frac{q}{D}$$

$$W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial n} = 0 \quad \text{deşiklərin konturlarındakı}$$

$$M_n = M_s, \quad N_n + \frac{\partial H_{nt}}{\partial t} = 0 \quad \text{dağılmadan əvvəlki zonanın sahillərindəki}$$

Sərhəd məsələsinin həlli üçün yerdəyişmələri periodik paylanan məsələlər sinfini təsvir edən həllərin ümumi təsəvvürləri qurulur. Sərhəd şərtlərini ödəməklə, məsələnin həlli iki sonsuz cəbri sistemə və iki sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir. Əsas həlledici tənliklərin

cəbrləşdirilməsi birinci fəslin birinci paraqrafına analogi aparılır. Nəzərdən keçirilmiş bütün hallar üçün dəşiklərin qarşılıqlı yerləşməsindən asılı olaraq, çatların əmələ gəlməsinə səbəb olan xarici yüklənmənin həddi qiymətləri hesablanmışdır.

Üçüncü paraqrafda plastik uc zonaları dəşiklərin konturlarından çıxan düzxətli iki tərəfə çıxan çata malik olan periodik dairəvi dəşiklər sistemli izotrop nazik lövhənin xalis əyilməsi barədə məsələ nəzərdən keçirilir. Dairəvi dəşiklərin çevrəsi və çatların davamında plastik deformasiyalar nəzərə alınmaqla, absis və ordinat oxlarına kollinear olan müxtəlif uzunluqlu çatların periodik sisteminin sahilləri boyunca xarici yükləmələrin olmadığını ifadə edən sərhəd şərtləri üzrə lövhənin gərginlik-deformasiya vəziyyətini təyin etmək tələb olunur. Sərhəd şərtlərini ödəməklə, elastik-plastik məsələnin həlli iki sonsuz cəbri sistemə və Koşi nüvəli iki sinqulyar inteqral tənliyə gətirilir. Elastik-plastik məsələnin birləşmiş cəbri tənliklər sistemi cəbrləşdirildikdən sonra hər bir yaxınlaşmada Qauss metodu ilə həll edilmişdir. Cəbri sistemlərin və dağılma meyarlarının birgə həlli (lövhə materialının verilmiş çatadavamlılıq xarakteristikaları zamanı) lövhədə çatın böyüməsinin baş verdiyi zaman əyilən lövhənin kritik dağılma diaqramını, həddi müvazinət vəziyyəti üçün plastik deformasiya zonalarının ölçülərini tapmağa imkan verir.

Nəhayət, dördüncü paraqrafda kənarları üzrə periodik dairəvi dəşiklər sistemi ilə sərt bərkidilmiş nazik lövhənin eninə əyilməsi barədə analogi elastik-plastiklik məsələsi nəzərdən keçirilir. Dairəvi dəşiklərin konturu boyunca yerdəyişmələrin və çatların davamında plastik deformasiyalar nəzərə alınmaqla, iki tərəfə çıxan düzxətli çatlar sisteminin sahillərində xarici yükləmələrin olmadığını ifadə edən sərhəd şərtləri üzrə izotrop lövhənin gərginlik və deformasiya olunmuş vəziyyətini təyin etmək tələb olunur. Çatların davamındakı plastik deformasiya zonalarının ölçüləri əvvəlcədən məlum deyil və təyin olunmalıdır. Tənliklər sisteminin həlli üçün reduksiya, yəni naməlum hədlərin və tənliklərin sonlu saydak kəsilməsi metodu tətbiq olunmuşdur. Sonra, alınmış sistem əsas elementi seçilməklə Qauss metodu ilə həll edilmişdir. Hesablamalar çatların uzunluğunun və dairəvi dəşiklərin radiusunun müxtəlif qiymətləri üçün yerinə yetiril-

mişdir. İkinci fəslin bütün məsələlərində daxiləmələr üçün $\nu_0=0,32$; $\mu_0=4,5 \cdot 10^5$ MPa, lövhə üçün isə $\nu_0 = 0,31$; $\mu_0 = 2,6 \cdot 10^5$ MPa götürülmüşdür.

Dissertasiyanın yekun hissəsində ümumi nəticələr verilmişdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiyada yerinə yetirilmiş elmi tədqiqatların nəticələrinin analizi əsasında aşağıdakı ümumi nəticələrə gəlmək olar:

1. Dairəvi dəşiklərin (daxiləmələrin) və absis və ordinat oxlarına kollinear olan müxtəlif uzunluqlu düzxətli iki tərəfə çıxan çatların periodik sistemi ilə zəiflədilmiş nazik lövhələrin əyilmə nəzəriyyəsi məsələlərinin geniş sinfinin həllinə vahid yanaşma təklif olunmuşdur.
2. Dairəvi dəşiklərin və absis və ordinat oxlarına kollinear istiqamətlənmiş düzxətli iki tərəfə çıxan çatların periodik sistemi ilə zəiflədilmiş lövhənin momentlərlə və eninə yüklənmələrlə əyilməsi barədə məsələlərin həlli alınmışdır.
3. Lövhələrin əyilməsi zamanı elastik yad daxiləmələrin periodik sistemlərinin və düzxətli çatların iki sisteminin qarşılıqlı təsiri barədə bir sıra məsələlərin həlli alınmışdır.
4. Çatın uzunluğundan, perforasiya olunmuş mühitin həndəsi və fiziki parametrlərindən asılı olaraq, çatın ucu yaxınlığında gərginliklərin intensivlik əmsalları tapılmışdır. Lövhədə dəşiklər (daxiləmələr) ətrafında gərginliklərin konsentrasiyası çox kiçik çatların inkişafına əhəmiyyətli təsir göstərir. Çatın uzunluğu artdıqca bu təsir sönür və artıq çatın uzunluğu dəşiyin radiusundan böyük olduğu zaman onu nəzərə almamaq olar, lakin bu zaman çatların qarşılıqlı təsiri özünü göstərməyə başlayır.
5. Dəşiklərin mövcudluğu gərginliklərin intensivlik əmsalını yüksəltdiyi halda, sərt daxiləmələr onu azaldır. Elastik yad daxiləmələr xüsusilə çatın yaxın yerləşmiş zirvəsinə effektiv təsir göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, çatın zirvəsi yaxınlığındakı gərginliklərin intensivlik əmsalının qiymətinin dəyişməsi yalnız

- çatın uzunluğundan, həmçinin daxiledilmələrin, deşiklərin və çatların qarşılıqlı yerləşməsindən asılıdır.
6. Dairəvi deşiklərin periodik sistemi ilə zəiflədilmiş nazik lövhənin xalis və eninə əyilməsi zamanı çatların əmələ gəlməsinin riyazi modeli işlənmişdir.
 7. Bir ucu dairəvi deşiklərin səthinə çıxan, absis və ordinat oxlarına kollinear çatların uc zirvələrindəki ilkin plastik deformasiyaların inkişafı barədə məsələlər həll edilmişdir. Plastik deformasiya zonasının uzunluğunun və çatın ucundakı sahillərinin açılışının əyici xarici yüklənmənin qiymətindən, dairəvi deşiklərin və düz xətliliyi iki tərəfə çıxan çatların yerləşməsinin qarşılıqlı təsirindən asılılığı tapılmışdır.

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə nəşr edilmişdir:

1. Искендеров Р.А. Изгиб изотропной пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий и прямолинейными сквозными трещинами с пластическими концевыми зонами // Теоретическая и прикладная механика, 2012, №2, с. 109-114.
2. Искендеров Р.А. Поперечный изгиб изотропной пластины с периодическим рядом круговых отверстий и прямолинейных сквозных трещин // Elmi əsərlər fund. elmlər, 2012. cild XI (41). №1, с. 59-62.
3. Мирсалимов В.М., Искендеров Р.А. Изгиб изотропной пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий и прямолинейными сквозными трещинами // Тезисы докл. V Межд. Научно-практ. конф. «Инженерные системы – 2012», М.: РУДН, 2012, с. 10.
4. Искендеров Р.А. Однородный изгиб пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий и прямолинейными сквозными трещинами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2013, №2, с. 36-40.

5. Искендеров Р.А. Взаимодействие упругих включений и трещин при изгиб тонкой пластины // Сб. материалов XIV Межд. Научно-техн. Конф. «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» Тула, 2013 г., с. 42-44.
6. Искендеров Р.А. Однородной изгиб изотропной пластины с периодической системой круговых отверстий и трещин с пластическими концевыми зонами // Материалы Межд. Научной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики», посв. 90-летию проф. Л.А.Толоконникова, Тула, 2013, с. 321-327.
7. Искендеров Р.А. Зарождение трещин при поперечном изгибе изотропной пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013, №3, с. 18-28.
8. Мирсалимов В.М., Искендеров Р.А. Зарождение трещин при однородном изгибе изотропной пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий // Вестник ЧПГУ им. Яковлева серия. Механика предельного состояния, 2013, №1 (15), с. 107-114.
9. Искендеров Р.А. Упругопластическое разрушение изгибаемой пластины с периодической системой круговых отверстий // Мат. V Между. народной научно-техн. Конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов – 2013», Москва, 2013, с.321-327
10. Искендеров Р.А. Поперечный изгиб пластины с периодической системой круговых отверстий и прямолинейными сквозными трещинами с пластическими концевыми зонами // Теоретическая и прикладная механика, 2013, №4, с.50-54

Рамиль Аламхан оглы Искендеров

Периодические задачи механики разрушения пластины при изгибе

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа посвящена решению задач теории изгиба тонких пластин, ослабленных периодической системой круговых отверстий и прямолинейными сквозными трещинами.

Предложен единый подход к решению широкого класса задач об изгибе тонких пластин, ослабленных периодической системой круговых отверстий (включений) и прямолинейных сквозных трещин коллинеарных осей абсцисс и ординат. В работе решен новый класс задач классической теории изгиба для пластин, ослабленных периодической системой отверстий (включений) и трещин. Исследовано взаимодействие системы инородных упругих включений и трещин коллинеарных осей абсцисс и ординат неравной длины. Получены зависимости коэффициентов интенсивности напряжений от приложенной изгибающей нагрузки, взаимного расположения отверстий (включений) и трещин. Дается математическое описание зарождения трещин при однородном и поперечном изгибе в тонкой пластине, ослабленной периодической системой круглых отверстий. Строятся общие представления решений, описывающие класс задач с периодическим распределением напряжений вне круговых отверстий.

Решены упругопластические задачи о развитии трещин в тонкой пластине при однородном и поперечном изгибе.

Ramil Isgandarov Alamkhan

**Periodic problems of mechanics of destruction
of a plate in bending**

Summary

Dissertation work is devoted to solution of tasks of thin plates bending theory, weakened with periodic system of circular apertures and with rectilinear cross-cutting cracks.

A unique approach was made to the solution of wide class of problems of bending of thin plates weakened by a periodic system of circular holes (inclusions) and straight through cracks collinear axes of abscissa and ordinate. The new class of tasks of the classical theory of bending for the plates, weakened by periodic system of openings (inclusions) and cracks are solved in the work. Interaction of system of foreign elastic inclusions and cracks of collinear x-axis and ordinate of unequal length are investigated. Dependences of coefficient of intensity of tension on the enclosed bending loading, a relative positioning of openings (inclusions) and cracks are received. The mathematical descriptions of origin of cracks at a uniform and cross bending in the plate, weakened by periodic system of round openings are explained. The general submissions of decisions describing a class of tasks with periodic distribution of tension out of circular openings are formulated.

The elastoplastic tasks about development of cracks in a thin plate under a uniform and cross bending are solved.

Kağız formatı 60x841/16

Çap vərəqi: 1.5

Sifariş №26. Tiraj 100

AzMIU

Nəşriyyat Poliqrafiya Mərkəzi

tel. (012) 539 07 17

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

**АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

РАМИЛЬ АЛАМХАН ОГЛЫ ИСКЕНДЕРОВ

**ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ
ПЛАСТИН ПРИ ИЗГИБЕ**

Специальность 3305.02 – «Строительная механика»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени доктора философии по
технике

БАКУ – 2015