

Z.M.GÖYÜŞOV

**ORTOTROP ELASTİK-PLASTİK ÇOXLAYLI
LÖVHƏ VƏ QABIQLARIN DAYANIQLIĞI**

BAKI 2004

UOT 539.374

Elmi redaktoru: AMEA-nın müxbir üzvü, prof. M.F.Mehdiyev

Rəyçilər: f.r.e.d., prof. B.C.Hacıyev

t.e.d. prof. Ə.M.İsayev

539
985

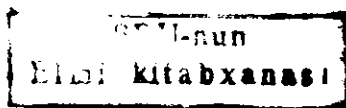
Göyüşov Z.M. Ortotrop elastik-plastik çoxlaylı lövhə və qabıqların dayanıqlığı, Bakı: Elm, 2004. - 136 s.

ISBN 5-8066-1650-9

Kitabda ikilaylı və üçlaylı elastik-plastik ortotrop materialdan hazırlanmış lövhələrin və qabıqların möhkəmliyə və dayanıqlığın hesablanma nəzəriyyəsi verilmişdir. Baxılan məsələlərdə fərz edilir ki, Kirxhof-Lyav hipotezası elementin bütün qalınlıq paketi üçün doğrudur. Bu imkan verir ki, baxılan çoxlaylı konstruksiyaların dayanıqlıq məsələlərini ümumiləşmiş konstruktiv qeyri bircins məsələlərin həllinə gətirilsin. Kitabda ümumi nəzəriyyə ilə əlaqədar çox sayda konkret məsələlərin həlli verilmiş və müxtəlif variantlara baxılmışdır.

Kitab cisimlər mexanikası, dayanıqlıq nəzəriyyəsi və inşaat mexanikası sahələrində tədqiqat aparən elmi işçilər və mühəndis-konstruktorlar üçün nəzərdə tutulmuşdur, lakin ondan bu sahədə aspirantlar və magistrilər də istifadə edə bilərlər.

G $\frac{3301000000}{655(07) - 2004}$



© «Elm» nəşriyyatı, 2004

MÜNDƏRİCAT

Giriş.....	5
I Fəsil. İkilaylı elastik-plastik lövhə və qabıqların dayanıqlıq məsələləri	7
§1.1. Ümumi halda qüvvə və momentlərlə deformatsiya əyintilər arasındakı əlaqələrin təyin edilməsi	7
§1.2. İkilaylı qabıqlar və lövhələr üçün tarazlıq tənliklərinin alınması.....	16
§1.3. İkilaylı lövhələrin bir tərəfli sıxılmada dayanıqlığı.....	22
§1.4. İkilaylı lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı.....	30
§1.5. İkilaylı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlığı.....	36
§1.6. İkilaylı lövhələrin birtərəfli sıxılmada və sürüşmədə dayanıqlığı.....	40
§1.7. İkilaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı.....	46
§1.8. İkilaylı silindrik örtüklərin sıxılmada dayanıqlığı.....	48
§1.9. İkilaylı dairəvi silindrik qabıqları kombinasiyalı yüklərin təsirindən dayanıqlığı.....	50
§1.10. İkilaylı qabıqların dayanıqlıq məsələsinin yerdəyişmələrdə qoyuluşu.....	52
II Fəsil. Üçlaylı elastik-plastik ortotrop lövhə və qabıqların dayanıqlıq məsələləri (I variant).....	58
§2.1. Üçlaylı lövhə və qabıqlar üçün əsas münasibətlərin alınması.....	58
§2.2. Üçlaylı qabıqlar və lövhələr üçün tarazlıq tənliklərinin alınması.....	66
§2.3. Üçlaylı lövhələrin birtərəfli sıxılmada dayanıqlığı.....	71
§2.4. Üçlaylı lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı.....	77
§2.5. Üçlaylı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlığı.....	79
§2.6. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı.....	84

§2.7. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılda və xarici təzyiq altında dayanıqlığı.....	85
III Fəsil. İkilaylı plastik ortotrop lövhə və qabıqların dayanıqlığı.....	87
§3.1. Ümumi halda əsas münasibətlərin alınması.....	87
§3.2. İkilaylı plastik ortotrop lövhə və qabıqların tarazlaq tənliklərinin alınması.....	93
§3.3. İkilaylı plastik lövhələrin birtərəfli sıxılda dayanıqlığı.....	98
§3.4. İkilaylı plastik lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı.....	101
§3.5. İkilaylı plastik lövhələrin ikitərəfli sıxılda dayanıqlığı.....	103
§3.6. İkilaylı plastik qabıqların oxboyu sıxılda dayanıqlığı.....	105
§3.7. İkilaylı plastik örtüklərin sıxılda dayanıqlığı.....	107
§3.8. İkilaylı plastik silindrik qabıqların oxboyu sıxılda və xarici təzyiq altında dayanıqlığı.....	107
IV Fəsil. Üçlaylı elastik-plastik ortotrop lövhə və qabıqların dayanıqlıq məsələləri (II variant).....	109
§4.1. Üçlaylı lövhə və qabıqlar üçün əsas münasibətlərin alınması.....	109
§4.2. Tarazlıq tənliklərinin alınması.....	115
§4.3. Üçlaylı lövhələrin birtərəfli sıxılda dayanıqlığı.....	120
§4.4. Üçlaylı lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı.....	124
§4.5. Üçlaylı lövhələrin ikitərəfli sıxılda dayanıqlığı.....	126
§4.6. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılda dayanıqlığı.....	129
§4.7. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılda və xarici təzyiq altında dayanıqlığı.....	131
İstifadə olunan ədəbiyyat.....	133

GİRİŞ

Nazıqqalınlıqlı konstruksiya elementləri texnikanın bir çox sahələrində geniş tətbiq olunur. Bu tip konstruksiyalarda ən vacib məsələlərdən biri onların çəkələrinin az olması, yeni materiala qənaət edilməsi, eyni zamanda onların möhkəmlik xarakteristikalarının yüksək olmasıdır. Son illərdə bir çox sünii və kompozit materialların geniş istifadə edilməsi ilə əlaqədar olaraq, metallara qənaət etmək məqsədi ilə nazıqqalınlıqlı konstruksiyalar çoxlaylı konstruksiyalar şəklində istehsal olunmağa başlamışdır. Praktikada ən çox istifadə edilən belə konstruksiyalar iki və üçlaylı, çubuqlar, lövhələr və qabıqlardır. Belə konstruksiyalarda uyğun layların qalınlıqlarını və həndəsi ölçülerini elə tənzim etmək olur ki, konstruksiyanın bütöv çəkisi azalmış olsun və lazım olan möhkəmlik təmin edilsin.

Belə konstruksiyaların hazırlandıqları materiallar bir çox hallarda ortotropiya xassəsinə malik olur və laylardan biri və ya bəzən bir neçəsi plastik deformasiyaya uğrayır. Bu səbəbdən bir çox bu tipli konstruksiya elementlərinin möhkəmliyə görə hesabətında plastik deformasiyaların nəzərə alınması qaçınılmazdır.

Təqdim olunan monoqrafiyada ortotrop elastik-plastik materiallardan hazırlanmış ikilaylı və üçlaylı lövhə və qabıqların möhkəmliyə və dayanıqlığa görə hesabətı üçün mühəndis üsullarının nəzəri əsasları işlənmişdir.

Burada fərz edilir ki, konstruksiyanın həndəsi və fiziki xarakteristikaları arasındakı münasibətlər elədir ki, çoxlaylı elementin bütöv qalınlığı üçün Kirxhof-Lyav hipotezası istifadə oluna bilər.

Monqrafiya dörd fəsildən ibarətdir.

Birinci fəsildə ortotrop elastik-plastik materialdan

hazırlanmış ikilaylı lövhə və qabıqların dayanıqlıq məsələsi tədqiq edilir. Fərz edilir ki, laylardan biri elastiki digəri isə plastiki deformasiyaya uğrayır.

İkinci fəsildə analogi məsələlər üçlaylı konstruksiya elementləri üçün araşdırılır. Burada fərz edilir ki, kənar laylar plastiki oblastda, orta lay isə elastiki oblastda deformasiyaya uğrayır.

Üçüncü fəsildə fərz edilir ki, ikilaylı lövhə və qabıqlarda hər iki lay plastiki deformasiyaya uğrayır.

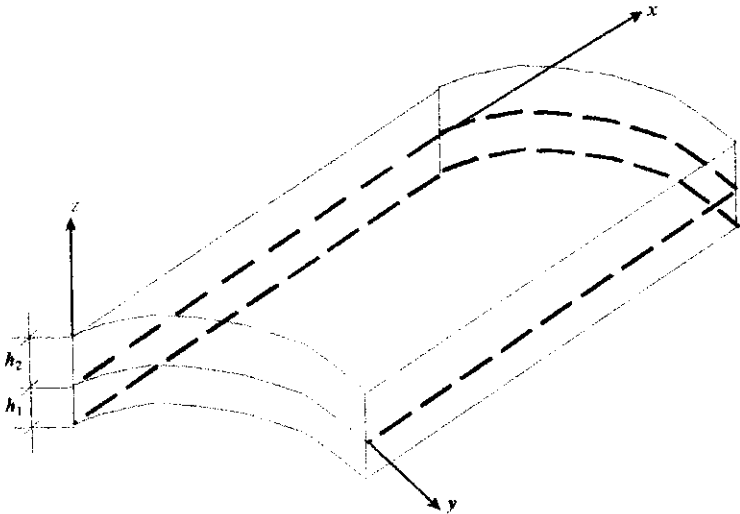
Dördüncü fəsildə isə ikinci fəsildəki məsələlər digər hal üçün tədqiq edilir. Fərz edilir ki, üçlaylı lövhə və qabıqlarda kənar laylar elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayır.

I FƏSİL İKİLAYLI ELASTİK-PLASTİK ORTOTROP LÖVHƏ VƏ QABIQLARIN DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİ

§1.1. Ümumi halda qüvvə və momentlərlə deformasiya-əyintilər arasındakı əlaqələrin təyin edilməsi

İkilaylı dairəvi silindrik qabıqların (lövhələrin) kombinasiyalı yükləmənin (T_{11}, T_{22}, T_{12}) təsirindən dayanıqlıq vəziyyətini tədqiq edək.

Fərz edilir qabığın layları müxtəlif bircins ortotrop materialdan hazırlanıb və laylardan biri edastiki oblastda digəri isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayır. Koordinat sistemi aşağıdakı kimi seçilmişdir: Ox və Oy oxları qabığın laylarını ayıran orta səthdə (lövhələr üçün orta müstəvidə) yerləşir, Oz - oxu isə bunlara perpendikulyar yönəlib (şəkil 1).



Şəkil 1.

Plastiki layda materialın elastik -plastik xassələrini xarakterizə etmək üçün deformasiyalı plastiklik nəzəriyyəsi tipli fiziki hal tənliklərindən istifadə edilir [24]. Bu halda gərginlik və deformasiya tenzorlarının komponentləri arasındakı asılılıq aşağıdakı şəkildə olur.

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} (\alpha \varepsilon_x + \beta \varepsilon_y) \\ \sigma_y &= \frac{E_c}{(\alpha - \beta^2)} (\varepsilon_y + \beta \varepsilon_x), \quad \tau_{xy} = \frac{2}{\gamma} E_c \varepsilon_{xy} \quad (1.1)\end{aligned}$$

Burada α, β, γ - materialın ortotropiya xarakteristikalarıdır; $E_c = \frac{\sigma_n}{\varepsilon_n}$, $\sigma_n = \phi(\varepsilon_n)$ diaqramının cari moduludur; σ_n və ε_n - uyğun olaraq gərginlik və deformasiyaların intensivlikləridir və aşağıdakı formullarla hesablanırlar.

$$\begin{aligned}\sigma_n^2 &= \sigma_x^2 + \alpha \sigma_y^2 - 2\beta \sigma_x \sigma_y + \gamma \tau_{xy}^2 \\ \varepsilon_n^2 &= \frac{1}{\alpha - \beta^2} \left[\alpha \varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + 2\beta \varepsilon_x \varepsilon_y + 4 \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \varepsilon_{xy}^2 \right] \quad (1.2)\end{aligned}$$

İzotrop material üçün $\alpha = 1, \beta = 1/2, \gamma = 3$ olur. Elastiki layda analogi münasibətlər aşağıdakı şəkildə olur.

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 \varepsilon_x + \beta_1 \varepsilon_y) \\ \sigma_y &= \frac{E_1}{(\alpha_1 - \beta_1^2)} (\varepsilon_y + \beta_1 \varepsilon_x), \quad \tau_{xy} = \frac{2}{\gamma_1} E_1 \varepsilon_{xy} \quad (1.3)\end{aligned}$$

Qabıqların (lövhələrin) böhran vəziyyətinin tarazlıq

tenliklerini əldə etmək üçün hər bir lay üçün gərginliklərlə deformasiyaların variasiyaları arasındakı asılılıqları təyin etmək lazımdır.

Plastik lay üçün (1.1) formullarından alınır ($0 \leq z \leq h_2$)

$$\begin{aligned}\delta \sigma_x &= \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x}{\sigma_n} q \delta \varepsilon_n + \alpha \delta \varepsilon_x + \beta \delta \varepsilon_y \right], \\ \delta \sigma_y &= \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_y}{\sigma_n} q \delta \varepsilon_n + \delta \varepsilon_y + \beta \delta \varepsilon_x \right], \\ \delta \tau_{xy} &= \frac{2E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} q \delta \varepsilon_n + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \delta \varepsilon_{xy} \right],\end{aligned}\quad (1.4)$$

burada $q = \frac{\varepsilon_n}{E_c} \frac{d}{d\varepsilon_n} (E_c)$ əvəzləməsi edilmişdir.

Elastiki lay üçün (1.3) formullarından alınır ($-h_1 \leq z \leq 0$):

$$\begin{aligned}\delta \sigma_x &= \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 \delta \varepsilon_x + \beta_1 \delta \varepsilon_y), \\ \delta \sigma_y &= \frac{E_1}{(\alpha_1 - \beta_1^2)} (\delta \varepsilon_y + \beta_1 \delta \varepsilon_x), \\ \delta \tau_{xy} &= \frac{2}{\gamma_1} E_1 \delta \varepsilon_{xy}\end{aligned}\quad (1.5)$$

Fərz edək ki, Kirxhof - Lyav hipotezası elementin bütün qalınlığı üçün doğrudur, yəni

$$\delta \varepsilon_x = l_x + z \chi_x, \quad \delta \varepsilon_y = l_y + z \chi_y, \quad \delta \varepsilon_{xy} = l_{xy} + z \chi_{xy} \quad (1.6)$$

burada l_x, l_y, l_{xy} və $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$ – orta səthin deformasiyalannın və əyintilərinin sonsuz kiçik dəyişmələridir.

(1.6) ifadələrini (1.4) və (1.5)-də yerinə yazaraq gerginliklərin variasiyaları üçün alarıq:

plastiki oblastda:

$$\begin{aligned} \delta \sigma_x &= \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left\{ (\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x}{\sigma_n} q \cdot [\Pi(\sigma, l) + z\Pi(\sigma, \chi)] + \right. \\ &\quad \left. + (\alpha l_x + \beta l_y) + z(\alpha \chi_x + \beta \chi_y) \right\}, \\ \delta \sigma_y &= \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left\{ (\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_y}{\sigma_n} q \cdot [\Pi(\sigma, l) + z\Pi(\sigma, \chi)] + \right. \\ &\quad \left. + (l_y + \beta l_x) + z(\chi_y + \beta \chi_x) \right\}, \\ \delta \tau_{xy} &= \frac{2 E_c}{\alpha - \beta^2} \left\{ (\alpha - \beta^2) \frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} q \cdot [\Pi(\sigma, l) + z\Pi(\sigma, \chi)] + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} (l_{xy} + z\chi_{xy}) \right\} \quad (1.7) \end{aligned}$$

burada aşağıdakı əvəzləmələr aparılmışdır:

$$\begin{aligned} \Pi(\sigma, l) &= \frac{\sigma_x}{\sigma_n} l_x + \frac{\sigma_y}{\sigma_n} l_y + 2 \frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} l_{xy}, \\ \Pi(\sigma, \chi) &= \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \chi_x + \frac{\sigma_y}{\sigma_n} \chi_y + 2 \frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \chi_{xy} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Elastiki oblast üçün alarıq:

$$\delta \sigma_x = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[\alpha_1 l_x + \beta_1 \varepsilon_y + z(\alpha_1 \chi_x + \beta_1 \chi_y) \right],$$

$$\delta \sigma_y = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[l_y + \beta_1 l_x + z (\chi_y + \beta_1 \chi_x) \right], \quad (1.9)$$

$$\delta \tau_{xy} = \frac{2}{\gamma_1} E_1 (l_{xy} + z \chi_{xy})$$

Gerginliklərin variasiyaları təyin edildikdən sonra qüvvə və momentlərin variasiyaları aşağıdakı ifadələrin köməyi ilə hesablanırlar:

$$\delta T_i = \int_{-h_1}^0 \delta \sigma_i d z + \int_0^{h_2} \delta \sigma_i d z \quad (1.9 a)$$

$$\delta M_i = \int_{-h_1}^0 \delta \sigma_i z d z + \int_0^{h_2} \delta \sigma_i z d z, \quad (i \rightarrow x, y, xy)$$

(1.7), (1.9) ifadələrini (1.9 a) bərabərliklərində yerinə yazaraq bəzi çevirmələrdən sonra qüvvələrin variasiyaları üçün alırıq:

$$\delta T_x = a_{11} l_x + a_{12} l_y + a_{13} l_{xy} + b_{11} \chi_x + b_{12} \chi_y + b_{13} \chi_{xy},$$

$$\delta T_y = a_{21} l_x + a_{22} l_y + a_{23} l_{xy} + b_{21} \chi_x + b_{22} \chi_y + b_{23} \chi_{xy}, \quad (1.10)$$

$$\delta T_{xy} = a_{31} l_x + a_{32} l_y + a_{33} l_{xy} + b_{31} \chi_x + b_{32} \chi_y + b_{33} \chi_{xy}$$

Bu bərabərliklərdə aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$a_{11} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right.$$

$$\left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21} \right\},$$

$$a_{12} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \beta \right] \delta_{21} \right\},$$

$$a_{13} = 2E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2,$$

$$b_{11} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{12} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\beta_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q + \beta \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{13} = E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2^2,$$

$$a_{21} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q + \beta \right] \delta_{21} \right\},$$

$$a_{23} = 2E_c \cdot \frac{\sigma_y \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2,$$

$$a_{22} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + 1 \right] \delta_{21} \right\},$$

$$b_{21} = b_{12},$$

$$b_{22} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + 1 \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{23} = E_c \cdot \frac{\sigma_y \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2^2,$$

$$a_{31} = a_{13}, \quad a_{32} = a_{23},$$

$$a_{33} = \frac{2E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21} \right\}$$

$$b_{31} = b_{13}, \quad b_{32} = b_{23}$$

$$b_{33} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^2 \right\},$$

$$\bar{E}_c = \frac{E_c}{E_1}, \quad \delta_{21} = \frac{h_2}{h_1} \quad (1.11)$$

Azaloji üsulla momentlerin variyasiyalari için aşağıdaki formulları alarız:

$$\begin{aligned} \delta M_x &= A_{11} l_x + A_{12} l_y + A_{13} l_{xy} + B_{11} \chi_x + B_{12} \chi_y + B_{13} \chi_{xy}, \\ \delta M_y &= A_{21} l_x + A_{22} l_y + A_{23} l_{xy} + B_{21} \chi_x + B_{22} \chi_y + B_{23} \chi_{xy}, \\ \delta M_{xy} &= A_{31} l_x + A_{32} l_y + A_{33} l_{xy} + B_{31} \chi_x + B_{32} \chi_y + B_{33} \chi_{xy} \end{aligned} \quad (1.12)$$

Bu formullarda aşağıdaki övezlemeler edilmiştir:

$$\begin{aligned} A_{11} &= \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\}, \\ A_{12} &= \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\beta_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q + \beta \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\}, \\ A_{13} &= 2 E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot \frac{h_2^2}{3} \\ B_{11} &= \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21}^3 \right\}, \end{aligned}$$

$$B_{12} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_y}{\sigma_n} \cdot q + \beta \right] \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{13} = 2 E_c \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \cdot q \cdot \frac{h_2^3}{3},$$

$$A_{21} = A_{12},$$

$$A_{22} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + 1 \right] \delta_{21}^2 \right\},$$

$$A_{23} = E_c \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \cdot q \cdot h_2^2,$$

$$B_{21} = B_{12},$$

$$B_{22} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + 1 \right] \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{23} = 2 E_c \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \cdot q \cdot \frac{h_2^3}{3},$$

$$A_{31} = A_{13}, A_{32} = A_{23},$$

$$\begin{aligned}
A_{33} &= \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \right\} \times \\
&\times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^2 \Big\} \\
B_{33} &= \frac{2 E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \right\} \times \\
&\times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^3 \Big\} \\
B_{31} &= B A_{13}, B_{32} = B_{23}, \tag{1.13}
\end{aligned}$$

Beləliklə qüvvə və momentlərin variasiyaları ilə deformasiya və əyintilər arasındakı əlaqələri (1.10) və (1.12) formulları ilə təyin edilir. Bu formulların köməyi ilə baxılan qabıqların (lövhələrin) dayanıqlıq tənliklərini ala bilərik.

§ 1.2. İxtilaylı qabıqlar və lövhələr üçün tarazlıq tənliklərinin alınması

Məlumdur ki, dairəvi silindrik qabıqların dayanıqlıq tənlikləri sistemi aşağıdakılardan ibarətdir:

a) Qüvvələrin tarazlıq tənlikləri:

$$\frac{\partial \delta T_x}{\partial x} + \frac{\partial \delta T_{xy}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \delta T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \delta T_y}{\partial y} = 0 \quad (1.14)$$

b) Momentlərin tarazlıq tənliyi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \delta M_y}{\partial y^2} - T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \\ - T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\delta T_y}{R} = 0 \end{aligned} \quad (1.15)$$

c) Deformasiyalarnın birgəlik şərtləri:

$$\frac{\partial^2 l_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 l_y}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 l_{xy}}{\partial x \partial y} = - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (1.16)$$

Burada R qabığın orta səthinin radiusu, w –əyintidir. Əgər gərginlik funksiyasını aşağıdakı şəkildə qəbul etsək

$$\delta T_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}, \quad \delta T_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}, \quad \delta T_{xy} = - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \quad (1.17)$$

bu halda (1.14) sistemi eynilik kimi ödənilir.

Digər tənlikləri tərtib etmək üçün (1.10) münasibətlərindən l_x, l_y, l_{xy} kəmiyyətlərini təyin etmək lazımdır. Bezi çevirmələrdən sonra bunlar üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$\begin{aligned} l_x &= c_{11} \delta T_x + c_{12} \delta T_y + c_{13} \delta T_{xy} - L_{11} \chi_x - L_{12} \chi_y - L_{13} \chi_{xy}, \\ l_y &= c_{21} \delta T_x + c_{22} \delta T_y + c_{23} \delta T_{xy} - L_{21} \chi_x - L_{22} \chi_y - L_{23} \chi_{xy}, \\ l_{xy} &= c_{31} \delta T_x + c_{32} \delta T_y + c_{33} \delta T_{xy} - L_{31} \chi_x - L_{32} \chi_y - L_{33} \chi_{xy} \end{aligned} \quad (1.18)$$

burada aşağıdaki işaretler kabul edilmiştir.

$$c_{11} = \frac{1}{\Delta} (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}),$$

$$c_{12} = \frac{1}{\Delta} (a_{13} a_{32} - a_{12} a_{33}),$$

$$c_{13} = \frac{1}{\Delta} (a_{12} a_{23} - a_{22} a_{13}),$$

$$c_{21} = \frac{1}{\Delta} (a_{23} a_{31} - a_{21} a_{33}),$$

$$c_{22} = \frac{1}{\Delta} (a_{11} a_{33} - a_{13} a_{31}),$$

$$c_{23} = \frac{1}{\Delta} (a_{13} a_{21} - a_{11} a_{23}),$$

$$c_{31} = \frac{1}{\Delta} (a_{21} a_{32} - a_{22} a_{31}),$$

$$c_{32} = \frac{1}{\Delta} (a_{12} a_{31} - a_{11} a_{32}),$$

$$c_{33} = \frac{1}{\Delta} (a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21})$$

$$L_{11} = \frac{1}{\Delta} \left[b_{11} (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}) - b_{21} (a_{12} a_{33} - a_{13} a_{32}) + \right. \\ \left. + b_{31} (a_{12} a_{23} - a_{22} a_{13}) \right],$$

$$L_{12} = \frac{1}{\Delta} \left[b_{12} (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}) - b_{22} (a_{12} a_{33} - a_{13} a_{32}) + \right. \\ \left. + b_{32} (a_{12} a_{23} - a_{22} a_{13}) \right],$$

$$\begin{aligned}
L_{13} &= \frac{1}{\Delta} \left[b_{13} (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}) - b_{23} (a_{12} a_{33} - a_{13} a_{32}) + \right. \\
&\quad \left. + b_{33} (a_{12} a_{23} - a_{22} a_{13}) \right] \\
L_{21} &= \frac{1}{\Delta} \left[-b_{11} (a_{21} a_{33} - a_{23} a_{31}) + b_{21} (a_{11} a_{33} - a_{13} a_{31}) - \right. \\
&\quad \left. - b_{31} (a_{11} a_{23} - a_{13} a_{21}) \right], \\
L_{22} &= \frac{1}{\Delta} \left[-b_{12} (a_{21} a_{33} - a_{23} a_{31}) + b_{22} (a_{11} a_{33} - a_{13} a_{31}) - \right. \\
&\quad \left. - b_{32} (a_{11} a_{23} - a_{13} a_{21}) \right], \\
L_{23} &= \frac{1}{\Delta} \left[-b_{13} (a_{21} a_{33} - a_{23} a_{31}) + b_{23} (a_{11} a_{33} - a_{13} a_{31}), \right. \\
&\quad \left. - b_{33} (a_{11} a_{23} - a_{13} a_{21}), \right] \\
L_{31} &= \frac{1}{\Delta} \left[b_{11} (a_{12} a_{32} - a_{22} a_{31}) - b_{21} (a_{11} a_{32} - a_{12} a_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + b_{31} (a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}) \right], \\
L_{32} &= \frac{1}{\Delta} \left[b_{12} (a_{12} a_{32} - a_{22} a_{31}) - b_{22} (a_{11} a_{32} - a_{12} a_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + b_{32} (a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}), \right] \\
L_{33} &= \frac{1}{\Delta} \left[b_{13} (a_{12} a_{32} - a_{22} a_{31}) - b_{23} (a_{11} a_{32} - a_{12} a_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + b_{33} (a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}) \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \quad (1.19)$$

(1.18) ifadelerini momentlerin (1.12) münasibetlerinde yerine

yazaraq aşağıdakı formulları alanq:

$$\begin{aligned}\delta M_x &= r_{11} \delta T_x + r_{12} \delta T_y + r_{13} \delta T_{xy} + R_{11} \chi_x + R_{12} \chi_y + R_{13} \chi_{xy}, \\ \delta M_y &= r_{21} \delta T_x + r_{22} \delta T_y + r_{23} \delta T_{xy} + R_{21} \chi_x + R_{22} \chi_y + R_{23} \chi_{xy}, \\ \delta M_{xy} &= r_{31} \delta T_x + r_{32} \delta T_y + r_{33} \delta T_{xy} + R_{31} \chi_x + R_{32} \chi_y + R_{33} \chi_{xy},\end{aligned}\quad (1.20)$$

Bu formullarda aşağıdakı əvəzləmələr aparılmışdır:

$$r_{11} = A_{11} c_{11} + A_{12} c_{21} + A_{13} c_{31},$$

$$r_{12} = A_{11} c_{12} + A_{12} c_{22} + A_{13} c_{32},$$

$$r_{13} = A_{11} c_{13} + A_{12} c_{23} + A_{13} c_{33},$$

$$R_{11} = B_{11} - A_{11} L_{11} - A_{12} L_{21} - A_{13} L_{31},$$

$$R_{12} = B_{12} - A_{11} L_{12} - A_{12} L_{22} - A_{13} L_{32},$$

$$R_{13} = B_{13} - A_{11} L_{13} - A_{12} L_{23} - A_{13} L_{33}$$

$$r_{21} = A_{21} C_{11} + A_{22} C_{21} + A_{23} C_{31},$$

$$r_{22} = A_{21} C_{12} + A_{22} C_{22} + A_{23} C_{32},$$

$$r_{23} = A_{21} C_{13} + A_{22} C_{23} + A_{23} C_{33},$$

$$R_{21} = B_{21} - A_{21} L_{11} - A_{22} L_{21} - A_{23} L_{31},$$

$$R_{22} = B_{22} - A_{21} L_{12} - A_{22} L_{22} - A_{23} L_{32},$$

$$R_{23} = B_{23} - A_{21} L_{13} - A_{22} L_{23} - A_{23} L_{33},$$

$$r_{31} = A_{31} C_{11} + A_{32} C_{21} + A_{33} C_{31},$$

$$r_{32} = A_{31} C_{12} + A_{32} C_{22} + A_{33} C_{32},$$

$$r_{33} = A_{31}C_{13} + A_{32}C_{23} + A_{33}C_{33},$$

$$\begin{aligned} R_{31} &= B_{31} - A_{31}L_{11} - A_{32}L_{21} - A_{33}L_{31}, \\ R_{32} &= B_{32} - A_{31}L_{12} - A_{32}L_{22} - A_{33}L_{32}, \\ R_{33} &= B_{33} - A_{31}L_{13} - A_{32}L_{23} - A_{33}L_{33} \end{aligned} \quad (1.21)$$

(1.17), (1.20) ifadelerini ve

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \chi_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (1.22)$$

olduğunu nezere alsaq bazı çevirmelerden sonra (1.15) ve (1.16) tənlikləri aşağıdakı şəkə düşər:

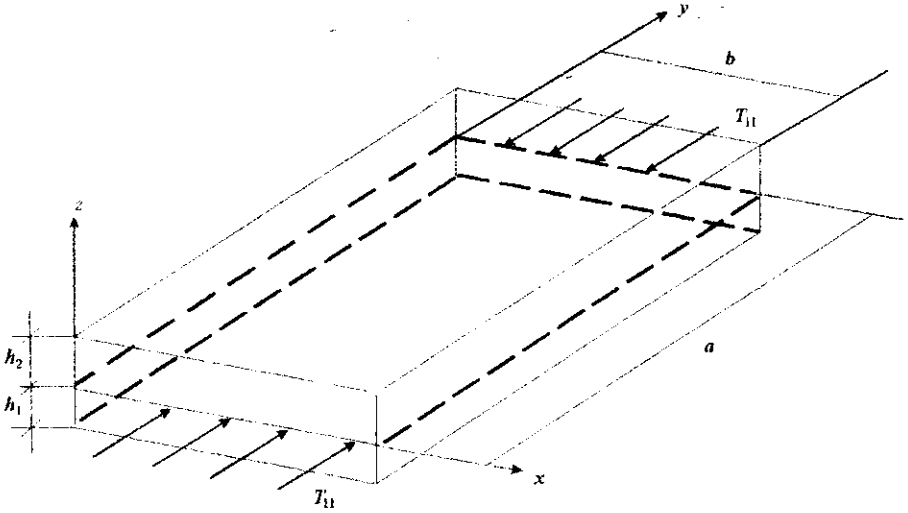
$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[r_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + r_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - r_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - R_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - R_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right. \\ &\left. - R_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[r_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + r_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - r_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \right. \\ &\left. - R_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - R_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - R_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[r_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \right. \\ &\left. + r_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - r_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - R_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - R_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - R_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - \\ &- T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (1.23)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[c_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + L_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + L_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \right. \\
& \left. + L_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[c_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + L_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \right. \\
& \left. + L_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + L_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[c_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \right. \\
& \left. - c_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + L_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + L_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + L_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (1.24)
\end{aligned}$$

Göründüyü kimi ikilaylı ortotrop elastik - plastik silindrik dairevi qabıqların ümumi halda dayanıqlıq tənlikləri sistemi (1.23), (1.24) şəklində olur.

§1.3. İkilaylı lövhələrin birtərəfli sıxılmada dayanıqlığı

İkilaylı ortotrop elastik-plastik materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhənin birtərəfli sıxılmada dayanıqlılığını tədqiq edək (şəkil 2).



Şekil 2.

Bu halde (1.10) ve (1.12) ifadeleri sadelerir ve onlara daxil olan əmsallar aşağıdaki şəkəle düşür:

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\
 &\quad \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21} \right\}, \\
 a_{12} &= \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \beta \delta_{21} \right\}, \\
 a_{13} &= a_{23} = a_{31} = a_{32} = 0,
 \end{aligned}$$

$$b_{11} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -\alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{12} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -\beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{13} = b_{23} = b_{31} = b_{32} = 0,$$

$$a_{21} = a_{12},$$

$$a_{22} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \delta_{21} \right\},$$

$$b_{21} = b_{12},$$

$$b_{22} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \delta_{21}^2 \right\},$$

$$a_{33} = \frac{2 E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \cdot \delta_{21} \right\},$$

$$b_{33} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \cdot \delta_{21}^2 \right\},$$

$$A_{11} = b_{11},$$

$$A_{12} = b_{12},$$

$$A_{13} = A_{23} = A_{32} = A_{31} = 0,$$

$$A_{22} = b_{22},$$

$$A_{33} = b_{33},$$

$$A_{21} = b_{21}$$

$$B_{11} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{12} = B_{21} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{13} = B_{23} = B_{31} = B_{32} = 0,$$

$$B_{22} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \beta \delta_{21}^3 \right\}, \quad (1.25)$$

$$B_{33} = \frac{2E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \cdot \delta_{21}^3 \right\}$$

Bu şartlar dahilinde (1.23) ve (1.24) tenlikleri baxılan mesele için aşığıdaki şekilde alınır:

$$R_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \\ + R_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - r_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (r_{11} + r_{22} - 2r_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ - r_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; \quad (1.26)$$

$$\begin{aligned}
& c_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (c_{12} + c_{21} + 2c_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + c_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\
& + L_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (L_{11} + L_{22} - 2L_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + L_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0 ;
\end{aligned} \tag{1.27}$$

Müxtəlif sərhəd şərtləri daxilində (1.26) və (1.27) tənliklər sistemi həll edilərək lövhənin kritik parametrləri təyin edilir.

a) Əvvəlcə lövhənin silindrik formada dayanıqlığının itməsini izləyək.

Bu halda dayanıqlıq tənliyi bu şəkildə alınır:

$$A_1 \frac{d^4 w}{dx^4} + T_{11} \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \tag{1.28}$$

burada

$$A_1 = R_{11} + r_{12} \frac{L_{21}}{c_{22}} \tag{1.29}$$

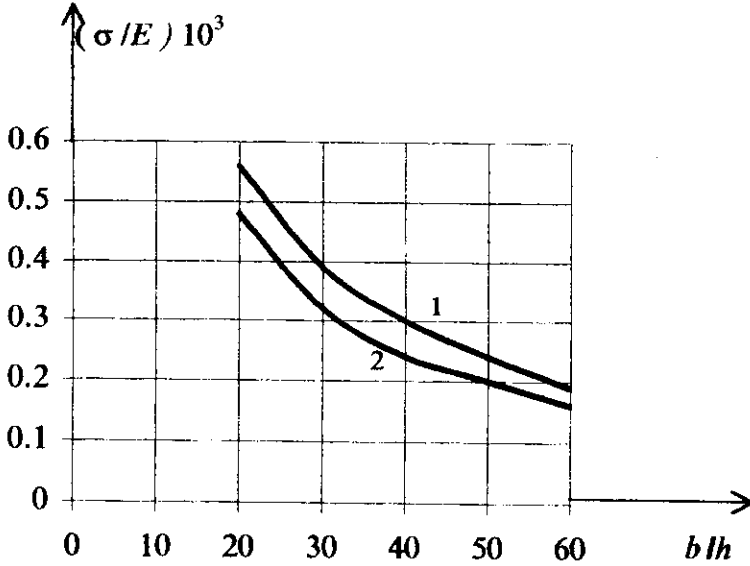
Lövhənin kənarlarının oynaq bərkidildiyi hala baxsaq əyinti üçün belə bir ifadə qəbul edə bilərik:

$$w = w_0 \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \tag{1.30}$$

(1.30) ifadəsini (1.28)-də nəzərə alsaq kritik gərginlik üçün aşağıdakı formulu alarıq:

$$\sigma_1 = \sigma_1^0 \cdot K, \quad K = A_1 / D \tag{1.31}$$

burada σ_1^0 – analoji elastiki məsələ üçün kritik gərginlik, D –isə baxılan lövhənin silindrik sərtliyidir. Aparılmış hesabatlarnın nəticəsi grafiği olaraq göstərilmişdir (şəkil 3).



Şekil 3

$$\lambda = 0,90; \gamma = 3$$

$$1. \alpha = 1,2; \beta = 0,50$$

$$2. \alpha = 1,4; \beta = 0,50$$

b) İndi də lövhənin ümumi şəkildə dayanıqlığının itməsinə baxaq. Lövhənin kənarlarının oynaq bərkidildiyi halda (1.26) və (1.27) sisteminin həllini aşağıdakı formada yazmaqla bilər:

$$w = w_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1.32)$$

$$\phi = \phi_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}$$

burada m, n – uyğun tərəflər üzrə yarımdalğaların sayıdır.
(1.32) ifadəsini (1.27) –də nəzərə alsaq:

$$\phi_{mn} = -w_{mn} \frac{L_{21} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (L_{11} + L_{22} - 2L_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + L_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{C_{22} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (C_{12} + C_{21} + 2C_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + C_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4} \quad (1.33)$$

ifadəsini əldə edirik.

(1.32) formullarını (1.26) tənliyinə yazaraq kritik gərginlik üçün alırıq:

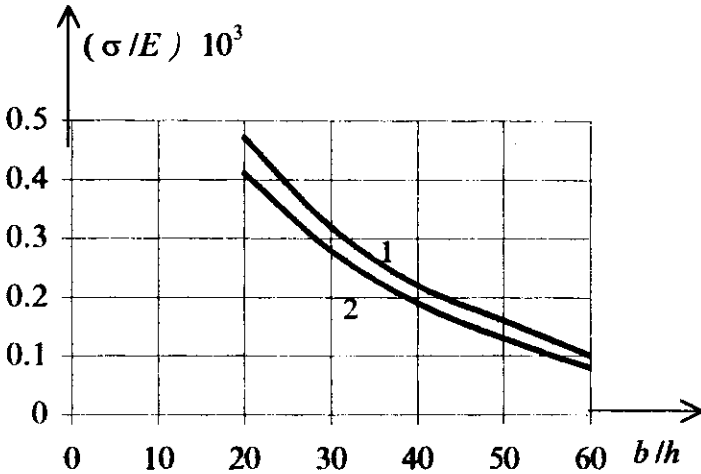
$$\sigma_1 = \sigma_1^* \cdot K_1 \quad (1.34)$$

burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$\sigma_1^* = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 h \left(\frac{m}{a} \right)^2}, \quad \bar{a} = \frac{a}{b}, \quad h = h_1 + h_2$$

$$K_1 = \left\{ \left(R_{11} - \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} r_{12} \right) \left(\frac{m}{a} \right)^4 + \left[R_{12} + R_{21} + 2 R_{33} - \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} (r_{11} + r_{22} - 2 r_{33}) \right] \times \left(\frac{m^2 n^2}{a^2} \right) + \left(R_{22} - \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} r_{21} \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2 \quad (1.35)$$

Aparılmış hesapların neticesi grafiği olarak Şekil 4-de gösterilmiştir.



Şekil 4

- $\lambda = 0,90; \gamma = 3$
1. $\alpha = 1,2; \beta = 0,50$
 2. $\alpha = 1,4; \beta = 0,50$

§1.4. İkilaylı lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı

Sürüşmə qüvvələrinin təsirinə məruz qalmış ikilaylı lövhənin dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək. Bu halda (1.13) əmsalları sadələşir.

$$a_{11} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \alpha \delta_{21} \right\},$$

$$a_{12} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \delta_{21} \right\},$$

$$a_{13} = a_{31} = a_{23} = a_{32} = 0,$$

$$b_{11} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -\alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \alpha \delta_{21}^2 \right\},$$

$$b_{12} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -\beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \delta_{21}^2 \right\},$$

$$b_{13} = b_{31} = b_{23} = b_{32} = 0,$$

$$a_{22} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \delta_{21} \right\},$$

$$a_{21} = a_{12},$$

$$b_{21} = b_{12},$$

$$b_{22} = \frac{E_1 h_1^2}{2(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \delta_{21}^2 \right\},$$

$$a_{33} = \frac{2E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21} \right\},$$

$$b_{33} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^2 \right\},$$

$A_{11} = b_{11}, A_{12} = b_{12},$

$$A_{13} = A_{23} = A_{31} = A_{32} = 0,$$

$$A_{13} = A_{23} = A_{31} = A_{32} = 0,$$

$$A_{21} = b_{21}, A_{22} = b_{22}, A_{33} = b_{33},$$

$$B_{11} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \alpha \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{12} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{13} = B_{23} = B_{31} = B_{32} = 0, B_{21} = B_{12},$$

$$B_{22} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \delta_{21}^3 \right\}$$

(1.36)

$$B_{33} = \frac{2E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \right\}$$

Baxılan halda lövhənin dayanıqlıq tənliklər sistemi aşağıdakı kimi alınır:

$$\begin{aligned}
 & R_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \\
 & R_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - r_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (r_{11} + r_{22} - 2r_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - \\
 & r_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0
 \end{aligned} \quad (1.37)$$

$$\begin{aligned}
 & c_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (c_{12} + c_{21} + 2c_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + c_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\
 & + L_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (L_{11} + L_{22} - 2L_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + L_{12} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0
 \end{aligned} \quad (1.38)$$

Burada c_{ij} , L_{ij} , r_{ij} , R_{ij} – əmsallarını hesablayarkən (1.36) formullarından istifadə edilir.

Lövhənin kənarları oynaqlı bərkidildiği halda əyintini və gərginlik funksiyasını aşağıdakı şəkildə qəbul edə bilərik:

$$w = \sum_m \sum_n w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1.39)$$

$$\phi = \sum_m \sum_n \phi_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

(1.39) ifadələrini (1.38)–də yazaraq alarıq:

$$\phi_{mn} = -w_{mn} \frac{L_{21} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + (L_{11} + L_{22} - 2L_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + L_{12} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4}{C_{22} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + (C_{12} + C_{21} + 2C_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + C_{11} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4} \quad (1.40)$$

(1.37) tənliyi Bubnov–Qalyorkin metodu ilə həll edilir:

$$\int_0^a \int_0^b L \sin \frac{i\pi x}{a} \cdot \sin \frac{j\pi y}{b} dx dy = 0 \quad (1.41)$$

burada L – ilə (1.37) tənliyinin sol tərəfi işarə edilmişdir. (1.39) ifadələrini (1.41) yazaraq bəzi çevirmələrdən sonra w_{mn} əmsallarına görə aşağıdakı xətti cəbri tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{aligned} & R_{11} \frac{\pi^4 b}{4a^3} m^4 w_{mn} + (R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) \frac{\pi^4}{4ab} m^2 n^2 w_{mn} + \\ & + R_{22} \frac{\pi^4 a}{4b^3} n^4 w_{mn} - r_{12} \frac{\pi^4 b}{4a^3} m^4 \phi_{mn} - (r_{11} + r_{22} - 2r_{33}) \times \\ & \times \frac{\pi^4}{4ab} m^2 n^2 \phi_{mn} - r_{21} \frac{\pi^4 a}{4b^3} n^4 \phi_{mn} - \\ & - 8T_{12} \sum_i \sum_j \phi_{ij} \frac{m \cdot n \cdot i \cdot j}{(m^2 - i^2)(n^2 - j^2)} = 0 \end{aligned} \quad (1.42)$$

burada $(m+i)$ və $(n+j)$ ədədlərinin eyni zamanda tək olduqları qəbul edilir.

Konkret olaraq (m,n) , (i,j) indeksləri üçün $(1,1)$, $(2,2)$ və $(2,2)$, $(1,1)$ cütterini götürsək w_{11} və w_{22} emsalları üçün aşağıdakı xətti cəbri tənliklər sistemini alarıq:

$$w_{11} \left\{ \frac{\pi^4 b}{4a^3} (R_{11} + r_{12} \cdot D_0) + \frac{\pi^4}{4ab} [(R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) + (r_{11} + r_{22} - 2r_{33})D] + \frac{\pi^4 a}{4b^3} [R_{22} + r_{21} \cdot D_0] \right\} - \frac{32}{9} T_{12} W_{22} = 0,$$

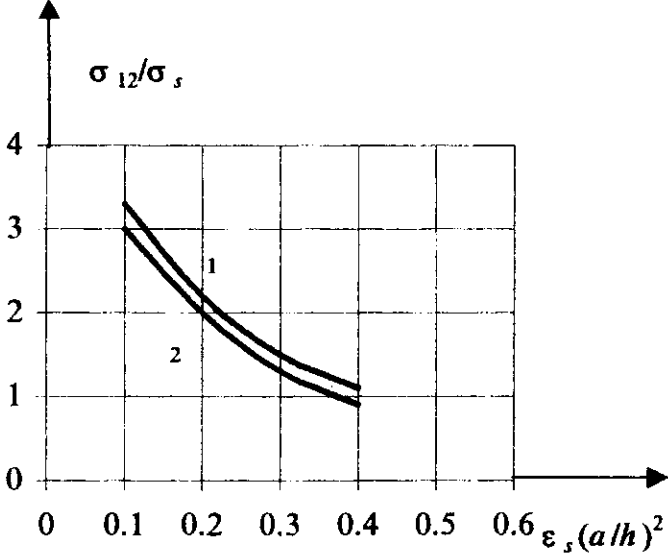
$$w_{22} \left\{ \frac{4\pi^4 b}{a^3} (R_{11} + r_{12} \cdot D_0) + \frac{4\pi^4}{ab} [(R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) + (r_{11} + r_{22} - 2r_{33}) \cdot D_0] + \frac{4\pi^4 a}{b^3} [R_{22} + r_{21} \cdot D_0] \right\} - \frac{32}{9} T_{12} W_{11} = 0, \quad (1.43)$$

burada

$$D_0 = \frac{L_{21} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (L_{11} + L_{22} - 2L_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + L_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{C_{22} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (C_{12} + C_{21} + 2C_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + C_{11} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}$$

(1.43) sisteminin determinantını 0 -a bərabər edərək kritik qüvvə üçün aşağıdakı formulu alarıq:

$$T_{12}^2 = \left(\frac{9}{32}\right)^2 \frac{\pi^8}{a^4} \left\{ \frac{b}{a} [R_{11} + r_{12} D_0] + \frac{a}{b} [(R_{12} + R_{21} + 2R_{33}) + (r_{11} + r_{22} - 2r_{33}) D_0] + \left(\frac{a}{b}\right)^3 [R_{22} + r_{21} D_0] \right\}^2 \quad (1.44)$$



Şekil 5

$$\lambda = 0,90; \gamma = 3$$

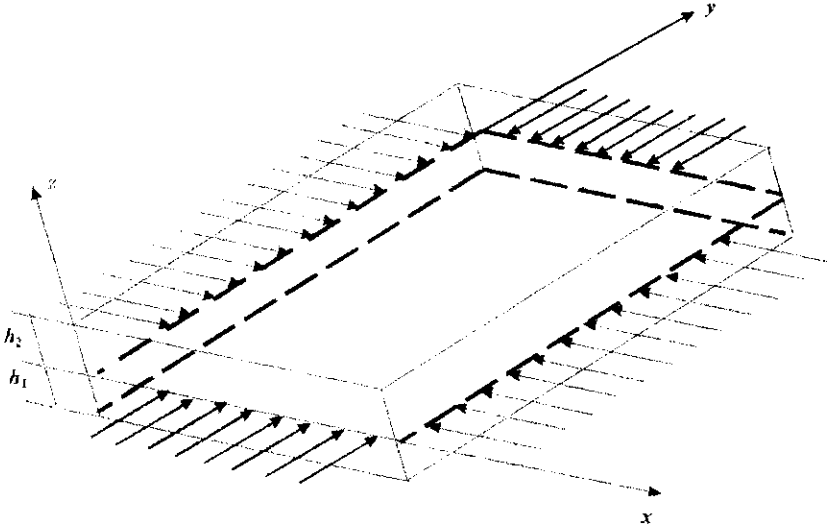
$$1. \alpha = 1,2; \beta = 0,55$$

$$2. \alpha = 1,4; \beta = 0,60$$

Aparılmış hesapların neticesi grafik olarak şekil 5-de gösterilmiştir.

§1.5. İkilyalı lövhələrin iki tərəfli sıxılda dayanıqlığı

İki tərəfli sıxılan lövhənin dayanıqlılığı məsələsini tədqiq edək (şəkil 6).



Şəkil 6

Bu halda (1.11) və (1.13) ifadələrindən fərqli olan əmsalları aşağıdakı şəkildə olur:

$$\begin{aligned} a_{13} &= a_{23} = a_{31} = a_{32} = 0, \\ a_{33} &= \frac{2 E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + E_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \delta_{21} \right\}, \\ b_{13} &= b_{31} = b_{23} = b_{32} = 0, \end{aligned}$$

$$b_{33} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \delta_{21}^2 \right\},$$

$$A_{13} = A_{31} = A_{23} = A_{32} = 0,$$

$$A_{33} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \delta_{21}^2 \right\},$$

$$B_{13} = B_{31} = B_{23} = B_{32} = 0,$$

$$B_{33} = \frac{2E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma} \right) \delta_{21}^3 \right\} \quad (1.45)$$

Diger bütün əmsallar (1.11) və (1.13)–də olduğu kimi qalır.

Dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır:

$$a_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + A_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} +$$

$$+ A_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (1.46)$$

$$b_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} -$$

$$- B_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^4} = 0 \quad (1.47)$$

burada belə əvəzləmələr edilmişdir:

$$a_1 = c_{22}, \quad a_2 = c_{12} + c_{21} + 2c_{33}, \quad a_3 = c_{11},$$

$$A_1 = L_{21}, \quad A_2 = L_{11} + L_{22} + 2L_{33}, \quad A_3 = L_{12},$$

$$b_1 = R_{11}, \quad b_2 = R_{12} + R_{21} + 2R_{33}, \quad b_3 = R_{22}, \quad (1.48)$$

$$B_1 = r_{12}, \quad B_2 = r_{11} + r_{22} + 2r_{33}, \quad B_3 = r_{21}$$

(1.48) əmsalları hesablanarkən (1.45) nəzərə alınır.

Lövhenin kənarlarının oynaq bərkidildiyi halda əyintini və gərginlik funksiyasını yenə aşağıdakı şəkildə qəbul edə bilərik:

$$w = w_0 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1.49)$$

$$\phi = \phi_0 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

(1.49) ifadələrini (1.46)-da yazaraq ϕ_0 -la w_0 arasındakı əlaqəni tapırıq:

$$\phi_0 = -w_0 \frac{A_1 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + A_2 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + A_3 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4}{a_1 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + a_2 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + a_3 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4} \quad (1.50)$$

(1.47) tənliyindən kritik qüvvələrin kombinasiyasını tapmaq üçün xarakteristik tənlik alınır:

$$\sigma_1 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sigma_2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 \left(b_1 - B_1 \frac{\phi_0}{w_0}\right) +$$

$$+ \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \left(b_2 - B_2 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 \left(b_3 - B_3 \frac{\phi_0}{w_0}\right)$$

və ya bu tənliyi belə şəklə sala bilərik:

$$\sigma_1 = \tilde{\sigma}_1 \cdot K_1 \quad (1.51)$$

burada

$$\tilde{\sigma}_1 = \frac{\pi^2 D}{b^2 h} \frac{\left[\left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2 + n^2 \right]^2}{\left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2 + \varphi n^2}, \quad \varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad \tilde{a} = \frac{a}{b};$$

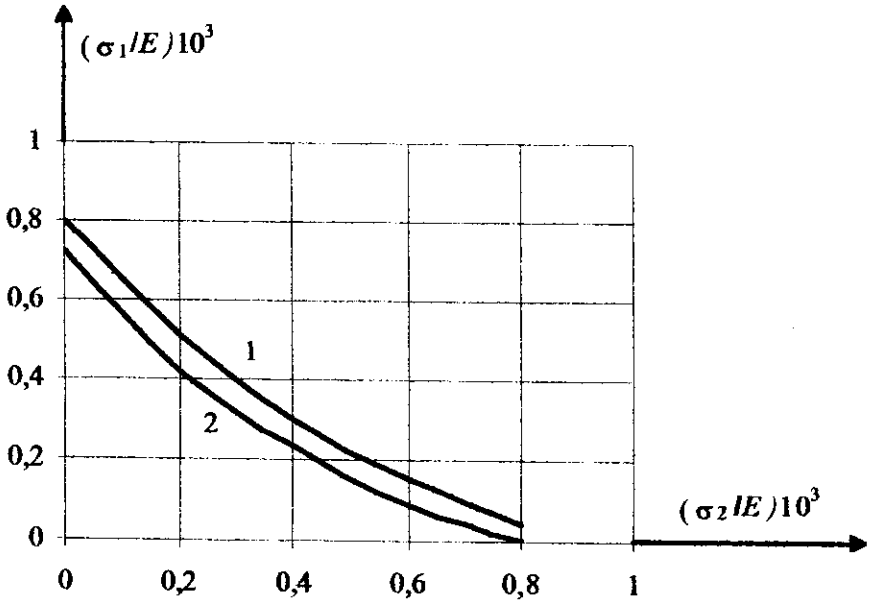
$$K_1 = \left\{ \left(b_1^* - B_1^* \frac{\phi_0}{w_0} \right) \left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^4 + \left(b_2^* - B_2^* \frac{\phi_0}{w_0} \right) \left(\frac{mn}{\tilde{a}} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(b_3^* - B_3^* \frac{\phi_0}{w_0} \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2 + n^2 \right]^2,$$

$$b_i^* = \frac{b_i}{D}, \quad B_i^* = \frac{B_i}{D}, \quad h = h_1 + h_2 \quad (1.52)$$

Əgər ikilaylı kvadrat lövhəyə baxsaq $a = b$, $\tilde{a} = 1$ və $m = n = 1$ qəbul edərək alırıq:

$$K_2' = \frac{1}{4} \left[b_1^* + b_2^* + b_3^* + \frac{A_1 + A_2 + A_3}{a_1 + a_2 + a_3} \times \right. \\ \left. \times (B_1^* + B_2^* + B_3^*) \right] \quad (1.53)$$

Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesablatlar aparılmış və nəticələr qrafiki olaraq şəkil 7-də göstərilmişdir.



Şekil 7

$$\lambda=0,90; \gamma=3$$

$$1. \alpha=1,2; \beta=0,50$$

$$2. \alpha=1,4; \beta=0,50$$

§1.6. İkilaylı lövhelerin birtərəfli sıxılmada və sürüşmədə dayanıqlığı

Fərz edək ikilaylı ortotrop elastik–plastik lövhəyə bir tərəfli sıxılma və sürüşmə qüvvələri təsir edir.

Bu halda əsas istifadə olunan (1.11) və (1.13) əmsalları bu şəkildə düşür:

$$a_{11} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21} \right\},$$

$$a_{12} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \beta \delta_{21} \right\},$$

$$a_{13} = 2 E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2,$$

$$b_{11} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{12} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\beta_1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \beta \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{13} = E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot h_2^2,$$

$$a_{21} = a_{12},$$

$$a_{22} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \delta_{21} \right\},$$

$$a_{23} = 0, \quad b_{21} = b_{12},$$

$$b_{22} = \frac{E_1 h_1^2}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{1}{2} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \cdot \frac{\delta_{21}^2}{2} \right\},$$

$$b_{23} = 0,$$

$$a_{31} = a_{13} \quad ,$$

$$a_{32} = 0$$

$$a_{33} = \frac{2E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21} \right\},$$

$$b_{31} = b_{13} \quad , \quad b_{32} = 0,$$

$$b_{33} = \frac{E_1 h_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left\{ -\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^2 \right\},$$

$$A_{ij} = b_{ij} \quad ;$$

$$B_{12} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \beta_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \beta \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{11} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ -\alpha_1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \alpha \right] \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{13} = 2 E_c \cdot \frac{\sigma_x \sigma_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} \cdot q \cdot \frac{h_2^3}{3},$$

$$B_{21} = B_{12},$$

$$B_{22} = \frac{E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ 1 + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \delta_{21}^3 \right\},$$

$$B_{23} = B_{32} = 0,$$

$$B_{31} = B_{13},$$

$$B_{33} = \frac{2 E_1 h_1^3}{3(\alpha_1 - \beta_1^2)} \left\{ \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} + \bar{E}_c \left(\frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\alpha - \beta^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 \cdot q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right] \delta_{21}^3 \right\} \quad (1.54)$$

Dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır:

$$a_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\ + A_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + A_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (1.55)$$

$$b_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\ - B_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^4} = 0 \quad (1.56)$$

Bu tənliklərdəki əmsallar (1.54) nəzərə alınmaqla (1.48) ifadələrindən təyin edilir.

Lövhenin kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda əyintini və gərginlik funksiyasını bu şəkildə qəbul edə bilərik:

$$w = \sum_m \sum_n w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1.57)$$

$$\phi = \sum_m \sum_n \phi_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

Bu ifadələri (1.55) tənliyində yazsaq belə bir ifadə alınır:

$$\phi_{mn} = -f_0 w_{mn},$$

$$f_0 = \frac{A_1 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + A_2 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + A_3 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4}{a_1 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + a_2 \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + a_3 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4};$$

(1.56) tənliyini həll etmək üçün Bubnov–Qalyorkin metodundan istifadə edilir:

$$\int_0^a \int_0^b L_1 \sin \frac{i\pi x}{a} \sin \frac{j\pi y}{b} dx dy = 0 \quad (1.58)$$

burada L_1 - ilə (1.56) tənliyinin sol tərəfi işarə edilib. Bəzi çevirmələri apardıqdan sonra bu tənlikdən w_{mn} əmsalları üçün aşağıdakı xətti cəbri tənliklər sistemi alınır:

$$\begin{aligned}
& b_1 \frac{\pi^4 b}{4a^3} m^4 w_{mn} + b_2 \frac{\pi^4}{4ab} m^2 n^2 w_{mn} + b_3 \frac{\pi^4 a}{4b^3} n^4 w_{mn} - \\
& - B_1 \frac{\pi^4 b}{4a^3} m^4 \phi_{mn} - B_2 \frac{\pi^4}{4ab} m^2 n^2 \phi_{mn} - B_3 \frac{\pi^4 a}{4b^3} n^4 \phi_{mn} - \quad (1.59) \\
& - \frac{m^2 \pi^2}{4} \left(\frac{b}{a} \right) T_1 W_{mn} - 8T_{12} \sum_i \sum_j f_{ij} \frac{m \cdot n \cdot i \cdot j}{(m^2 - i^2)(n^2 - j^2)} = 0
\end{aligned}$$

burada $(m+i), (n+j)$ ədədlərinin eyni zamanda tək ədəd olduqları qəbul edilir.

Konkret olaraq $(m,n), (i,j)$ indeksləri üçün $(1,1), (2,2)$ və $(2,2), (1,1)$ cütlərini qəbul etsək w_{11} və w_{22} əmsalları üçün alırıq:

$$\begin{aligned}
& w_{11} \left\{ \frac{\pi^4 b}{4a^3} (b_1 + f_0 \cdot B_1) + \frac{\pi^4}{4ab} (b_2 + f_0 \cdot B_2) + \right. \\
& \left. + \frac{\pi^4 a}{4b^3} (b_3 + f_0 \cdot B_3) \right\} - w_{11} \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{b}{a} \right) T_1 - \frac{32}{9} T_{12} W_{22} = 0, \quad (1.60)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 4w_{22} \left\{ \frac{\pi^4 b}{a^3} (b_1 + f_0 \cdot B_1) + \frac{\pi^4}{ab} (b_2 + f_0 \cdot B_2) + \right. \\
& \left. + \frac{\pi^4 a}{b^3} (b_3 + f_0 \cdot B_3) \right\} - w_{22} \pi^2 \left(\frac{b}{a} \right) T_1 - \frac{32}{9} T_{12} W_{11} = 0
\end{aligned}$$

Bu sistemin determinantını sıfıra bərabər edərək lövhənin dayanıqlıq sərhəddini tapmaq üçün xarakteristik tənlik alınır:

$$\frac{32}{9} T_{12} + \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{b}{a} \right) T_1 = \frac{\pi^4}{a^2} \left\{ \frac{b}{a} (b_1 + f_0 \cdot B_1) + \right. \\ \left. \frac{a}{b} (b_2 + f_0 \cdot B_2) + \left(\frac{a}{b} \right)^3 (b_3 + f_0 \cdot B_3) \right\} \quad (1.70)$$

§1.7. İkilaylı dairevi silindirik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı

İkilaylı dairevi silindirik qabığın oxboyu sıxıcı qüvvənin (T_{11}) təsirindən dayanıqlıq məsələsinə baxaq. Bu halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar (1.25) şəklində olur. Dayanıqlıq tənliklər sistemi isə aşağıdakı şəkildə alınır:

$$a_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + A_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\ + A_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (1.71)$$

$$b_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} \\ - B_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (1.72)$$

burada a_i , A_i , b_i , B_i əmsalları (1.25) nəzərə alınmaqla (1.48)in köməyi ilə hesablanırlar. Qabığın kənarlarının sərbəst oturduğu halda (vəya oynaq bərkidildiyi halda) əyinti və gərginlik funksiyası üçün aşağıdakı ifadələri qəbul edə bilərik:

$$w = w_0 \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{ny}{R}\right)$$

$$\phi = \phi_0 \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{ny}{R}\right) \quad (1.73)$$

burada m – ox istiqamətdəki yarım dalğaların sayı, n – dairəvi istiqamətdə tam dalğaların sayı, L – qabığın uzunluğu, R isə orta səthin radiusudur.

(1.73) ifadələrini (1.71) tənliyində yazıb w_0 – la ϕ_0 arasındakı əlaqəni alarıq:

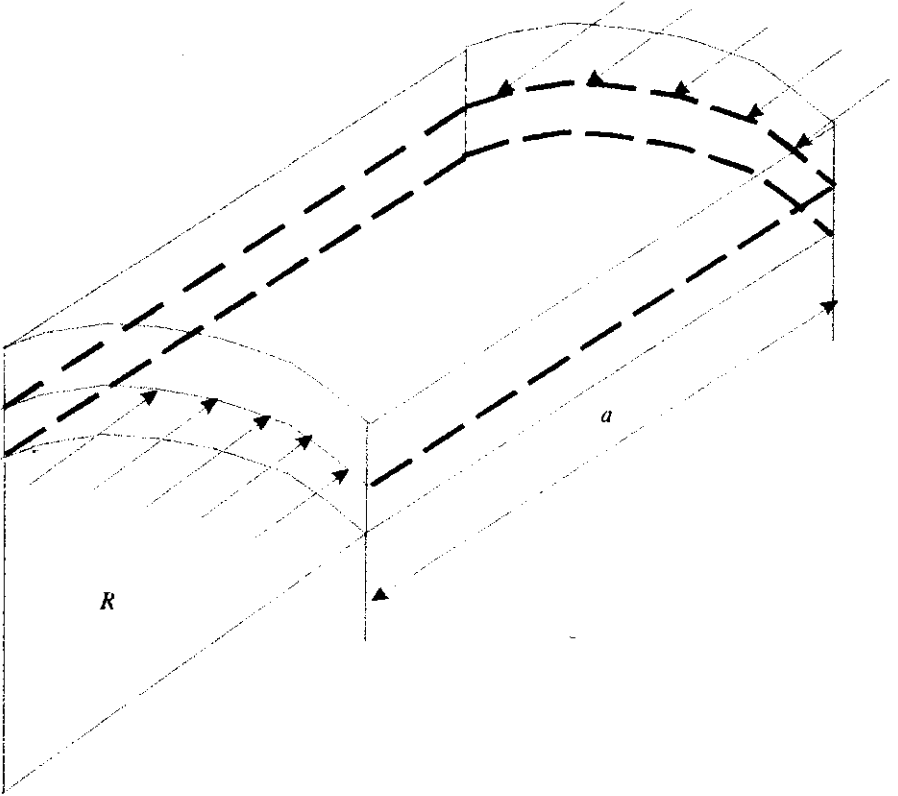
$$\phi_0 = -w_0 \frac{A_1 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^4 + A_2 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 + A_3 \left(\frac{n}{R}\right)^4 - \frac{1}{R} \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2}{a_1 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^4 + a_2 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 + a_3 \left(\frac{n}{R}\right)^4} \quad (1.74)$$

(1.72) tənliyində (1.73)–ü nəzərə alaraq kritik qüvvəni təyin edə bilərik:

$$T_{11}^* = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(b_1 - B_1 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \left(\frac{n}{R}\right)^2 \left(b_2 - B_2 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \left(\frac{L}{m\pi}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^4 \left(b_3 - B_3 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \frac{1}{R} \frac{\phi_0}{w_0} \quad (1.75)$$

s1.8. İkilaylı silindrik örtüklerin sıxılmada dayanıqlığı

İkilaylı dairevi silindrik örtüklerin birtərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək. Fərz edək ki, örtük planda kvadrat şəklindədir və xarakterik ölçüsü a ya bəralərdir (şəkil 8).



Şəkil 8

Bu halda örtüyün dayanıqlıq tənliklər sistemi (1.54) və (1.55)

şeklinde alınır. Örtüyün kenarlarının oynaqlı bərkidildiği halı nəzərdən keçirək. Örtük planda kvadrat şəklində olduğu üçün fərz edək ki, hər istiqamətdə bir yarım dalğa emələ gəlir. Belə olan halda əyintini və gərginlik funksiyasını aşağıdakı şəkildə qəbul edə bilərik:

$$w = w_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} \quad (1.76)$$

$$\phi = \phi_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a}$$

(1.76) ifadələrini (1.71) tənliyində yazsaq, belə bir bəralərlik alırıq:

$$\phi_0 = -w_0 \frac{A_1 + A_2 + A_3 - \frac{1}{R} \left(\frac{\pi}{a} \right)^2}{a_1 + a_2 + a_3}$$

Kritik qüvvə üçün (1.72) tənliyində (1.76) ifadələrini yazaraq belə bir formul alırıq:

$$T_{11} = \left(\frac{\pi}{a} \right)^2 \left[b_1 + b_2 + b_3 + \frac{A_1 + A_2 + A_3 - \frac{1}{R} \left(\frac{\pi}{a} \right)^2}{a_1 + a_2 + a_3} \times \right. \quad (1.77)$$

$$\left. \times (B_1 + B_2 + B_3) \right] - \frac{1}{R} \frac{A_1 + A_2 + A_3 - \frac{1}{R} \left(\frac{\pi}{a} \right)^2}{a_1 + a_2 + a_3}$$

§1.9. İkilaylı dairəvi silindrik qabıqların kombinasiyalı yüklərin təsirindən dayanıqlılığı

İkilaylı dairəvi silindrik qabığın oxboyu təsir edən (T_{11}) sıxıcı qüvvənin və müntəzəm paylanmış xarici təzyiqlin (T_{22}) təsirindən dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Bu halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar eyni ilə §1.5. də olduğu kimi təyin edilir.

Baxılan qabığın dayanıqlıq tənliklər sistemi aşağıdakı şəkildə alınır:

$$a_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + A_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + A_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (1.78)$$

$$b_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - B_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (1.79)$$

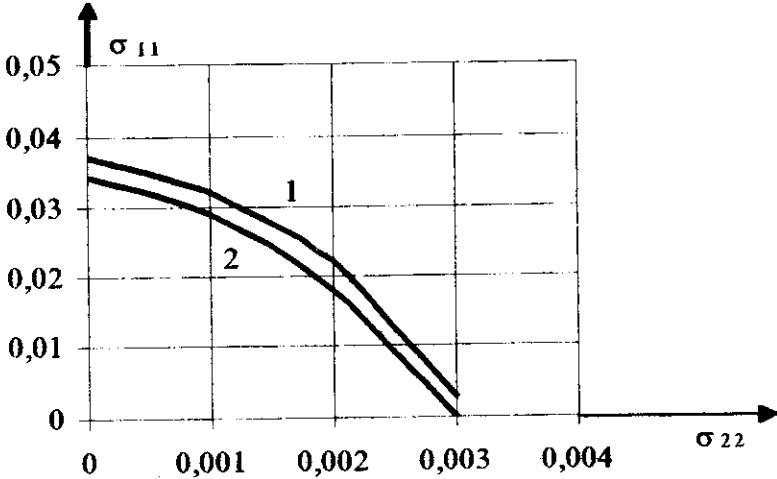
burada a_i , A_i , b_i , B_i əmsalları (1.48) formulları ilə hesablanırlar.

Qabığın kənarları oynaqlı bərkidildiyi halda əyinti və gərginlik funksiyası (1.56) şəkildə qəbul edilir.

(1.78) tənliyindən w_0 - la ϕ_0 arasındakı (1.74) əlaqəsi alınır. (1.73) ifadələrini (1.79) tənliyində yazaraq kritik qüvvələrin kombinasiyasını tapmaq üçün aşağıdakı xarakteristik tənliyi alırıq:

$$\sigma_{11}^* + \left(\frac{nL}{m\pi R}\right)^2 \sigma_{22}^* = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(b_1 - B_1 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \left(\frac{n}{R}\right)^2 \left(b_2 - B_2 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \left(\frac{nL}{m\pi R}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 \left(b_3 - B_3 \frac{\phi_0}{w_0}\right) + \frac{1}{R} \frac{\phi_0}{w_0} \quad (1.80)$$

Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesablar aparılmış və nəticə grafiqi olaraq şəkil 9-də göstərilmişdir



Şəkil 9

$$\lambda = 0,90; \gamma = 3$$

$$1. \alpha = 1,2; \beta = 0,50$$

$$2. \alpha = 1,4; \beta = 0,50$$

§1.10. İkilaylı qabıqların dayanıqlıq məsələsinin yerdəyişmələrdə qoyuluşu

İkilaylı ortotrop elastik - plastik qabıqların dayanıqlıq məsələsini yerdəyişmələrdə tədqiq edək. Burada §1.1 və 1.2-də alınmış əsas münasibətlərdən istifadə edəcəik.

Yenə fərz edək Kirxhof-Lyav hipotezası elementin bütün qalınlığı üçün doğrudur, yəni:

$$\delta \varepsilon_x = l_x + z\chi_x, \quad \delta \varepsilon_y = l_y + z\chi_y, \quad \delta \varepsilon_{xy} = l_{xy} + z\chi_{xy}$$

Kiçik yerdəyişmələrə baxıldığı halda aşağıdakı münasibətləri yaza bilərik:

$$\begin{aligned} l_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \\ l_y &= \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R}, \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \\ l_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad \chi_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \quad (1.81)$$

burada $u, v, w - ox$ istiqamətində, dairəvi və radial yerdəyişmələrin dəyişməsidir.

Baxılan halda tarazlıq tənlikləri sistemi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta T_x}{\partial x} + \frac{\partial \delta T_{xy}}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \delta T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \delta T_y}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1.82)$$

$$\frac{\partial^2 \delta M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \delta M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \delta M_y}{\partial y^2} + T_{11} \chi_x +$$

$$+ T_{22} \chi_y + 2 T_{xy} \chi_{xy} + \frac{\partial T_y}{R} = 0$$

(1.10), (1.12) formullarında (1.81) - i nəzərə alaraq (1.82) tənliklərində yerinə yazsaq:

$$\left[a_{11} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (a_{13} + a_{31}) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + a_{33} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] u +$$

$$+ \left[a_{13} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (a_{12} + a_{33}) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + a_{22} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] v -$$

$$- \left[b_{11} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (b_{13} + b_{31}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + (b_{12} + b_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \right.$$

$$\left. + b_{32} \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \frac{a_{12}}{R} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{a_{32}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \right] w = 0$$

$$\left[a_{31} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (a_{21} + a_{33}) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + a_{23} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] u +$$

$$+ \left[a_{33} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (a_{32} + a_{23}) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + a_{22} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] v -$$

$$- \left[b_{31} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (b_{33} + b_{21}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + (b_{32} + b_{23}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \right.$$

$$\left. + b_{22} \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \frac{a_{32}}{R} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{a_{22}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \right] w = 0$$

$$\left[A_{11} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (A_{13} + 2A_{31}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + (A_{21} + 2A_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \right. \\ \left. + A_{23} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + \frac{a_{21}}{R} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{a_{23}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \right] u + \left[A_{13} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (A_{12} + 2A_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + \right. \\ \left. + (A_{23} + 2A_{32}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + A_{22} \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \frac{a_{23}}{R} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{a_{22}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \right] v - \quad (1.83)$$

$$\left[B_{11} \frac{\partial^4}{\partial x^4} + (B_{13} + 2B_{31}) \frac{\partial^4}{\partial x^3 \partial y} + (B_{12} + B_{21} + 2B_{33}) \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \right. \\ \left. + (B_{23} + 2B_{32}) \frac{\partial^4}{\partial x \partial y^3} + B_{22} \frac{\partial^4}{\partial y^4} + \left(T_{11} + \frac{b_{21}}{R} + \frac{A_{12}}{R} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right. \\ \left. + \left(T_{22} + \frac{b_{22}}{R} + \frac{A_{22}}{R} \right) \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \left(2T_{12} + \frac{b_{23}}{R} + 2 \frac{A_{32}}{R} \right) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \frac{a_{22}}{R^2} \right] w = 0$$

(1.83) tənliklər sisteminə sərhəd şərtlərini əlavə etsək, baxılan məsələnin yerdəyişmələrdə qoyuluşunu alarıq.

Konkret hal üçün qabığın oxboyu sıxılması və xarici təzyiğin təsirindən dayanıqlığının itməsi halını tədqiq edək. Bu halda (1.83) sistemi aşağıdakı şəkəldə düşür:

$$\left(a_{11} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + a_{33} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) u + (a_{12} + a_{33}) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} - \\ - \left[b_{11} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (b_{12} + b_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \frac{a_{12}}{R} \frac{\partial}{\partial x} \right] w = 0, \\ (a_{21} + a_{33}) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \left(a_{33} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + a_{22} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) v - \\ - \left[(b_{21} + b_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + b_{22} \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \frac{a_{22}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \right] w = 0,$$

$$\begin{aligned}
& \left[A_{11} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + (A_{21} + 2A_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \frac{a_{21}}{R} \frac{\partial}{\partial x} \right] u + \left[A_{22} \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \right. \\
& + (A_{12} + 2A_{33}) \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + \frac{a_{22}}{R} \frac{\partial}{\partial y} \left. \right] v - \left[B_{11} \frac{\partial^4}{\partial x^4} + (B_{12} + B_{21} + 2B_{33}) \times \right. \\
& \times \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + B_{22} \frac{\partial^4}{\partial y^4} + \left(T_{11} + \frac{b_{21}}{R} + \frac{A_{12}}{R} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \\
& + \left(T_{22} + \frac{b_{22}}{R} + \frac{A_{22}}{R} \right) \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{a_{22}}{R^2} \left. \right] w = 0 \tag{1.84}
\end{aligned}$$

Qabığın kənarlarının sərbəst oturduğu halda sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi olar:

$$\begin{aligned}
\delta T_{11} = 0, \delta M_{11} = 0 \\
u = w = 0
\end{aligned} \tag{1.85}$$

(1.65) sisteminin həlli bu şəkildə axtardır.

$$\begin{aligned}
u &= u_0 \cdot \cos \alpha_0 x \cos \beta_0 y \\
v &= v_0 \cdot \sin \alpha_0 x \sin \beta_0 y \\
w &= w_0 \cdot \sin \alpha_0 x \cos \beta_0 y
\end{aligned} \tag{1.86}$$

burada $\alpha_0 = \frac{m\pi}{L}$, $\beta_0 = \frac{n}{R}$ işarələri qəbul edilib və u_0, v_0, w_0 – yerdəyişmələrin amplitudlarıdır, m – ox istiqamətində yarımdalğaların, n isə dairəvi istiqamətdə tam dalğaların sayıdır.

(1.86) ni (1.84) tənliklər sistemində yazsaq alarıq:

$$\begin{aligned}
& -\left(a_{11} \alpha_0^2 + a_{33} \beta_0^2\right) u_0 + \left(a_{12} + a_{33}\right) \alpha_0 \beta_0 v_0 + \\
& + \left[b_{11} \alpha_0^3 + \left(b_{12} + b_{33}\right) \alpha_0 \beta_0^2 - \frac{a_{12}}{R} \alpha_0\right] w_0 = 0, \\
& \left(a_{12} + a_{33}\right) \alpha_0 \beta_0 u_0 - \left(a_{33} \alpha_0^2 + a_{22} \beta_0^2\right) v_0 - \\
& - \left[\left(b_{21} + b_{33}\right) \alpha_0^2 \beta_0 + b_{12} \beta_0^3 - \frac{a_{22}}{R} \beta_0\right] w_0 = 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[A_{11} \alpha_0^3 + \left(A_{21} + 2 A_{33}\right) \alpha_0 \beta_0^2 + \frac{a_{21}}{R} \alpha_0\right] u_0 - \\
& - \left[A_{22} \beta_0^3 - \left(A_{12} + 2 A_{33}\right) \alpha_0^2 \beta_0 + \frac{a_{22}}{R} \beta_0\right] v_0 - \\
& - \left[B_{11} \alpha_0^4 + \left(B_{12} + B_{21} + 2 B_{33}\right) \alpha_0^2 \beta_0^2 + B_{22} \beta_0^4 - \right. \\
& \left. - \left(T_{11} + \frac{b_{21}}{R} + \frac{A_{12}}{R}\right) \alpha_0^2 + \left(T_{22} + \frac{b_{22}}{R} + \frac{A_{22}}{R}\right) \beta_0^2 + \frac{a_{22}}{R^2}\right] w_0 = 0
\end{aligned} \tag{1.87}$$

Göründüyü kimi (1.87) u_0, v_0, w_0 amplitudlarına göre bircins cəbri tənliklər sistemidir. Bu sistemin trivial olmayan (yəni O -dan fərqli) həllinin olması üçün sistemin determinantı $O - a$ bərabər olmalıdır.

(1.87) sisteminin determinantını $O - a$ bərabər edərək ümumi şəkildə kritik qüvvələrin kombinasiyasını tapmaq üçün xarakteristik tənlik alınır. Xüsusi halda dairəvi silindrik örtüyün oxboyu sıxılmasında oxasimmetrik formada dayanıqlığın itməsinə baxsaq bəzi çevirmələrdən sonra aşağıdakı formul alınır:

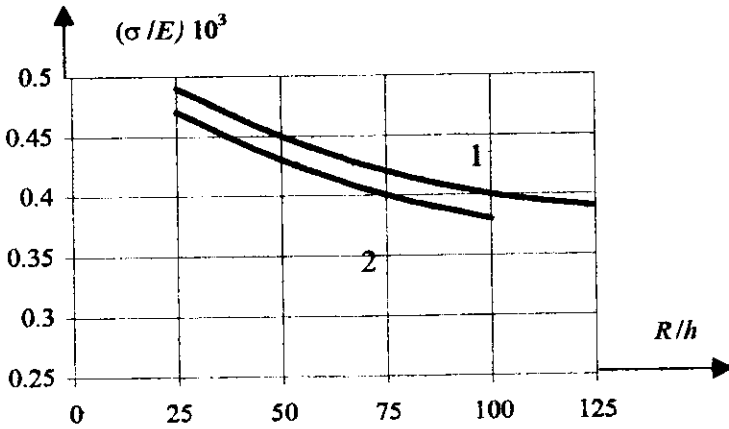
$$T_{11} = \frac{1}{\Theta^2} \left(a_{22} - \frac{a_{12}^2}{a_{11}} \right) + \frac{\Theta^2}{R^2} B_{11} \tag{1.88}$$

burada $\Theta^2 = (\overline{R\alpha_0})^2$

(1.88)-i Θ^2 -na göre minimizasiya edərək kritik qüvvəni taparaq:

$$T_{11}^* = \frac{2}{R} \left[B_{11} \left(a_{22} - \frac{a_{12}^2}{a_{11}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.89)$$

Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesabat aparılmış və nəticəsi şəkil 10 - də qrafiki olaraq göstərilmişdir.



Şəkil 10

$$\lambda = 0,90; \quad \gamma = 3$$

$$1. \quad \alpha = 1,2; \quad \beta = 0,50$$

$$2. \quad \alpha = 1,4; \quad \beta = 0,50$$

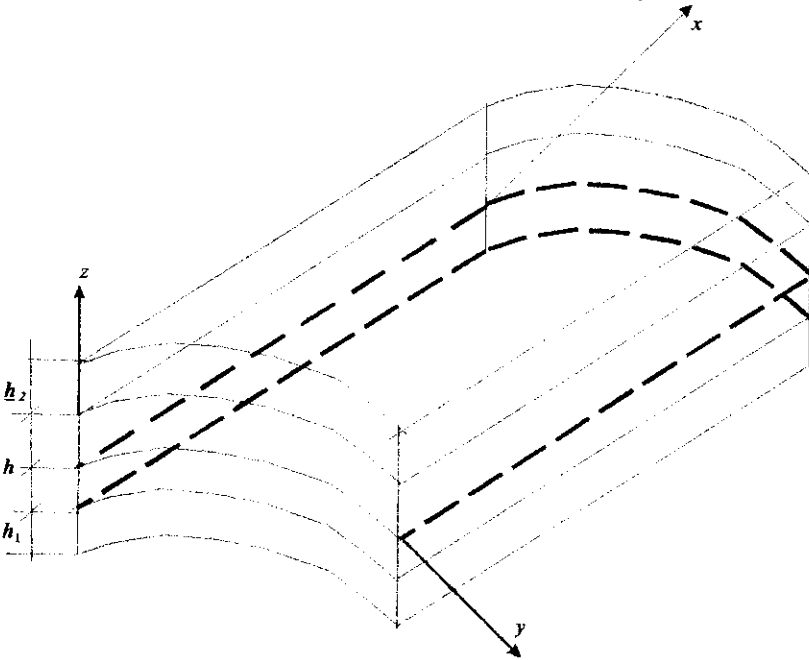
II FƏSİL ÜÇLAYLI ELASTİK-PLASTİK ORTOTROP LÖVHƏ VƏ QABIQLARIN DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİ (I variant)

§2.1. Üçlaylı lövhə və qabıqlar üçün əsas münasibətlərin alınması

Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların (lövhlərin) kombinasiyalı yükləmənin (T_{11} , T_{22} , T_{12}) təsirindən dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Fərz edilir ki, qabığın layları müxtəlif bircins ortotrop materialdan hazırlanıb və kənar laylar plastik oblastda, orta lay isə elastiki oblastda deformasiyaya uğrayır.

Koordinat sistemi aşağıdakı kimi seçilmişdir: Ox və Oy oxları qabığın orta layının orta səthində yerləşir, Oz oxu isə bu səthə perpendikulyar olaraq yönəlib (şəkil 11).



Şəkil 11.

Plastiki laylarda materialın fiziki xassələrini xarakterize etmək üçün birinci fəsildə olduğu kimi deformasiyalı plastiklik nəzəriyyəsi tipli fiziki hal tənliklərindən istifadə edilir.

Bu halda gərginlik və deformasiya tenzorlarının komponentləri arasındakı asılılıq uyğun laylarda aşağıdakı şəkildə olur:

alt layda:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(1)} &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 \varepsilon_x + \beta_2 \varepsilon_y), \tau_{xy}^{(1)} = \frac{2E_c^1}{\gamma_1} \varepsilon_{xy}, \\ \sigma_y^{(1)} &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\varepsilon_y + \beta_1 \varepsilon_x), \left(-h_1 - \frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{2} \right)\end{aligned}\quad (2.1)$$

orta layda:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{\alpha - \beta^2} (\alpha \varepsilon_x + \beta \varepsilon_y), \tau_{xy} = \frac{2E}{\gamma} \varepsilon_{xy}, \\ \sigma_y &= \frac{E}{\alpha - \beta^2} (\varepsilon_y + \beta \varepsilon_x), \left(-\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} \right)\end{aligned}\quad (2.2)$$

üst layda:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(2)} &= \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\alpha_2 \varepsilon_x + \beta_2 \varepsilon_y), \tau_{xy}^{(2)} = \frac{2E_c^2}{\gamma_2} \varepsilon_{xy}, \\ \sigma_y^{(2)} &= \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\varepsilon_y + \beta_2 \varepsilon_x), \left(\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} + h_2 \right)\end{aligned}\quad (2.3)$$

burada h_1, h, h_2 – uyğun layların qalınlıqlarıdır; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – layların materiallarının ortotropiya xarakteristikalarıdır;

$E_c^i = \frac{\sigma_n^{(i)}}{\varepsilon_n^{(i)}}, \sigma_n^{(i)} = \phi \left(\varepsilon_n^{(i)} \right)$ diaqramlarının cari modullarıdır.

Üçlüyü qabıqların (lövhlərin) böhran vəziyyətinin tarazlıq tənliklərini əldə etmək üçün hər bir layda (2.1)-(2.3) formullarının köməyi ilə gərginliklərlə deformasiyaların variasiyaları arasındakı asılılıqları təyin etmək lazımdır. Bu asılılıqlar aşağıdakı ifadələrlə təyin edilir:

alt layda:

$$\begin{aligned}\delta \sigma_x^{(1)} &= \alpha_{11}^1 \delta \varepsilon_x + \alpha_{12}^1 \delta \varepsilon_y + \alpha_{13}^1 \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \sigma_y^{(1)} &= \alpha_{21}^1 \delta \varepsilon_x + \alpha_{22}^1 \delta \varepsilon_y + \alpha_{23}^1 \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \tau_{xy}^{(1)} &= \alpha_{31}^1 \delta \varepsilon_x + \alpha_{32}^1 \delta \varepsilon_y + \alpha_{33}^1 \delta \varepsilon_{xy},\end{aligned}\quad (2.4)$$

orta layda:

$$\begin{aligned}\delta \sigma_x &= \alpha_{11} \delta \varepsilon_x + \alpha_{12} \delta \varepsilon_y + \alpha_{13} \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \sigma_y &= \alpha_{21} \delta \varepsilon_x + \alpha_{22} \delta \varepsilon_y + \alpha_{23} \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \tau_{xy} &= \alpha_{31} \delta \varepsilon_x + \alpha_{32} \delta \varepsilon_y + \alpha_{33} \delta \varepsilon_{xy},\end{aligned}\quad (2.5)$$

üst layda:

$$\begin{aligned}\delta \sigma_x^{(2)} &= \alpha_{11}^2 \delta \varepsilon_x + \alpha_{12}^2 \delta \varepsilon_y + \alpha_{13}^2 \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \sigma_y^{(2)} &= \alpha_{21}^2 \delta \varepsilon_x + \alpha_{22}^2 \delta \varepsilon_y + \alpha_{23}^2 \delta \varepsilon_{xy}, \\ \delta \tau_{xy}^{(2)} &= \alpha_{31}^2 \delta \varepsilon_x + \alpha_{32}^2 \delta \varepsilon_y + \alpha_{33}^2 \delta \varepsilon_{xy}\end{aligned}\quad (2.6)$$

Bu formullarda aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$\begin{aligned}\alpha_{11}^1 &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_1 \right], \\ \alpha_{12}^1 = \alpha_{21}^1 &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_y}{\sigma_n} q + \beta_1 \right],\end{aligned}$$

$$\alpha_{13}^1 = \alpha_{31}^1 = \frac{2E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right],$$

$$\alpha_{22}^1 = \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\alpha_{23}^1 = \alpha_{32}^1 = \frac{2E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \frac{\sigma_y \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right],$$

$$\alpha_{33}^1 = 2 \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[2(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} \right],$$

$$\alpha_{11} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \alpha_1$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{31} = 0$$

$$\alpha_{22} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2}$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{32} = 0$$

$$\alpha_{33} = \frac{2}{\gamma} E$$

$$\alpha_{11}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_2 \right],$$

$$\alpha_{12}^2 = \alpha_{21}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta_2 \right],$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = \frac{2E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right], \quad (2.7)$$

$$\alpha_{22}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = \frac{2E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \frac{\sigma_y \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right],$$

$$\alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[2(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_2 - \beta_2^2}{\gamma_2} \right]$$

Fərz edək ki, Kırxfhof - Lyav hipotezası üçaylıq elementin bütün qalınlığı üçün doğrudur, yeni

$$\delta \varepsilon_x = l_x + z \chi_x, \quad \delta \varepsilon_y = l_y + z \chi_y, \quad \delta \varepsilon_{xy} = l_{xy} + z \chi_{xy} \quad (2.8)$$

Məlumdur ki, baxılan halda qüvvə və momentlərin variasiyaları aşağıdakı formularda hesablanır:

$$\delta T_i = \int_{-h_1 - \frac{h}{2}}^{-\frac{h}{2}} \delta \sigma_i^{(1)} dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2} + h_2} \delta \sigma_i^{(2)} dz, \quad (2.9)$$

$$\delta M_i = \int_{-h_1 - \frac{h}{2}}^{-\frac{h}{2}} \delta \sigma_i^{(1)} z dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i z dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2} + h_2} \delta \sigma_i^{(2)} z dz \quad (i \rightarrow x, y, xy)$$

(2.4)-(2.6) və (2.8) ifadələrini (2.9)-da nəzərə alsaq qüvvə və momentlərin variasiyalarını tapa bilərik:

$$\begin{aligned}\delta T_x &= n_{11}l_x + n_{12}l_y + n_{13}l_{xy} + d_{11}\chi_x + d_{12}\chi_y + d_{13}\chi_{xy}, \\ \delta T_y &= n_{21}l_x + n_{22}l_y + n_{23}l_{xy} + d_{21}\chi_x + d_{22}\chi_y + d_{23}\chi_{xy}, \quad (2.10) \\ \delta T_{xy} &= n_{31}l_x + n_{32}l_y + n_{33}l_{xy} + d_{31}\chi_x + d_{32}\chi_y + d_{33}\chi_{xy}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta M_x &= N_{11}l_x + N_{12}l_y + N_{13}l_{xy} + D_{11}\chi_x + D_{12}\chi_y + D_{13}\chi_{xy}, \\ \delta M_y &= N_{21}l_x + N_{22}l_y + N_{23}l_{xy} + D_{21}\chi_x + \\ &+ D_{22}\chi_y + D_{23}\chi_{xy}, \quad (2.11)\end{aligned}$$

$$\delta M_{xy} = N_{31}l_x + N_{32}l_y + N_{33}l_{xy} + D_{31}\chi_x + D_{32}\chi_y + D_{33}\chi_{xy}$$

Bu formullarda aşağıdaki övezlemeler edilmiştir:

$$\begin{aligned}n_{11} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{11}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{11} + \bar{\alpha}_{11}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{12} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{12}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{12} + \bar{\alpha}_{12}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{13} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{13}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{13} + \bar{\alpha}_{13}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{21} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{21}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{21} + \bar{\alpha}_{21}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{22} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{22}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{22} + \bar{\alpha}_{22}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{23} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{23}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{23} + \bar{\alpha}_{23}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{31} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{31}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{31} + \bar{\alpha}_{31}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{32} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{32}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{32} + \bar{\alpha}_{32}^{-2} \delta_2 \right), \\ n_{33} &= Eh \left(\bar{\alpha}_{33}^{-1} \delta_1 + \bar{\alpha}_{33} + \bar{\alpha}_{33}^{-2} \delta_2 \right),\end{aligned}$$

$$d_{11} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{11}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{11}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{12} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{12}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{12}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{13} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{13}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{13}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{21} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{21}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{21}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{22} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{22}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{22}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{23} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{23}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{23}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{31} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{31}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{31}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{32} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{32}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{32}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{33} = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \bar{\alpha}_{33}^{-1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \bar{\alpha}_{33}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{ij} = N_{ij}$$

$$D_{11} = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \bar{\alpha}_{11}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{11}}{4} + \bar{\alpha}_{11}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$\begin{aligned}
D_{12} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{12}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{12}}{4} + \alpha_{12}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{13} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{13}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{13}}{4} + \alpha_{13}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{21} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{21}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{21}}{4} + \alpha_{21}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{22} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{22}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{22}}{4} + \alpha_{22}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{23} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{23}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{23}}{4} + \alpha_{23}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{31} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{31}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{31}}{4} + \alpha_{31}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{32} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{32}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{32}}{4} + \alpha_{32}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
D_{33} &= \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{33}^{-1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\bar{\alpha}_{33}}{4} + \alpha_{33}^{-2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\}, \\
\bar{\alpha}_{ij} &= \frac{\alpha_{ij}}{E}; \delta_1 = \frac{h_1}{h}; \delta_2 = \frac{h_2}{h} \tag{2.12}
\end{aligned}$$

Göründüyü kimi üçaylı qabıqlar və lövhələr üçün esas münasibətlər (2.1)-(2.12) ifadələri şəklində olur. Bu ifadələrin köməyi ilə baxılan qabıqların (lövhələrin) tarazlıq tənliklərini ala bilərik.

§2.2. Üçlü qabıqlar və lövhələr üçün tarazlıq tənliklərinin alınması

Burada da §1.2.-də olduğu kimi baxılan qabıqların tarazlıq tənlikləri (1.14)-(1.16)-dan ibarət olur. Yene gərginlik funksiyasını (1.17) kimi daxil etsək (1.14) sistemi eynilik kimi ödəner.

Analoji olaraq (1.15) və (1.16) tənliklərini tərtib etmək üçün (2.10) münasibətlərindən l_x, l_y, l_{xy} kəmiyyətlərini qüvvələrin variasiyaları və əyintilərlə ifadə etmək lazımdır. Bəzi çevirmələrdən sonra bu kəmiyyətlər üçün alarıq:

$$\begin{aligned}l_x &= v_{11} \delta T_x + v_{12} \delta T_y + v_{13} \delta T_{xy} - k_{11} \chi_x - k_{12} \chi_y - k_{13} \chi_{xy}, \\l_y &= v_{21} \delta T_x + v_{22} \delta T_y + v_{23} \delta T_{xy} - k_{21} \chi_x - k_{22} \chi_y - k_{23} \chi_{xy}, \\l_{xy} &= v_{31} \delta T_x + v_{32} \delta T_y + v_{33} \delta T_{xy} - k_{31} \chi_x - k_{32} \chi_y - k_{33} \chi_{xy}\end{aligned}\quad (2.13)$$

burada aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$v_{11} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{22} n_{33} - n_{23} n_{32}),$$

$$v_{12} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{13} n_{32} - n_{12} n_{33}),$$

$$v_{13} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{12} n_{23} - n_{22} n_{13}),$$

$$v_{21} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{23} n_{31} - n_{21} n_{33}),$$

$$v_{22} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{11} n_{33} - n_{13} n_{31}),$$

$$v_{23} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{13} n_{21} - n_{11} n_{23}),$$

$$v_{31} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{21} n_{32} - n_{22} n_{31}),$$

$$v_{32} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{12} n_{31} - n_{11} n_{32}),$$

$$v_{33} = \frac{1}{\Delta_1} (n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}),$$

$$K_{11} = \frac{1}{\Delta_1} [d_{11} (n_{22} n_{33} - n_{23} n_{32}) - d_{21} (n_{12} n_{33} - n_{13} n_{32}) + d_{31} (n_{12} n_{23} - n_{22} n_{13})],$$

$$K_{12} = \frac{1}{\Delta_1} [d_{12} (n_{22} n_{33} - n_{23} n_{32}) - d_{22} (n_{12} n_{33} - n_{13} n_{32}) + d_{32} (n_{12} n_{23} - n_{22} n_{13})],$$

$$K_{13} = \frac{1}{\Delta_1} [d_{13} (n_{22} n_{33} - n_{23} n_{32}) - d_{23} (n_{11} n_{33} - n_{13} n_{32}) + d_{33} (n_{12} n_{23} - n_{22} n_{13})],$$

$$K_{21} = \frac{1}{\Delta_1} [-d_{11} (n_{21} n_{33} - n_{23} n_{32}) + d_{21} (n_{11} n_{33} - n_{13} n_{31}) - d_{31} (n_{11} n_{23} - n_{13} n_{21})],$$

$$K_{22} = \frac{1}{\Delta_1} [-d_{12} (n_{21} n_{33} - n_{23} n_{32}) + d_{22} (n_{11} n_{33} - n_{13} n_{31}) - d_{32} (n_{11} n_{23} - n_{13} n_{21})],$$

$$K_{23} = \frac{1}{\Delta_1} [-d_{13} (n_{21} n_{33} - n_{23} n_{31}) + d_{23} (n_{11} n_{33} - n_{13} n_{31}) - d_{33} (n_{11} n_{23} - n_{13} n_{21})],$$

$$\begin{aligned}
K_{31} &= \frac{1}{\Delta_1} \left[d_{11} (n_{12} n_{32} - n_{22} n_{31}) - d_{21} (n_{11} n_{32} - n_{12} n_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + d_{31} (n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}) \right] \\
K_{32} &= \frac{1}{\Delta_1} \left[d_{12} (n_{12} n_{32} - n_{22} n_{31}) - d_{22} (n_{11} n_{32} - n_{12} n_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + d_{32} (n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}) \right] \\
K_{33} &= \frac{1}{\Delta_1} \left[d_{13} (n_{12} n_{32} - n_{22} n_{31}) - d_{23} (n_{11} n_{32} - n_{12} n_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + d_{33} (n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}) \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{vmatrix} \quad (2.14)$$

(2.13) formullarını momentlərin (2.11) ifadələrində yerinə yazsaq alarıq:

$$\begin{aligned}
\delta M_x &= q_{11} \delta T_x + q_{12} \delta T_y + q_{13} \delta T_{xy} + \\
&\quad + Q_{11} \chi_x + Q_{12} \chi_y + Q_{13} \chi_{xy}, \\
\delta M_y &= q_{21} \delta T_x + q_{22} \delta T_y + q_{23} \delta T_{xy} + \\
&\quad + Q_{21} \chi_x + Q_{22} \chi_y + Q_{23} \chi_{xy}, \\
\delta M_{xy} &= q_{31} \delta T_x + q_{32} \delta T_y + q_{33} \delta T_{xy} + \\
&\quad + Q_{31} \chi_x + Q_{32} \chi_y + Q_{33} \chi_{xy}
\end{aligned} \quad (2.15)$$

Burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$\begin{aligned}
q_{11} &= N_{11} \nu_{11} + N_{12} \nu_{21} + N_{13} \nu_{31}, \\
q_{12} &= N_{11} \nu_{12} + N_{12} \nu_{22} + N_{13} \nu_{32},
\end{aligned}$$

$$q_{13} = N_{11} v_{13} + N_{12} v_{23} + N_{13} v_{33},$$

$$Q_{11} = D_{11} - N_{11} K_{11} - N_{12} K_{21} - N_{13} K_{31},$$

$$Q_{12} = D_{12} - N_{11} K_{12} - N_{12} K_{22} - N_{13} K_{32},$$

$$Q_{13} = D_{13} - N_{11} K_{13} - N_{12} K_{23} - N_{13} K_{33},$$

$$q_{21} = N_{21} v_{11} + N_{22} v_{21} + N_{23} v_{31},$$

$$q_{22} = N_{21} v_{12} + N_{22} v_{22} + N_{23} v_{32},$$

$$q_{23} = N_{21} v_{13} + N_{22} v_{23} + N_{23} v_{33},$$

$$Q_{21} = D_{21} - N_{21} K_{11} - N_{22} K_{21} - N_{23} K_{31},$$

$$Q_{22} = D_{22} - N_{21} K_{12} - N_{22} K_{22} - N_{23} K_{32},$$

$$Q_{23} = D_{23} - N_{21} K_{13} - N_{22} K_{23} - N_{23} K_{33},$$

$$q_{31} = N_{31} v_{11} + N_{32} v_{21} + N_{33} v_{31}, \quad (2.16)$$

$$q_{32} = N_{31} v_{12} + N_{32} v_{22} + N_{33} v_{32},$$

$$q_{33} = N_{31} v_{13} + N_{32} v_{23} + N_{33} v_{33},$$

$$Q_{31} = D_{31} - N_{31} K_{11} - N_{32} K_{21} - N_{33} K_{31},$$

$$Q_{32} = D_{32} - N_{31} K_{12} - N_{32} K_{22} - N_{33} K_{32},$$

$$Q_{33} = D_{33} - N_{31} K_{13} - N_{32} K_{23} - N_{33} K_{33}$$

(1.17), (1.22) və (2.13), (2.15) ifadələrini (1.15) və (1.16) tənliklərində yerinə yazsaq aşağıdakı tənliklər sistemini əldə edirik:

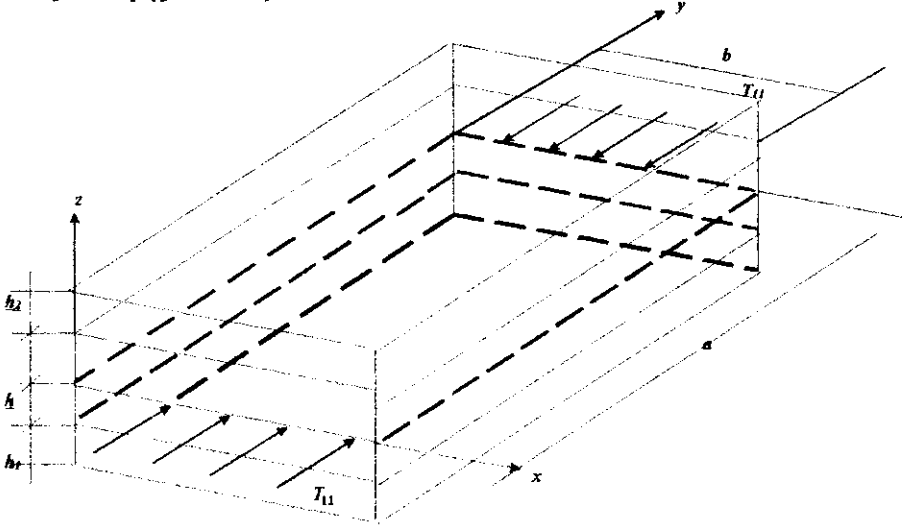
$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[q_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + q_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - Q_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - Q_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right. \\
& \left. - Q_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[q_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + q_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - Q_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right. \\
& \left. - Q_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - Q_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[q_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + q_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \right. \\
& \left. - Q_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - Q_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - Q_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \\
& - 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \tag{2.17}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[v_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - v_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + K_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right. \\
& \left. + K_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[v_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - v_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + K_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \right. \\
& \left. + K_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[v_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - v_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \right. \\
& \left. + K_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \tag{2.18}
\end{aligned}$$

Beləliklə üçlaylı eləstik-plastik ototrop silindrik dairevi qabıqların dayanıqlıq tənlikləri sistemi (2.17) və (2.18) şəklində alındı.

§2.3. Üçaylı dövələrin bir tərəfli sıxılmada dayanıqlığı

Üçaylı ortotrop elastik-plastik materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin bir tərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsini araşdırmaq (şəkil 12).



Şəkil 12.

Bu halda (2.10) və (2.11) ifadələri sadələsir və buradan əmsallar aşağıdakı şəkildə düşür:

$$\alpha_{11}^1 = \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_1 \right],$$

$$\alpha_{12}^1 = \alpha_{21}^1 = \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1,$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{13}^1 &= \alpha_{31}^1 = 0, & \alpha_{22}^1 &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2}, \\
\alpha_{23}^1 &= \alpha_{32}^1 = 0, & \alpha_{33}^1 &= 2 \frac{E_c^1}{\gamma_1}, \\
\alpha_{11} &= \frac{E}{\alpha - \beta^2} \alpha, & \alpha_{12} &= \alpha_{21} = \frac{E}{\alpha - \beta^2} \beta, \\
\alpha_{22} &= \frac{E}{\alpha - \beta^2}, & \alpha_{13} &= \alpha_{31} = 0, \\
\alpha_{33} &= \frac{2E}{\gamma}, & \alpha_{23} &= \alpha_{32} = 0, \\
\alpha_{11}^2 &= \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_2 \right], & & (2.19) \\
\alpha_{12}^2 &= \alpha_{21}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2, \\
\alpha_{13}^2 &= \alpha_{31}^2 = 0, & \alpha_{22}^2 &= \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2}, \\
\alpha_{23} &= \alpha_{32} = 0, & \alpha_{33}^2 &= 2 \frac{E_c^2}{\gamma_2}
\end{aligned}$$

(2.19) ifadələrini (2.12) formulalarında nəzərə alsaq, onlar da sadələşirlər və

$$\begin{aligned}
n_{13} &= n_{31} = n_{23} = n_{32} = 0, \\
d_{13} &= d_{31} = d_{23} = d_{32} = 0, \\
N_{13} &= N_{31} = N_{23} = N_{32} = 0, \\
D_{13} &= D_{31} = D_{23} = D_{32} = 0
\end{aligned}$$

olur.

Bu halda (2.17) və (2.18) tənliklər sistemi bu şəkə düşür:

$$\begin{aligned} Q_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (Q_{12} + Q_{21} + 2Q_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + Q_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \\ - q_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (q_{11} + q_{22} - 2q_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} \\ - q_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} v_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (v_{12} + v_{21} + 2v_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + v_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + K_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\ + (K_{11} + K_{22} - 2K_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + K_{12} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (2.21)$$

§ 1.3-də olduğu kimi oxşar məsələlərin həllini burada da araşdırıq.

a) Lövhenin silindrik formada dayanıqlığının itməsi halında (2.20) və (2.21) sistemindən belə bir tənlik alınır:

$$A_1' \frac{d^4 w}{dx^4} + T_{11} \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \quad (2.22)$$

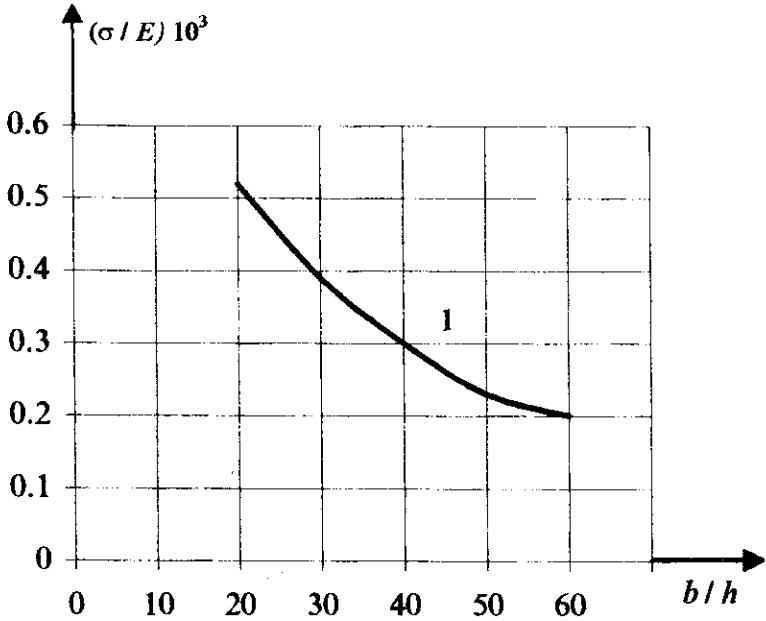
burada

$$A_1' = Q_{11} + q_{12} \frac{K_{21}}{v_{22}}$$

(2.22) tənliyinin həllini (1.30) şəkində qəbul edərək kritik gərginlik üçün alırıq:

$$\sigma_1 = \sigma_1^0 \cdot \tilde{K}', \quad \tilde{K} = \frac{A_1'}{D} \quad (2.23)$$

burada σ_1^0 – analogi elastiki məsələ üçün kritik gərginlik, D isə lövhənin silindrik sərtliyidir. Aparılmış hesabatlarnın nəticəsi şəkil 13-də göstərilmişdir.



Şəkil 13.

$$\lambda = 0,90; \quad \gamma = \gamma_1 = \gamma_2 = 3$$

$$\alpha_1 = 1,2; \quad \beta_1 = 0,55$$

$$\alpha = 1,2; \quad \beta = 0,50$$

$$\alpha_2 = 1,6; \quad \beta_2 = 0,60$$

b) Lövhenin ümumi formada dayanıqlığının itməsi halına baxaq. Əyintini və gərginlik funksiyasını (1.32) şəklində qəbul edərək (2.21) tənliyindən alarıq:

$$\phi_{mn} = -w_{mn} \frac{K_{21} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (K_{11} + K_{22} - 2K_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + K_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{v_{22} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (v_{12} + v_{21} + 2v_{33}) \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + v_{11} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}$$

Eyni üsulla (1.32) ifadələrini (2.20) tənliyində yazaraq kritik gərginliyi tapırıq:

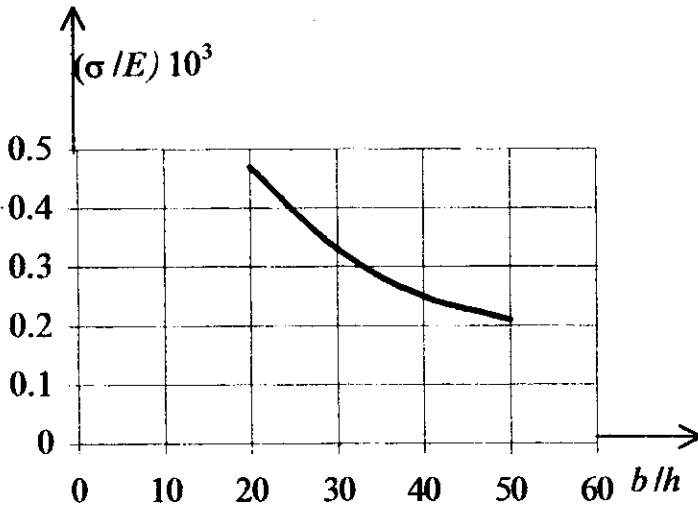
$$\sigma'_1 = \sigma'_{10} \cdot K'_1 \quad (2.24)$$

burada aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$\sigma'_{10} = \frac{\pi^2 D}{b^2 H} \frac{\left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{\left(\frac{m}{a} \right)^2}, \quad \bar{a} = \frac{a}{b}, \quad H = h_1 + h_2 + h$$

$$\begin{aligned}
K'_1 = & \left\{ \left(Q_{11} \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} q_{12} \right) \left(\frac{m}{a} \right)^4 + [Q_{12} + Q_{21} + 2Q_{33} - \right. \\
& \left. - \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} (q_{11} + q_{22} - 2q_{33}) \right] \times \left(\frac{m^2 n^2}{a^2} \right) + \\
& \left. + \left(Q_{22} \frac{\phi_{mn}}{w_{mn}} q_{21} \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2
\end{aligned} \tag{2.25}$$

Aparılmış hesabatların neticəsi şəkil 14-də göstərilmişdir.



Şəkil 14.

$$\lambda = 0,90; \gamma = \gamma_1 = \gamma_2 = 3$$

$$\alpha_1 = 1,4; \beta_1 = 0,55$$

$$\alpha = 1,2; \beta = 0,50$$

$$\alpha_2 = 1,6; \beta_2 = 0,60$$

§2.4. Üçaylı lövhələrin sürüşmədə dayanıqlığı

Üçaylı lövhələrin sürüşmə qüvvələrinin təsirindən dayanıqlığını tədqiq edək. Bu halda qüvvə və momentlərin (2.10), (2.11) ifadələri sadələsir və oradakı əmsallar aşağıdakı şəkə düşür:

$$\begin{aligned}\alpha_{11}^1 &= \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \alpha_1, \\ \alpha_{12}^1 &= \alpha_{21}^1 = -\frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1, \\ \alpha_{13}^1 &= \alpha_{31}^1 = 0, \quad \alpha_{22}^1 = \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2}, \\ \alpha_{23}^1 &= \alpha_{32}^1 = 0 \\ \alpha_{33}^1 &= 2 \frac{E_c^1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[2(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} \right], \\ \alpha_{11} &= \frac{E}{\alpha - \beta^2} \alpha, \quad \alpha_{12} = \alpha_{21} = -\frac{E}{\alpha - \beta^2} \beta, \\ \alpha_{22} &= \frac{E}{\alpha - \beta^2}, \quad \alpha_{13} = \alpha_{31} = 0, \\ \alpha_{33} &= \frac{2E}{\gamma}, \\ \alpha_{23} &= \alpha_{32} = 0, \\ \alpha_{11}^2 &= \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2,\end{aligned}\tag{2.26}$$

$$\alpha_{12}^2 = \alpha_{21}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2,$$

$$\alpha_{22}^2 = \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2},$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = 0,$$

$$\alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_c^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[2(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_2 - \beta_2^2}{\gamma_2} \right],$$

$$\alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = 0$$

(2.26) ifadelerini (2.12) formullarında nəzərə alsaq, onlar da sadələsir və

$$n_{13} = n_{31} = n_{23} = n_{32} = 0,$$

$$d_{13} = d_{31} = d_{23} = d_{32} = 0,$$

$$N_{13} = N_{31} = N_{23} = N_{32} = 0,$$

$$D_{13} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = 0$$

olur.

Baxılan halda (2.17) və (2.18) tənliklər sistemi aşağıdakı şəkə düşər:

$$Q_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (Q_{12} + Q_{21} + 2Q_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + Q_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - q_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} -$$

$$-(q_{11} + q_{22} - 2q_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - q_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0; \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned}
& v_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (v_{12} + v_{21} + 2v_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + v_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\
& + K_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (K_{11} + K_{22} - 2K_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + K_{12} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0
\end{aligned} \tag{2.29}$$

Göründüyü kimi üçlü lövhələrin dayanıqlıq tənlikləri sistemi (2.28) və (2.29) şəklində alındı. Bu tənliklər (1.37) və (1.38)-dən yalnız əmsalları ilə fərqlənir. Buna görə də məsələnin həllini (1.39) şəklində axtararaq §1.4.-ə analogi olaraq kritik qüvvə üçün aşağıdakı formulu alırıq:

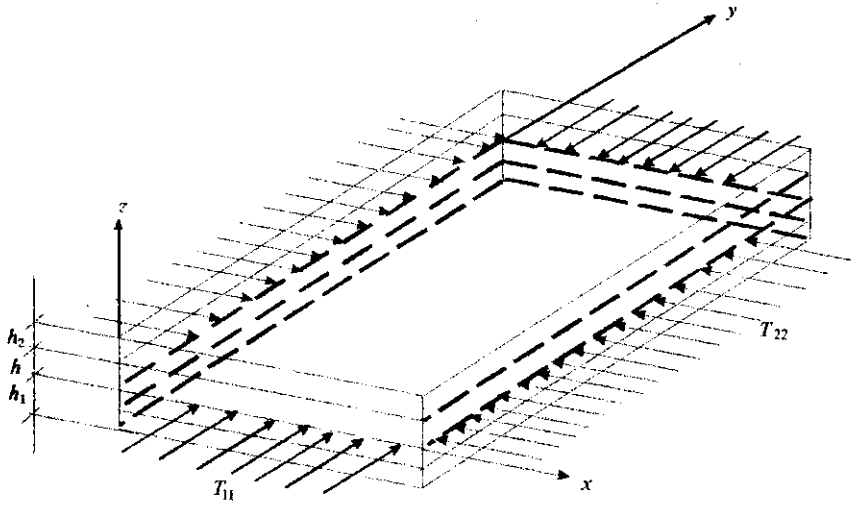
$$\begin{aligned}
T_{12}^2 = & \left(\frac{9}{32}\right)^2 \frac{\pi^8}{a^4} \left\{ \frac{b}{a} [Q_{11} + q_{12} D_0^1] + \frac{a}{b} [(Q_{12} + Q_{21} + 2Q_{33}) + \right. \\
& \left. + (q_{11} + q_{22} - 2q_{33}) D_0^1] + \left(\frac{a}{b}\right)^3 [Q_{22} + q_{21} D_0^1] \right\}^2
\end{aligned} \tag{2.30}$$

burada

$$D_0^1 = \frac{K_{21} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + (K_{11} + K_{22} - 2K_{33}) \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + K_{12} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4}{v_{22} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 + (v_{12} + v_{21} + 2v_{33}) \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + v_{11} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4}$$

§2.5. Üçlü lövhələrin iki tərəfli sıxılmada dayanıqlığı

Üçlü lövhənin iki tərəfli sıxılan halda dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək (şəkil 15).



Şəkil 15.

Baxılan halda (2.10) və (2.11) ifadələrinin əmsallarına daxil olan (2.7) formulunu sadələşdir və onlardan fərqlənənlər aşağıdakı kimi dəyişirlər.

$$\alpha_{13}^1 = \alpha_{31}^1 = 0, \quad \alpha_{23}^1 = \alpha_{32}^1 = 0$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = 0, \quad \alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = 0$$

Bunlara bağlı olaraq aşağıdakı dəyişikliklər də olur:

$$n_{13} = n_{31} = n_{23} = n_{32} = 0,$$

$$d_{13} = d_{31} = d_{23} = d_{32} = 0,$$

$$N_{13} = N_{31} = N_{23} = N_{32} = 0,$$

$$D_{13} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = 0$$

Bu halda baxılan lövhənin tarazlıq tənlikləri aşağıdakı şəkildə

alınır.

$$r_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + R_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + R_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (2.31)$$

$$d_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - D_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - D_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (2.32)$$

burada aşağıdaki əvəzləmələr edilmişdir:

$$\begin{aligned} r_1 &= v_{22}, \quad r_2 = v_{12} + v_{21} + 2v_{33}, \quad r_3 = v_{11}, \\ R_1 &= K_{21}, \quad R_2 = K_{11} + K_{22} + 2K_{33}, \quad R_3 = K_{12}, \\ d_1 &= Q_{11}, \quad d_2 = Q_{12} + Q_{21} + 2Q_{33}, \quad d_3 = Q_{22}, \\ D_1 &= q_{12}, \quad D_2 = q_{11} + q_{22} - 2q_{33}, \quad D_3 = q_{21} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Göryndüyü kimi üçlaylı lövhələrin iki tərəfli sıxılmada (2.31), (2.32) tarazlıq tənliklər sistemi (1.46) və (1.47)-dən yalnız əmsalları ilə fərqlənirlər. Buna görə də §1.5-ə analogi olaraq kritik qüvvələrin kombinasiyasını təyin etmək üçün aşağıdakı xarakteristik tənliyi alanq:

$$\begin{aligned} \sigma_1 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \sigma_2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 &= \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 (d_1 + D_1 \cdot D_0^2) + \\ &+ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 (d_2 + D_2 \cdot D_0^2) + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4 (d_3 + D_3 \cdot D_0^2) \end{aligned} \quad (2.34)$$

burada

$$D_0^2 = \frac{R_1 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + R_2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + R_3 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{r_1 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + r_2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + r_3 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}$$

(2.34) tənliyini aşağıdakı şəkildə göstərək:

$$\sigma_1 = \sigma_1^* \cdot K_1' \quad (2.35)$$

burada

$$\sigma_1^* = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 H \left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2},$$

$$\varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad \tilde{a} = \frac{a}{b},$$

$$H = h_1 + h + h_2$$

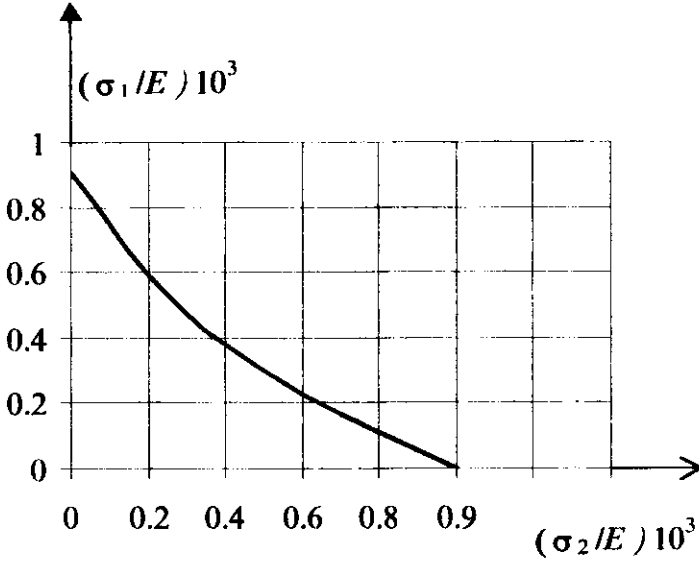
$$K_1 = \left\{ \left(d_1^* + D_1^* \cdot D_0^2 \right) \left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^4 + \left(d_2^* + D_2^* \cdot D_0^2 \right) \left(\frac{mn}{\tilde{a}} \right)^2 + \left(d_3^* + D_3^* \cdot D_0^2 \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{\tilde{a}} \right)^2 + n^2 \right]^2,$$

$$d_i^* = \frac{d_i}{D}, \quad D_i^* = \frac{D_i}{D} \quad (2.36)$$

Yenə analogi qayda ilə üçqatlı kvadrat lövhə üçün alanq:

$$K_2^1 = \frac{1}{4} \left[d_1^* + d_2^* + d_3^* + \frac{R_1 + R_2 + R_3}{r_1 + r_2 + r_3} (D_1^* + D_2^* + D_3^*) \right]$$

Parametrlərin müxtəlif qiymətləri üçün hesablatlar aparılmış və nəticələr qrafiki olaraq şəkil 15-də göstərilmişdir.



Şəkil 16

$$\lambda = 0,90; \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 3$$

$$\alpha_1 = 1,4; \beta_1 = 0,55$$

$$\alpha = 1,2; \beta = 0,50$$

$$\alpha_2 = 1,6; \beta_2 = 0,60$$

§2.6. Üçaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı

Ox istiqamətində yönəlmiş sıxıcı qüvvənin təsirinə məruz qalmış üçaylı dairəvi silindrik qabığın dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Baxılan halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar (2.19) formullarını nəzərə almaqla hesablanır. Dayanıqlıq tənliklər sistemi isə aşağıdakı şəkildə alınır:

$$\begin{aligned} r_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + R_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\ + R_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} d_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\ - D_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - D_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{II} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

Burada r_i, R_i, d_i, D_i əmsalları (2.15) nəzərə alınmaqla (2.33) formullarından təyin edilir.

Qabığın kənarları oynaq bərkidildiyi halda (və ya sərbəst oturduğu halda) (2.37), (2.38) sisteminin həlli (1.56) şəklində qəbul edilir.

§1.6-ya analogi olaraq burada da kritik qüvvəni təyin etmək üçün aşağıdakı formulu alırıq:

$$T_{II}^* = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 (d_1 + D_1 \cdot \bar{D}_0) + \left(\frac{n}{R}\right)^2 (d_2 + D_2 \cdot \bar{D}_0) + \left(\frac{L}{m\pi}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^4 (d_3 + D_3 \cdot \bar{D}_0) - \frac{1}{R} \bar{D}_0 \quad (2.39)$$

burada

$$\bar{D}_0 = \frac{R_1 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^4 + R_2 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 + R_3 \left(\frac{n}{R}\right)^4 - \frac{1}{R} \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2}{r_1 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^4 + r_2 \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 + r_3 \left(\frac{n}{R}\right)^4} \quad (2.40)$$

formulu ilə təyin edilir.

§2.7. Üçqaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılda və xarici təzyiq altında dayanıqlığı

Üçqaylı dairəvi silindrik qabığın oxboyu sıxıcı qüvvənin (T_{II}) və müntəzəm paylanmış xarici təzyiqin (T_{22}) təsirindən dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək. Bu halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar §2.5-də olduğu kimi təyin ediləcək. Qabığın dayanıqlıq tənliklər sistemi aşağıdakı kimi alınır:

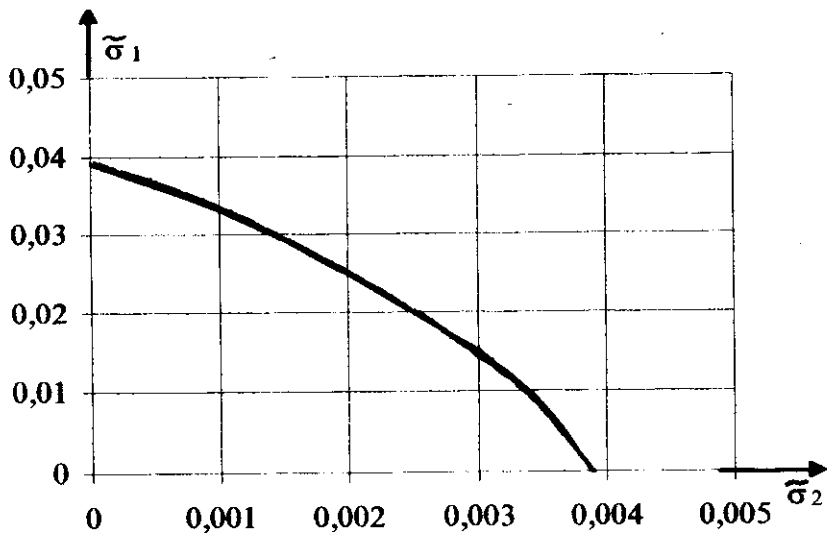
$$\begin{aligned}
& r_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + R_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\
& + R_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0
\end{aligned} \tag{2.41}$$

$$\begin{aligned}
& d_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\
& - D_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - D_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0
\end{aligned} \tag{2.42}$$

burada əmsallar (2.33) formulları ilə hesablanır. Göründüyü kimi (2.41), (2.42) tənlikləri (1.59), (1.60) tənliklərindən yalnız əmsallarla fərqlənirlər §1.7-yə analogi olaraq, kritik qüvvələrin kombinasiyasını təyin etmək üçün aşağıdakı xarakteristik tənliyi alırıq:

$$\begin{aligned}
\sigma_{11}^* + \left(\frac{nL}{m\pi R} \right)^2 \sigma_{22}^* = & \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 (d_1 + D_1 \cdot \bar{D}_0) + \left(\frac{n}{R} \right)^2 (d_2 + D_2 \cdot \bar{D}_0) + \\
& + \left(\frac{nL}{m\pi R} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 (d_3 + D_3 \cdot \bar{D}_0) - \frac{1}{R} \bar{D}_0
\end{aligned} \tag{2.43}$$

burada \bar{D}_0 (2.40) ifadəsi ilə təyin edilir. Aparılmış hesabların nəticəsi qrafiki olaraq şəkil 16-də göstərilmişdir.



Şəkil 17.

$$\lambda = 0,90;$$

$$\alpha_1 = 1,4; \beta_1 = 0,55; \gamma_1 = 3$$

$$\alpha = 1,2; \beta = 0,50; \gamma = 3$$

$$\alpha_2 = 1,4; \beta_2 = 0,60; \gamma_2 = 3$$

III FƏSİL İKİLAYLI PLASTİK ORTOTROP LÖVHƏ VƏ QABIQLARIN DAYANIQLIĞI

§3.1. Ümumi halda əsas münasibətlərin alınması

İkilyalı dairevi silindrik qabıqların (lövhələrin) müxtəlif xarici qüvvələrin təsirindən dayanıqlıq məsələlərinə baxaq.

Fərz edək ki, qabığın layları müxtəlif ortrop materialdan hazırlanıb və hər iki lay plastiki deformasiyaya uğrayır. Koordinat sistemi Ş1.1. də olduğu kimi qəbul edilmişdir (şəkil 1).

Layların materialının fiziki xassələrini xarakterizə etmək üçün yenə deformasiyalı plastikiq nəzəriyyəsi tipli hal tənliklərindən istifadə edəcək. Bu halda gərginliklərlə deformasiyalar arasındakı asılılıqlar aşağıdakı şəkildə olacaq.

alt layda:

$$\sigma_{x1} = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 \epsilon_x + \beta_1 \epsilon_y), \tau_{xy1} = 2 \frac{E_{c1}}{\gamma_1} \epsilon_{xy}, \quad (3.1)$$

$$\sigma_{y1} = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\epsilon_y + \beta_1 \epsilon_x), (-h_1 \leq z \leq 0)$$

üst layda:

$$\sigma_{x2} = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\alpha_2 \epsilon_x + \beta_2 \epsilon_y), \tau_{xy2} = 2 \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \epsilon_{xy},$$

$$\sigma_{y2} = \frac{E_{c1}}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\epsilon_y + \beta_2 \epsilon_x), (0 \leq z \leq h_2) \quad (3.2)$$

burada $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - uyğun layın materialının ortotropiya

xarakteristikalarıdır; $E_{ci} = \frac{\sigma_{ni}}{\epsilon_{ni}}$, $\sigma_{ni} = \phi(\epsilon_{ni})$ diaqramlarının

cari modullandır.

Yuxandakı formullardan istifadə edərək laylarda gərginliklərlə deformasiyaların variasiyaları arasındakı asılılıqları təyin edə bilərik:

alt layda:

$$\delta\sigma_{x1} = \alpha_{11}^1 \delta\varepsilon_x + \alpha_{12}^1 \delta\varepsilon_y + \alpha_{13}^1 \delta\varepsilon_{xy}, \quad (3.3)$$

$$\delta\sigma_{y1} = \alpha_{21}^1 \delta\varepsilon_x + \alpha_{22}^1 \delta\varepsilon_y + \alpha_{23}^1 \delta\varepsilon_{xy},$$

$$\delta\tau_{xy1} = \alpha_{31}^1 \delta\varepsilon_x + \alpha_{32}^1 \delta\varepsilon_y + \alpha_{33}^1 \delta\varepsilon_{xy},$$

üst layda:

$$\delta\sigma_{x2} = \alpha_{11}^2 \delta\varepsilon_x + \alpha_{12}^2 \delta\varepsilon_y + \alpha_{13}^2 \delta\varepsilon_{xy}, \quad (3.4)$$

$$\delta\sigma_{y2} = \alpha_{21}^2 \delta\varepsilon_x + \alpha_{22}^2 \delta\varepsilon_y + \alpha_{23}^2 \delta\varepsilon_{xy},$$

$$\delta\tau_{xy2} = \alpha_{31}^2 \delta\varepsilon_x + \alpha_{32}^2 \delta\varepsilon_y + \alpha_{33}^2 \delta\varepsilon_{xy}$$

Bu formullarda aşağıdaki işaretler kabul edilmiştir:

$$\alpha_{11} = \frac{E_{cl}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_1 \right],$$

$$\alpha_{12}^1 = \alpha_{21}^1 = \frac{E_{cl}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta_1 \right],$$

$$\alpha_{13}^1 = \alpha_{31}^1 = 2E_{cl} \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q,$$

$$\alpha_{22}^1 = \frac{E_{cl}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\alpha_{23}^1 = \alpha_{32}^1 = 2E_{cl} \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q,$$

$$\alpha_{33}^1 = 2 \frac{E_{cl}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[2(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} \right],$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{11}^1 &= \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_2 \right], \\
\alpha_{12}^2 &= \alpha_{21}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta_2 \right], \\
\alpha_{13}^2 &= \alpha_{31}^2 = 2E_{c2} \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q, \\
\alpha_{22}^2 &= \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right], \\
\alpha_{23}^2 &= \alpha_{32}^2 = 2E_{c2} \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q, \tag{3.5}
\end{aligned}$$

$$\alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[2(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_2 - \beta_2^2}{\gamma_1} \right]$$

Kirchhof-Lyav hipotezasının elementin bütün qalınlığı üçün doğru olduğunu qəbul edək:

$$\delta \varepsilon_x = l_x + z \chi_x, \quad \delta \varepsilon_y = l_y + z \chi_y, \quad \delta \varepsilon_{xy} = l_{xy} + z \chi_{xy} \tag{3.6}$$

Bu halda qüvvə və momentlərin variasiyaları aşağıdakı formullardan təyin edilir:

$$\delta T_i = \int_{-h_1}^0 \delta \sigma_{i1} dz + \int_0^{h_2} \delta \sigma_{i2} dz \tag{3.7}$$

$$\delta M_i = \int_{-h_1}^0 \delta \sigma_{i1} dz + \int_0^{h_2} \delta \sigma_{i2} dz, (i \rightarrow x, y, xy)$$

(3.3)-(3.6) ifadelerini (3.7) de yerine yazsaq bezi çevirmelerden sonra qüvve və momentlerin variyasiyalarnı təyin edə bilərik:

$$\delta T_x = a'_{11} l_x + a'_{12} l_y + a'_{13} l_{xy} + b'_{11} \chi_x + b'_{12} \chi_y + b'_{13} \chi_{xy}, \quad (3.8)$$

$$\delta T_y = a'_{21} l_x + a'_{22} l_y + a'_{23} l_{xy} + b'_{21} \chi_x + b'_{22} \chi_y + b'_{23} \chi_{xy},$$

$$\delta T_{xy} = a'_{31} l_x + a'_{32} l_y + a'_{33} l_{xy} + b'_{31} \chi_x + b'_{32} \chi_y + b'_{33} \chi_{xy},$$

$$\delta M_x = A'_{11} l_x + A'_{12} l_y + A'_{13} l_{xy} + B'_{11} \chi_x + B'_{12} \chi_y + B'_{13} \chi_{xy},$$

$$\delta M_y = A'_{21} l_x + A'_{22} l_y + A'_{23} l_{xy} + B'_{21} \chi_x + B'_{22} \chi_y + B'_{23} \chi_{xy}, \quad (3.9)$$

$$\delta M_{xy} = A'_{31} l_x + A'_{32} l_y + A'_{33} l_{xy} + B'_{31} \chi_x + B'_{32} \chi_y + B'_{33} \chi_{xy}$$

Bu formullarda aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$a'_{11} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{11}^{-1} + \bar{\alpha}_{11}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$a'_{12} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{12}^{-1} + \bar{\alpha}_{12}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$a'_{13} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{13}^{-1} + \bar{\alpha}_{13}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$a'_{21} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{21}^{-1} + \bar{\alpha}_{21}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$a'_{22} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{22}^{-1} + \bar{\alpha}_{22}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$a'_{23} = E_1 h_1 \left(\bar{\alpha}_{23}^{-1} + \bar{\alpha}_{23}^{-2} \delta_{21} \right),$$

$$\begin{aligned}
a'_{31} &= E_1 h_1 \left(\overset{-1}{\alpha}_{31} + \overset{-2}{\alpha}_{31} \delta_{21} \right), \\
a'_{32} &= E_1 h_1 \left(\overset{-1}{\alpha}_{32} + \overset{-2}{\alpha}_{32} \delta_{21} \right), \\
a'_{33} &= E_1 h_1 \left(\overset{-1}{\alpha}_{33} + \overset{-2}{\alpha}_{33} \delta_{21} \right), \\
b'_{11} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{11} + \overset{-2}{\alpha}_{11} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{12} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{12} + \overset{-2}{\alpha}_{12} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{13} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{13} + \overset{-2}{\alpha}_{13} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{21} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{21} + \overset{-2}{\alpha}_{21} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{22} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{22} + \overset{-2}{\alpha}_{22} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{23} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{23} + \overset{-2}{\alpha}_{23} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{31} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{31} + \overset{-2}{\alpha}_{31} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{32} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{32} + \overset{-2}{\alpha}_{32} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{33} &= \frac{E_1 h_1^2}{2} \left(-\overset{-1}{\alpha}_{33} + \overset{-2}{\alpha}_{33} \delta_{21}^2 \right), \\
b'_{ij} &= A'_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \\
B'_{11} &= \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\overset{-1}{\alpha}_{11} + \overset{-2}{\alpha}_{11} \delta_{21}^3 \right),
\end{aligned} \tag{3.9}$$

$$B'_{12} = \frac{E_1 h_1^2}{3} \left(\bar{\alpha}_{12}^{-1} + \bar{\alpha}_{12}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{13} = \frac{E_1 h_1^2}{3} \left(\bar{\alpha}_{13}^{-1} + \bar{\alpha}_{13}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{21} = \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\bar{\alpha}_{21}^{-1} + \bar{\alpha}_{21}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{23} = \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\bar{\alpha}_{23}^{-1} + \bar{\alpha}_{23}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{31} = \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\bar{\alpha}_{31}^{-1} + \bar{\alpha}_{31}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{32} = \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\bar{\alpha}_{32}^{-1} + \bar{\alpha}_{32}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$B'_{33} = \frac{E_1 h_1^3}{3} \left(\bar{\alpha}_{33}^{-1} + \bar{\alpha}_{33}^{-2} \delta_{21}^3 \right),$$

$$\bar{\alpha}_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{E_1}, \quad \delta_{21} = \frac{h_2}{h_1}$$

Göründüyü kimi ikilaylı plastik ortotrop lövhə və qabıqlarda qüvvə və momentlərin variasiyaları ilə deformasiya və əyintilər arasındakı əlaqələr (3.8), (3.9) formulları ilə təyin edilir. Bunların köməyi ilə baxılan elementin tarazlıq tənlikləri alınır.

§3.2. İkilaylı plastik ortotrop lövhə və qabıqların tarazlıq tənliklərinin alınması

Baxılan halda tarazlıq tənliklərini tərtib etmək üçün ikinci fəsilə uyğun olaraq (1.14)-(1.16) tənliklərindən istifadə edilir.

Gərginlik funksiyası (1.17) şəklində qəbul edilərək (1.14) sistemi eynilik kimi ödənilir. (1.15), (1.16) tənliklərini almaq üçün analogi qayda ilə l_x, l_y, l_{xy} kəmiyyətləri (3.8)-dən qüvvələrin variasiyaları və əyintilərlə əvəz edilir:

$$\begin{aligned} l_x &= c'_{11} \delta T_x + c'_{12} \delta T_y + c'_{13} \delta T_{xy} - L'_{11} \chi_x - L'_{12} \chi_y - L'_{13} \chi_{xy}, \\ l_y &= c'_{21} \delta T_x + c'_{22} \delta T_y + c'_{23} \delta T_{xy} - \\ &\quad - L'_{21} \chi_x - L'_{22} \chi_y - L'_{23} \chi_{xy}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$l_{xy} = c'_{31} \delta T_x + c'_{32} \delta T_y + c'_{33} \delta T_{xy} - L'_{31} \chi_x - L'_{32} \chi_y - L'_{33} \chi_{xy}$$

Burada aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$c'_{11} = \frac{1}{\Delta} (a'_{22} a'_{33} - a'_{23} a'_{32}),$$

$$c'_{12} = \frac{1}{\Delta} (a'_{13} a'_{32} - a'_{12} a'_{33}),$$

$$c'_{13} = \frac{1}{\Delta} (a'_{12} a'_{23} - a'_{22} a'_{13}),$$

$$c'_{21} = \frac{1}{\Delta} (a'_{23} a'_{31} - a'_{21} a'_{33}),$$

$$c'_{22} = \frac{1}{\Delta} (a'_{11} a'_{33} - a'_{13} a'_{31}),$$

$$c'_{23} = \frac{1}{\Delta} (a'_{13} a'_{21} - a'_{11} a'_{23}),$$

$$c'_{31} = \frac{1}{\Delta} (a'_{21} a'_{32} - a'_{22} a'_{31}),$$

$$c'_{32} = \frac{1}{\Delta} (a'_{12} a'_{31} - a'_{11} a'_{32}),$$

$$c'_{33} = \frac{1}{\Delta} (a'_{11} a'_{22} - a'_{12} a'_{21}),$$

$$L'_{11} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{11} (a'_{22} a'_{33} - a'_{23} a'_{32}) - b'_{21} (a'_{12} a'_{33} - a'_{13} a'_{32}) + \\ + b'_{31} (a'_{12} a'_{23} - a'_{22} a'_{13}) \end{array} \right],$$

$$L'_{12} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{12} (a'_{22} a'_{33} - a'_{23} a'_{32}) - b'_{22} (a'_{12} a'_{33} - a'_{13} a'_{32}) + \\ + b'_{32} (a'_{12} a'_{23} - a'_{22} a'_{13}) \end{array} \right]$$

$$L'_{13} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{13} (a'_{22} a'_{33} - a'_{23} a'_{32}) - b'_{23} (a'_{12} a'_{33} - a'_{13} a'_{32}) + \\ + b'_{33} (a'_{12} a'_{23} - a'_{22} a'_{13}) \end{array} \right]$$

$$L'_{21} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} -b'_{11} (a'_{21} a'_{33} - a'_{23} a'_{31}) + b'_{21} (a'_{11} a'_{33} - a'_{13} a'_{31}) - \\ - b'_{31} (a'_{11} a'_{23} - a'_{13} a'_{21}) \end{array} \right],$$

$$L'_{22} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} -b'_{12} (a'_{21} a'_{33} - a'_{23} a'_{31}) + b'_{22} (a'_{11} a'_{33} - a'_{13} a'_{31}) - \\ - b'_{32} (a'_{11} a'_{23} - a'_{13} a'_{21}) \end{array} \right],$$

$$L'_{23} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} -b'_{13} (a'_{21} a'_{33} - a'_{23} a'_{31}) + b'_{23} (a'_{11} a'_{33} - a'_{13} a'_{31}) - \\ - b'_{33} (a'_{11} a'_{23} - a'_{13} a'_{21}) \end{array} \right],$$

$$L'_{31} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{11} (a'_{12} a'_{32} - a'_{22} a'_{31}) - b'_{21} (a'_{11} a'_{32} - a'_{12} a'_{31}) + \\ + b'_{31} (a'_{11} a'_{22} - a'_{12} a'_{21}) \end{array} \right],$$

$$L'_{32} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{12} (a'_{12} a'_{32} - a'_{22} a'_{31}) - b'_{22} (a'_{11} a'_{32} - a'_{12} a'_{31}) + \\ + b'_{32} (a'_{11} a'_{22} - a'_{12} a'_{21}) \end{array} \right],$$

$$L'_{33} = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{array}{l} b'_{13} (a'_{12} a'_{32} - a'_{22} a'_{31}) - b'_{23} (a'_{11} a'_{32} - a'_{12} a'_{31}) + \\ + b'_{33} (a'_{11} a'_{22} - a'_{12} a'_{21}) \end{array} \right]$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a'_{11} & a'_{12} & a'_{13} \\ a'_{21} & a'_{22} & a'_{23} \\ a'_{31} & a'_{32} & a'_{33} \end{vmatrix} \quad (3.11)$$

(3.10) formulları momentlerin (3.9) ifadelerinde yerine yazılarak alınır:

$$\begin{aligned}\delta M_x &= r'_{11} \delta T_x + r'_{12} \delta T_y + r'_{13} \delta T_{xy} + R'_{11} \chi_x + R'_{12} \chi_y + R'_{13} \chi_{xy}, \\ \delta M_y &= r'_{21} \delta T_x + r'_{22} \delta T_y + r'_{23} \delta T_{xy} + \\ &+ R'_{21} \chi_x + R'_{22} \chi_y + R'_{23} \chi_{xy},\end{aligned}\quad (3.12)$$

$$\delta M_{xy} = r'_{31} \delta T_x + r'_{32} \delta T_y + r'_{33} \delta T_{xy} + R'_{31} \chi_x + R'_{32} \chi_y + R'_{33} \chi_{xy}$$

Bu formullarda aşağıdaki övezlemeler edilmiştir:

$$r'_{11} = A'_{11}C'_{11} + A'_{12}C'_{21} + A'_{13}C'_{31},$$

$$r'_{12} = A'_{11}C'_{12} + A'_{12}C'_{22} + A'_{13}C'_{32},$$

$$r'_{13} = A'_{11}C'_{13} + A'_{12}C'_{23} + A'_{13}C'_{33},$$

$$R'_{11} = B'_{11} - A'_{11}L'_{11} - A'_{12}L'_{21} - A'_{13}L'_{31},$$

$$R'_{12} = B'_{12} - A'_{11}L'_{12} - A'_{12}L'_{22} - A'_{13}L'_{32},$$

$$R'_{13} = B'_{13} - A'_{11}L'_{13} - A'_{12}L'_{23} - A'_{13}L'_{33},$$

$$r'_{21} = A'_{21}C'_{11} + A'_{22}C'_{21} + A'_{23}C'_{31},$$

$$r'_{22} = A'_{21}C'_{12} + A'_{22}C'_{22} + A'_{23}C'_{32},$$

$$r'_{23} = A'_{21}C'_{13} + A'_{22}C'_{23} + A'_{23}C'_{33},$$

$$R'_{21} = B'_{21} - A'_{21}L'_{11} - A'_{22}L'_{21} - A'_{23}L'_{31},$$

$$R'_{22} = B'_{22} - A'_{21}L'_{12} - A'_{22}L'_{22} - A'_{23}L'_{32},$$

$$R'_{23} = B'_{23} - A'_{21}L'_{13} - A'_{22}L'_{23} - A'_{23}L'_{33},$$

$$\begin{aligned}
 r'_{31} &= A'_{31}C'_{11} + A'_{32}C'_{21} + A'_{33}C'_{31}, \\
 r'_{32} &= A'_{31}C'_{12} + A'_{32}C'_{22} + A'_{33}C'_{32}, \\
 r'_{33} &= A'_{31}C'_{13} + A'_{32}C'_{23} + A'_{33}C'_{33},
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

$$\begin{aligned}
 R'_{31} &= B'_{31} - A'_{31}L'_{11} - A'_{32}L'_{21} - A'_{33}L'_{31}, \\
 R'_{32} &= B'_{32} - A'_{31}L'_{12} - A'_{32}L'_{22} - A'_{33}L'_{32}, \\
 R'_{33} &= B'_{33} - A'_{31}L'_{13} - A'_{32}L'_{23} - A'_{33}L'_{33}
 \end{aligned}$$

(3.10), (3.12) ifadeleri (1.15) ve (1.16) tenlikler sisteminde yerine yazılarak aşağıdaki tenlikler sistemi alınır:

$$\begin{aligned}
 &\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[r'_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + r'_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \tilde{r}'_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \hat{R}'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - R'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right. \\
 &- R'_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \left. \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[r'_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + r'_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - r'_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - R'_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right. \\
 &- R'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - R'_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \left. \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[r'_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + r'_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - r'_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \right. \\
 &- R'_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - R'_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - R'_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \left. \right] - T'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \\
 &- T'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x} = 0
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[c'_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c'_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c'_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + L'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + L'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \right. \\
& \left. + L'_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[c'_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c'_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c'_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + L'_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \right. \\
& \left. + L'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + L'_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[c'_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + c'_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c'_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \right. \\
& \left. + L'_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + L'_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + L'_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (3.15)
\end{aligned}$$

İkilyalı qabıqların (lövhələrin) hər iki layı plastiki deformasiyaya uğradıqda dayanıqlıq tənliklər sistemi (3.14) və (3.15) şəklində alınır.

§3.3. İkilyalı plastik lövhələrin bir tərəfli sıxılda dayanıqlığı

İkilyalı ortotrop plastik materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin bir tərəfli sıxılda dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək (şəkil 2).

Baxılan halda əsas istifadə olunan əmsallar (3.5) sadələşir.

$$\alpha_{11}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_1 \right],$$

$$\alpha_{12}^1 = \alpha_{21}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1, \quad \alpha_{13}^1 = \alpha_{31}^1 = 0$$

$$\alpha_{22}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2}, \quad \alpha_{23}^1 = \alpha_{32}^1 = 0,$$

$$\alpha_{33}^1 = 2 \frac{E_{c1}}{\gamma_1},$$

$$\alpha_{11}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_2 \right],$$

$$\alpha_{12}^2 = \alpha_{21}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2,$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = \alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = 0,$$

$$\alpha_{22}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2},$$

$$\alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_{c2}}{\gamma_2}$$

Bu halde (3.14) ve (3.15) dayanıklılık tenlikleri sistemi sadel şir ve bu Őekilde alınır.

$$\begin{aligned} & R'_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (R'_{12} + R'_{21} + 2R'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R'_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \\ & - r'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (r'_{11} + r'_{22} - 2r'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ & - r'_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0; \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned}
& c'_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (c'_{12} + c'_{21} + 2c'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + c'_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\
& + L'_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (L'_{11} + L'_{22} - 2L'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + L'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Bu tenliklerdeki əmsallar təyin edilərkən (3.16) ifadələri nəzərə alınır. Göründüyü kimi (3.17) və (3.18) tenlikləri (1.26) və (1.27) tenliklərindən yalnız əmsalları ilə fərqlənirlər. Buna görə burada və sonra gələn paragraflarda 1-ci fəsildəki nəticələrdən istifadə edərək uyğun əmsalları dəyişdirəcəik. Ümumi halda dayanıqlıq itərsə, kritik qüvvə üçün alırıq:

$$\sigma_1 = \sigma_1^0 \cdot K'_1 \tag{3.19}$$

burada

$$\sigma_1^0 = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 h \left(\frac{m}{a} \right)^2},$$

$$\bar{a} = \frac{a}{b}, h = h_1 + h_2$$

$$f'_0 = \frac{L'_{21} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (L'_{11} + L'_{22} - 2L'_{33}) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + L'_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{C'_{22} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (C'_{12} + C'_{21} + 2C'_{33}) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + C'_{11} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}$$

§3.4. İkilaylı plastik lövhələrin sürüşmə qüvvəsinin təsirindən dayanıqlığı

İkilaylı plastiki materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin sürüşmə qüvvələrinin təsirindən dayanıqlığını tədqiq edək.

Bu halda əsas istifadə olunan (3.5) əmsalları sadələşir.

$$\begin{aligned}
 \alpha_{11}^1 &= \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \alpha_1, \\
 \alpha_{12}^1 &= \alpha_{21}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1, \\
 \alpha_{13}^1 &= \alpha_{31}^1 = 0 \\
 \alpha_{22}^1 &= \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2}, \\
 \alpha_{23}^1 &= \alpha_{32}^1 = 0 \\
 \alpha_{33}^1 &= 2 \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[2(\alpha_1 - \beta_1^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_1 - \beta_1^2}{\gamma_1} \right], \\
 \alpha_{11}^2 &= \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2, \\
 \alpha_{12}^2 &= \alpha_{21}^2 = \frac{E_{c1}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2, \\
 \alpha_{22}^2 &= \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2},
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = \alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = 0,$$

$$\alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[2(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha_2 - \beta_2^2}{\gamma_2} \right]$$

Burada (1.37) ve (1.38) dayanıqlıq tənlikləri aşağıdakı şəkildə alınır:

$$R'_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (R'_{12} + R'_{21} + 2R'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R'_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - r'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (r'_{11} + r'_{22} - 2r'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - r'_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0; \quad (3.21)$$

$$c'_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (c'_{12} + c'_{21} + 2c'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + c'_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + L'_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (L'_{11} + L'_{22} - 2L'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + L'_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (3.22)$$

Bezi çevirmələrdən sonra lövhənin kənarları oynaqlı ləzgidildiylə halda kritik qüvvə üçün aşağıdakı formul alınır:

$$T_{12} = \frac{9}{32} \frac{\pi^4}{a^2} \left\{ \frac{b}{a} [R'_{11} + r'_{12} f_0^1] + \frac{a}{b} \left[\frac{(R'_{12} + R'_{21} + 2R'_{33})}{a} + \frac{(r'_{11} + r'_{22} - 2r'_{33})}{b} f_0^1 \right] + \left(\frac{a}{b} \right)^3 [R'_{22} + r'_{21} f_0^1] \right\} \quad (3.23)$$

Burada sağ tərəfdəki ifadələrdə (3.20) əmsalları nəzərə alınır.

§3.5. İkilyalı plastik lövhələrin iki tərəfli sıxılmada dayanıqlığı

İkilyalı ortotrop plastik materialdan hazırlanmış düzbucaqlı lövhələrin iki tərəfli sıxılmada dayanıqlılığını tədqiq edək (şəkil 6).

Bu halda (3.5) əmsalları bu şəkə düşür.

$$\alpha_{11}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1)^2 \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_1 \right],$$

$$\alpha_{12}^1 = \alpha_{21}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta_1 \right],$$

$$\alpha_{13}^1 = \alpha_{31}^1 = 0$$

$$\alpha_{22}^1 = \frac{E_{c1}}{\alpha_1 - \beta_1^2} \left[(\alpha_1 - \beta_1)^2 \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right], \quad (3.24)$$

$$\alpha_{23}^1 = \alpha_{32}^1 = 0,$$

$$\alpha_{33}^1 = 2 \frac{E_{c1}}{\gamma_1},$$

$$\alpha_{11}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha_2 \right],$$

$$\alpha_{12}^2 = \alpha_{21}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta_2 \right]$$

$$\alpha_{13}^2 = \alpha_{31}^2 = 0,$$

$$\alpha_{22}^2 = \frac{E_{c2}}{\alpha_2 - \beta_2^2} \left[(\alpha_2 - \beta_2)^2 \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\alpha_{23}^2 = \alpha_{32}^2 = 0, \quad \alpha_{33}^2 = 2 \frac{E_{c2}}{\gamma_2}$$

Baxılan halda dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkə düşür:

$$\begin{aligned} a'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\ + A'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + A'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} b'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\ - B'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (3.26)$$

burada aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$\begin{aligned} a'_1 = c'_{22}, a'_2 = c'_{12} + c'_{21} + 2c'_{33}, a'_3 = c'_{11}, \\ A'_1 = L'_{21}, A'_2 = L'_{11} + L'_{22} + 2L'_{33}, A'_3 = L'_{12}, \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned} b'_1 = R'_{11}, b'_2 = R'_{12} + R'_{21} + 2R'_{33}, b'_3 = R'_{22}, \\ B'_1 = r'_{12}, B'_2 = r'_{11} + r'_{22} - 2r'_{33}, B'_3 = r'_{21} \end{aligned}$$

(3.25), (3.26) sistemləri həll edilərək kritik qüvvələrin kombinasiyası belə təyin edilir:

$$\sigma_1 = \bar{\sigma}_1 \cdot K'_1 \quad (3.28)$$

burada

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 h \left(\frac{m}{a} \right)^2 + \varphi n^2},$$

$$\varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \bar{a} = \frac{a}{b}, \quad (3.29)$$

$$K'_1 = \left\{ \left(b_1'^* + D_0^1 \cdot B_1'^* \right) \left(\frac{m}{a} \right)^4 + \left(b_2'^* + B_2'^* D_0^1 \right) \left(\frac{mn}{a} \right)^2 + \left(b_3'^* + D_0^1 B_3'^* \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2,$$

$$b_i'^* = \frac{b'_i}{D}, B_i'^* = \frac{B'_i}{D}, h = h_1 + h_2$$

$$D_0^1 = \frac{A'_1 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + A'_2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + A'_3 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{a'_1 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + a'_2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + a'_3 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}$$

§3.6. İkilaylı plastik dairəvi qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı

İkilaylı ortotrop plastik materialdan hazırlanmış dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Bu halda dayanıqlıq tənliklər sistemi aşağıdakı kimi alınır:

$$a'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + A'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + A'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (3.30)$$

$$b'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - B'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{II} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (3.31)$$

buradakı əmsallar (3.27) formullarının vasitəsi ilə (3.16) ifadələrini nəzərə almaqla təyin edilir.

Qabığın kənarları sərbəst oturduğu halda və ya oynaqlı bərkidildiyi halda §1.6.-ya analogi olaraq kritik qüvvə üçün belə bir formul alınır:

$$T_{II}^* = \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 (b'_1 + B'_1 \cdot d'_0) + \left(\frac{n}{R} \right)^2 (b'_2 + B'_2 d'_0) + \left(\frac{L}{m\pi} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^4 (b'_3 + B'_3 \cdot d'_0) + \frac{1}{R} d'_0 \quad (3.32)$$

burada

$$d'_0 = \frac{A'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + A'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + A'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4 - \frac{1}{R} \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2}{a'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + a'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + a'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4}$$

§3.7. İkilaylı plastik silindrik örtüklərin sıxılmada dayanıqlılığı

İkilaylı plastik dairəvi silindrik örtüklərin ox boy sıxılmada dayanıqlıq məsələsini incələyək (şəkil 8).

Bu halda örtüyün dayanıqlıq tənliklər sistemi (3.30) və (3.31) şəklində olur. Əgər örtük planda kvadrat şəklində olursa, onda əyintini və gərginlik funksiyasını (1.59) şəklində qəbul edə bilərik. (1.59) ifadələrini (3.30) və (3.31) tənliklərində nəzərə alaraq bəzi çevirmələrdən sonra kritik qüvvə üçün alınır:

$$T_{II} = \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \left[b'_1 + b'_2 + b'_3 + \frac{A'_1 + A'_2 + A'_3 - \frac{1}{R} \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}{a'_1 + a'_2 + a'_3} \times \right. \\ \left. \times (B'_1 + B'_2 + B'_3) - \frac{1}{R} \frac{A'_1 + A'_2 + A'_3 - \frac{1}{R} \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}{a'_1 + a'_2 + a'_3} \right] \quad (3.33)$$

Buradakı a'_i, b'_i, A'_i, B'_i – əmsalları (3.27) formullarının vasitəsi ilə (3.16) ifadələri nəzərə alınmaqla təyin edilir.

§3.8. İkilaylı plastik silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada və xarici təzyiqlə altında dayanıqlılığı

İkilaylı plastik dairəvi silindrik qabığın oxboyu təsir edən sıxıcı qüvvənin (T_{II}) və müntəzəm paylanmış xarici təzyiqlin (T_{22}) təsirindən dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Baxılan halda qabığın dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır.

$$a'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + a'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + a'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + A'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + A'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + A'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (3.34)$$

$$b'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + b'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + b'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - B'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - B'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (3.35)$$

Buradakı a'_i, b'_i, A'_i, B'_i – əmsalları (3.27) formullarının vasitəsi ilə (3.24) ifadələri nəzərə alınmaqla təyin edilir.

Qabıqların kənarları oynaq bərkidildiyi halda əyinti və gərginlik funksiyası (1.56) şəklində qəbul edilir. §1.6. ya analoji olaraq kritik qüvvələrin kombinasiyasını tapmaq üçün aşağıdakı karakteristik tənliyi alırıq:

$$\sigma_{11}^* + \left(\frac{nL}{m\pi R} \right)^2 \sigma_{22}^* = \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 (b'_1 + B'_1 \cdot f'_1) + \left(\frac{n}{R} \right)^2 (b'_2 + B'_2 \cdot f'_1) + \left(\frac{nL}{m\pi R} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 (b'_3 + B'_3 \cdot f'_1) - \frac{1}{R} f'_1 \quad (3.36)$$

burada

$$f'_1 = \frac{A'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + A'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + A'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4 - \frac{1}{R} \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2}{a'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + a'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + a'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4}$$

IV FƏSİL ÜÇLAYLI ELASTİK-PLASTİK ORTOTROP LÖVHƏ VƏ QABIQLARIN DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİ (II VARIANT)

§4.1. Üçlaylı lövhə və qabıqlar üçün əsas münasibətlərin alınması

Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların (lövhlərin) dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Fərz edilir ki, qabığın layları müxtəlif bircins ortotrop materialdan hazırlanıb və kənar laylar elastik oblastda orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayır. Koordinat sistemi §2.1-də olduğu kimi qəbul edilir (şəkil 5).

Bu halda gərginlik və deformasiya tenzorlarının komponentləri arasındakı asılılıq uyğun laylarda aşağıdakı şəkildə olur. alt layda:

$$\sigma_x^{(1)} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 \varepsilon_x + \beta_1 \varepsilon_y), \quad \tau_{xy} = 2 \frac{E_1}{\gamma_1} \varepsilon_{xy},$$

$$\sigma_y^{(1)} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\varepsilon_y + \beta_1 \varepsilon_x), \quad \left(-h_1 - \frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{2} \right) \quad (4.1)$$

orta layda:

$$\sigma_x = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} (\alpha \varepsilon_x + \beta \varepsilon_y), \quad \tau_{xy} = 2 \frac{E_c}{\gamma} \varepsilon_{xy} \quad (4.2)$$

$$\sigma_y = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} (\varepsilon_y + \beta \varepsilon_x), \quad \left(-\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} \right)$$

üst layda:

$$\sigma_x^{(2)} = \frac{E^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\alpha_2 \varepsilon_x + \beta_2 \varepsilon_y), \quad \tau_{xy} = 2 \frac{E_2}{\gamma_2} \varepsilon_{xy},$$

$$\sigma_y^{(2)} = \frac{E^2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\epsilon_y + \beta_2 \epsilon_x), \left(\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} + h_2 \right) \quad (4.3)$$

burada h_1, h, h_2 – uyğun layların qalınlıqlarıdır; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – layların materiallarının ortotropiya

xarakteristikalarıdır. $E_c = \frac{\sigma_n}{\epsilon_n}$, $\sigma_n = \phi(\epsilon_n)$ diaqramının cari

moduludur.

Yuxarıdakı formullardan istifadə edərək hər bir layda gərginliklə deformasiyaların variasiyaları arasındakı asılılıqları təyin edə bilərik.

alt layda:

$$\begin{aligned} \delta\sigma_x^{(1)} &= \alpha_{11}^{-1} \delta\epsilon_x + \alpha_{12}^{-1} \delta\epsilon_y + \alpha_{13}^{-1} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\sigma_y^{(1)} &= \alpha_{21}^{-1} \delta\epsilon_x + \alpha_{22}^{-1} \delta\epsilon_y + \alpha_{23}^{-1} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\tau_{xy}^{(1)} &= \alpha_{31}^{-1} \delta\epsilon_x + \alpha_{32}^{-1} \delta\epsilon_y + \alpha_{33}^{-1} \delta\epsilon_{xy}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

orta layda:

$$\begin{aligned} \delta\sigma_x &= \bar{\alpha}_{11} \delta\epsilon_x + \bar{\alpha}_{12} \delta\epsilon_y + \bar{\alpha}_{13} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\sigma_y &= \bar{\alpha}_{21} \delta\epsilon_x + \bar{\alpha}_{22} \delta\epsilon_y + \bar{\alpha}_{23} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\tau_{xy} &= \bar{\alpha}_{31} \delta\epsilon_x + \bar{\alpha}_{32} \delta\epsilon_y + \bar{\alpha}_{33} \delta\epsilon_{xy}, \end{aligned} \quad (4.5)$$

üst layda:

$$\begin{aligned} \delta\sigma_x^{(2)} &= \alpha_{11}^{-2} \delta\epsilon_x + \alpha_{12}^{-2} \delta\epsilon_y + \alpha_{13}^{-2} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\sigma_y^{(2)} &= \alpha_{21}^{-2} \delta\epsilon_x + \alpha_{22}^{-2} \delta\epsilon_y + \alpha_{23}^{-2} \delta\epsilon_{xy}, \\ \delta\tau_{xy}^{(2)} &= \alpha_{31}^{-2} \delta\epsilon_x + \alpha_{32}^{-2} \delta\epsilon_y + \alpha_{33}^{-2} \delta\epsilon_{xy} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Bu formullarda aşağıdaki işarelemeler kabul edilmiştir:

$$\alpha_{11}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \alpha_1$$

$$\alpha_{12}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1 = \alpha_{21}^{-1}$$

$$\alpha_{13}^{-1} = \alpha_{31}^{-1} = 0$$

$$\alpha_{22}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2}$$

$$\alpha_{23}^{-1} = \alpha_{32}^{-1} = 0, \quad \alpha_{33}^{-1} = 2 \frac{E_1}{\gamma_1}$$

$$\bar{\alpha}_{11} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha \right],$$

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_n \sigma_n} q + \beta \right],$$

$$\bar{\alpha}_{13} = \bar{\alpha}_{31} = \frac{2E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right],$$

$$\bar{\alpha}_{22} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\bar{\alpha}_{23} = \bar{\alpha}_{32} = \frac{2E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_y \tau_{xy}}{\sigma_n \sigma_n} q \right],$$

$$\bar{\alpha}_{33} = 2 \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right],$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{11}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2 \\
\alpha_{12}^{-2} = \alpha_{21}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2 \\
\alpha_{13}^{-2} = \alpha_{31}^{-2} &= 0 \\
\alpha_{22}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \\
\alpha_{23}^{-2} = \alpha_{32}^{-2} &= 0, \\
\alpha_{33}^{-2} &= 2 \frac{E_2}{\gamma_2}
\end{aligned} \tag{4.7}$$

Fərz edək ki, Kirxhof -Lyav hipotezası üçlaylı elementin bütün qalınlığı üçün doğrudur, yəni

$$\delta \varepsilon_x = l_x + z \chi_x, \quad \delta \varepsilon_y = l_y + z \chi_y, \quad \delta \varepsilon_{xy} = l_{xy} + z \chi_{xy} \tag{4.8}$$

Bu halda qüvvə və momentlərin variasiyaları aşağıdakı formullardan təyin edilir:

$$\delta T_i = \int_{-\frac{h_1}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i^{(1)} dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2} + h_2} \delta \sigma_i^{(2)} dz, \tag{4.9}$$

$$\delta M_i = \int_{-\frac{h_1}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i^{(1)} z dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i z dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2} + h_2} \delta \sigma_i^{(2)} z dz \quad (i \rightarrow x, y, xy)$$

(4.4)-(4.6) və (4.8) ifadələrini (4.9)-da yerinə yazsaq qüvvə və

momentlerin varyasyonlarını tapa biliriz:

$$\begin{aligned}\delta T_x &= n_{11}^1 l_x + n_{12}^1 l_y + n_{13}^1 l_{xy} + d_{11}^1 \chi_x + d_{12}^1 \chi_y + d_{13}^1 \chi_{xy}, \\ \delta T_y &= n_{21}^1 l_x + n_{22}^1 l_y + n_{23}^1 l_{xy} + d_{21}^1 \chi_x + d_{22}^1 \chi_y + d_{23}^1 \chi_{xy}, \quad (4.10) \\ \delta T_{xy} &= n_{31}^1 l_x + n_{32}^1 l_y + n_{33}^1 l_{xy} + d_{31}^1 \chi_x + d_{32}^1 \chi_y + d_{33}^1 \chi_{xy},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta M_x &= N_{11}^1 l_x + N_{12}^1 l_y + N_{13}^1 l_{xy} + D_{11}^1 \chi_x + D_{12}^1 \chi_y + D_{13}^1 \chi_{xy}, \\ \delta M_y &= N_{21}^1 l_x + N_{22}^1 l_y + N_{23}^1 l_{xy} + \\ &+ D_{21}^1 \chi_x + D_{22}^1 \chi_y + D_{23}^1 \chi_{xy}, \quad (4.11) \\ \delta M_{xy} &= N_{31}^1 l_x + N_{32}^1 l_y + N_{33}^1 l_{xy} + D_{31}^1 \chi_x + D_{32}^1 \chi_y + D_{33}^1 \chi_{xy}\end{aligned}$$

Bu formullarda aşağıdaki özdeşleşmeler edilmiştir:

$$\begin{aligned}n_{11}^1 &= Eh(\alpha_{11}^{*1} \delta_1 + \alpha_{11}^* + \alpha_{11}^{*2} \delta_2), \\ n_{12}^1 &= Eh(\alpha_{12}^{*1} \delta_1 + \alpha_{12}^* + \alpha_{12}^{*2} \delta_2) = n_{21}^1, \\ n_{13}^1 &= Eh(\alpha_{13}^{*1} \delta_1 + \alpha_{13}^* + \alpha_{13}^{*2} \delta_2) = n_{31}^1, \\ n_{22}^1 &= Eh(\alpha_{22}^{*1} \delta_1 + \alpha_{22}^* + \alpha_{22}^{*2} \delta_2), \\ n_{23}^1 &= n_{32}^1 = Eh(\alpha_{23}^{*1} \delta_1 + \alpha_{23}^* + \alpha_{23}^{*2} \delta_2), \\ n_{33}^1 &= Eh(\alpha_{33}^{*1} \delta_1 + \alpha_{33}^* + \alpha_{33}^{*2} \delta_2), \\ d_{11}^1 &= \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{11}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{11}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\}, \\ d_{12}^1 &= d_{21}^1 = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{12}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{12}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},\end{aligned}$$

$$d_{13}^1 = d_{31}^1 = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{13}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{13}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{22}^1 = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{22}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{22}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{23}^1 = d_{32}^1 = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{23}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{23}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{33}^1 = \frac{Eh^2}{2} \left\{ \alpha_{33}^{*1} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^2 \right] + \alpha_{33}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

$$d_{ij}^1 = N_{ij}^1$$

$$D_{11}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{11}^{*1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\alpha_{11}^*}{4} + \alpha_{11}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$D_{12}^1 = D_{21}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{12}^{*1} \left[\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\alpha_{12}^*}{4} + \alpha_{12}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$D_{13}^1 = D_{31}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{13}^{*1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 \right] + \frac{\alpha_{13}^*}{4} + \alpha_{13}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$D_{22}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{22}^{*1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 + \frac{\alpha_{22}^*}{4} + \alpha_{22}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$D_{23}^1 = D_{32}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{32}^{*1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 + \frac{\alpha_{32}^*}{4} + \alpha_{32}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$D_{33}^1 = \frac{Eh^3}{3} \left\{ \alpha_{33}^{*1} \left[-\frac{1}{8} + \left(\frac{1}{2} + \delta_1 \right)^3 + \frac{\alpha_{33}^*}{4} + \alpha_{33}^{*2} \left[\left(\frac{1}{2} + \delta_2 \right)^3 - \frac{1}{8} \right] \right\},$$

$$\alpha_{ij}^{*k} = \frac{-k}{E} \alpha_{ij}; \quad \delta_1 = \frac{h_1}{h}; \quad \delta_2 = \frac{h_2}{h} \quad (4.12)$$

Göründüyü kimi kənar laylar elastiki, orta lay isə plastiki deformasiya edən üçaylı lövhə və qabıqlar üçün əsas münasibətlər (4.1)-(4.12) ifadələri şəklində alındı.

§4.2. Tarazlıq tənliklərinin alınması

Baxılan halda da üçaylı qabıqların tarazlıq tənlikləri (1.14) və (1.16) tənliklərindən ibarət olur. Gərginlik funksiyası (1.17) formulları ilə daxil edilərək (1.14) sistemi eynilik kimi ödənilir.

(1.15) və (1.16) tənliklərini tərtib etmək üçün (4.10) münasibətlərindən l_x, l_y, l_{xy} kəmiyyətləri qüvvələrin variasiyaları və əyintilərlə əvəz edilir.

$$l_x = \nu_{11}^1 \delta T_x + \nu_{12}^1 \delta T_y + \nu_{13}^1 \delta T_{xy} - k_{11}^1 \chi_x - k_{12}^1 \chi_y - k_{13}^1 \chi_{xy},$$

$$l_y = v_{21}^1 \delta T_x + v_{22}^1 \delta T_y + v_{23}^1 \delta T_{xy} - k_{21}^1 \chi_x - k_{22}^1 \chi_y - k_{23}^1 \chi_{xy}, \quad (4.13)$$

$$l_{xy} = v_{31}^1 \delta T_x + v_{32}^1 \delta T_y + v_{33}^1 \delta T_{xy} - k_{31}^1 \chi_x - k_{32}^1 \chi_y - k_{33}^1 \chi_{xy}$$

Burada aşağıdaki evəzləmələr edilmişdir:

$$v'_{11} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{22} n'_{33} - n'_{23} n'_{32}),$$

$$v'_{12} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{13} n'_{32} - n'_{12} n'_{33}),$$

$$v'_{13} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{12} n'_{23} - n'_{22} n'_{13}),$$

$$v'_{21} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{23} n'_{31} - n'_{21} n'_{33}),$$

$$v'_{22} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{11} n'_{33} - n'_{13} n'_{31}),$$

$$v'_{23} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{13} n'_{21} - n'_{11} n'_{23}),$$

$$v'_{31} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{21} n'_{32} - n'_{22} n'_{31}),$$

$$v'_{32} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{12} n'_{31} - n'_{11} n'_{32}),$$

$$v'_{33} = \frac{1}{\Delta'_1} (n'_{11} n'_{22} - n'_{12} n'_{21}),$$

$$K'_{12} = \frac{1}{\Delta'_1} [d'_{12} (n'_{22} n'_{33} - n'_{23} n'_{32}) - d'_{22} (n'_{12} n'_{33} - n'_{13} n'_{32}) + d'_{32} (n'_{12} n'_{23} - n'_{22} n'_{13})]$$

$$\begin{aligned}
K'_{13} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[d'_{13} (n'_{22} n'_{33} - n'_{23} n'_{32}) - \right. \\
&\quad \left. - d'_{23} (n'_{11} n'_{33} - n'_{13} n'_{32}) + d'_{33} (n'_{12} n'_{23} - n'_{22} n'_{13}) \right] \\
K'_{21} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[-d'_{11} (n'_{21} n'_{33} - n'_{23} n'_{32}) + \right. \\
&\quad \left. + d'_{21} (n'_{11} n'_{33} - n'_{13} n'_{31}) - d'_{31} (n'_{11} n'_{23} - n'_{13} n'_{21}) \right] \\
K'_{22} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[-d'_{12} (n'_{21} n'_{33} - n'_{23} n'_{32}) + \right. \\
&\quad \left. + d'_{22} (n'_{11} n'_{33} - n'_{13} n'_{31}) - d'_{32} (n'_{11} n'_{23} - n'_{13} n'_{21}) \right] \\
K'_{23} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[-d'_{13} (n'_{21} n'_{33} - n'_{23} n'_{31}) + \right. \\
&\quad \left. + d'_{23} (n'_{11} n'_{33} - n'_{13} n'_{31}) - d'_{33} (n'_{11} n'_{23} - n'_{13} n'_{21}) \right] \\
K'_{31} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[d'_{11} (n'_{12} n'_{32} - n'_{22} n'_{31}) - \right. \\
&\quad \left. - d'_{21} (n'_{11} n'_{32} - n'_{12} n'_{31}) + d'_{31} (n'_{11} n'_{22} - n'_{12} n'_{21}) \right] \\
K'_{32} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[d'_{12} (n'_{12} n'_{32} - n'_{22} n'_{31}) - \right. \\
&\quad \left. - d'_{22} (n'_{11} n'_{32} - n'_{12} n'_{31}) + d'_{32} (n'_{11} n'_{22} - n'_{12} n'_{21}) \right] \\
K'_{33} &= \frac{1}{\Delta'_1} \left[d'_{13} (n'_{12} n'_{32} - n'_{22} n'_{31}) - \right. \\
&\quad \left. - d'_{23} (n'_{11} n'_{32} - n'_{12} n'_{31}) + d'_{33} (n'_{11} n'_{22} - n'_{12} n'_{21}) \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta'_1 = \begin{vmatrix} n'_{11} & n'_{12} & n'_{13} \\ n'_{21} & n'_{22} & n'_{23} \\ n'_{31} & n'_{32} & n'_{33} \end{vmatrix} \quad (4.14)$$

(4.13) formullarını momentlərin (4.11) ifadələrində yerinə yazsaq alarıq:

$$\begin{aligned}
 \delta M_x &= q'_{11} \delta T_x + q'_{12} \delta T_y + q'_{13} \delta T_{xy} + Q'_{11} \chi_x + Q'_{12} \chi_y + Q'_{13} \chi_{xy}, \\
 \delta M_y &= q'_{21} \delta T_x + q'_{22} \delta T_y + q'_{23} \delta T_{xy} + \\
 &\quad + Q'_{21} \chi_x + Q'_{22} \chi_y + Q'_{23} \chi_{xy}, \\
 \delta M_{xy} &= q'_{31} \delta T_x + q'_{32} \delta T_y + q'_{33} \delta T_{xy} + Q'_{31} \chi_x + Q'_{32} \chi_y + Q'_{33} \chi_{xy}
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$\begin{aligned}
 q'_{11} &= N'_{11} v'_{11} + N'_{12} v'_{21} + N'_{13} v'_{31}, \\
 q'_{12} &= N'_{11} v'_{12} + N'_{12} v'_{22} + N'_{13} v'_{32}, \\
 q'_{13} &= N'_{11} v'_{13} + N'_{12} v'_{23} + N'_{13} v'_{33}, \\
 Q'_{11} &= D'_{11} - N'_{11} K'_{11} - N'_{12} K'_{21} - N'_{13} K'_{31}, \\
 Q'_{12} &= D'_{12} - N'_{11} K'_{12} - N'_{12} K'_{22} - N'_{13} K'_{32}, \\
 Q'_{13} &= D'_{13} - N'_{11} K'_{13} - N'_{12} K'_{23} - N'_{13} K'_{33}, \\
 \\
 q'_{21} &= N'_{21} v'_{11} + N'_{22} v'_{21} + N'_{23} v'_{31}, \\
 q'_{22} &= N'_{21} v'_{12} + N'_{22} v'_{22} + N'_{23} v'_{32}, \\
 q'_{23} &= N'_{21} v'_{13} + N'_{22} v'_{23} + N'_{23} v'_{33}, \\
 \\
 Q'_{21} &= D'_{21} - N'_{21} K'_{11} - N'_{22} K'_{21} - N'_{23} K'_{31}, \\
 Q'_{22} &= D'_{22} - N'_{21} K'_{12} - N'_{22} K'_{22} - N'_{23} K'_{32}, \\
 Q'_{23} &= D'_{23} - N'_{21} K'_{13} - N'_{22} K'_{23} - N'_{23} K'_{33}, \\
 \\
 q'_{31} &= N'_{31} v'_{11} + N'_{32} v'_{21} + N'_{33} v'_{31},
 \end{aligned}$$

$$q'_{32} = N'_{31}v'_{12} + N'_{32}v'_{22} + N'_{33}v'_{32},$$

$$q'_{33} = N'_{31}v'_{13} + N'_{32}v'_{23} + N'_{33}v'_{33},$$

$$Q'_{31} = D'_{31} - N'_{31}K'_{11} - N'_{32}K'_{21} - N'_{33}K'_{31},$$

$$Q'_{32} = D'_{32} - N'_{31}K'_{12} - N'_{32}K'_{22} - N'_{33}K'_{32}, \quad (4.16)$$

$$Q'_{33} = D'_{33} - N'_{31}K'_{13} - N'_{32}K'_{23} - N'_{33}K'_{33}$$

(4.13) ve (4.15) ifadelerini (1.15) ve (1.16)-da nəzərə alsaq aşağıdakı tənliklər sistemi alınır.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[q'_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + q'_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q'_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - Q'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - Q'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right. \\ & \left. - Q'_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[q'_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + q'_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q'_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \right. \\ & \left. - Q'_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - Q'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - Q'_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[q'_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \right. \\ & \left. + q'_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q'_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - Q'_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - Q'_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - Q'_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - \\ & - T'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[v'_{11} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v'_{12} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - v'_{13} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + K'_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K'_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \right. \\
& \left. + K'_{13} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[v'_{21} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v'_{22} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - v'_{23} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \right. \\
& \left. + K'_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K'_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K'_{23} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] - 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[v'_{31} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + v'_{32} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \right. \\
& \left. - v'_{33} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + K'_{31} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K'_{32} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K'_{33} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0
\end{aligned} \quad (4.18)$$

Beləliklə kənar laylar elastiki, orta lay isə plastiki deformasiya edən üçlaylı qabıqların dayanıqlıq tənlikləri sistemi (4.17) və (4.18) şəklində alındı.

§4.3. Üçlaylı lövhələrin bir tərəfli sıxılmada dayanıqlığı

Kənar layları elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayan üçlaylı lövhələrin bir tərəfli sıxılmada dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək (şəkil 9).

Bu halda (4.7) əmsalları sadələşərək aşağıdakı şəkəldüşürlər:

$$\alpha_{11}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \cdot \alpha_1,$$

$$\alpha_{12}^{-1} = \alpha_{21}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1,$$

$$\alpha_{13}^{-1} = \alpha_{31}^{-1} = 0,$$

$$\alpha_{22}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2},$$

$$\alpha_{23}^{-1} = \alpha_{32}^{-1} = 0,$$

$$\alpha_{33}^{-1} = 2 \frac{E_1}{\gamma_1},$$

$$\bar{\alpha}_{11} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha \right],$$

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \beta,$$

$$\bar{\alpha}_{13} = \bar{\alpha}_{31} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{22} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2},$$

$$\bar{\alpha}_{23} = \bar{\alpha}_{32} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{33} = 2 \frac{E_c}{\gamma},$$

$$\alpha_{11}^{-2} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2,$$

$$\alpha_{12}^{-2} = \alpha_{21}^{-2} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2, \quad (4.19)$$

$$\alpha_{13}^{-2} = \alpha_{31}^{-2} = 0,$$

$$\alpha_{22}^{-2} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2},$$

$$\alpha_{23}^{-2} = \alpha_{32}^{-2} = 0,$$

$$\alpha_{33}^{-2} = 2 \frac{E_2}{\gamma_2}$$

(4.19) ifadələri tənliklərə daxil olan bütün əmsalların ifadələrində nəzərə alınır və nəticə də əmsalların bir qrupu o-a bərabər olur:

$$n'_{13} = n'_{31} = n'_{23} = n'_{32} = 0,$$

$$d'_{13} = d'_{31} = d'_{23} = d'_{32} = 0,$$

$$N'_{13} = N'_{31} = N'_{23} = N'_{32} = 0,$$

$$D'_{13} = D'_{31} = D'_{23} = D'_{32} = 0$$

Bu halda dayanıqlıq tənliklər sistemləri (4.17) və (4.18) sadələşirlər:

$$Q'_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (Q'_{12} + Q'_{21} + 2Q'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + Q'_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \quad (4.20)$$

$$- q'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (q'_{11} + q'_{22} - 2q'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - q'_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0;$$

$$v'_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (v'_{12} + v'_{21} + 2v'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + v'_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \quad (4.21)$$

$$+ K'_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (K'_{11} + K'_{22} - 2K'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + K'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0$$

Bu tənliklər sistemi (2.20) və (2.21) tənliklərindən yalnız əmsalları ilə fərqləndiyi üçün oradakı nəticələrdən istifadə edilir.

Ümumi halda dayanıqlıq itərsə kritik qüvvə üçün alınır:

$$\sigma'_1 = \sigma'_{10} \cdot \overline{K}'_1 \quad (4.22)$$

burada aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$\sigma'_{10} = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 h \left(\frac{m}{a} \right)^2}, \quad \bar{a} = \frac{a}{b}, \quad h = h_1 + h_2 + h$$

$$K'_1 = \left\{ (Q'_{11} - \bar{\phi}'_0 q'_{12}) \left(\frac{m}{a} \right)^4 + [Q'_{12} + Q'_{21} + 2Q'_{33} + \bar{\phi}'_0 \times \right. \\ \left. \times (q'_{11} + q'_{22} - 2q'_{33}) \right] \left(\frac{mn}{a} \right)^2 + (Q'_{22} + \bar{\phi}'_0 q'_{21}) h^4 \} / \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2$$

$$\bar{\phi}'_0 = \frac{K'_{21} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (K'_{11} + K'_{22} - 2K'_{33}) \times \\ \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + K'_{12} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4}{v'_{22} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + (v'_{12} + v'_{21} + 2v'_{33}) \times \\ \times \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right) + v'_{11} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4} \quad (4.23)$$

s4.4. Üçlaylı lövhələrin sürüşmə qüvvəsinin təsirindən dayanıqlığı

Kənar layları elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayan üçlaylı düzbucaqlı lövhələrin sürüşmə qüvvəsinin təsirindən dayanıqlığını tədqiq edək.

Bu halda (4.7) əmsalları sadələşir:

$$\alpha_{11}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \alpha_1,$$

$$\alpha_{12}^{-1} = \alpha_{21}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1,$$

$$\alpha_{13}^{-1} = \alpha_{31}^{-1} = 0,$$

$$\alpha_{22}^{-1} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2},$$

$$\alpha_{23}^{-1} = \alpha_{32}^{-1} = 0,$$

$$\alpha_{33}^{-1} = \frac{2E_1}{\gamma_1},$$

$$\bar{\alpha}_{11} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \alpha,$$

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \beta,$$

$$\bar{\alpha}_{13} = \bar{\alpha}_{31} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{22} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2},$$

$$\begin{aligned}
\bar{\alpha}_{23} &= \bar{\alpha}_{32} = 0, \\
\bar{\alpha}_{33} &= 2 \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[2(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_n} \right)^2 q + \frac{\alpha - \beta^2}{\gamma} \right], \\
\bar{\alpha}_{11}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2, \\
\bar{\alpha}_{12}^{-2} = \bar{\alpha}_{21}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2, \\
\bar{\alpha}_{13}^{-2} = \bar{\alpha}_{31}^{-2} &= 0, \\
\bar{\alpha}_{22}^{-2} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2}, \\
\bar{\alpha}_{23}^{-2} = \bar{\alpha}_{32}^{-2} &= 0, \\
\bar{\alpha}_{33}^{-2} &= \frac{2E_2}{\gamma_2}
\end{aligned} \tag{4.24}$$

Dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır:

$$\begin{aligned}
& Q'_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (Q'_{12} + Q'_{21} + 2Q'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \\
& + Q'_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - q'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - (q'_{11} + q'_{22} - 2q'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - \\
& - q'_{21} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0;
\end{aligned} \tag{4.25}$$

$$\begin{aligned}
& v'_{22} \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + (v'_{12} + v'_{21} + 2v'_{33}) \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \\
& + v'_{11} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + K'_{21} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (K'_{11} + K'_{22} - 2K'_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + (4.26) \\
& + K'_{12} \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0
\end{aligned}$$

Bezi çevirmələrdən sonra lövhənin kənarları oynaq bərkidildiyi halda kritik qüvvə üçün aşağıdakı formul alınır:

$$\begin{aligned}
T_{12}^2 &= \left(\frac{9}{32}\right)^2 \frac{\pi^8}{a^4} \left\{ \frac{b}{a} [Q'_{11} + q'_{12} \bar{f}'_0] + \right. \\
& + \frac{a}{b} [(Q'_{12} + Q'_{21} + 2Q'_{33}) + (q'_{11} + q'_{22} - 2q'_{33}) \bar{f}'_0] + (4.27) \\
& \left. + \left(\frac{a}{b}\right)^3 [Q'_{22} + q'_{21} \bar{f}'_0] \right\}^2
\end{aligned}$$

s4.5. Üçlaylı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlığı

Kənar layları elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayan üçlaylı düzbucaqlı lövhələrin ikitərəfli sıxılmada dayanıqlığını tədqiq edək (şəkil 12).

Bu halda (4.7) əmsalları aşağıdakı şəkllə düşür:

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} \beta_1,$$

$$\bar{\alpha}_{13} = \bar{\alpha}_{31} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{22} = \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2},$$

$$\bar{\alpha}_{23} = \bar{\alpha}_{32} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{33} = \frac{2E_1}{\gamma_1},$$

$$\bar{\alpha}_{11} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_n} \right)^2 q + \alpha \right],$$

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \frac{\sigma_y}{\sigma_n} q + \beta \right],$$

$$\bar{\alpha}_{13} = \bar{\alpha}_{31} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{22} = \frac{E_c}{\alpha - \beta^2} \left[(\alpha - \beta^2) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_n} \right)^2 q + 1 \right],$$

$$\bar{\alpha}_{23} = \bar{\alpha}_{32} = 0,$$

$$\bar{\alpha}_{33} = \frac{2E_c}{\gamma},$$

$$\bar{\alpha}_{11} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \alpha_2,$$

$$\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_{21} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} \beta_2,$$

(4.28)

$$\alpha_{13}^{-2} = \alpha_{31}^{-2} = 0,$$

$$\alpha_{22}^{-2} = \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2},$$

$$\alpha_{23}^{-2} = \alpha_{32}^{-2} = 0,$$

$$\alpha_{33}^{-2} = \frac{2E_2}{\gamma_2}$$

Baxılan halda lövhənin dayanıqlıq tənlikləri sistemi aşağıdakı şəkildə alınır:

$$\begin{aligned} r'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \\ + R'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + R'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} d'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\ - D'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - D'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \end{aligned} \quad (4.30)$$

Burada aşağıdakı əvəzləmələr edilmişdir:

$$\begin{aligned} r'_1 = v'_{22}, \quad r'_2 = v'_{12} + v'_{21} + 2v'_{33}, \quad r'_3 = v'_{11}, \\ R'_1 = K'_{21}, \quad R'_2 = K'_{11} + K'_{22} + 2K'_{33}, \quad R'_3 = K'_{12}, \\ d'_1 = Q'_{11}, \quad d'_2 = Q'_{12} + Q'_{21} + 2Q'_{33}, \quad d'_3 = Q'_{22}, \\ D'_1 = q'_{12}, \quad D'_2 = q'_{11} + q'_{22} - 2q'_{33}, \quad D'_3 = q'_{21} \end{aligned} \quad (4.31)$$

(4.29) və (4.30) tənlikləri həll edilərək kritik qüvvələrin kombinasiyasını təyin edən xarakteristik tənlik alınır:

$$\sigma_1 = \sigma_1^* \cdot \bar{K}'_1 \quad (4.32)$$

burada

$$\sigma_1^* = \frac{\pi^2 D \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{b^2 H \left(\frac{m}{a} \right)^2 + \varphi n^2},$$

$$\varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \bar{a} = \frac{a}{b}, H = h_1 + h + h_2$$

$$\bar{K}'_1 = \left\{ \left(\bar{d}'_1 + \bar{D}'_1 \cdot f'_0 \right) \left(\frac{m}{a} \right)^4 + \left(\bar{d}'_2 + \bar{D}'_2 \cdot f'_0 \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{mn}{a} \right)^2 + \left(\bar{d}'_3 + \bar{D}'_3 \cdot f'_0 \right) n^4 \right\} / \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2,$$

$$\bar{d}'_i = \frac{d_i}{D}, \bar{D}'_i = \frac{D_i}{D} \quad (4.33)$$

§4.6. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığı

Kənar layları elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayan üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada dayanıqlığını tədqiq edək.

Bu halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar (4.19) ifadələri nəzərə alınmaqla hesablanır. Dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır.

$$\begin{aligned}
& r'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + R'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\
& + R'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0
\end{aligned} \tag{4.34}$$

$$\begin{aligned}
& d'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - \\
& - D'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - D'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Buradaki r'_i , R'_i , d'_i , D'_i – əmsalları (4.19) ifadələri nəzərə alınmaqla (4.31) formulları ilə təyin edilir.

§2.6-ya analogi olaraq qabığın kənarları oynaqli bərkidildiği halda kritik qüvvəni təyin etmək üçün aşağıdakı formulu alırıq:

$$\begin{aligned}
T_{11}^* &= \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 (d'_1 + D'_1 \cdot \bar{D}'_0) + \left(\frac{n}{R} \right)^2 (d'_2 + D'_2 \cdot \bar{D}'_0) + \\
& + \left(\frac{L}{m\pi} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^4 (d'_3 + D'_3 \cdot \bar{D}'_0) - \frac{1}{R} \bar{D}'_0
\end{aligned} \tag{4.36}$$

burada

$$\bar{D}'_0 = \frac{R'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + R'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + R'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4 - \frac{1}{R} \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2}{r'_1 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^4 + r'_2 \left(\frac{m\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{n}{R} \right)^2 + r'_3 \left(\frac{n}{R} \right)^4} \tag{4.37}$$

§4.7. Üçlaylı dairəvi silindrik qabıqların oxboyu sıxılmada və xarici təzyiç altında

Kənar layları elastiki oblastda, orta lay isə plastiki oblastda deformasiyaya uğrayan üçlaylı dairəvi silindrik qabığın oxboyu sıxıcı qüvvənin (T_{11}) və müntəzəm paylanmış xarici təzyiğin (T_{22}) təsirindən dayanıqlıq məsələsini tədqiq edək.

Bu halda qüvvə və momentlərin ifadələrinə daxil olan əmsallar (4.28) ifadələri nəzərə alınmaqla hesablanır. Qabığın dayanıqlıq tənliklər sistemi bu şəkildə alınır:

$$\begin{aligned} r'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + r'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + r'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + R'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \\ + R'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + R'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} d'_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + d'_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + d'_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - D'_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} - D'_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ - D'_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \end{aligned} \quad (4.39)$$

Bu tənliklərə daxil olan əmsallar (4.28) ifadələri nəzərə alınmaqla (4.31) formulları ilə təyin edilir.

§2.7-yə analogi olaraq kritik qüvvələrin kombinasiyasını təyin etmək üçün aşağıdakı xarakteristik tənlik alınır.

$$\sigma_{11}^* + \left(\frac{nL}{m\pi R}\right)^2 \sigma_{22}^* = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 (d'_1 + D'_1 \cdot \overline{D}'_0) + \left(\frac{n}{R}\right)^2 \times \quad (4.40)$$

$$\times (d'_2 + D'_2 \cdot \overline{D}'_0) + \left(\frac{nL}{m\pi R}\right)^2 \left(\frac{n}{R}\right)^2 (d'_3 + D'_3 \cdot \overline{D}'_0) - \frac{1}{R} \overline{D}'_0$$

Burada \overline{D}'_0 (4.37) formulu ile t y n edilir.

İstifadə olunan ədəbiyyat.

1. Амензаде Ю.А. Курс общей теории тонких упругих оболочек. Баку, Маариф, 1982.
2. Агаев Н.Т. Инженерные методы исследования устойчивости тонкостенных конструкций. М. Стройздат, 1990.
3. Abdullayev A.N. Lövhlər və qabıqlar. Bakı, Çarşıoğlu, 1999.
4. Алиев К.А., Геюшов З.М. Устойчивость биметаллических анизотропных упругопластических пластинок при двухстороннем сжатии. Сб. научных трудов по механике, №3, АзИСУ, Баку, 1993.
5. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. М. Машиностроение, 1980.
6. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М. Наука, 1967.
7. Гольденвейзер А.А. Теория упругих тонких оболочек. М. Физматгиз, 1976.
8. Гудрамович В.С. Устойчивость упругопластических оболочек. Киев, Наукова Думка, 1987.
9. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. М. Наука, 1978.
10. Геюшов З.М. Об устойчивости двухслойных ортотропных упругопластических оболочек. Сб. научных трудов по механике №8, АзИСУ, Баку, 1998.
11. Геюшов З.М. Устойчивость двухслойных упругопластических пластинок при комбинированном нагружении. Сб. научных трудов по механике №12, АзАСУ, Баку, 2002.
12. Геюшов З.М. Об устойчивости двухслойных упругопластических панелей. Сб. научных трудов по механике №12, АзАСУ, Баку, 2002.

13. Геюшов З.М. Об устойчивости трехслойных ортотропных упругопластических пластинок при сдвиге. "Azərbaycan müstəqillikdən sonra" Beynəlxalq konfransın materialları, Bakı, 2003.
14. Гаджиев В.Д., Исаев Ф.К. Устойчивость предварительно нагруженных упругопластических систем. Изв. АН, Аз. Респ., сер. ФТМН, №2, 1984.
15. Ильюшин А.А. Пластичность. М., ОГИЗ, 1948.
16. Исаев Ф.К., Геюшов З.М. Устойчивость двухслойных анизотропных пластинок при сдвиге. Сб. научных трудов по механике, №3, АЗИСУ, Баку, 1993.
17. İsayev Ə.M., Məmməd həsənov N.N. İnşaat mexanikası, Çapaöğlü, 2003.
18. Ключников. Устойчивость упругопластических систем. М., Наука, 1980.
19. Королев В.И. Упругопластические деформации оболочек. М., Машиностроение, 1971.
20. Королев В.И. Слоистые анизотропные пластинки и оболочки из армированных пластмасс. М., 1965.
21. Москвитин В.В. Циклические нагрузки элементов конструкций, М., Наука, 1981.
22. Огибалов П.М. Вопросы динамики и устойчивости оболочек. М., Изд. МГУ, 1969.
23. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов, М., Изд. МГУ, 1984.
24. M.Kosarov and R.Kurktschiev. Plastische stabilitat einer klejnzyinderschale. Ing. Archiv, 1977 (46).

Z.M.Göyüşov

**Ortotrop elastik-plastik çoxlaylı lövhə
və qabıqların dayanıqlığı,**

Bakı – Elm – 2004

«Elm» Redaksiya-Nəşriyyat və Poliqrafiya Mərkəzi

Direktor: **Ş.Alişanlı**
Baş redaktor: **T.Kərimli**

Formatı 60x84 ¹/₁₆.
Həcmi 8,5 ç.v.
Tirajı 500. Sifariş 37.
Qiyməti müqavilə ilə.

«Elm» RNPM-nin mətbəəsində çap edilmişdir.
(*İstiqlaliyyət, 8*).