

Əlyazması hüququnda

DİLQƏM SEYFƏDDİN OĞLU QƏNİYEV

**NAZİKDİVARLI DƏMİRBETON SİLİNDRİK
QABIQLARLI İSTİNAD DİVARLARININ TƏDQİQİ**

İxtisas: 3305.03 – “İnşaat konstruksiyaları, bina və qurğular”

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

BAKİ – 2014

Dissertasiya Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: t.e.d., prof. X.Q.Seyfullayev

Rəsmi opponentlər: t.e.d., prof.N.H.Ağayev

t. üzrə fə.l.d., dosent L.F.Aslanov

Aparıcı təşkilat: Bakı Dövlət Universiteti, “Nəzəri mexanika” kafedrası

Dissertasiya işinin müdafiəsi “_05” 03_2014-cü il, saat ___ -da Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində fəaliyyət göstərən D 02.042 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az 1073/1, Bakı şəhəri, A. Sultanova küç. 5, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, I tədris korpusu, iclas salonu, otaq 317.

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

Dissertasiya işinin avtoreferatına rəyi 2 (iki) nüsxədə təsdiq olunmuş imzalarla elmi katibin adına yuxarıda göstərilən ünvana göndərməyinizi xahiş edirik.

Avtoreferat “___” _____ 2014-cü il tarixində göndərilmişdir.

**D02.042 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi f. r. üzrə fə.l.d., dosent**

A. M. İsayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Nəqliyyat tikintisində istinad divarlarından geniş istifadə olunur. Yüksək hündürlüyə malik olan istinad divarlarında istifadə olunan materialların sərfini azaltmaqla onların möhkəmlik və dayanıqlığını təmin edən yeni konstruksiyaların hazırlanması və tətbiqi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Böyük massiv su bəndlərində betonun sərfini azaltmaq məqsədilə prof. V.Z. Vlasov nazikdivarlı qabıqların qovuşmasından əldə olunmuş fəza konstruksiyaların tətbiq olunmasını təklif etmişdir.

Bu ideya əsas götürülərək, dissertasiya işində üç silindrik qabıqların qovuşmasından əldə olunmuş və yaranan boşluq qrunqla doldurulmuş fəza sistemli istinad divarlarının tətbiqi və hesablanma metodikasının yaradılması problemlərinə baxılır.

Konstruktor yaradıcılığının əsas istiqaməti səmərəli qurğuların təyin olunması və nəticədə istifadə onların keyfiyyətinin yüksəldilməsinə yönəlməlidir. Bu ideyanın əsas götürülməsi istinad divarlarının yeni konstruksiyasının işlənilməsini və onların hesablanması üsulunun yaradılması məsələsini ön plana çıxarmışdır.

Dissertasiya işində istinad divarlarının yeni səmərəli konstruksiyasının işlənilməsi praktikada tətbiqi və silindrik qabıqların qovuşma məsələsinin həll edilərək kontur elementlərinin işinin nəzərə alınması və silindrik qabıqların optimal həndəsi ölçülərinin seçilməsi inşaat konstruksiyalarının tətbiqinin aktual problemlərindən sayılır.

Məsələnin qoyuluşu: İstinad divarının əsas yük daşıyan hissəsini qabaq-silindrik qabıq təşkil edir və bilavasitə dənəvər materiallardan istinad divarına göstərilən yüklər sisteminin təsirinə hesablanır. Alt hissədə silindrik qabıqlara elastiki əsaslar üzrə oturan konstruksiyaya kimi baxılır və o istinad divarının sürüşməyə və aşmasına qarşı dayanıqlığını təmin edir. Üst silindrik qabıq qabaq silindrik qabığın yuxarı sərbəst ucunun horizontal yerdəyişməsinə mane olan dayaq vəzifəsini oynayır. Yüngülləşdirilmiş istinad divarına yüklərin təsirindən üç silindrik qabığın qovuşma məsələsini həll etməklə dissertasiya işində qoyulmuş problem həll edilir.

Məsələnin həllində silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsinin əsas diferensial tənliklərindən istifadə olunur. Sərhəd şərtləri isə üç silindrik qabıqların birgə işini nəzərə alan qovuşma şərtləri kimi qəbul olunmuşdur. Diferensial tənliklərin həllərinin qurulmasında həllin əsas hissəsinin ayrılması üsulundan istifadə edilmişdir.

Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının yeni konstruksiyası onun elementlərinin uzun müddət etibarlı istismar olunmasını təmin etməlidir. Bu parametrlər möhkəmlilik, sərtlik və dayanıqlılıq şərtlərindən tapılır.

Silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə sərtlik elementlərinin iştirakı da nəzərdə tutulur. Silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə əyici moment, əyinti, normal qüvvə və nisbi xətti deformasiyalar məchul qəbul olunaraq, silindrik qabıqların qovuşma şərtləri məchullara nəzərən cəbri tənliklər sisteminə gətirilir.

Son nəticədə inşaat mexanikası üsulları əsasında təklif olunan istinad divarlarının hesablanması silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə yaranan məchulların təyin olunmasına və sonra hər bir silindrik qabığın ayrıca həll olunmasına gətirilir.

İşin məqsədi. Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının yeni konstruksiyasını təşkil etməkdə əsas məqsəd massiv qravitasiya istinad divarlarında istifadə olunan betonun sərfini azaltmaqla səmərəli konstruksiya əldə etməkdir. İstinad divarlarının yeni konstruksiyasının hesablanması üsulu silindrik qabıqlar nəzəriyyəsi əsasında qurulmuşdur. Hesablanma alqoritmi qurularaq silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə sərtlik elementlərinin istinad divarlarının gərdinlikli-deformasiya hallarına təsiri ətraflı öyrənilmişdir. Məsələnin həllinin alqoritminin tərtib olunması layihəçikonstruktor tərəfindən istifadə olunmasını asanlaşdırmışdır.

İşin praktik əhəmiyyəti. Dissertasiya işində yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının yeni konstruksiyasının, silindrik qabıqların məqsədyönlü şəkildə qovuşmasından əldə olunduğundan, silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənliklərinin həllərinin alqoritmi qurulmuşdur onun alqoritm vastəsilə həlli mürəkkəb olan konstruksiyanın hesablanmasında konstruktorlar tərəfindən istifadəsi asanlaşdırılmışdır.

Dissertasiya işinin nəticələri nəqliyyat tikintisində istinad divarlarının səmərəli konstruksiya kimi geniş istifadəsini nəzərdə tutur və layihə institutları tərəfindən tətbiq olunmaq üçün təklif olunur.

İşin elmi yenikləri:

- Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının yeni tipli səmərəli konstruksiyası və onun tətbiqi.

- Təklif olunan konstruksiyasının silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsi əsasında hesablama üsulunun işlənməsi. Bu üsul üç silindrik qabıqların qovuşma məsələsinin qabıqlar nəzəriyyəsinin diferensial tənliklərinin köməyi ilə həlli əsasında yaradılmışdır.

- Yan dənəvər materialların təsirinə və iki xarakteristikali elastik əsas üzərində oturan silindrik qabıqların diferensial tənliklərin qovuşma şərtlə-

rini ödəyən həllinin qurulması. İlk dəfə olaraq dənəvər materialların yan təyziqinə və iki parametirli elastik əsası nəzərə alan silindrik qabıqların diferensial tənliklərinin həllərində əsas hissəni ayırmaqla təyin edilmişdir.

- Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının silindrik qabıqların qovuşması məsələsi həll olunmaqla əldə olunmuş yeni nəticələr.

- Müstəvi deformasiyası halında istinad divarının hesablanması və alınmış nəticələr.

Alınmış nəticələrin doğruluğu.

Dissertasiyada alınmış nəticələr praktikada özünün təstiqini tapmış və yaxşı öyrənilmiş silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsinə, dənəvər materialların istinad divarlarına öyrənilmiş təsirinə, iki parametirli elastiki əsaslar nəzəriyyəsinin tətbiqinə əsaslanmışdır. Silindrik qabıqların qovuşma məsələlərinin həllərinin doğruluğu onun xüsusi hallarının müxtəlif müəlliflərin əldə etdiyi sadə sərhəd şərtləri üçün nəticələrlə müqayisəsi və eyni olunması ilə sübut edilmişdir.

Dissertasiya işində istifadə olunan triqonometrik sıraların yığılması məsələsi ədədi misallarda tətbiq olunmuş və təhlil edilmişdir.

İşin aprobeiası. Dissertasiya işinin nəticələri Az.MİU-nin “İnşaat konstruksiyaları” və “Nəqliyyat tikintisi və yol hərəkətinin təşkili” kafedralarının elmi-metodik seminarlarında (2004-2013), AzMİU-nun professor–müəllim heyəti və aspirantların elmi konfransında (2007), ümumrespublika elmi-praktik konfransında (Bakı, 2011), beynəlxalq konfransda (Bakı, 2011) məruzə və müzakirə edilmişdir. Dissertasiya işi üzrə 9 elmi məqalə çap edilmişdir.

İşin həcmi. Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, nəticə, əlavələr və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

İŞİN TƏRKİBİ

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı, işin məqsədi və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar müəyyənəşdirilmişdir.

Birinci fəsildə dənəvər mühitlə qarşılıqlı əlaqədə olan və elastiki əsas üzərində oturan konstruksiyaların hesablanması haqqında texniki ədəbiyyatlarda həllini tapmış məsələlər verilmişdir.

Yatıq qabıqların momentli nəzəriyyəsi V.Z.Vlasov tərəfindən qurulmuş, X.Q.Seyfullayevin elmi işlərində yatıq qabıqların kontur konstruksiyaları ilə qovuşma məsələləri həll edilmişdir.

Silindrik qabıqlar qarışıq formada və yedəyişmələr ilə həll olunduğundan momentli nəzəriyyənin əsas diferensial tənliklərinə hər iki formada baxılmışdır.

a) Silindrik qabıqların əyilməsindən yaranan momentsiz qüvvələr qrupu məsələnin həlli olan $w(x,y)$ Eri funksiyası ilə, momentli qüvvələr qrupu isə əyintilər funksiyası ilə $\omega(x,y)$ ilə təyin olunurlar. Bu zaman əyici moment və burucu momentlərin və momentsiz qüvvələr qrupunun ifadələrini silindrik qabıqların müvazinətinin diferensial tənliklərində və deformasiyaların kəsilməzlik tənliyində yerinə yazmaqla aşağıdakı xüsusi törəməli diferensial tənliklər sistemi əldə olunur:

$$D\Delta^2 w - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = q(x,y), \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0. \quad (1)$$

b) Daxili qüvvələrin yerdəyişmələr ilə ifadələrini müvazinətin diferensial tənliklərində yazmaqla u , v və w və yerdəyişmələr funksiyalarına nəzərən diferensial tənliklər sistemində Lurye tətəfindən ümumiləşmiş yerdəyişmələr funksiyası ilə ifadələri də dissertasiyada verilmişdir.

(1) tənliyi həll edilərək daxili qüvvələrin ifadələri alınır.

Məsələnin həlli üçün hesablama üsulunun seçilməsindən asılı olaraq diferensial tənliklər sistemində olan məchul funksiyalara nəzərən sərhəd şərtləri verilir.

Silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsinin əsas diferensial tənlikləri səkkizinci tərtibdən olduğundan düzbucaqlı konturun hər xətti üçün dörd şərt yazılmalıdır. Məsələ qarışıq üsulla həll olunduğundan hər kontur xətti üzrə sərhəd şərtlərindən ikisi gərginliklər və ikisi də yerdəyişmələr (əyintilər) funksiyalarına nəzərən yazılmalıdır.

Baxılan yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının konstruksiyası şəkildəki kimi üç silindrik qabıqların monolit qovuşmasından əldə olunur və boşluq qrunla doldurulur. Üç qabıq bir-birilə kənar elementləri olmaqla kontur xətləri üzrə elastik qovuşurlar.

Məlumdur ki, mərkəzi qovuşan kontur elementləri qabıqlara təsir edən xarici yüklərin təsirindən iki müstəvidə əyilir, burulur və dartılırlar. Bu dörd şərtədən istifadə edərək kontur xətti üzrə qovuşma şərtləri qabıqla kontur elementlərinin birgə deformasiyaya uğramasını təmin edirlər.

Qeyd etmək lazımdır ki, dörd qovuşma şərtinin ikisi əyintilər funksiyasına nəzərən tərtib olunmuş və hesablama variantından asılı olmayaraq aşağıdakı şəkildə tətbiq olunurlar:

$$B_{ix} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \Big|_{y=0} = Q - D \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right]; \quad \int C_{ix} \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \Big|_{y=0} = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)$$

Qalan iki qovuşma şərti məsələnin həllinin hansı variantda aparılmasından asılıdır. Məsələ qarışıq üsulla həll olunduqda qovuşma şərtləri axtarılan gərginliklər funksiyasına nəzərən verilmişdir və aşağıdakı kimidir:

$$\frac{1}{B_{ix}} \varphi \Big|_{y=0} = -\frac{1}{Eh} \left[\frac{\partial^3 \varphi}{\partial y^3} + (2+\nu) \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x \partial y^2} \right]; \quad \frac{1}{EA_{ix}} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)$$

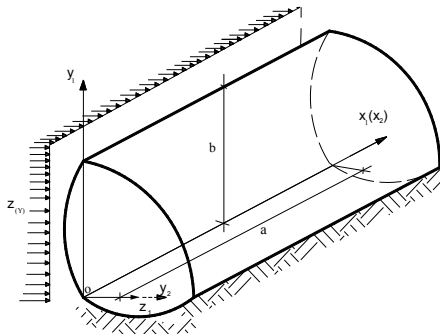
Məsələ yerdəyişmələr üsulu ilə həll olunduqda isə yuxarıdakı iki qovuşma şərti yerdəyişmələr ilə ifadə olunur və aşağıdakı kimi alınır:

$$B_{ix}^H \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} \Big|_{y=0} = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{w}{R} \right); \quad \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{y=0} = \frac{Eh}{2EA_{ix}(1+\nu)} \int_0^x \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) dx$$

Bu ifadələrdə B_{ix}, B_{ix}^H, C_{ix} və EA_{ix} - uyğun olaraq $y=0$ xətti üzrə qabıqla qovuşan kontur elementlərinin iki istiqamətdə əyilmədə, burulmada və dartılmada şərtləkləridir.

İkinci fəsildə silindrik qabıqlardan təşkil olunmuş yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının hesablanması məsələlərinə baxılmışdır. (şəkil 1)

Qabaq silindrik qabığa qrunzun təsirindən yaranan yüklər tətbiq olunmuşdur və o sistemin əsas konstruktiv elementi sayılır. Sürüşmədən sistemin dayanıqlığını təmin etmək üçün alt silindrik qabığın qabarıqlığı aşağı yönəlmişdir. Qabaq və alt silindrik qabıqların üst qabıqla qovuşma xətləri üzrə birləşməsi elastik birləşməsidir. Sistemin möhkəmlik, dayanıqlıq və sərtliyini artırmaq məqsədi ilə qovuşma xətləri üzrə qabırğalar və ya kontur elementləri də nəzərdə tutulmuşdur.



Şəkil 1. İstinad divarının konstruktiv sxemi.

Qovuşma məsələsini həll etmək üçün qarışıq üsuldən istifadə olunur. Bu məqsədlə istinad divarı üç silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə qabıqlara ayrılır və ayrılma xətləri üzrə yaranan daxili qüvvələr və

yerdəyişmələr məchul kəmiyyət kimi qəbul olunaraq silindrik qabıqlara qovuşma xətləri üzrə yayılmış qüvvələr kimi təsir etdiyi fərz olunur.

Qəbul edilmiş koordinat sistemində qabıqların $y=b$ xətti üzrə dörd həndəsi və dörd statik qovuşma şərtləri yazılmalıdır. Həndəsi şərtlər iki qabığın qovuşma xətləri üzrə birgə deformasiyaya uğraması nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi tərtib olunur:

$$\begin{aligned} w_1(x)|_{y=b} &= v_2(x)|_{y=b}; \quad v_1(x)|_{y=b} = w_2(x)|_{y=b}; \\ u_1(x)|_{y=b} &= u_2(x)|_{y=0}; \quad \left. \frac{\partial w_1(x)}{\partial y} \right|_{y=b} = \left. \frac{\partial w_2(x)}{\partial y} \right|_{y=0} \end{aligned} \quad (2)$$

Digər statik qovuşma şərtləri isə müvazinət tənliklərindən istifadə olunaraq yazılır:

$$\begin{aligned} M_{y_1}^{(x)}|_{y=b} &= M_{y_2}^{(x)}|_{y=0}; \quad N_{y_1}^{(x)}|_{y=b} = Q_{y_2}^*(x)|_{y=0} \\ Q_{y_1}^*(x)|_{y=b} &= N_{y_2}^{(x)}|_{y=0}; \quad N_{x_1y_1}^{(x)}|_{y=b} = N_{x_2y_2}^{(x)}|_{y=0} \end{aligned} \quad (3)$$

Eyni qayda ilə qabaq silindrik qabıqla üst qabığın $y=0$ xətti üzrə qovuşma şərtləri, qovuşma xətləri üzrə sərtlik elementlərinin olduğunu nəzərə alıb, onların kontur qovuşma xətləri üzrə qüvvələrdən iki müstəvidə əyilməsini, burulmasını və dartılmasını nəzərə aldıqdan sonra statik sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi yazılır:

$$M_{y_1}^{(x)}|_{y=b} - M_{y_2}^{(x)}|_{y=0} = C_{x_1} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \quad N_{x_1}^{(x)}|_{y=b} - Q_{y_2}^*(x)|_{y=0} = B_{xH} \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} \quad (4)$$

$$Q_{y_1}^*(x)|_{y=b} - N_{y_2}^{(x)}|_{y=0} = B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \quad N_{x_1y_1}^{(x)}|_{y=b} - N_{x_2y_2}^{(x)}|_{y=0} = EA_{x_1} \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$$

Bu ifadələrdə B_{ix}, B_{ix}^H, C_{ix} və EA_{ix} - kontur elementlərinin iki istiqamətdə əyilmədəki, burulma və dartılmadakı sərtlikləridir.

Silindrik qabıqların $x=0$ və $x=a$ xətləri üzrə ideal diafraqmalar üzərində oynaqla oturduğu qəbul edilir və bu halda sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi ifadə olunurlar.

$$x=0 \text{ və } x=a \text{ olduqda, } w=0; \quad M_x=0; \quad N_x=0; \quad \varepsilon_y=0 \quad (5)$$

İstinad divarlarının qovuşma məsələsi silindrik qabıqların momentli nəzəriyyəsinin qarışıq formada ifadə olunmuş diferensial tənliklərindən istifadə olunaraq həll olunur və qovuşma xətləri üzrə yaranan yerdəyişmə və daxili qüvvələr məchul qəbul olunub birqat Furrye sıralarına ayrılırlar:

Qabaq qabığın $y=0$ xətti üzrə:

$$w(x)=\sum_m E_m \sin \lambda_m x; M_y(x)=\sum_m N_m \sin \lambda_m x \quad (6)$$

$$N_y(x)=\sum_m \xi_m \sin \lambda_m x; \varepsilon_x(x)=\sum_m \theta_m \sin \lambda_m x$$

Qabaq qabığm $y=b$ xətti üzrə:

$$\overline{w}(x)=\sum_m \overline{E}_m \sin \lambda_m x; \overline{M}_y(x)=\sum_m \overline{N}_m \sin \lambda_m x \quad (7)$$

$$\overline{N}_y(x)=\sum_m \overline{\xi}_m \sin \lambda_m x; \overline{\varepsilon}_x(x)=\sum_m \overline{\theta}_m \sin \lambda_m x$$

Əgər (6) və (7) məchulları kontur üzrə yaranmazsa, yəni onlar sifıra bərabər olarsa, onda (6) və (7) şərtləri ideal diafraqmalar üzərində oynaqlı oturan sərhəd şərtləri ilə eyni olur. Bu isə o deməkdir ki, silindrik qabıqların əsas sistemi konturu üzrə ideal diafraqmalar üzərində oynaqlı oturan silindrik qabıqlar kimi seçilmişdir.

Kontur üzrə (6) və (7) sərhəd şərtləri məlum olduqda, yəni sərhəd şərtləri qeyri – biricins olarsa, onda silindrik qabıqlar nəzəriyyəsinin diferensial tənlikləri qarışıq formada ifadə olunan nəzəriyyənin variantının həlli aşağıdakı kimi qəbul olunur:

$$w=w_0+w^*(x,y) ; \quad \varphi = \phi_0 + \phi^*(x,y) \quad (8)$$

Qabaq silindrik qabıqların əsas diferensial tənlikləri qarışıq formada ifadələri birinci fəsildə alındığı kimi qəbul olunmuşdur.

(8) həllərində w_0 və ϕ_0 diferensial tənliklərin həllərinin əsas hissəsidir və aşağıdakı kimi Furye sıraları şəklində qəbul olunmuşdur:

$$w_0 = \sum_m \sum_n B_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y ; \quad \phi_0 = \sum_m \sum_n A_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y \quad (9)$$

$w^*(x,y)$ və $\phi^*(x,y)$ həlləri məsələnin ümumi həlləri (8)–ə qovuşma şərtlərindən yaranan kompensasiya həlləridir. Bu həllər elə seçilir ki, iki silindrik qabıqların qovuşma xətləri üzrə (2) və (3) şərtləri ödənilsin.

(2.6) və (2.7) ifadələri ilə Furye sıralarına ayrılmış qüvvə və yerdəyişmələr məlum olduqda aşağıdakı diferensial tənliklər sistemi kimi alınır:

$$D\Delta^2 w_0 - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} = Z_{ekv}(x,y) ; \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \phi_0 + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} = P_{xy}(x,y) \quad (10)$$

Burada $Z_{ekv}(x,y)$ və $P_{xy}(x,y)$ kontur üzrə təsir edən yüklərə və yerdəyişmələrə ekvivalent xarici yükün toplananları adlanır və aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$Z_{ekv}(x,y) = Z(x,y) + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi^*}{\partial x^2} - D\Delta^2 w^* ; \quad P_{xy}(x,y) = -\frac{1}{Eh} \Delta^2 \phi^* - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^2} \quad (11)$$

Konturu üzrə yüklənmiş və əsası ideal diafraqmalar üzrə oynaqlı oturan silindrik qabıqları hesablamaq üçün ekvivalent yükləri ikiqat Furye sırasına ayırmaq lazımdır:

$$Z_{ekv}(x,y)=\sum_m \sum_n Z_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y, P_{xy}(x,y)=\sum_m \sum_n P_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y \quad (12)$$

Burada Z_{mn} və P_{mn} Furye sıralarının əmsalıdır dissertasiyada verilmişdir.

Məsələnin əsas hissəsi olan (9) və ekvivalent yüklərin (11) qiymətlərini (10) tənliklərində yerinə yazılırsa, harmonik balans prinsipinə görə aşağıdakı iki məchullu cəbri tənliklər sistemi alınır:

$$D\Delta_{mn}^2 B_{mn} + \frac{\lambda_m^2}{R} A_{mn} = Z_{mn} \quad ; \quad -\frac{\lambda_m^2}{R} B_{mn} + \frac{1}{Eh} \Delta_{mn}^2 A_{mn} = P_{mn} \quad (13)$$

(13) sistemini B_{mn} və A_{mn} əmsallarına nəzərən həll etsək, məsələnin həllinin əsas hissəsi üçün aşağıdakı həlləri əldə edirik:

$$B_{mn} = \frac{1}{D(m,n)} \left(\frac{Z_{mn} \Delta_{mn}^2}{Eh} - P_{mn} \frac{\lambda_m^2}{R} \right); A_{mn} = \frac{1}{D(m,n)} \left(P_{mn} \Delta_{mn}^2 + Z_{mn} \frac{\lambda_m^2}{R} \right) \quad (14)$$

Bu ifadələrdə $D_{(m,n)} = \frac{D}{Eh} \Delta_{mn}^4 + \lambda_{mn}^4$; $\Delta_{mn}^2 = (\lambda_m^2 + \mu_n^2)^2$ işarələnmələri qəbul edib inteqrallama əməliyyatları aparıldıqdan sonra aşağıdakı ifadələr əldə olunur:

$$B_{mn} = \frac{Z(m,n)}{D(m,n)} - E_1(m,n) [E_m - (-1)^n \tilde{E}_m] - E_2(m,n) [N_m - (-1)^n \bar{N}_m] + E_3(m,n) [\xi_m - (-1)^n \bar{\xi}_m] + E_4(m,n) [\theta_m - (-1)^n \bar{\theta}_m]; \quad (15)$$

$$A_{mn} = \frac{X(m,n)}{D(m,n)} + E_{11}(m,n) [E_m - (-1)^n \bar{E}_m] + E_{22}(m,n) [N_m - (-1)^n \bar{N}_m] + E_{33}(m,n) [\xi_m - (-1)^n \bar{\xi}_m] + E_{44}(m,n) [\theta_m - (-1)^n \bar{\theta}_m]; \quad (16)$$

Bu ifadələrə daxil olan işarələnmələrin həcmi böyükdür və onlar dissertasiyada verilmişdir.

Yüngülləşdirilmiş istinad divarının qabaq silindrik qabıqlara təsir edən qrunturn təzyiqinin dəyişmə qanunundan asılı olaraq $q(m,n)$ parametri təyin olunur.

Furye sırasının ixtiyari hədlərinin qiymətləri (15) və (16) düsturları ilə təyin olunsada, onlar kontur üzrə və yaxud qovuşma xətlərində yaranan məchul kəmiyyətlərdən asılı olur. Qabıqların qovuşma məsələləri statik həll olunmayandır və onu həll etmək üçün qovuşma şərtləri və ya kontur üzrə verilmiş ixtiyari sərhəd şərtlərindən istifadə etmək lazımdır.

Qabaq silindrik qabıqların diferensial tənliyi:

$$D\Delta^2 w - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = Z(y) \quad ; \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (17)$$

və alt silindrik qabığın isə elastik əsas üzərində oturduğu nəzərə alındıqda, əsas diferensial tənliklər aşağıdakı kimi yazılır:

$$D\Delta^2 w^* - \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial x^2} + (K - K_s \Delta) w^* = q(x, y) \quad ; \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi^* + \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^2} = 0 \quad (18)$$

Üst silindrik qabıqların əsas diferensial tənlikləri aşağıdakı kimi qəbul olunur:

$$D\Delta^2 \bar{w}_2 - \frac{1}{R_2} \frac{\partial^2 \bar{\varphi}_2}{\partial x^2} + K w_2 = q \quad ; \quad \frac{1}{Eh} \Delta^2 \bar{\varphi}_2 + \frac{1}{R_2} \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} = 0 \quad (19)$$

Məsələnin həllini ümumiləşdirmək məqsədi ilə üst silindrik qabıqlar istinad divarının boşluğu qrunla doldurulduğu halda bir parametrlı elastik əsas üzərinə oturduğu qəbul olunur. Bu tənlikdə K – qrunun sıxılmada sərtlik xarakteristikasıdır. Təsir edən yükün intensivliyi isə q ilə ifadə olunmuşdur.

Bu tənliklər (17) – dən elastik əsasın K və K_s xarakteristikalarının iştirakı ilə fərqlənir. K – qrunun sıxılmada, K_s – isə sürüşmədə sərtlik əmsallarıdır və məlum qəbul olunurlar.

Burada da qovuşma xətləri üzrə yaranan məchulları əyintilər, əyici moment, normal qüvvə və nisbi deformasiyaları qəbul etməklə bu funksiyalarda birqat Furye sıralarına ayrılır:

Alt qabığın $y_1 = 0$ xətti üzrə:

$$\begin{aligned} w^*(x) &= \sum_m E_m^* \sin \lambda_m x; \quad M_y^*(x) = \sum_m N_m^* \sin \lambda_m x \\ N_y^*(x) &= \sum_m \xi_m^* \sin \lambda_m x; \quad \varepsilon_x^*(x) = \sum_m \theta_m^* \sin \lambda_m x \end{aligned} \quad (20)$$

Alt qabığın $y_1 = b$ xətti üzrə:

$$\begin{aligned} \bar{w}^*(x) &= \sum_m \bar{E}_m^* \sin \lambda_m x; \quad \bar{M}_y^*(x) = \sum_m \bar{N}_m^* \sin \lambda_m x \\ \bar{N}_y^*(x) &= \sum_m \bar{\xi}_m^* \sin \lambda_m x; \quad \bar{\varepsilon}_x^*(x) = \sum_m \bar{\theta}_m^* \sin \lambda_m x \end{aligned} \quad (21)$$

Bu sərhəd şərtləri daxilində qabaq qabıqlar üçün qurulan həllərə uyğun aşağıdakı tənliklərin həllərini qəbul edirik:

$$w^*(x, y) = w_o^* + \bar{w}^*(x, y), \quad \varphi^*(x, y) = \phi_o^* + \bar{\phi}^*(x, y) \quad (22)$$

Burada da (18) diferensial tənliklərin həllərinin əsas hissəsi w_0^* və ϕ_0^* aşağıdakı kimi ikiqat triqonometrik sıralar şəklində axtarılır.

$$w_o^* = \sum_m \sum_n B_{mn}^* \sin \lambda_m x \sin \mu_n y_1 ; \phi_o^* = \sum_m \sum_n A_{mn}^* \sin \lambda_m x \sin \mu_n y_1 \quad (23)$$

Eyni qayda ilə kontur üzrə (19) və (20) şərtlərini ödəyən kompensasiya həlləri aşağıdakı kimi seçilir:

$$\begin{aligned} \bar{w}^*(x,y) = & \sum_m \left\{ [(1-y_{b1}) - \nu \lambda_m^2 F_1(y)] E_m^* + [y_{b1} + \right. \\ & \left. + \nu \lambda_m^2 \bar{F}_1(y)] E_m^* + \frac{1}{D} [F_1(y) N_m^* - \bar{F}_1(y) \bar{N}_m^*] \right\} \sin \lambda_m x; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi}^*(x,y) = & - \sum_m \left\{ \frac{1}{\lambda_m^2} [(1-y_{b1}) - \nu F_1(y)] \xi_m^* + [y_{b1} + \frac{1}{\lambda_m^2} - \right. \\ & \left. - \nu \bar{F}_1(y)] \xi_m^* + Eh [F_1(y) \theta_m^* - \bar{F}_1(y) \bar{\theta}_m^*] \right\} \sin \lambda_m x; \end{aligned} \quad (25)$$

Analoji olaraq (23) və (24) həllərinin məlum olduğunu fərz etməklə və onları (18)- də nəzərə aldıqda konturu üzrə (19) və (20) qüvvələr ilə yüklənmiş elastik əsas üzərində silindrik qabıqların diferensial tənlikləri aşağıdakı şəkildə əldə olunur:

$$D\Delta^2 w_o^* - \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 \phi_o^*}{\partial x^2} + (K - K_s \Delta) w_o^* = Z_{ekv}^*(x,y) ; \frac{1}{Eh} \Delta^2 \phi_o^* + \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 w_o^*}{\partial x^2} = P_{ekv}^*(x,y) \quad (26)$$

Burada $Z_{ekv}^*(x,y)$ və $P_{ekv}^*(x,y)$ elastik əsas üzərində silindrik qabıqlara təsir edən ekvivalent yükün toplananlarıdır və aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$Z_{ekv}^*(x,y) = q(x,y) - D\Delta^2 \bar{w}^* + \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 \bar{\phi}^*}{\partial x^2} - (K - K_s \Delta) \bar{w}^* ; P_{ekv}^*(x,y) = -\frac{1}{Eh} \Delta^2 \bar{\phi}^* - \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 \bar{w}^*}{\partial x^2} \quad (27)$$

Ekvivalent yüklərin (27) ifadələrində silindrik qabıqların elastik əsas üzərində oturması nəzərdə tutulmuşdur. Ekvivalent yükün toplananları aşağıdakı kimi Furiye sıralarına ayrılır.

$$Z_{ekv}^*(x,y) = \sum_m \sum_n Z_{mn}^* \sin \lambda_m x \sin \mu_n y ; P_{ekv}^*(x,y) = \sum_m \sum_n P_{mn}^* \sin \lambda_m x \sin \mu_n y_1 \quad (28)$$

Burada Z_{mn}^* və P_{mn}^* Furiye sıralarının əmsallarıdır və onların ədədi qiymətləri dissertasiyada verilmişdir. Kompensasiya həllərinin \bar{w}^* və $\bar{\phi}^*$ ifadələri məlumdur və (24), (25) düsturları ilə təyin olunurlar.

Məsələnin həllərinin (23) ifadələrini və ekvivalent yükün toplananlarının (28) ifadələrini silindrik qabıqların (26) diferensial tənliklərində yerinə yazıb bir sıra əməliyyatların nəticəsində aşağıdakı cəbri tənliklər əldə olunur:

$$\left[D\Delta_{mn}^2 + (K + K_s \Delta_{mn}) \right] B_{mn}^* + \frac{\lambda_m^2}{R_1} A_{mn}^* = Z_{mn}^* ; -\frac{1}{R} \lambda_m^2 B_{mn}^* + \frac{1}{Eh} \Delta_{mn}^2 A_{mn}^* = P_{mn}^*$$

Elastik əsas üzərində oturan alt silindrik qabıqların diferensial tənliklərinin həllərinin əsas hissəsinin əmsalları cəbri tənlikləri həll etməklə tapılır və dissertasiyada verilmişdir.

Nəhayət, üçüncü üst silindrik qabıqların əsas diferensial tənliyinin həlləri analogiyaya əsasən qurulur. Üst silindrik qabıqlara yalnız çəkisi təsir edir, qrunzun istinad divarına təsiri qabaq silindrik qabıqlardan qovuşma xətləri vasitəsi ilə kontur üzrə təsir edirlər.

Alt silindrik qabığın diferensial tənliklərinin həllinə analogi olaraq, üst qabığın həlli aşağıdakı kimi yazılır:

$$B_{mn}^{(2)} = \frac{Z_2(m, n)}{D_2(m, n)} - E_1^{(2)}(m, n) \left[E_m^{(2)} - (-1)^n \bar{E}_m^{(2)} \right] - E_2^{(2)}(m, n) \left[N_m^{(2)} - (-1)^n \bar{N}_m^{(2)} \right] + \quad (29)$$

$$+ E_3^{(2)}(m, n) \left[\xi_m^{(2)} - (-1)^n \bar{\xi}_m^{(2)} \right] + E_4^{(2)}(m, n) \left[\theta_m^{(2)} - (-1)^n \bar{\theta}_m^{(2)} \right]$$

$$A_{mn}^{(2)} = \frac{X_2(m, n)}{D_2(m, n)} + E_{11}^{(2)} \left[E_m^{(2)} - (-1)^n \bar{E}_m^{(2)} \right] + E_{22}^{(2)}(m, n) \left[N_m^{(2)} - (-1)^n \bar{N}_m^{(2)} \right] + \quad (30)$$

$$+ E_{33}^{(2)}(m, n) \left[\xi_m^{(2)} - (-1)^n \bar{\xi}_m^{(2)} \right] + E_{44}^{(2)} \left[\theta_m^{(2)} - (-1)^n \bar{\theta}_m^{(2)} \right]$$

İşarələnmələr dissertasiyada verilmişdir.

Tangensial yerdəyişmələrin qiymətlərini təyin etmək üçün elastiklik nəzəriyyəsinin məlum tənliklərindən istifadə edərək, deformasiyalar və əyintilər funksiyaları məlum olduğundan, sərhəd şərtlərini ödəyən tangensial yerdəyişmələr təyin olunurlar.

Yatıq silindrik qabıqların həlləri, yəni yerdəyişmələr funksiyaları təyin olunduqdan sonra məsələnin sərhəd və qovuşma şərtlərinin (2) və (3) ifadələrinin ödənilməsi təmin olunur. Bunun üçün yerdəyişmələrin və daxili qüvvələrin ifadələrini qovuşma şərtində yerinə yazıb, cəbri tənliklər sistemi əldə olunur. Bu zaman səkkiz qovuşma şərtlərindən bəziləri elə eynilik kimi ödənilir.

Beləliklə, (2) və (3) şərtlərindən alınmış cəbri tənliklər sistemlərində triqonometrik sıraların əmsallarını yerinə yazdıqdan sonra, aşağıdakı cəbri tənliklər sistemi alınır:

$$\begin{aligned}
& \mathbf{a}_m^{(1)}(i)E_m^{(1)} + \bar{\mathbf{a}}_m^{(1)}(i)\bar{E}_m^{(1)} + \mathbf{b}_m^{(1)}(i)N_m^{(1)} + \bar{\mathbf{b}}_m^{(1)}(i)\bar{N}_m^{(1)} + \mathbf{c}_m^{(1)}(i)\xi_m^{(1)} + \bar{\mathbf{c}}_m^{(1)}(i)\bar{\xi}_m^{(1)} + \\
& + \mathbf{d}_m^{(1)}(i)\theta_m^{(1)} + \bar{\mathbf{d}}_m^{(1)}(i)\bar{\theta}_m^{(1)} + \mathbf{a}_m^{(2)}(i)E_m^{(2)} + \bar{\mathbf{a}}_m^{(2)}(i)\bar{E}_m^{(2)} + \mathbf{b}_m^{(2)}(i)N_m^{(2)} + \bar{\mathbf{b}}_m^{(2)}(i)\bar{N}_m^{(2)} + (31) \\
& + \mathbf{c}_m^{(2)}(i)\xi_m^{(2)} + \bar{\mathbf{c}}_m^{(2)}(i)\bar{\xi}_m^{(2)} + \mathbf{d}_m^{(2)}(i)\theta_m^{(2)} + \bar{\mathbf{d}}_m^{(2)}(i)\bar{\theta}_m^{(2)} = \delta_m(i)
\end{aligned}$$

Beləliklə, qovuşma xətləri üzrə tərtib olunmuş (31) cəbri tənliklər sistemi birlikdə həll olunaraq silindrik qabıqların qovuşmasından əldə olunmuş yüngülləşdirilmiş istinad divarının həlli əldə olunur.

İstinad divarının qabaq və alt silindrik qabıqları bir – biri ilə sərt bərkidilmiş və konstruktiv rol oynayan üst silindrik qabıqların oynaq bərkidilməsində qovuşma şərtləri daha mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu halda sərhəd şərtləri qovuşma şərtlərinin xüsusi halı kimi alınaraq səkkiz şərt iki qrup müstəqil şərtlərə ayrılır ($y_1=0$ və yaxud $y_2=0$). Bu halda (31) cəbri tənlikləri sadələşir və məchulların sayı bərabər və ən əsası isə silindrik qabıqların həlləri bir-birindən aslı olmur.

Üçüncü fəsilə yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının hesablanması üçün ədədi misallarına baxılmışdır.

III fəslin birinci paragrafında məsələnin xüsusi halı olan düzbucaqlı lövhələrin qovuşmasından yaranan istinad divarının hesablanması qabaq və alt lövhələrin qovuşma məsələsinin həllinə gətirilir. Düzbucaqlı lövhələrin diferensial tənlikləri aşağıdakı kimi alınır.

Qabaq lövhənin diferensial tənliyi;

$$D_1 \Delta^2 w_1 = q(y) \quad (32)$$

Alt dib lövhənin diferensial tənliyi;

$$D_2 \Delta^2 w_2 + K \cdot w_2 - K_s \left(\frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2} \right) = q^*(y) \quad (33)$$

Burada D_1 və D_2 qabaq və alt lövhələrin silindrik sərtlikləridir. Kontur elementlərinin əyilmədə sərtliklərinin çox böyük olduğu hesabatlarda qəbul olunur ki, $B=\infty$ və burulmada da sərtliyin də sonsuz böyük qəbul etməklə qovuşma şərtləri sadələşir və sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi alınır:

$$y_1=b_1 \text{ olduqda qabaq lövhə üçün: } w_1(b)=0; \quad \left. \frac{\partial w_1}{\partial y} \right|_{y_1=b} = 0 \quad (34)$$

$$y=0 \text{ olduqda alt lövhə üçün: } w_2(0)=0 \quad \left. \frac{\partial w_2}{\partial y} \right|_{y_2=0} = 0 \quad (35)$$

Bu zaman sərhəd və qovuşma şərtlərini ödəyən həllərin təyin olunması üçün əyintilər funksiyaları aşağıdakı şəkllə düşür. Qabaq lövhə üçün:

$$w_1 = \sum_m \sum_n B_{mn}^{(1)} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y + \frac{1}{D_1} [F(y_1)N_m - \bar{N}_m \bar{F}(y_1)] \sin \lambda_m x \quad (36)$$

Alt lövhə üçün:

$$w_2 = \sum_m \sum_n B_{mn}^{(2)} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y + \frac{1}{D_2} [F(y_2)N_m^* - \bar{N}_m^* \bar{F}(y_2)] \sin \lambda_m x \quad (37)$$

Məsələlərin həllərinə daxil olan birqat və ikiqat triqonometrik sıraların əmsalları II fəsildə verilmiş metodun xüsusi halları, yəni düzbucaqlı lövhə üçün aşağıdakı kimi təyin olunurlar.

Qabaq lövhənin (34) diferensial tənliyinin həlli təsir edən yükün intensivliyi üçbucaq qanunu ilə dəyişdiyi nəzərə alınsa asanlıqla aşağıdakı kimi

$$\text{yazılır: } q(y) = q_o \cdot \frac{y_1}{b_1}; \quad B_{mn}^{(1)} = -\frac{8 q_o (-1)^n}{mn \pi^2 D_1 \Delta_{mn}^2} - E_2(m, n) [N_m - (-1)^n \bar{N}_m] \quad (38)$$

Burada $m=1,3,5,\dots$ tək ədədlərdir, $n=1,2,3,\dots$ tam ədədlərdir.

Eyni qayda ilə (46) diferensial tənliyinin həlli aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$q_2(y) = q_1 \left(1 - \frac{y_2}{b_2} \right)$$

$$B_{mn}^{(2)} = -\frac{8 q_1 (-1)^n}{mn \pi^2 \cdot D_2 \cdot \bar{D}^*(m, n)} - E_2^*(m, n) [N_m^* - (-1)^n \bar{N}_m^*] \quad (39)$$

$m=1,3,5,\dots$, $n=1,2,3,\dots$

Baxılan məsələnin (34), (38) və (39) həlləri yazıldıqda qabaq və alt lövhələrin aşağıdakı sərhəd şərtlərini ödədiyi qəbul edilmişdir:

$$w_1(0) = 0; \quad w_2(b_2) = 0 \quad (40)$$

Ümumi halda yuxarıdakı (36) və (37) şərtlərinin birinci hissəsi ödənilmədikdə (38) və (39) həllərinə $y_1=0$ və $y_2=b_2$ xətləri üzrə yaranan əyintiləri də daxil olunmalıdır.

$$w_1 = \sum_m \sum_n B_{mn}^{(1)} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y + \sum_m \left\{ [(1-y_b) - \nu \lambda_m^2 F(y)] E_m + [y_{b_1} + \nu \lambda_m^2 \bar{F}(y)] \bar{E}_m + \frac{1}{D_1} [F(y)N_m - \bar{F}(y)\bar{N}_m] \right\} \sin \lambda_m x \quad (41)$$

$$w_2 = \sum_m \sum_n B_{mn}^{(2)} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y + \sum_m \left\{ [(1-y_{b_2}) - \nu \lambda_m^2 F(y)] E_m^* + [y_{b_2} + \nu \lambda_m^2 \bar{F}(y)] \bar{E}_m^* + \frac{1}{D_2} [F(y)N_m^* - \bar{F}(y)\bar{N}_m^*] \right\} \sin \lambda_m x \quad (42)$$

Məsələnin həlləri isə aşağıdakı kimi alınır:

$$B_{mn}^{(1)} = -\frac{8q_0(-1)^n}{mn\pi^2 D_1 \Delta_{mn}^2} - E_1(m_1 n) [E_m - (-1)^n \bar{E}_m] - E_2(m_1 n) [N_m - (-1)^n \bar{N}_m] \quad (43)$$

$$B_{mn}^{(2)} = -\frac{8q_1(-1)^n}{mn\pi^2 D_2 \cdot D^*(m_1 n)} - E_1^*(m_1 n) [E_m^* - (-1)^n \bar{E}_m^*] - E_2^*(m_1 n) [N_m^* - (-1)^n \bar{N}_m^*] \quad (44)$$

$E_2(m, n)$ və $E_1^*(m_1 n)$ əmsalları dissertasiyada verilmişdir.

Məsələnin (41) və (42) həllərinə daxil olan birqat sıraların əmsalları baxılan məsələnin sərhəd və qovuşma şərtlərindən təyin olunacaqlar.

Lövhələrin (36) və (37) həllərindən istifadə edib $y_1 = b_1$ və $y_2 = 0$ xətləri üzrə qovuşma şərtləri funksiyaların $y=0$ və $y=b$ qiymətlərini nəzərə alıb və harmonik balans prinsipinə əsasən qovuşma şərtlərindən cəbri tənliklər sistemi əldə olunur və alınmış tənliklərdə $B_{mn}^{(1)}$ və $B_{mn}^{(2)}$ həllərinin (43) və (44) ifadələrini yerinə yazdıqda, aşağıdakı cəbri tənliklər sistemi əldə olunur:

$$d_m(0)N_m(0) + d_m(1)N_m(1) + \bar{d}_m(1)\bar{N}_m(1) + d_m(2)N_m(2) = \delta_m \quad (45)$$

$$N_m(1) - \bar{N}_m(1) = \frac{\delta_c}{\gamma} m^2 \pi^2 [\delta_m^* - d_m^{(0)} N_m(0) - d_m^{(1)} N_m(1)] \quad (46)$$

Beləliklə, məsələnin həlli (45) və (46) cəbri tənliklər sisteminin həllinə gətirilir və məlum olur ki, onlar dəyişən sərtlikli kəsilməz tirlər üçün yazılmış üç momentlər tənlikləri ilə eynidir və məsələnin həllinin düzgün qurulduğunu isbat edir.

Praktik hesablama və layihələndirmələrdə kontur elementi olmadıqda, $\delta_c = 0$ olur və (45) tənliyi aşağıdakı şəkəldə düşür

$$d_m(0)N_m(0) + [d_m(1) + \bar{d}_m(1)]N_m(1) + d_m(2)N_m(2) = \delta_m \quad (47)$$

Məsələnin qoyuluşunda 0 və 2 nöqtələrində düzbucaqlı lövhələrin birləşməsi oynaqlı olduqda $N_m(0) = N_m(2) = 0$ olur ki, bu halda da məchulların sayı azalaraq iki olur:

$$d_m(1)N_m(1) + \bar{d}_m(1)\bar{N}_m(1) = \delta_m$$

$$N_m(1) - \bar{N}_m(1) = \frac{\delta_c}{\gamma} m^2 \pi^2 [\delta_m^* - d_m(1)N_m(1)] \quad (48)$$

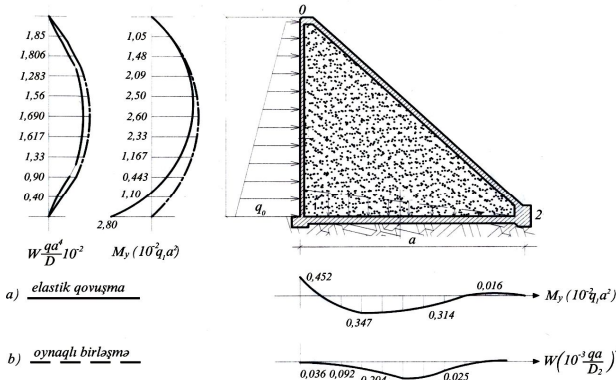
Kontur elementi olmaqda $\delta_c = 0$ olur və məsələnin həlli aşağıdakı kimi alınır.

$$N_m(1) = \bar{N}_m(1) = \left[\frac{\delta_m}{d_m(1) + \bar{d}_m(1)} \right] \quad (49)$$

Bu fəsildə sonradan məsələnin konkret halları lövhələrin planda kvadrat olan $a=b_1$ və $a=b_2$ istinad divarına baxılır. Məsələnin həlli olan sıraların əmsalları təyin edildikdən sonra qabaq lövhədə yaranan əyinti və əyici momentlərin düsturları alınır.

Nəticələrin müqayisəsindən məlum olur ki, alt təməl tavasının sərtliyi elastik əsasın olması hesabına 10 dəfəyə qədər və əyici momentlər də 8–10 dəfə azalır. Alt tavanın qalınlığını artırıqda yerli əyilməni aradan götürmək olar və yüngülləşdirilmiş istinad divarının altındakı qrunqla gərginlik epurası və çökmə qrafikinin xətti qanunla dəyişməsinə praktiki hesablamalarda qəbul etməklə məsələnin həllini xeyli sadələşdirmək olar.

İkinci paraqrafda xüsusi halda istinad divarının yük daşıyan qabaq elementi silindrik qabıqlar, alt təməl tavası və üst qoruyucu dayaq elementli düzbucaqlı lövhələr şəklində qəbul edilmişdir.

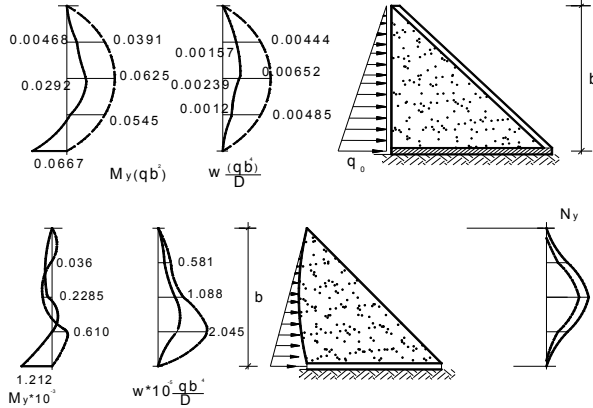


Şəkil 2. İstinad divarının elementlərində yaranan yerdəyişmə və daxili qüvvələrin qrafikləri.

Məsələnin həlləri olan əyintilər və gərginliklər funksiyalarını sərhəd və qovuşma şərtlərində yerinə yazmaqla, cəbri tənliklər sistemi alınır. Cəbri tənliklər sistemi həll olunaraq əyinti və gərginliklər funksiyalarının birqat sıraların əmsalları N_m və ξ_m tapılır. Onlar tapıldıqdan sonra ikiqat triqonometrik sıraların əmsalları da asanlıqla hesablanır.

İstinad divarının təməlində qruntda yaranan reaksiyalar materiallar müqavimətinin məlum düsturları ilə hesablanır.

Üçüncü paraqrafda son olaraq müstəvi deformasiya halında olan istinad divarlarının hesablanmasına baxılır.



Şəkil 3. İstinad divarının qabaq silindrik qabıqlarında daxili qüvvələr epürləri.

a) - - - - - oynaqlı qovuşma; b) _____ sərt qovuşma

Alınmış nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, müstəvi deformasiyası halında istinad divarlarını təşkil edən silindrik qabıqlar və müstəvi lövhələrdə yaranan əyinti və daxili qüvvələr bir qədər böyük qiymətlər alır. Lakin bu artımlar son nəticədə onların layihələndirilməsində, yəni qalınlığın seçilməsində və armaturlanmasında əhəmiyyətli dəyişikliklərə səbəb olmurlar.

NƏTİCƏLƏR

Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarında gərginlikli-deformasiya hallarının tədqiqi əsasında aşağıdakı nəticələr və təkliflər əldə olunmuşdur.

1. İstinad divarları üç silindrik qabıqların düz xətlə kontur xətləri üzrə qovuşmasından yaranan boşluqlu yüngül fəza sistemi formasında əldə olunmuşdur. Ümumi qravitasiya dayanıqlığını artırmaq və təmin etmək üçün yaranmış boşluq qrunla doldurulur, betona böyük qənaət əldə olunur və təklif olunan yüngülləşdirilmiş istinad divarının səmərəli olduğu aşkar görünür.

2. Yüngülləşdirilmiş fəza sistemli istinad divarlarının hesablanması üsulu təklif olunmuşdur. Qovuşma məsələsinin həlli əsasında silindrik qabıqların və qovuşma xətləri üzrə kontur elementlərinin sərtliklərini dəyişərək fəza sisteminin səmərəli forması müəyyənəşdirilmişdir.

İstinad divarlarının təməlini silindrik qabıq və ya tava şəklində qəbul edib qalınlığını artırmaqla sərtliyinin böyüdülməsi əsas element olan

qabıq–silindrik qabıqların möhkəmlik nöqtəyi–nəzərdən əlverişli istifadəsini təmin edir.

3. İstinad divarlarında sərtlik xarakteristikalarının yüngülləşdirilmiş konstruksiyanın gərginlikli-deformasiya hallarına təsiri ədədi misallarda tədqiq olunaraq aşkar edilmişdir ki, yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının gərginlikli-deformasiya halı silindrik qabıqların qarşılıqlı təsirlərinin düzgün təyin olunmasından asılıdır. Praktikada silindrik qabıqları layihələndirərkən kontur üzrə sərhəd şərtlərinin sadələşdirilməsindən imtina edib, qabıqların kontur konstruksiyalarının həqiqi ölçülərindən istifadə etmək lazımdır və bu zaman hesablamaları təklif olunan metod ilə aparmaq məsləhət görülür.

4. Uzunluqları böyük olan yüngülləşdirilmiş istinad divarları müstəvi deformasiya halında olur. Müstəvi deformasiya halında olan yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının əsas elementlərində daxili qüvvələr artır və ona uyğun armaturların çox istifadəsinə səbəb olur.

Layihələndirmə işlərində silindrik qabıqların uzunluqlarının eninə nisbətinin ikidən az olmasını təmin etmək lazımdır, yəni eninə diafraqmalar vasitəsilə onların uzunluqlarını məhdudlaşdırmaq məqsədə uyğundur.

5. İstinad divarlarının yüngülləşdirilmiş konstruksiyalarında əsas yükdaşıyan elementlərini lövhələr və onlarla kombinasiyalarda silindrik qabıqların qəbul edilməsi hazırlanma texnologiyasını sadələşdirir.

İstinad divarının üç lövhəli qabaq hissəsi silindrik qabıq və digər elementlərini düzbucaqlı lövhə kimi qəbul olunaraq aparılan nəticələr göstərir ki, gərginlikli-deformasiya halında böyük dəyişikliklər olmadan qabaq elementin silindrik qabıq və qalan elementlərin isə müstəvi tavalər götürülməsi məsləhət olunur.

6. Dissertasiya məsələlərinin həllinin xüsusi halları müstəvi tava və lövhələrin qovuşmasından olan məsələləri də əhatə etdiyindən, təklif olunan hesablama metoduna həlləri məlum və naməlum məsələlərin də ümumiləşdirilməsi kimi baxılır. Xüsusi hallarının məlum məsələlərlə eyni olması dissertasiya işində alınmış nəticələrin doğruluğunu isbat edir.

7. Dissertasiya işində alınmış elmi nəticələr və momentli nəzəriyyə ilə silindrik qabıqların kontur konstruksiyaları ilə qovuşma məsələsinin həll olunma üsulu, başqa məlum üsullarla yanaşı müxtəlif istinad divarlarını möhkəmlik, sərtlik, dayanıqlığa və çatadavamlığına görə hesablamalarda tətbiq olunmağa təklif olunur.

Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı məqalələrdə çap olunmuşdur

1. Qəniyev D.S. Silindrik qabıqların istinad divarlarda tətbiqi və hesablanması. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, “Nəzəri və tətbiqi mexanika”, № 2, Bakı, 2006, səh. 7 - 11.

2. Qəniyev D.S. Yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının hesablanması və tədqiqi. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, “Nəzəri və tətbiqi mexanika”, № 4, Bakı, 2006, səh. 15 - 21.

3. Qəniyev D.S. Elastik əsas üzərində oturan silindrik qabıqların qovuşma məsələlərinin həlli, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Elmi əsərlər, № 1, Bakı, 2007, səh. 95 - 99.

4. Qəniyev D.S. Silindrik qabıqlardan təşkil olunmuş fəza konstruksiyalarının istinad divarlarında tətbiqi. AzMİU-nin professor-müəllim heyətinin və aspirantların elmi konfransının materialları, Bakı, 2007, səh. 88 – 91.

5. Qəniyev D. S. Müasir inşaatın inkişaf perspektivləri: Silindirik qabların momentli nəzəriyyəsinin əsas diferensial tənliklərinin həll olunma metodları. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Universiteti, Azərbaycan inkişaf etmiş cəmiyyətə doğru: Reallıqlar, perspektivlər, Gənc tədqiqatçıların 2 fevral – Gənclər gününə həsr edilmiş ümumrespublika elmi-praktik konfransının materialları, Bakı, 2011, səh. 216-217

6. Qəniyev D. S. Momentli nəzəriyyənin əsas diferensial tənliklərində silindrik qabıqların sərhəd şərtlərinin verilmə formaları, Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Universiteti, Qloballaşma şəraitində davamlı inkişafın aktual problemləri, Ümummillî lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 88-ci ildönümünə və Müasir Azərbaycan dövlətçiliyinin 93 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfransın materialları, Bakı, 4-5 may 2011, səh. 372-376

7. Qəniyev D.S. Müstəvi deformasiyası halında olan yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının tədqiqi. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti «Nəzəri və tətbiqi mexanika». №1, Bakı, 2013, səh. 43 – 47.

8. Qəniyev D.S. Düzbucaqlı lövhələrdən təşkil olunmuş yüngülləşdirilmiş istinad divarlarının hesablanması. Ekologiya və su təsərrüfatı. Elmi – texniki və istehsalat jurnalı, №2, Bakı, 2013, 93 – 95.

9. Д.С.Ганиев. Расчёт облегченных подпорных стен, составленных из ребристых цилиндрических оболочек. Научное приложения международного журнала «Высшая школа Казахстана». Министерство образования и науки Республики Казахстан Поиск. Серия естественных и технических наук №1/2011, стр. 267-270

Дилгем Сейфаддин оглы Ганиев

Исследование подпорных стен с тонкостенными железобетонными оболочками

В диссертационной работе исследуется новый тип облегчённых подпорных стен изготовленных из сопряжения трёх тонкостенных железобетонных оболочек. Основным несущим элементом пространственной облегчённой конструкции является передняя оболочка которая подвергается давлению со стороны зернистых материалов. Цилиндрические оболочки на нижней части подпорной стены рассматривается как конструкция на упругом основании. Верхняя цилиндрическая оболочка препятствует горизонтальному перемещению верхнего конца передней цилиндрической оболочки и выполняет функцию опоры.

Вдоль линии сопряжения цилиндрических оболочек предусматривается присутствие жёстких элементов. Вдоль линии сопряжения оболочек изгибающий момент, нормальная сила и относительные линейны деформации принимаются за неизвестные и условия сопряжения оболочек приводится к системе алгебраических уравнений относительно неизвестных.

К конечному итоге по методам строительной механике расчёт подпорных стен сводится к определению неизвестных возникающих вдоль линии сопряжения цилиндрических оболочек и к расчет у каждой оболочки в отдельности.

Так как облегчённая подпорная стена получена от целесообразного сопряжения цилиндрических оболочек, которая позволила построить алгоритм решения дифференциальных уравнений моментной теории цилиндрических оболочек. Используя построенный алгоритм инженера, могут решать множественное число трудных задач.

В диссертации также рассматриваются много частных задач полученных от общего решения поставленных задач, в частности расчёт подпорных стен с прямоугольными элементами, расчёт подпорных стен которые в плане квадрат. Работа снабжена большим количеством таблиц для облегчения решения частных задач.

Dilgem Seyfaddin oglu Ganiyev

Investigation retaining walls made of cylindrical reinforced concrete thin shells.

In the thesis investigates a new type of lightened retaining walls made of by connecting of three reinforced concrete thin shells.

The principal bearing members of spartial lightened structures is a shell in front of walls which takes pressure from granular materials. The shell on the foundation of the retaining wall is considered as a structure on the basis. The upper cylindrical shell prevents horizontal displacement of the upper edge of the frontal walls as support.

Along the line of connection of cylindrical shells there are must be preznence of rigidity elements. Along the line of connection of shells bending moment, normal force and conventional linear deformation taken unknowans and contain of connection have brought to the system of algebraical eguations with respect to the unknowans.

Finally the design of retaining walls by using methods of structural mechanics turned into determination of unknowans develeped on the line of connection of shells and the design of shells separately.

As lightened retaining walls created by the expedient connection of cylindrical shells which was allowed to construct algorithm of the solution of diferetial eguation of moment theory of cylindrical shells. By using this algorithm an engineer is able to solve different type difficult problems.

In the thesis have also considered number of particular cases which have come from general solutions of problem, for example design of retaing walls made of rectilinear plates, design of walls which is a square in a plane. There are provided a lot of number of tables for facilatating solutinon of problems in partucal cases.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ДИЛГЕМ СЕЙФАДДИН оглы ГАНИЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДПОРНЫХ СТЕН
С ТОНКОСТЕННЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ
ОБОЛОЧКАМИ**

Специальность 3305.03 – Строительные конструкции, здания и
сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
философии по технике

БАКУ – 2014