AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN MEMARLIQ VƏ İNŞAAT UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

ELMAR AĞAKİŞİ OGLU ƏHMƏDOV

ENİNƏ SÜRÜŞMƏ DEFORMASİYALARINI NƏZƏRƏ ALMAQLA QEYRİBİRCİNS ANİZOTROP LÖVHƏLƏRİN DAYANIQLIĞI VƏ RƏQSLƏRİ

İxtisas: 3305.02 – «İnşaat mexanikası»

texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKI – 2015

İş Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: f.-r.e.d.,prof. **F.Q.İsayev**

Rəsmi opponentlər: f.-r.e.d.,prof. **F.S. Lətifov**

t.üzrə fəl.d., dos. **Ə.M. Əhmədov**

Aparıcı təşkilat: Bakı Dövlət Universiteti, "Nəzəri mexanika və bütöv mühit mexanikası" kafedrası

Müdafiə *22 may 2015*-ci il saat *14*^{00} -da Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində fəaliyyət göstərən D02.042 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az1073,Bakı,A.Sultanova küç.5, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, 1-ci tədris korpusu,iclas salonu otaq 317.

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

Avtoreferat_________________ 2015-ci il tarixində göndərilmişdir.

D 02.042 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi f.-r.üzrə fəlsəfə doktoru,
dosent: **A.M.İsayev**

E. A. Ahmedov

STABILITY AND FLUCTUATION OF HETEROGENEOUS ANISOTROPIC PLATES CONSIDERING THE DEFORMATION OF CROSS SHITS

Summary

The presented dissertation work is devoted to problems of stability and fluctuations of heterogeneous anisotropic plates taking into account deformation of cross shifts.

In general it is supposed that elastic characteristics of material are continuous functions of coordinate of plate thickness. Connection between components of deformation and movement was accepted considering deformation of cross shifts and is used ratios of the generalized Hooke's law for orthotropic material.

In general terms all main ratios and system of the equations of stability of the considered plate are received. Solutions of problems of stability of rectangular plates at one and bilateral compression are derived. Analytical formulas for critical loadings are obtained.

Statement is given, all main ratios and system of the equations of stability of the considered plates taking into account deformation of cross shifts and geometrical nonlinearity are received. Solutions of specific task are delivered.

Statement is given and specific objectives of stability heterogeneous of orthotropic of circular plates are solved considering deformation of cross shifts.

In general terms all main ratios and system of the equations of the movement of the considered plate considering deformation of cross shifts are received. At articulated fitting of edges of a plate the solution of a task is constructed and the formula for determination of frequency of own fluctuations of the considered plate is found.

In all considered tasks formulas for definition critical parameters are received and numerical calculations are made for different types of heterogeneity and characteristic schedules are constructed.

Э.А.АХМЕДОВ

УСТОЙЧИВОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ

Резюме

Представленная диссертационная работа посвящена задачам устойчивости и колебаний неоднородных анизотропных пластин с учетом деформации поперечных сдвигов.

В общем случае предполагается, что упругие характеристики материала являются непрерывными функциями координаты толщины пластинки. Связь между компонентами деформации и перемещения принималась с учетом деформации поперечных сдвигов и используются соотношения обобщенного закона Гука для ортотропного материала.

В общем виде получены все основные соотношения и система уравнений устойчивости рассматриваемой пластинки. Получены решения задач устойчивости прямоугольных пластинок при одно и двухстороннем сжатии. Получены аналитические формулы для критических нагрузок.

Дана постановка, получены все основные соотношения и система уравнений устойчивости рассматриваемых пластинок с учетом деформации поперечных сдвигов и геометрической нелинейности. Получены решения конкретных задач.

Дана постановка и решены конкретные задачи устойчивости неоднородных ортотропных круговых пластинок с учетом деформации поперечных сдвигов.

В общем виде получены все основные соотношения и система уравнений движения рассматриваемой пластинки с учетом деформации поперечных сдвигов. При шарнирном закреплении краев пластинки построено решение задачи и найдена формула для определения частоты собственных колебаний рассматриваемой пластинки.

Во всех рассмотренных задачах получены формулы для определения критические параметры и для различных видов неоднородностей произведены численные расчеты и построены характерные графики.

Kağız formatı 60x84 1/16

Çap vərəqi:1.4
Sifariş № 25 . Tiraj 100

AzMİU
Nəşriyyat Poliqrafiya Mərkəzi
tel.: (012) 539 07 17

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АХМЕДОВ ЭЛМАР АГАКИШИ ОГЛЫ

УСТОЙЧИВОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ

3305.02 – «*Строителъная механика*»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой
степени доктора философии по техническим наукам

БАКУ – 2015

11. Əhmədov E.A. Ortotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla məxsusi rəqslər haqqında. Gənc tədqiqatçıların Beynəlxalq elmi konfransı. Bakı, 2013.s.367-368.

12.İsayev F.Q.,Əhmədov E.A.Qeyri-bircins ortotrop dairəvi lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlığı.// Journal of Qafqaz University. Mexanika və sənaye mühəndisliyi seriyası. 2013,v.1 №1 s.59-63.

13. İsayev F.Q.,Əhmədov E.A.Ü çlaylı kompozit materiallardan hazırlanmış dairəvi lövhələrin radial sıxılmada dayanıqlığı.//Journal of Qafqaz University. Mexanika və sənaye mühəndisliyi seriyası. 2014,v.2 №1 s.3-9.

/1,2,5,6,12,13/ məqalələrində həmmüəllif məsələnin qoyuluşunu təklif etmiş və alınmış nəticələri müzakirə etmişdir.Müəllif isə məsələnin həllini almış və hesabatlar aparmışdır.

Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı elmi məqalələrdə dərc olunmuşdur.

1. İsayev F.Q., Əhmədov E.A. Qeyribircins anizotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlığı haqqında. Nəzəri və Tətbiqi Mexanika.№2, 2009.s.3-5.
2. İsayev F.Q., Əhmədov E.A. Qeyribircins anizotrop düzbucaqlı lövhələrin həndəsi qeyri xəttiliyi və eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlığı haqqında. Nəzəri və Tətbiqi Mexanika . №4, 2009.s.3-6.
3. Əhmədov E.A. Qeyribircins ortotrop dairəvi lövhələrin dayanıqlığı haqqında. Bina və qurğuların dayanıqlığı. Bynəlxalq elmi-praktiki konfrans. Bakı. 2010.s.49-52.
4. Əhmədov E.A. Qeyribircins ortotrop lövhələrin qeyri xətti dayanıqlığı haqda. Gənc tədqiqatçıların Respublika konfransı. Bakı. 2010, s.46-47.
5. Isayev F.Q., Akhmedov E.A.The Stability of the Non-homogeneous Orthotropic Circular Plates with Transverse Shear deformation. Azerbaijan, Advances in Applied Mecanics and Modem Information Technology. Sep. 2011.p.187-191.
6. Isayev F.Q., Akhmedov E.A. The vibration of the nonhomogeneous Orthotropic plates with transverse shear deformation. Azerbaijan, AICT 2011-5 International conference. Okt. 12–14. 2011, p.330-333.
7. Ахмедов Э.А. Об устойчивости неоднородных ортотропных круговых пластинок при радиальном сжатии. //Журнал Техника и технология. Москва, 2011, №3, с.35-40.
8. Ахмедов Э.А. Об устойчивости трехслойных неоднородных пластинок Журнал Естественные и технические науки. Москва, 2013, № 2. с. 29-33.
9. Ахмедов Э.А. Об устойчивости и сейсмостойкости трехслойных неоднородных круглых пластинок под действием сейсмического воздействия. Журнал Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.Москва,2013,№02.с.44-45.
10. Əhmədov E.A. Qeyribircins ortotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla iki tərəfli sıxılmada dayanıqlığı haqqında. Journal of Qafqaz University. Mexanika və sənaye mühəndisliyi seriyası. 2012, №34. s.49-52.

DİSSERTASİYANIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: Nazik qalınlıqlı çubuq lövhə və örtüklər kimi konstruksiya elementləri müasir texnikanın bir çox sahələrində, sənaye və mülki tikintilərdə, maşınqayırmada, gəmiqayırmada, cihazqayırmada və s. kimi sahələrdə geniş tətbiq olunur. Bir çox hallarda belə elementlər qeyribircins anizotrop materiallardan hazırlanırlar.

Belə konstruksiya elementlərində əsas cəhət ondan ibarət olur ki, onların çəkiləri az və möhkəmlik xarakteristikaları yüksək olur.

Bu cür yükdaşıyan konstruksiya elementlərinin geniş istifadə olunması onların möhkəmlik, dayanıqlıq və rəqsləri məsələlərinin, materialın real xassələrini və iş rejimini nəzərə almaqla öyrənilməsi zərurətini yaradır. Eyni zamanda bu cür konstruksiyaların yükgötürmə qabiliyyətini artırmaq üçün onların möhkəmliyə və dayanıqlığa görə hesablamaları zamanı daha dəqiqləşdirilmiş hipotezalardan istifadə edilməsi tələb olunur.

Elmi ədəbiyyatda rast gəlinən nəzəri və eksperimental tədqiqat işlərinin analizi göstərir ki, nazik divarlı lövhə və qabıqların dayanıqlıq və rəqsləri məsələlərinin tədqiqində əsas məqamlardan biri eninə sürüşmə deformasiyalarının və materialların anizotropiya xarakteristikalarının nəzərə alınmasıdır. Bu cür faktorların nəzərə alınması konstruksiyaların əlavə ehtiyat göstəricilərini aşkar edir və onlardan daha optimal şəkildə istifadə etməyə imkan verir.

Yuxarıda deyilənləri diqqətə alaraq, qeyd etmək olar ki, dissertasiya işi çox vacib və **aktual bir problemə** həsr olunub.

Dissertasiya işinin məqsədi. İşin məqsədi anizotrop qeyribircins elastik materiallardan hazırlanmış düzbucaqlı və dairəvi lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını və həndəsi qeyri xəttiliyi nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələlərinin qoyuluşu və həllidir.

Dissertasiya işinin elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

– eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla anizotrop qeyribircins materiallardan hazırlanmış düzbucaqlı və dairəvi lövhələrin dayanıqlıq məsələlərinin ümumi şəkildə qoyuluşu və konkret praktiki əhəmiyyəti olan məsələlərin həlli;

– eninə sürüşmə deformasiyalarını və həndəsi qeyri xəttiliyi nəzərə almaqla anizotrop qeyribircins düzbucaqlı lövhələrin dayanıqlıq məsələsinin qoyuluşu və həlli;

– baxılan lövhələr üçün rəqslər məsələsinin qoyuluşu və həlli;

Dissertasiya işində alınmış nəticələrin etibarlılığı onunla əsaslandırılır ki, məsələnin qoyuluşunda ümumilikdə qəbul olunmuş kriteriya və hipotezalardan istifadə olunur. Məsələlərin həlli üsulları isə inşaat mexanikasında istifadə olunan sınanmış riyazi metodlardır.

Bəzi xüsusi hallarda isə alınmış nəticələr elmi ədəbiyyatda məlum məsələlərin həlli ilə üst-üstə düşür.

Dissertasiyada alınmış elmi nəticələrin **praktiki əhəmiyyəti** ondan ibarətdir ki, baxılan bütün məsələlərdə əsas kritik parametrlər üçün konkret analitik düsturlar alınmış və aparılmış hesabatların nəticələri xarakterik qrafiklər şəklində təqdim olunmuşdur.

Təqdim olunan bu nəticələrdən mühəndis-konstruktorlar asanlıqla istifadə edə bilərlər.

Dissertasiya işinin müzakirə vəziyyəti. Dissertasiya işinin əsas müddəaları Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin "Nəzəri mexanika və inşaat mexanikası" və "İnşaat konstruksiyaları" kafedralarının elmi seminarlarında (2009–2012), aspirant və gənc tədqiqatçıların Respublika elmi konfransında (Qafqaz Universiteti – 2013,2014), TC, Süleyman Dəmirəl Universiteti, Almaniyanın Karlsruhe Texnologiyalar İnstitutu, Gürcüstanın Beynəlxalq Qafqaz Universiteti, Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası, Odlar Yurdu Universiteti və Azərbaycan Rabitə və İnformasiya Texnologiyaları Nazirliyinin birlikdə təşkil etdiyi "Advanced in Applied Mechanics and Modern İnformation Technology" adlı Beynəlxalq Simpozium-da (Bakı, 2011), Bakı Dövlət Universiteti, Azərbaycan Texniki Universiteti, Qafqaz Universiteti və Azərbaycan Rabitə və İnformasiya Texnologiyaları Nazirliyinin birlikdə təşkil etdikləri "AICT-2011" 5-ci Beynəlxalq konfransında məruzə edilmişdir.

İşin dərci. Dissertasiya işinin əsas nəticələri müəllifin 13 elmi məqaləsində dərc olunmuşdur.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi :Dissertasiya işi girişdən, beş fəsildən, əsas nəticələrdən və istifadə olunmuş elmi ədəbiyyatın siyahısından ibarətdir. İşin həcmi 127 səhifədən ibarətdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Ümumi şəkildə qeyribircins ortotrop materiallardan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrdə eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq tənliklər sistemi alınmışdır.

2. Məsələnin bu cür qoyuluşunda baxılan lövhənin birtərəfli və ikitərəfli sıxılmaslnda dayanıqlıq məsələsi həll edilərək kritik qüvvələri təyin etmək üçün analitik formullar alınmışdır. Qeyribircinsliyin müxtəlif halları üçün ədədi hesabatlar aparılmış və xarakterik qrafiklər qurulmuşdur.

3. Qeyribircins ortotrop materiallardan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrdə eninə sürüşmə deformasıyalarını və həndəsi qeyrixəttiliyi nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələsi qoyulmuş və konkret məsələlər həll edilərək qüvvə parametri ilə əyinti arasındakı əlaqələr təyin edilmişdir.

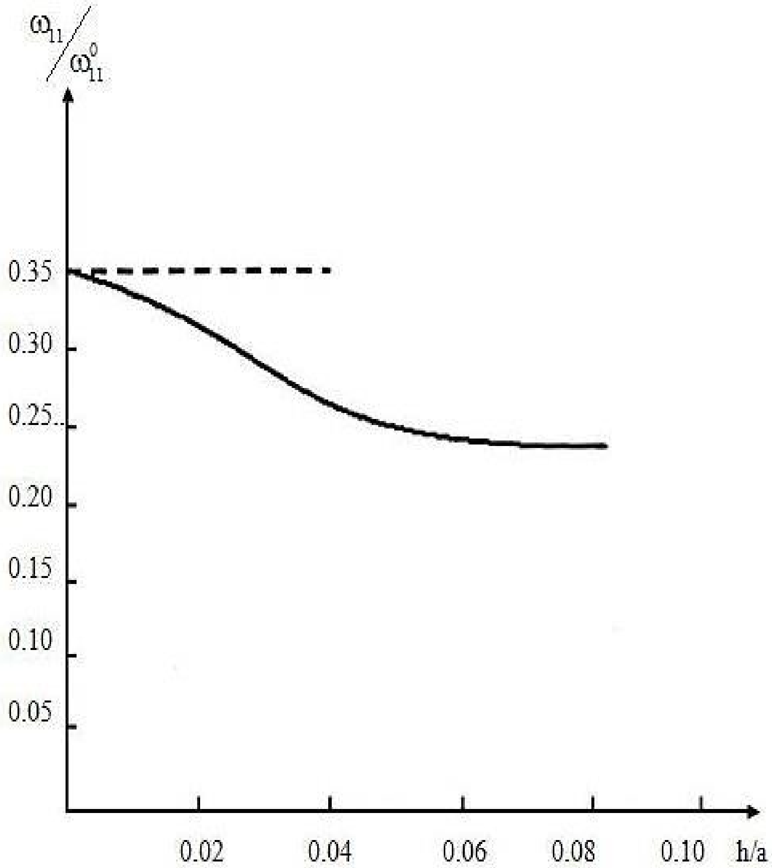
4. Məsələnin klassik qoyuluşunda ortotrop qeyribircins dairəvi lövhələrin radial sıxılmada dayanıqlılıq məsələsi qoyulmuş və müxtəlif qeyribircinslik halları üçün kritik parametrlər təyin edilmişdir.

5. Ortotrop qeyribircins dairəvi lövhələrdə eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələsi qoyulmuş və lövhənin radial sıxılmasında məsələ həll edilərək kritik qüvvə təyin edilmişdir.

6. Qeyribircins üçlaylı dairəvi lövhələrin ümumi halda dayanıqlıq məsələsi qoyulmuş və müxtəlif qeyribircinslik halları üçün məsələ həll edilərək kritik parametrlər üçün analitik formullar alınmış və hesabatlar aparılmışdır.

7. Qeyribircins ortotrop materiallardan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla rəqsləri məsələsinin ümumi şəkildə qoyuluşu verilmişdir. Baxılan lövhənin məxsusi rəqsləri məsələsi ətraflı tədqiq edilmiş və məxsusi rəqs tezliyi təyin edilmişdir.

8. Aparılmış çoxsaylı hesabatların analizi göstərir ki, bu tip məsələlərin həllində eninə sürüşmə deformasiyalarının və qeyribircinsliyin nəzərə alınmaması ciddi xətalara səbəb ola bilər.



Şəkil 4

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Dissertasiya işinin girişində mövzunun aktuallığı ,işin məqsədi və elmi yeniliyi açıqlanır və fəsillər üzrə işin qısa xülasəsi təqdim edilir.

Birinci fəsildə müxtəlif qeyribircins materiallardan hazırlanmış nazik qalınlıqlı konstruksiya elementlərinin daqanıqlığı və rəqsləri məsələlərinə həsr olunmuş əsas elmi ədəbiyyatın qısa xülasəsi verılmişdir.

Burada eyna zamanda qeyribircins cisimlərin elastiklik nəzəriyyəsinin bəzi fiziki münasibətləri və anizotrop cisimlərin elastik nəzəriyyəsinin bəzi əsas münasibətləri verilmişdir.

İkinci fəsil üç paraqrafdan ibarətdir və qeyribircins anizotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələlərinə həsr olunub.

Birinci paraqraf anizotrop qeyribircins elastik materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələsinin ümumi şəkildə qoyuluşuna həsr olunub. Burada fərz edilir ki, materialın elastiki xarakteristikaları qalınlıq koordinatının kəsilməz funksiyalarıdır:

$$a_{ij} = \overline{a}_{ij} \cdot A_i(z), \quad G_{ij} = \overline{G}_{ij} \cdot g_i(z), \qquad (1)$$

Eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə alan hipotezadan istifadə edilərsə, bu zaman fərz edilir ki, σ_{13} və σ_{23} toxunan gərginlikləri bu şəkildə dəyişirlər:

$$\sigma_{13} = f(z) \cdot \varphi(x,y), \sigma_{23} = f(z) \cdot \psi(x,y) \qquad (2)$$

Burada $\varphi(x,y)$, $\psi(x,y)$ – x,y koordinatlarının axtarılan funksiyalarıdır, f(z) isə σ_{13} və σ_{23} gərginliklərini qalınlıq boyu dəyişməsini xarakterizə edir.

Baxılan halda deformasiya komponentləri ilə yerdəyişmə komponentləri arasındakı əlaqələr aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u}{\partial x} - z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{J_0}{G_{13}} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x},$$

$$\varepsilon_{22} = \frac{\partial v}{\partial y} - z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{J_0}{G_{23}}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial y},$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - 2z\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y} + \frac{J_0}{G_{13}}\cdot\frac{\partial\varphi}{\partial y} + \frac{J_0}{G_{23}}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial x}. \qquad (3)$$

Burada : $J_0 = \int_0^z f(z)dz$; u,ν – lövhənin orta müstəvisinin nöqtəsinin tangensial yerdəyişmələridir, w – isə əyintidir.

(1)-(3)-ifadələri nəzərə alınaraq ümumi halda qüvvələr, momentlər və kəsici qüvvələrin ifadələri hesablanmiş və ümumiləşmiş sərtlik xarakteristikaları təyin edilmişdir.Alınmış ifadələr lövhənin tarazlıq tənliklərində diqqətə alınaraq axtarılan funksiyalara görə beş xüsusi törəməli dayanıqlıq tənliklər sistemi alınır.

$$L(u,v,w,\varphi,\psi)=0, \quad (i=1\text{-}5) \qquad (4)$$

Burada L-alınmış xüsusi törəməli differensial operatorlardır. Beləliklə u,v,w,φ, ψ - funksiyalarına görə (4) şəklində 5 xüsusi törəməli differensial tənliklər sistemi alındı. Bu sistemə baxılan lövhə üçün sərhəd şərtlərini əlavə etsək, qeyribircins anizotrop lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələsinin ümumi şəkildə riyazi qoyuluşunu alarıq.

Anizotrop lövhələr nəzəriyyəsindən məlumdur ki, məsələ həll edərkən burada əhəmiyyətli momentlərdən biri yuxarıda istifadə edilən $f(z)$ funksiyasının necə seçilməsidir.Elmi ədəbiyyatda bu funksiya üçün ən çox istifadə olunan ifadə aşağıdakı kimidir:

$$f(z) = \frac{1}{2}\left(\frac{h^2}{4} - z^2\right) \qquad (5)$$

Bu halda yuxarıda alınmış ifadələr nisbətən sadələşir.

İkinci paraqrafda baxılan düzbucaqlı lövhələrin birtərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Bu halda dayanıqlıq tənliklər sistemi nisbətən sadələşir. Əvvəlcə dayanıqlığın silindirik formada itməsi halına baxılır. Bu zaman dayanıqlıq tənliklər sistemi əyintiyə görə bir tənliyə gətirilir:

$$\left(C_{13} - C_{12}\frac{\beta_{23}}{\beta_{22}}\right)\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - T_{11}\frac{\tilde{A}_{11}^1}{J_2}\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \qquad (6)$$

$$+ T_{11}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$$

$$d_{11}\frac{\partial^3 w}{\partial x\partial y^2} + d_{12}\frac{\partial^3 F}{\partial x^3} + d_{13}\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + d_{14}\frac{\partial^3 w}{\partial x\partial y^2} + d_{15}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} +$$

$$+ d_{16}\frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y} + d_{17}\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = J_2\varphi,$$

$$d_{21}\frac{\partial^3 w}{\partial x^2\partial y} + d_{22}\frac{\partial^3 F}{\partial y^3} + d_{23}\frac{\partial^3 W}{\partial x^2\partial y} + d_{24}\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + d_{25}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} +$$

$$+ d_{26}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y} + d_{27}\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} = J_2\psi,$$

$$d_{31}\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + d_{32}\frac{\partial^4 F}{\partial x^2\partial y^2} + d_{33}\frac{\partial^4 F}{\partial y^4} + d_{34}\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} +$$

$$+ d_{35}\frac{\partial^4 W}{\partial x^2\partial y^2} + d_{36}\frac{\partial^2 W}{\partial x^4} = 0\cdot \qquad (18)$$

Lövhənin kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda (5.6) sisteminin həlli aşağıdakı şəkildə axtarılır:

$$W = W_{mn}Sin\lambda_n xSin\mu_m Y\,\mathrm{Cos}\omega_{mn}t, \quad F = f_{mn}Sin\lambda_n xSin\mu_m Y\,\mathrm{Cos}\omega_{mn}t,$$

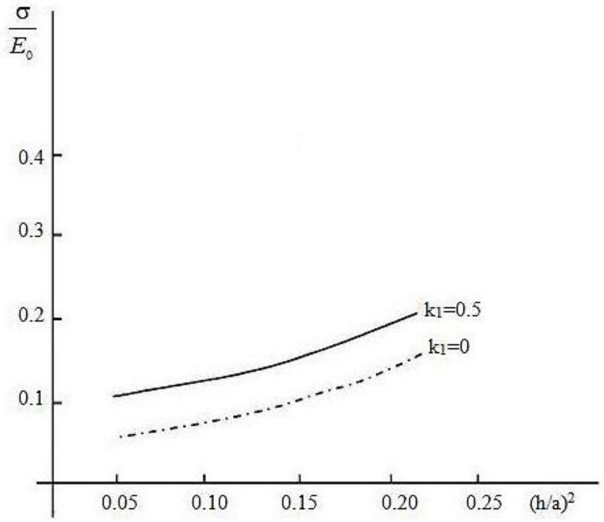
$$\varphi = \varphi_{mn}Cos\lambda_n xSin\mu_m Y\,\mathrm{Cos}\omega_{mn}t, \quad \psi = \psi_{mn}Sin\lambda_n Cos\mu_m Y\,\mathrm{Cos}\omega_{mn}t \qquad (19)$$

Burada ω_{min} – lövhənin məxsusi rəqslərinin tezliyidir.(19) ifadələrini (18)-sistemində yazaraq əmsallara görə xətti cəbri tənliklər sistemi alınır. Bu sistemin determinantını sıfra bərabər edərək lövhənin məxsusi rəqs tezliyini təyin etmək üçün aşağıdakı formulu alarıq:

$$\rho h\omega_{mn}^2 = (a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - c_1b_2a_3 - b_1c_3a_2)(b_2c_3 - c_2b_3)^{-1} \qquad (20)$$

Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesabatlar aparılmış və alınmış nəticələr şəkil 4-də göstərilmişdir.

Ədədi hesabatlar aparılan zaman parametrlərin aşağıdakı qiymətləri qəbul edilmişdir: $E_{10}/E_0=1$; $E_{20}/E_0=0.8$; $G_0/E_0=0.33$; a/b=1.



Şəkil 3

Dissertasiya işinin **beşinci fəsli** iki paraqrafdan ibarətdir və qeyribircins ortotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla rəqsləri məsələlərinə həsr olunub.

Birinci paraqrafda eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla lövhələrin rəqsləri məsələlərinin ümumi şəkildə qoyuluşuna baxılır. Qüvvə, moment və kəsici qüvvələr üçün ikinci fəsildə alınmış ifadələr lövhələrin hərəkət tənliklərində yazılır, ümumi halda hərəkət tənliklər sistemi alınır.

Ümumi halda bu hərəkət tənliklərindən istifadə etməklə müəyyən bir məsələ həll etmək çox çətin olur. Buna görə də məsələnin təqribi qoyuluşuna baxılır.

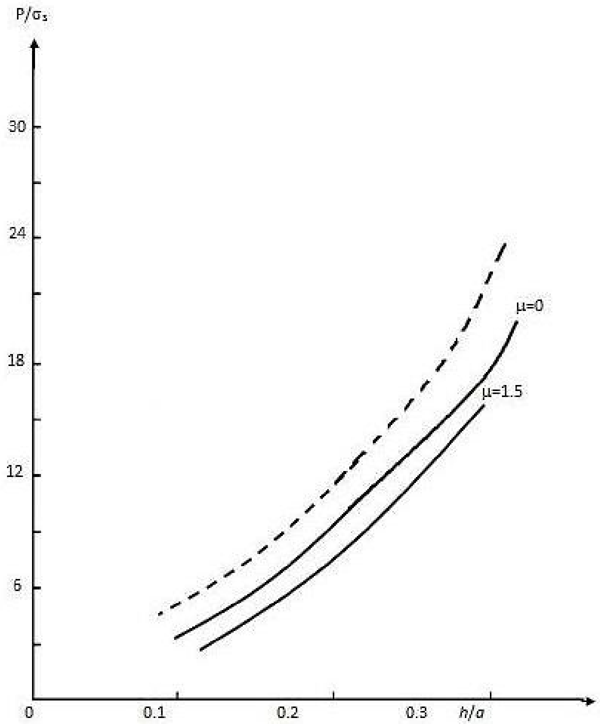
Məsələnin təqribi qoyuluşunda fərz edilir ki, bu sistemin birinci iki tənliyində ətalət qüvvələri çox kiçik olur və onları nəzərə almamaq olar və sistemdə fırlanma ətalət qüvvələrini də nəzərə almasaq baxılan məsələnin hərəkət tənliklər sistemi bəzi çevirmələrdən sonra aşağıdakı şəkildə alınar:

$$J_2\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}+\frac{\partial \psi}{\partial y}\right)=\rho h\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

Lövhənin kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda tənlik həll edilərək kritik qüvvə üçün formula alınmışdı

$$T_{11}=\left(C_{13}-C_{12}\frac{\beta_{23}}{\beta_{22}}\right)\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\left[l+\frac{\tilde{A}^1_{11}}{J_2}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\right]^{-1} \qquad (7)$$

Materialın qeyribircinslik funksiyaları qalınlıq koordinatının xətti funksiyaları olduğu halda ədədi hesabatlar aparılmış və xarakterik qrafiklər qurulmuşdur **(Şəkil-1.)**



Şəkil 1

----- eninə sürüşmə nəzərə alınmır, ___ eninə sürüşmə nəzərə alınır.

Ədədi hesabatlar aparılan zaman parametrlərin aşağıdakı qiymətləri qəbul edilmişdir: $E_{10}/E_0=1$; $E_{20}/E_0=0.8$; $G_0/E_0=0.33$; $a/b=1$.

Burada eyni zamanda dayanıqlığın ümumi şəkildə itməsi halına baxılmış və kritik qüvvə təyin edilmişdir.

Bu fəslin **üçüncü paraqrafında** baxılan düzbucaqlı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsi tədqiq edilir. Bu halda da lövhənin kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda axtarılan funksiyalar üçün məlum ifadələr qəbul edilir və onlar dayanıqlıq tənliklər sistemində yazılaraq, bəzi çevirmələrdən sonra əmsallara görə xətti cəbri tənliklər sistemi alınır. Bu sistemin determinantını sıfıra bərabər edərək, qüvvələrin kombinasiyasını təyin etmək üçün formula alınmışdır. Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesabatlar aparılmış və uyğun qrafiklər qurulmuşdur.

Dissertasiyanın **üçüncü fəsli** üç paraqrafdan ibarətdir və qeyribircins anizotrop düzbucaqlı lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını və həndəsi qeyri xəttiliyi nəzərə almaqla dayanıqlığı məsələlərinə həsr olunub.

Birinci paraqrafda məsələnin ümumi şəkildə qoyuluşuna baxılır. Burada fərz edilir ki, materialın elastiki xarakteristikaları, lövhənin orta müstəvi koordinatlarının və qalınlıq koordinatının funksiyalarının hasili şəklində göstərilir

Baxılan halda deformasiya komponentləri ilə yerdəyişmə komponentləri arasındakı əlaqələr, həndəsi qeyri xəttiliyi nəzərə aldıqda aşağıdakı şəkildə olur:

$$
\begin{aligned}
\varepsilon_{11} &= \frac{\partial u}{\partial x} - z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + J_0\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{G_{13}}\right)\varphi + \frac{J_0}{G_{13}}\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \\
\varepsilon_{22} &= \frac{\partial v}{\partial y} - z\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + J_0\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{G_{13}}\right)\psi + \frac{J_0}{G_{13}}\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \\
\varepsilon_{12} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - 2z\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + J_0\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{G_{13}}\right)\varphi + \frac{J_0}{G_{13}}\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \\
&+ J_0\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{G_{13}}\right)\psi + \frac{J_0}{G_{23}}\frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x}\cdot\frac{\partial w}{\partial y}
\end{aligned}
\tag{8}
$$

Ümumi halda qüvvələr, momentlər və kəsici qüvvələr təyin edilərək lövhənin tarazlıq tənliklərində yerinə yazılır və axtarılan funksiyalara görə dəyişən əmsallı qeyri-xətti xüsusi törəməli tənliklər sistemi alınır. Bu sistemə sərhəd şərtlərini əlavə etməklə məsələ-

$$
\begin{aligned}
& B_1^2\left[\frac{k_1}{a}\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \left(1 + k_1\frac{r}{a}\right)\frac{\partial^3 w}{\partial r^3}\right] - \\
& - \frac{C_1^2}{2}\frac{12}{h^3}T\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \\
& - B_2^2\left[-\frac{1}{2r^2}\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1 + k_1\frac{r}{a}}{r}\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}\right] + \\
& + \frac{C_2^2}{2}\frac{12}{h^3}T\left(-\frac{1}{r^2}\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}\right) + \frac{1}{r}\left\{-(B_1^2 - B_2^2)(1 + k_1\frac{r}{a})\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \right. \\
& - \frac{C_1^2 - C_2^2}{2}\frac{12}{h^3}T\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - (B_1^2 - B_2^2)(1 + k_1\frac{r}{a})\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r} - \\
& \left. - \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\frac{12}{h^3}T\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r}\right\} = T\frac{\partial w}{\partial r}
\end{aligned}
\tag{16}
$$

Lövhənin kənarları sərt bərkidildiyi halda bu tənlik Bubnov-Qalyorkin metodu ilə həll edilərək kritik qüvvə təyin edilir.

$$
\begin{aligned}
& \sigma\left[\frac{1}{6}\left(\frac{h}{a}\right) + 12C_1^{-2} + 4C_2^{-2}\right] = 4B_2^{-2}\left(\frac{1}{2} + \frac{40k_1}{105}\right) + \\
& + 4B_2^{-2}\left(\frac{1}{6} + \frac{4}{105}k_1\right) + \\
& + 8\left\{(B_1^{-2} - B_2^{-2})\left(\frac{1}{12} + \frac{2}{35}k_1\right) - 3(C_1^{-2} - C_2^{-2})\right\}
\end{aligned}
\tag{17}
$$

Parametrlərin aşağıdakı qiymətlərində hesablamalar aparılmışdır:

$\frac{E_r}{G} = 2.4$; $\frac{E_\theta}{G} = 2.8$; $\nu_r = 0.27$; $\nu_\theta = 0.25$ $\left(h/a\right)^2 \sim 0.05–0.25$.

Aparılmış hesabatların nəticələri şəkil 3-də göstərilmişdir. Burada sınıq xətlə məlum bircins məsələnin həlli göstərilmişdir.

edilir ki, elastiki xarakteristikalar radiusdan asılı deyil və qalınlıq koordinatlarının xətti funksiyalarıdır. Bu halda tənliklər sistemi sabit əmsallı olur və sadələşir. Burada da dayanıqlığın oxasimmetrik formada itməsi halına baxılaraq kritik qüvvə təyin edilmişdir.

Bu fəslin **üçüncü paraqrafında** ortotrop qeyribircins dairəvi lövhələrin eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Burada da fərz edilir ki, materialın elastiki xarakteristikaları radiusun və qalınlıq koordinatının kəsilməz funksiyalarıdır.

Baxılan halda deformasiyalarla yerdəyişmələr arasındakı əlaqələr aşağıdakı kimi olur:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r} - z\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\frac{1}{A_{33}}\cdot\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{r}\left[u - z\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\cdot\frac{1}{A_{33}}\varphi\right] + \frac{1}{r}\left[\frac{\partial \nu}{\partial \theta} - \frac{z}{r}\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\cdot\frac{1}{A_{33}}\frac{\partial \psi}{\partial \theta}\right],$$

$$\varepsilon_{r\theta} = \frac{1}{r}\left[\frac{\partial u}{\partial \theta} - z\frac{\partial^2 w}{\partial r\,\partial \theta} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\cdot\frac{1}{A_{33}}\frac{\partial \varphi}{\partial \theta}\right] + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{z}{r}\frac{\partial^2 w}{\partial r\,\partial \theta} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\cdot\frac{1}{A_{33}}\cdot\frac{\partial \psi}{\partial r} - \frac{1}{r}\left[v - \frac{z}{r}\frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{z}{2}\left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3}\right)\cdot\frac{1}{A_{33}}\psi\right] \quad (15)$$

Ümumi halda eninə sürüşmə deformasiyalarını nəzərə almaqla qüvvələr, momentlər və kəsici qüvvələr təyin edilərək dayanıqlıq tənliklər sistemi alınmışdır. Bu tənliklər sisteminə baxılan lövhə üçün sərhəd şərtlərini də əlavə etsək, məsələnin ümumi şəkildə qoyuluşunu alarıq. Bu tənliklərdən istifadə etməklə məsələ həll etmək çox çətinliklər törədir. Ona görə də müxtəlif xüsusi hallara baxılır. Baxılan lövhənin dayanıqlığının oxasimmetrik formada itməsi halı ətraflı tədqiq edilmişdir. Bu halda dayanıqlıq tənliklər sistemi nisbətən sadələşir. Xüsusi halda elastiki xarakteristikalar yalnız radiusun xətti funksiyaları olduğu halda əyintiyə görə alınmış dayanıqlıq tənliyi daha da sadələşir:

nin ümumi şəkildə qoyuluşu alınar.

Burada da konkret məsələ həll etmək üçün bəzi sadələşdirmələr aparılır. Fərz edilir ki, material ortotropdur və elastiki xarakteristikalar yalnız qalınlıq koordinatının funksiyalarıdır. Bu halda alınmış ifadələr və dayanıqlıq tənliklər sistemi nisbətən sadələşir və sabit əmsallı olur:

$$L(F,w,\varphi,\psi)=0\ ,\ (\ i=1\text{-}4\ ), \quad (9)$$

İkinci paraqrafda baxılan lövhənin birtərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Lövhənin kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda axtarılan funksiyalar üçün məlum ifadələr qəbul edilir:

$$W = w_{mn}\, Sin\ \lambda_n x Sin\ \mu_m y\ ,$$

$$F = f_{mn}\, Sin\ \lambda_n x Sin\ \mu_m y\ ,$$

$$\varphi = \varphi_{mn} Sin\lambda_n x Sin\mu_m y\ ,\ \psi = \psi_{mn} Sin\lambda_n x Sin\mu_m y\ . \quad (10)$$

Burada da $\lambda_n = \frac{n\pi}{a},\ \mu_m = \frac{n\pi}{b},\ a,b$ – lövhənin uzunluğu və enidir, m, n – isə bu istiqamətlərdə yarımdalğaların sayıdır.

(10) ifadələrini (9) sisteminin son üç tənliyində yerinə yazaraq, $w_{\rm mn}$, $f_{\rm mn}$, $\varphi_{\rm mn}$, $\psi_{\rm mn}$ – əmsallarına görə bəzi çevrilmələrdən sonra cəbri tənliklər sistemi alınır. Bu sistemdən $f_{\rm mn}$, $\varphi_{\rm mn}$, $\psi_{\rm mn}$ – əmsalları $w_{\rm mn}$ – əmsalı ilə ifadə olunaraq (9) sisteminin birinci tənliyi Bubnov-Qalyorkin metodu ilə həll edilir:

$$\int_0^a \int_0^b L(x,y)\, Sin\ \lambda_n x Sin\ \mu_m y dxdy = 0 \quad (11)$$

Burada

$$L(x,y) = J_2\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y}\right) + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + T_{11}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (12)$$

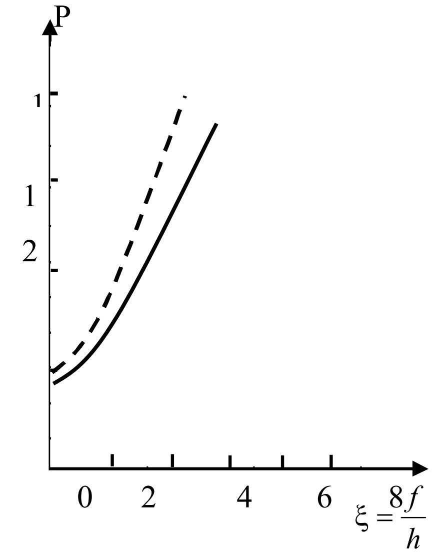
(11)-dan bəzi çevrilmələrdən sonra baxılan lövhənin tarazlıq vəziyyətini göstərən xarakteristik tənlik alınır:

$$P^* = \phi(P^*_{mn}, \lambda_n, \mu_m, w_{mn})\ , \quad (13)$$

Qeyribircinslik funksiyalarının qalınlıq koordinatının xətti funksiyaları olduğu halda ədədi hesabatlar aparılmış və “qüvvə-əyinti” əlaqəsi qurulmuşdur.

Ədədi hesabatlar aparmaq üçün parametrlərin aşağıdakı qiymətləri qəbul edilmişdir:μ=3, $E_{10}/E_0 = 1$, $E_{20}/E_0 = 0.8$, $G_0/E_0 = 0.33$, $a/b = 1$.

Aparılmış hesabatların nəticələri şəkil 2-də göstərilmişdir. Burada sınıq xətlə eninə sürüşmə deformasiyaları nəzərə alınmayan hal göstərilmişdir.



Şəkil 2

Üçüncü paraqrafda baxılan düzbucaqlı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Burada da ikinci paraqrafdakı metodikadan istifadə edilərək məsələ Bubnov-Qalyorkin metodu ilə həll edilmiş və qüvvə parametrləri ilə əyinti arasındakı əlaqə təyin edilmişdir.

İşin **dördüncü fəsli** üç paraqrafdan ibarətdir və qeyribircins ortotrop dairəvi lövhələrin dayanıqlıq məsələlərinə həsr olunub.

Birinci paraqrafda ortotrop qeyribircins dairəvi lövhələrin radial sıxılmada dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Məsələnin qoyuluşunda fərz edilir ki, materialın elastiki xarakteristikaları radiusun və qalınlıq koordinatının dəyişənlərinə ayrılan funksiyaları şəklindədir. Ümumi halda qüvvə və momentlərin ifadələri təyin edilir. Gərginlik funksiyasını məlum qayda ilə daxil edərək bəzi çevirmələrdən sonra əyintiyə və gərginlik funksiyasına görə iki dəyişən əmsallı dayanıqlıq tənliklər sistemi alınır. Konkret məsələ həll etmək üçün fərz edilir ki, materialın elastiki xarakteristikaları qalınlıq koordinatından asılı deyil və radiusun xətti funksiyalarıdır. Bu halda dayanıqlıq tənliklər sistemi sadələşir. Dayanıqlığın oxasimmetrik formada itməsi halı ətraflı tədqiq edilmişdir. Bu halda dayanıqlıq tənliyi bəzi çevirmələrdən sonra aşağıdakı şəkildə alınır:

$$(1+\mu\rho)\frac{d^4v}{d\rho^4} = \left[2\mu + \frac{\nu_\theta(1+\mu\rho)}{\rho} + \frac{2(1+\mu\rho)}{\rho} - \frac{\nu_r\varepsilon(1+\mu\rho)}{\rho}\right]$$
$$\frac{d^3v}{d\rho^3} + \left[\frac{2\nu_\theta\mu}{\rho} + \frac{2\mu}{\rho} - \frac{\nu_r\varepsilon\mu}{\rho}\right]\frac{d^3v}{d\rho^3}$$
$$+\left[\frac{\varepsilon(1+\mu\rho)}{\rho^3} - \frac{\varepsilon\mu}{\rho^2}\right]\frac{dv}{d\rho} +$$
$$+12\rho^*\left(\frac{d^2v}{d\rho^2} + \frac{1}{\rho}\frac{dv}{d\rho}\right) = 0 \qquad (14)$$

Burada aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$\rho = \frac{r}{R}, \quad V = \frac{w}{R}, \quad , \rho^* = -\frac{\sigma_2 R^2}{E_1 h^2} \cdot \varepsilon = \frac{E_2}{E_1}$$

Lövhənin kənarları möhkəm bərkidildiyi halda (14) dayanıqlıq tənliyi Bubnov-Qalyorkin metodu ilə həll edilərək kritik qüvvə təyin edilir. Parametrlərin müxtəlif qiymətlərində ədədi hesabatlar aparılmış və nəticələr qrafiki olaraq göstərilmişdir.

İkinci paraqrafda qeyribircins elastik materiallardan hazırlanmış üçlaylı dairəvi lövhələrin radial sıxılmada dayanıqlıq məsələsinə baxılır. Fərz edilir ki, orta lay ortotrop materialdan, kənar laylar isə izotrop materiallardan hazırlanıb və materialların elastiki xarakteristikaları radiusun və qalınlıq koordinatının kəsilməz funksiyalarıdır. Kirxhof-Lyav hipotezasının lövhənin bütün qalınlıq elementi üçün doğru olduğunu qəbul edərək ümumi halda qüvvə və momentlər təyin edilmişdir. Bu ifadələr dayanıqlıq tənliklər sistemində yazılaraq bəzi çevirmələrdən sonra əyintiyə və gərginlik funksiyasına görə iki dəyişən əmsallı tənliklər sistemi alınır. Məsələ həll edərkən qəbul