

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN MEMARLIQ VƏ İNŞAAT UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

DAVUD PUR ƏLİ OĞLU

YATIQ QABIQLARIN HƏNDƏSİ QEYRİ-XƏTTİ
NƏZƏRİYYƏ İLƏ DİNAMİKA MƏSƏLƏLƏRİNİN TƏDQIQI

İXTİSAS: 3305.03- “İnşaat konstruksiyaları, bina və qurğular”

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

BAKİ-2016

İş Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində yerinə yetirilmişdir.

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

Rəsmi opponentlər:
1. f.-r.e.d., prof. **Lətifov F.S.**
2. t.ü.f.d. **Poluxov N.Ş.**

Aparıcı təşkilat: “Azərdövlətlayihə” Dövlət Baş Layihə İnstitutu

Müdafiə "04" noyabr 2016-cı il, saat 14.00-da Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində fəaliyyət göstərən **D 02.042** dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1073/1, Bakı şəh., A.Sultanova küçəsi 11, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, I tədris korpusu, iclas zalı, otaq 317

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

Avtoreferat "30" sentyabr 2016-cı ildə göndərilmişdir.

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

A.M.İsayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: Nazikdivarlı fəza konstruksiyalarını iki ixtiyari istiqamətdə sərtlik qabırğaları ilə gücləndirildikdə onların möhkəmliyini, sərtliyini, dayanıqlığını artırmaqla material sərfini xeyli azaltmaq olur. Müasir layihələndirilmə normaları nazikdivarlı fəza konstruksiyaları layihələndirildikdə başlanğıc gərginlikli halları, həndəsi qeyri-xəttiliyi, kontur şərtlərini reallığa uyğunlaşdırılmasını, konstruktiv anizotropluğu, sərtlik qabırğaların optimal yönəlməsini, orta səthinin səmərəli formasını axtarmaq, qabıqların qalınlığının dəyişməsinə, kontur elementlərinin öncə gərginləşdirməsini və.s. amilləri nəzərə almağı tələb edir. Lakin yuxarıda sadalanan amilləri nəzərə aldıqda kontur şərtlərinin mürəkkəbləşməsi qabıqların momentli nəzəriyyəsinin yekun differensial tənliklərinin həllərinin təyin olunmasını riyazi cəhətdən çox mürəkkəbləşdirir.

Məsələnin qoyuluşu: Dissertasiya işində baxılmış bütün məsələlər əyintilərin qabıqların qalınlığı ilə müqayisə olunan dərəcədə böyük olması şərtində həll olunmuşdur. Qabıqların əyintilərinin böyük olması onların həndəsi qeyri-xətti nəəriyyəsi ilə hesablanmasını tələb etmişdir.

Sərtlik qabırğaların təsirlərinin nəzərə alınması qabırğaları qabıqların orta səthi üzrə bərabər yayılmaqla alınmış konstruktiv ortotrop hesablama modeli əsasında həyata keçirilmişdir.

Başlanğıc gərginliklər halları, kontur elementlərinin təsirə tabeliyinin qabıqlarla kontur elementlərinin qovuşma şərtlərinin ödənilməsi, məsələsinin həllinin qurulmasında nəzərə alınmışdır.

İşin məqsədi: Qabırğalı yatıq qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyə ilə dinamika məsələlərinin, zəlzələyədavamlılığının tədqiqi riyazi cəhətdən hətta çətin olmaqla yanaşı nazik divarlı fəza konstruksiyaların geniş tətbiqinə də mane olan amillərdir. Qabıqların həndəsi qeyri-xəttiliyinin sərbəst rəqslərin tezlik və formalarına təsirinin öyrənilməsi dissertasiyanın yerinə yetirilməsinin əsas məqsədlərini təşkil edir.

İşin praktik əhəmiyyəti: Dissertasiya işində qabırğalı yatıq qabıqların zəlzələyə davamlılığının həndəsi qeyri-xətti qoyuluşda baxılmasının və konstruktor-layihəçilər üçün praktik alqoritmin yaradılmasının böyük əhəmiyyəti vardır.

Nazikdivarlı fəza konstruksiyalarını tədqiq etməklə bina və qurğuların örtüklərində tətbiq olunmasına, mühəndis-konstruksiyaların layihələndirmə işlərində yaranan çətinliklər aradan qaldırılır və onların geniş tətbiqinə imkanlar yaradılır.

Dissertasiya işinin aprobasiyası: Dissertasiya işinin nəticələri

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Memarlıq və İnşaat fakültələrinin yaradılmasının 90 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi praktik konfransda (Bakı, 24 dekabr 2010-cu il), Azərbaycan Təhsil Nazirliyinin doktorant və gənc tədqiqatçıların XVII Respublika elmi konfransında (Bakı, 18-19 noyabr 2012-ci il) və Azərbaycan Respublikası Dövlət şəhərsalma və Arxitektura komitəsinin Azərbaycan İnşaat Memarlıq Elmi Tədqiqat İnstitutunun yaranmasının 30 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfransında (Bakı, 16-17 oktyabr 2014) məruzələr edilmiş və müzakirə olunmuşdur.

Alınmış nəticələrin doğruluğu: Dissertasiya işində istifadə olunan qabırğalı qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyəsi indiyə qədər ətraflı öyrənilməmişdir. Bu nəzəriyyənin qeyri-xətti differensial tənlikləri təqribi olaraq xəttləşdirilməklə onların həlləri ardıcıl iki sistem xətti diferensial tənliklərin həllərinə gətirilmişdir. Alınan xətti diferensial tənliklərin quruluşu həllərinin doğruluğu heç bir şübhə doğurmur.

İşin elmi yenilikləri: Əsas yeniliklər aşağıdakılardır:

- qeyri-xətti diferensial tənliklərin xəttləşdirilməsi və onların həllərinin ardıcıl iki xətti sistem diferensial tənliklərin həllərinə gətirilməsi;

- ilk dəfə olaraq, başlanğıc momentli gərginlikli hallarını nəzərə alaraq ixtiyari sərhəd şərtləri daxilində sərbəst rəqslərin tezlik və formalarının təyini və onların tədqiqi;

- qabırğalı yatıq qabıq və lövhələrin zəlzələyə davamlıq nəzəriyyələri əsasında seysmik yükün təyin olunma alqoritmı;

- qabırğalı yatıq qabıqların seysmik yükə hesablama üsulu və onun tətbiqindən alınan yeni nəticələr.

İşin həcmi: Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, nəticə və istifadə olunmuş 144 sayda ədəbiyyatların siyahısından ibarətdir. İş 151 səhifə kompüterdə çap olunmuş həcmdə yazılmışdır.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin əsas xarakteristikaları: mövzunun aktuallığı, məsələnin qoyuluşu, işin məqsədi, praktik əhəmiyyəti, alınmış nəticələrin doğruluğu, dissertasiyanın elmi yenilikləri, işin həcmi və strukturu verilməmiş və onlar əsaslandırılmışdır.

Birinci fəsildə qabırğalı yatıq qabıqların hərəkətinin həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyəsinin əsas diferensial tənliklərin qarışıq formada əyinti və gərginliklər funksiyalarına nəzərən ifadələri əldə olunmuşdur.

Daxili qüvvələrin qiymətlərini statikanın müvazinət tənliyində, deformasiyaların qiymətlərini isə deformasiyanın kəsilməməzlik

tənliklərində yerinə yazdıqdan sonra axtarılan gərginliklər və əyintilər funksiyalarına nəzərən qabırğalı yataq qabıqların konstruktiv ortotrop modeli əsasında diferensial tənliklər kimi əldə olunur.

$$L_1(D, w) - L_k(k, \varphi) - L(w, \varphi) + M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q(t) \quad (1)$$

$$L_k(k, w) + L_2(\gamma, \varphi) - L(g, w, \varphi) + \frac{1}{2} L(w, w) = 0$$

Burada işarə olunmuşdur.

$$\begin{aligned} L_1(D, w) &= D_1^* \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3^* \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2^* \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \\ &+ 2D_3^* \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^3 \partial y} - \frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^3} \right) + (D_1' + D_2') \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2}; \\ L_2(\gamma, \varphi) &= \gamma_1 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + \gamma_3 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \gamma_2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4}; \end{aligned}$$

$$L(g, w, \varphi) = g^* \left(\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x \partial y^3} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^3 \partial y} \right) - g^* \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^3} + \frac{\partial^4 w}{\partial x^3 \partial y} \right)$$

Konstruktiv ortotrop model əsasında qabırğalı yataq qabıqların həndəsi qeyri – xətti qoyuluşunda hərəkətinin diferensial tənlikləri (1) sistem şəklində alınmışdır. Məsələ statik qoyuluşda həll olunduqda (1) tənliklərində inersiya qüvvələri: $M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$ qəbul olunmaqla əldə olunur

$$L_1(D, w) - L_k(k, \varphi) - L(w, \varphi) = q \quad (2)$$

$$L_k(k, w) + L_2(\gamma, \varphi) + \frac{1}{2} L(w, w) = 0$$

Konstruktiv ortotrop model əsasında qabırğalı yataq qabıqların həndəsi qeyri-xətti qoyuluşunda gərginlikli – deformasiya hallarının tədqiqi (2) xüsusi törəməli qeyri-xətti diferensial tənliklərin həllərinə gətirilir. Məlumdur ki, bu tənliklərin həlləri riyazi nöqteyi nəzərdən çox çətindir. Analitik həlləri isə birhədlə ifadələrlə müxtəlif müəlliflər tərəfindən əldə olunmuşdur. Ədədi üsullarla da həllərinin qurulması böyük çətinliklərlə müşahidə olunurlar.

$$L_1(D, w) - L_k(k, \varphi) + M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q \quad (3)$$

$$L_k(k, w) + L_2(\gamma, \varphi) = 0$$

Qabırğaların təsirləri onların orta səth üzrə bərabər paylanması ilə əldə olunmuş ikilaylı konstruktiv sxemdə nəzərə alınmışdır.

Qabırğalı qabıqların hərəkətinin differensial tənlikləri Dəlamber prinsipinə görə müvazinətdə olan qabıqlara inersiya qüvvələri əlavə olunmaqla alınmışdır.

Bu fəsilə qabırğalı yataq qabıqların konturu üzrə sərhəd şərtləri

qabıqların kontur elementlərlə qovuşma şərtləri kimi ifadə olunaraq verilmişdir.

Yatıq qabıqların momentli nəzəriyyəsinin yekun (3) diferensial tənliklərinin tərtibi səkkizə bərabər olduğundan planda düzbucaq olan yatıq qabıqların hər kontur xətti üzrə dörd şərt yazılmalıdır. Kontur elementlərlə qabıqların birgə deformasiyası nəticəsində bu dörd şərtdən istifadə edərək, kontur xəttləri üzrə qovuşma şərtlərinin ifadələrini yazmaq olar.

a) Yatıq qabıqların $x = 0$ xətti üzrə kənar element şaquli müstəvidə əyilir.

Kontur elementlərinin əyilmiş oxunun diferensial tənliyi aşağıdakı kimi yazılır.

$$B_{1y} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \Big|_{x=0} = Q_x + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - K_y N_y \quad (4)$$

b) Yatıq qabıqların $x = 0$ xətti üzrə kontur elementi burulur.

$$C_{1y} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \Big|_{x=0} = M_x \quad (5)$$

c) Yatıq qabıqlarının $x = 0$ xətti üzrə kontur elementi üfiqi müstəvidə əyilir.

Onda əyilmiş oxunu diferensial tənliyi aşağıdakı kimi yazılır.

$$B_{1y}^h \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} \Big|_{x=0} = N_x \quad (6)$$

d) Yatıq qabıqların $x = 0$ xətti üzrə kontur elementi dartılır. Kontur xətti üzrə kənar elementin və qabıqların nisbi deformasiyaların bərabərliyi şərtindən istifadə olunur.

$$\varepsilon_y^0 = \varepsilon_y \Rightarrow \frac{T_y}{EA_{1y}} \Big|_{x=0} = \varepsilon_y \quad (7)$$

Qabırğalı qabıqların momentli nəzəriyyəsinin qarışıq formada əyintilər və gərginliklər funksiyalara nəzərən ifadələrindən istifadə edərək daxili qüvvə və deformasiyaların qiymətlərini (4)-(7) tənliklərində yazmaqla, konkret hallar üçün qovuşma şərtlərinin gərginliklər və əyintilər funksiyaları ilə ifadələr əldə edilmiş olur.

Qovuşma şərtlərində B_{1y} , B_{1y}^h , C_{1y} və EA_{1y} sərtlik xarakteristikalarını dəyişməklə, kontur üzrə sərhəd şərtləri əldə olunur.

İkinci fəsildə qabırğalı yatıq qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyə əsasında kontur elementləri ilə elastik qovuşan qabıqların dinamika məsələlərinin həllərinin qurulmasına baxılmışdır.

Həndəsi qeyri – xətti nəzəriyyə ilə qabırğalı qabıqların dinamika

məsələlərin öyrənilməsi riyazi cəhətdən böyük çətinliklərlə bağlıdır. Texniki ədəbiyyatda bu məsələlərin həlləri müxtəlif təqribi üsullarla yerinə yetirilmişdir.

(1) və (2) diferensial tənliklərin həlləri iki hissəyə ayrılaraq aşağıdakı kimi qəbul olunur.

$$w = w_0 + \bar{w}; \quad \phi = \phi_0 + \bar{\phi} \quad (8)$$

Burada w_0 və ϕ_0 - həlləri, yuxarıdakı şərtlərə əsasən yatıq qabıqların konturu üzrə oynaqly oturduđu halda sərhəd şərtlərini ödəyən həllərdir və bir qayda olaraq ikiqat triqonometrik sıralar şəklində axtarılır.

$\bar{w}$ və $\bar{\phi}$ - isə (1) və ya (2) diferensial tənliklərin həllərinin kompensasiya hissələridir və elə seçilməlidirlər ki, məsələnin kontur üzrə verilmiş (4) – (7) sərhəd şərtlərinin ödənməsi təmin etsin.

Kontur üzrə verilən ixtiyari sərhəd şərtləri (4) – (7) həmişə qeyri-bircins şəklində ifadə oluna bilər. Məsələnin həlli aşağıdakı kimi qurulur.

Kontur şərtlərinin birqat Furiye sıralarına ayrılmış ifadələrini ödəyən kompensasiya həlləri aşağıdakı kimi qəbul olunur.

$$\begin{aligned} \bar{w}(x, y) = & \sum_m \left\{ \left[1 + \frac{vb^2\lambda_m^2}{2} (y_b^2 - y_b) \right] f_m - \frac{1}{D_1^*} \frac{b^2}{2} (y_b^2 - y_b) F_m \right\} \sin \lambda_m x + \\ & + \sum_n \left\{ \left[1 + \frac{va^2\mu_n^2}{2} (x_a^2 - x_a) \right] E_n - \frac{1}{D_2^*} \frac{a^2}{2} (x_a^2 - a_a) N_n \right\} \sin \mu_n y \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi}(x, y) = & - \sum_m \left\{ \left[\frac{1}{\lambda_m^2} - \frac{vb^2}{2} (y_b^2 - y_b) \right] \chi_m - Eh_1^* \frac{b^2}{2} (y_b^2 - y_b) P_m \right\} \sin \lambda_m x - \\ & - \sum_n \left\{ \left[\frac{1}{\mu_n^2} - \frac{va^2}{2} (x_a^2 - x_a) \right] \xi_n - Eh_2^* \frac{a^2}{2} (x_a^2 - a_a) \theta_n \right\} \sin \mu_n y \quad (10) \end{aligned}$$

Diferensial (1) tənliklərinin oynaqly sərhəd şərtlərini ödəyən həlləri, yuxarıda qeyd olunduđu kimi, ikiqat triqonometrik sıralar şəklində qəbul olunurlar:

$$w_0 = \sum_m \sum_n B_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y; \quad \phi_0 = \sum_m \sum_n A_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y; \quad (11)$$

Beləliklə yuxarıda qurulmuş həllərin ifadələrindən görünür ki (9) və (10) sıralarına daxil olan əmsallar məchuldur. Onları təyin etmək üçün I fəsilə tərtib olunmuş (4)-(7) qovuşma şərtlərindən istifadə olunmalıdır.

Məsələnin həlli isə ikiqat triqonometrik sıralar (11) şəklində olduqda, məsələnin həlli xeyli sadələşir və aşağıdakı kimi həll alınır.

$$\begin{aligned} [L_1(D, m, n) - \Omega_{mn}^2] B_{mn} + L_k(k, m, n) A_{mn} &= 0 \\ -L_k^*(m, n, k) B_{mn} + L_2(\gamma, m, n) A_{mn} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Cəbri tənliklər sistemi (12)-in sıfırdan fərqli həlli olması şərtindən qabırğalı qabıqların sərbəst rəqslərinin tezliyi təyin olunur:

$$\Omega_{mn}^2 = \frac{1}{L_2(\gamma, m, n)} [L_1(D, m, n)L_2(k, m, n) + L_k(\gamma, m, n)L_k^*(k, m, n)] \quad (13)$$

Burada işarə olunmuşdur. $\Omega_{mn}^2 = M \cdot \omega_{mn}^2$

Məsələnin həllinin doğruluğunu yoxlamaq məqsədilə (13) düsturunun xüsusi halında, yəni hamar qabıqlar üçün $D_1^* = D_2^* = D_3^* = D$, həmçinin $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$ və $\delta_1^* = \delta_2^* = \delta_3^* = \delta_4^* = 0$ qəbul etməklə, aşağıdakı məlum düstur alınır.

$$\omega_{mn}^2 = \left(m^2 + \frac{n^2}{\gamma^2}\right)^2 + \frac{745,6\psi^2}{\pi^4} \quad (14)$$

(13) düsturu hesablamalar üçün aşağıdakı əlverişli şəkə salınır.

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{\ell_2(m, n)} \left[\ell_1(m, n)\ell_2(m, n) + \frac{745,6\psi^2}{\pi^4} \ell_k(m, n)\ell_k^*(m, n) \right] \quad (15)$$

Təklif olunan alqoritmin xüsusi hallarına baxaraq müxtəlif sərhəd şərtlərində sərbəst rəqslərin tezliklərini (16) düsturu ilə hesablamaq olar.

Ən sadə halda hamar qabıqların sərbəst rəqslərinin tezlikləri (14) düsturu ilə hesablanırlar. Ədədi misallarda $\gamma = 1$ (planda kvadrat olan) və diklik əmsalı $\psi = 10$ olduğu halda hesablamalar aşağıdakı cədvəllərdə göstərilir.

Cədvəl 1

$\psi = 10$; $\omega_{mn}^2 \left(\frac{a^4}{\pi^4 D}\right)$ - qiymətində hamar qabıqlarda

n/m	1	3	5
1	769,42	865,42	1441,6
3	865,42	1089,42	1921,42
5	1441,6	1921,42	3265,42

Cədvəl 2

$\psi = 0$ - olduqda hamar kvadrat lövhələrdə

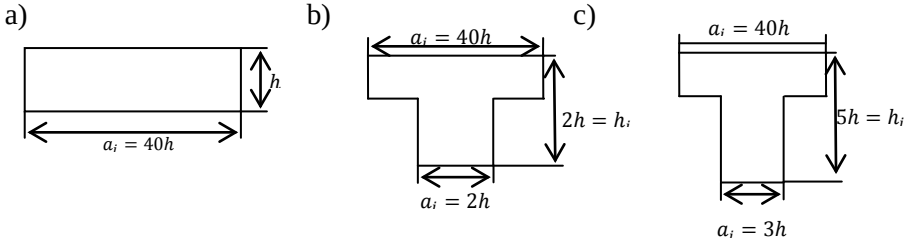
n/m	1	3	5
1	4,0	100	676
3	100	324	1156
5	676	1156	2500

m və n – sərbəst rəqslərin formalarını göstərir ($m, n=1,2,3\dots$).

Qabırğalı qabıqlar üçün sərbəst rəqslərin tezliyi (13) düsturu ilə təyin olunur.

Qabırğalı qabıqların sərtlik göstəriciləri iki variantda qəbul edilir.

Ədədi misallarda qabırğalı qabıqların həndəsi ölçülərindən asılı olaraq aşağıdakı variantlar nəzərdən keçirilir (şəkil 1).



Şəkil 1. Qabırğaların ölçü və formaları

Sərbəst rəqslərin tezliyini (15) düsturu ilə hesablanıb cədvəldə göstərilir.

Cədvəl 3

$\psi = 10$; $\omega_{mn}^2 \left(\frac{a^4}{\pi^4 D} \right)$ – qabırğalı qabıqların I variantı

n/m	1	3	5
1	22,016	418,382	2921,06
3	418,382	1776,67	5233,6
5	2921,06	5233,6	13707,19

$\psi = 0$ olduqda lövhələr üçün sərbəst rəqslərin tezlikləri (15) düsturu ilə hesablanır və ədədi nəticələri aşağıdakı cədvəldə verilir.

Cədvəl 4

$\psi = 0$; $\omega_{mn}^2 \left(\frac{a^4}{\pi^4 D} \right)$ – qabırğalı lövhələrin I variantı

n/m	1	3	5
1	11,820	378,18	2741,77
3	378,18	957,42	3746,73
5	274,77	3746,73	7381,25

Qabırğalı qabıqların sərbəst rəqslərinin tezliklərinin qiymətləri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 5

$\psi = 10$; $\omega_{mn}^2 \left(\frac{a^4}{\pi^4 D} \right)$ – qabırğalı qabıqların II variantı

n/m	1	3	5
1	190,54	5162,06	44316,5
3	5162,06	15432,95	51492,0
5	44316,5	51492,0	119084,2

$\psi = 0$; $\omega_{mn}^2 \left(\frac{a^4}{\pi^4 D} \right)$ – qabırğalı lövhələrin II variantı

n/m	1	3	5
1	129,91	5007,3	37790,5
3	5007,3	10522,87	44582,2
5	37790,5	44582,2	81,195

Qabırğalı yatıq qabıqlarla kontur elementlərlə qovuşma məsələsi həll olunaraq, qabırğalı qabıqların sərbəst rəqslərin tezliyi kontur elementlərin 4 (dörd) sərtlik göstəricilərindən asılı olaraq ilk dəfə təyin olunmuşdur.

Bu fəsildə də qabırğalı yatıq dəmir-beton qabıqların həndəsi qeyri-xətti differensial tənliklərin xəttiləşdirilmə qaydası və onun əsasında qeyri-xətti qoyuluşda dinamika məsələlərinin təqribi həlləri verilmişdir.

Qabırğalı yatıq qabıqların hərəkətinin (1) qeyri-xətti diferensial tənliklərinin xəttiləşdirmək məqsədilə bu tənliklərin həlli aşağıdakı kimi qəbul olunur:

$$w = w_0 + \bar{w}; \quad \varphi = \phi_0 + \tilde{\phi} \quad (16)$$

Burada w_0 və ϕ_0 qeyri-xətti diferensial tənliklər sisteminin həllərinin əsas hissəsidir və başlanğıc gərginlikli haldan asılı olaraq qəbul olunur. Bu həllərin məlum olduğu hallara da (16) həllərində nəzərə alın bilər.

$\bar{w}$ və $\tilde{\phi}$ – həllərinin isə çox kiçik olduğu qəbul olunur və onun ikinci dərəcəli ifadələrin hesablamada atıldığı bu üsulla nəzərə alınmışdır.

Məsələnin (16) şəklində həllərini (1) tənliklərində yazıldıqdan sonra aşağıdakı bərabərlik əldə olunur.

$$\begin{aligned} & L_1(D, w_1) - L_k(w_0, \phi_1) - L(w_1, \phi_0) + M \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} - q_t = \\ & = - \left[L_1(D, w) - L_k(K, \phi_0) - L(w_0, \phi_0) + M \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} - q_0 \right] - L(w_1, \phi_1); \quad (17) \\ & L_k(K, w_1) + L_2(\gamma, \phi_1) + L(w_0, w_1) = - [L_k(K, w_0) + L_2(\gamma, \phi_0) + \\ & \quad + \frac{1}{2} L(w_0, \phi_0)] - \frac{1}{2} L(w_1, \phi_1); \end{aligned}$$

Alınmış (17) bərabərliklərində w_1 və ϕ_1 həlləri kiçik qəbul edildiyindən, yəni w_0 və ϕ_0 məsələnin həllərinin əsas hissəsi olduğundan, ikinci dərəcəli kiçik olan ifadələr $L(w_1, \phi_1)$ və $L(w_1, w_1)$ əsas həllərə nisbətdə nəzərdən atılır. Bu ifadələrin nəzərdən atılması qurulacaq həllərin təqribiliyini göstərir:

$$L(w_1, \phi_1) = 0; \quad L(w_1, w_1) = 0$$

Bundan əlavə qabırğalı qabıqların yüklənmə ardıcılığı aşağıdakı kimi qəbul olunmuşdur.

$$q_{tot}(t) = q_0 + q_t \quad (18)$$

Təsir edən total yükün (18) şəklində iki hissəyə ayrılması o deməkdir ki, qabırğalı qabıqlar ilkin halda statik yükün təsirinə məruz qalır və sonra statik yük altında olan qabıqlar dinamik yüklərin (zamandan asılı yüklərin) təsirinə məruz qalırlar. Deməli, ilkin halda baxılan qoyuluşunda $\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} = 0$ qəbul olunmalıdır.

Nəticədə, başlanğıc gərginlikli halda yuxarıdakı (17) bərabərliyinin sağ tərəfini xəttləşdirərək qabırğalı yatıq qabıqların xətti momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənliklər olduğu təqribi olaraq qəbul olunur.

$$\begin{aligned} L_1(D, w_0) + L_k(K, \phi_0) &= q \\ -L_1(k_1, w_0) + L_2(\gamma, \phi_0) &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Hesablamalarda (19) xətti diferensial tənliklər sisteminin həlləri məlum olduqda, onda (17) bərabərliyinin sağ tərəfi sıfıra bərabər alınır və əlavə w_1 və ϕ_1 həllərinin təyin olunması (17) bərabərliyindən alınan aşağıdakı diferensial tənliklərin həllərinə gətirilir.

$$\begin{aligned} L_1(D, w_1) - L_k(K, \phi_1) - L(w_0, \phi_1) - L(w_1, \phi_0) + M \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} &= q_t; \\ L_k(K, w_1) + L_2(\gamma, \phi_1) + L(w_0, w_1) &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Başlanğıc gərginlikli halı xarakterizə edən (19) xətti diferensial tənliklər sisteminin həlləri qurulduqdan sonra w_0 və ϕ_0 məlum olduğundan (20) tənlikləri dəyişən əmsallı xətti diferensial tənliklər sistemi olur. Bununla da qeyri-xətti diferensial tənliklərin həllərində olan çətinliklər aradan qaldırılır. Başlanğıc gərginlikli hal həddi qiymətə çatdıqdan sonra sərbəst rəqslərin forması aşağıdakı kimi qəbul olunur:

$$w_1 = B_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y; \quad \phi_1 = A_{mn} \sin \lambda_m x \sin \mu_n y; \quad (21)$$

Bu (21) həllərini (20) sərbəst rəqslərin tezlik tənliklərində yerinə yazıb Bubnov-Qalyorkin üsulunu tətbiq etdikdən sonra bircins cəbri tənliklər sistemi alınır və buradan tapılır:

$$\omega_{mn}^2 = \ell_1^*(m, n) + \frac{745,6}{\pi^4 \ell_2(m, n)} \gamma(m, n) \cdot \gamma^*(m, n) \quad (22)$$

Sərbəst rəqslərinin tezliklərinin qiymətləri başlanğıc halını aşağıdakı parametrləri nəzərə alınmaqla cədvəllərdə verilmişdir (cədvəl 7, 8, 9):

$$\begin{aligned} \text{Hamar lövhələr üçün: } \left(\frac{q}{E}\right) &= \frac{200}{10^4 \cdot 3 \cdot 10^5} = 0,67 \cdot 10^{-7}; \quad \left(\frac{a}{h}\right)^4 = \\ \left(\frac{600}{4}\right)^4 &= 5,0625 \cdot 10^8; \quad \left(\frac{q}{E}\right) \left(\frac{a}{h}\right)^4 = 33,9; \quad \psi = 0 \end{aligned}$$

Cədvəl 7

ω_{mn}^2 (başlanğıc hal momentli olduqda hamar lövhələrin sərbəst rəqslərin tezlikləri)

n/m	1	3	5
1	2,6052	100,01	676,1
3	100,1	324,06	1156,02
5	676,1	1156,02	2500,01

Cədvəl 8

ω_{mn}^2 (başlanğıc hal momentli olduqda qabırğalı lövhələrin I variantı)

n/m	1	3	5
1	11,213	378,25	2741,8
3	378,25	957,42	3746,8
5	2741,0	3746,8	7381,26

Cədvəl 9

ω_{mn}^2 (başlanğıc hal momentli olduqda qabırğalı lövhələrin II variantı)

n/m	1	3	5
1	128,90	5007,31	37790,1
3	5007,31	10522,88	44582,28
5	37790,1	44582,28	81195,3

Alınmış nəticələrin Cədvəl 2 və Cədvəl 7-dəki qiymətlərinin müqayisəsi göstərir ki, hamar lövhələrin rəqslərinin əsas formasında tezliklər arasında fərq $\frac{2,6052-4,0}{4,0} = 35\%$, qabırğalı lövhələrin I variantında (Cədvəl 4 və Cədvəl 8) əsas formada rəqslərin tezliyi $\frac{11,213-11,82}{11,82} = 5\%$, II variantda (Cədvəl 5 və Cədvəl 9) da 1% - ə yaxın qədər azalır, qalan rəqslərin formalarında dəyişikliyə baxılmaz.

Hesablamalar göstərir ki, yatıq qabıqların dikliyi ψ və qabırğaların sərtlik göstəricilərində böyüdükcə, həndəsi qeyri-xəttiliyin təsiri azalır və praktik hesablamalarda nəzərə alınmaq da olar.

Üçüncü fəsilə qabırğalı yatıq qabıqlarının zəlzələyə davamlılıq məsələlərinin həndəsi-qeyri xətti qoyuluşda təqribi həllərinin qurulmasına baxılmışdır. Həndəsi qeyri-xətti qoyuluşda konstruktiv ortotrop qabıqların zəlzələyə davamlılığının differensial tənlikləri əsasında zəlzələyə davamlılığın dinamika nəzəriyyəsilə qabıqlara təsir edən seysmik yükün təyin olunma qaydası hazırlanmışdır.

Bu işdə qabırğalı qabıqların hesablanması qabırğaların təsiri onun orta səthi üzrə bərabər paylanmaqla, konstruktiv – ortotrop sistem əldə

olunaraq aparılır.

Yatıq qabırğalı qabıqların hərəkətinin həndəsi qeyri-xətti diferensial tənlikləri başlanğıc gərginlikli hal momentli olduqda əvvəlki fəsildə olduğu kimi aşağıdakı şəkə salınmışdır:

$$L_1(D, w) - L_k(k, \phi) - L(w_0, \phi) - L(w, \phi_0) + M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = S(x, t) \quad (23)$$

$$L_2(\gamma, \phi) + L_k(k, w) + L(w, w_0) = 0$$

Əvvəlki fəsildə qeyd olunduğu kimi burada da başlanğıc gərginliyi halı qabırğalı qabıqların momentli nəzəriyyəsinin həlləri xarakterizə edir, yəni aşağıdakı diferensial tənliklərin həlləri qurulmalıdır.

$$L_1(D, w_0) - L_k(k, \phi_0) = q_0(x, y)$$

$$L_2(\gamma, \phi_0) + L_k(k, w_0) = 0 \quad (24)$$

Burada diferensiallama operatorları əvvəlki fəsildə olduğu kimi qəbul olunmuşdur.

$S(x, t)$ - zəlzələ zamanı yer səthinin üst qatının rəqsləri nəticəsində qabıqlara təsir edən zəlzələ yükünün intensivlidir.

Zəlzələ yükünün intensivliyi aşağıdakı kimi ifadə olunur.

$$S(x, t) = \frac{q_0(x, y)}{g} \ddot{y}_b(t) \quad (25)$$

$y_b(t)$ - seysmik impulsdur və onun yeni ifadəsi ilk dəfə olaraq (26) şəklində təklif olunmuşdur. Onun ifadəsində indiyə qədər zəlzələyədavamlılıq məsələlərində tətbiq olunan impulsların forması ümumiləşdirilərək verilmişdir.

$$y_b(t) = a_0 Q(t) e^{-\varepsilon_0 t} \sin \omega t \quad (26)$$

Son vaxtlarda təklif olunmuş (26) zəlzələ impulsu məlum olan bütün zəlzələ impulslarını ümumiləşdirir və onlar təklif olunan (26) impulsunun xüsusi halları kimi əldə oluna bilər. Əgər (26) tənliyindən istifadə olunaraq zəlzələ yükü hesablanarsa, bu o deməkdir ki, bütün impulslara cavab verən zəlzələ yükü təyin olunmuşdur.

Zəlzələyədavamlılığın dinamika nəzəriyyəsinə görə zəlzələ yükü aşağıdakı kimi təyin olunur.

$$S(x, y, t) = \frac{q_0(x, y)}{g} \ddot{y}_b(t) - M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (27)$$

Buradan görünür ki, qabırğalı yatıq qabıqlara təsir edən zəlzələ yükü $\ddot{y}_b(t)$ ifadəsini təyin edib, qurğunun ətalət qüvvəsini əldə etmək lazımdır. Burada çətinlik ondan ibarətdir ki, xəttilləşdirilmiş diferensial tənlik (23) və xətti diferensial tənlikləri (24) həll olunmalıdır. Bu ardıcılıqla da zəlzələ yükünün təyin olunma alqoritmi aşağıda qurulmuşdur.

Yatıq qabırğalı qabıqlara təsir edən zəlzələ yükü tam yükün bir

hissəsini təşkil edir, yəni

$$q_{tot} = q_0 + q_z = q_0 + n_z q_0 = q_0(1 + n_z) \quad (28)$$

Bu tənliklər zəlzələ yükünün təsirinə hesablanır. Zəlzələ yükünün qiymətini yuxarıda olduğu kimi aşağıdakı şəkildə ifadə etmək daha aşkar müqayisələrə gətirir.

$$q_z = n_z q_0 \quad (29)$$

Burada n_z əmsalı aşağıdakı kimi müəyyən olunur:

$$n_z = k_s \beta_{mn}$$

q_z – in real qiymətləri $(0,3 \div 0,6)$ arasında dəyişir. Ona görə də yatıq qabırğalı qabıqlara təsir edən total yük (29)-a əsasən $q_{tot} = (1,3 \div 1,6)q_0$ alınır.

Şaquli rəqslərə məruz qalan nazikdivarlı fəza konstruksiyalarda zəlzələ yükü ona təsir edən statik yükü təqribən 50% artırır.

Yuxarıda nəzərdən keçirilən bütün seysmik impluslara müvafiq vahid formada zəlzələ yükü ifadə olunaraq, aşağıdakı kimi təyin edilmişdir.

$$q_z(x, y, t) = k_s q_0 \sum_m \sum_n \eta_{mn} \beta_{mn}(t_0) w_{mn}(x, y) \quad (30)$$

Burada işarə olunmuşdur:

$$k_s = \frac{a_0 \omega^2}{g}; \quad \eta_{mn} = \frac{\iint w_{mn}(x, y) dx dy}{\iint w_{mn}^2(x, y) dx dy}$$

$$\beta_{mn}(t_0) = e^{-\varepsilon_0 t} [P(t_0) - P_2(t_0)] \sin \omega t + e^{-\varepsilon_0 t_0} [\varphi(t_0) - \varphi_2(t_0)] \cos \omega t; \quad (31)$$

Beləliklə, məsələnin həlli dinamik əmsalın $\beta_{mn}(t_0)$ ən böyük qiymət aldığı t_0 zamanın təyin olunmasına gətirilir. Bu həlli tapmaq üçün $\beta_{mn}(t)$ funksiyaların qrafikləri əsasında təqribi olaraq t_0 təyin olunmalıdır, yəni

$$\beta_{mn}(t) = \max \beta_{mn}(t_0)$$

Bununla da qabırğalı qabıqlar zəlzələ yükünə zamandan asılı olmayaraq hesablanır. Burada seysmik impulsun ədəbiyyatlarda məlum olan ifadələri ümumiləşdirilərək və dəqiqləşdirilərək yeni ifadəsi (26) təklif olunmuşdur. Qabırğalı qabıqların zəlzələyə davamlılıq məsələni həll etmək üçün qabırğalı qabıqların həndəsi və sərtlik göstəricilərinin ədədi qiymətləri hesablanır. Kontur üzrə ideal diafraqmalar üzərində oynaqla oturan yatıq qabıqların momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənliklərin həlləri xətti cəbri tənliklərin həllərinə gətirilir.

Alınmış cəbri tənliklərin həlləri aşağıdakı kimi tapılır.

$$B_{mn}^0 = \frac{16qa^4}{Dmn\pi^6} \frac{\gamma(m, n)}{\text{Det}(m, n)}$$

(32)

$$A_{mn}^0 = \frac{1491,6qa^4}{mn\pi^8 h} \cdot \frac{1}{\text{Det}} \cdot \left[\psi \left(m^2 + \frac{n^2}{\gamma^2} \right) + \frac{\pi^2}{8} \Delta_{kmn} \right];$$

yuxarıda (32) həlləri baxılan üç varianta aiddir və onlardan istifadə olunaraq xüsusi hallar kimi bütün variantların aşağıdakı həlləri alınır.

Cədvəl 10

$\psi = 10$, hamar qabıqlar
Başlanğıc halda hesablamaların nəticələri

x/a Kəmiyyətlər	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot 10^{-4} \frac{qa^4}{D}$	0,0	0,1670	0,2103	0,1857	0,1810	0,1753
$M_x \cdot 10^{-4} qa^2$	0,0	12,5569	6,0434	0,4517	-0,9548	-1,1121
$N_x \cdot 10^{-2} \frac{qa^2}{h}$	0,0	22,5558	40,4272	53,5979	62,3827	66,055

Məsələnin xüsusi halı kimi $\psi = 0$ olduqda düzbucaqlı lövhələrin başlanğıc halını xarakterizə edən həllər alınır. Bu kəmiyyətlərin qiymətləri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 11

$\psi = 0$, hamar lövhələr

x/a Kəmiyyətlər	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot 10^{-4} \frac{qa^4}{D}$	0	13,0482	24,4848	33,2939	38,8698	40,7768
$M_x \cdot 10^{-4} qa^2$	0	158,0637	309,0789	407,8749	425,5696	444,3158

II və III variantlardan qabırğalı qabıqların başlanğıc gərginlikli halda xətti momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənliklərin həllərindən istifadə olunur. 23 tənliklərin həlləri xətti cəbri tənliklərin həllinə gətirilmişdir. Onların həlləri ilə hesablamalar aşağıda verilir. Zəlzələ yükünün təsirindən (23) tənliklərini həll etməklə axtarılan kəmiyyətlərin qiymətləri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 12

I variant qabırğalı qabıqlar, $\psi = 10$

x/a Kəmiyyətlər	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{10^4 D} \right)$	0,0	0,05439	0,1602	0,1506	0,1450	0,1459
$M_x \cdot (qa^2)$	0,0	0,9457	0,4184	-0,4226	-2,1245	-2,4179
$N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{h} \right) \cdot 10^{-2}$	0,0	21,8496	40,396	53,8792	62,4690	65,644

Hamar və qabırğalı qabıqların əyinti, əyici moment və normal qüvvələrinin qiymətlərinin nəticələrinin (Cədvəl 10,12) müqayisəsi göstərir ki, əyilmədən yaranan qüvvələr kəmiyyətə qabırğalı qabıqlar üçün xeyli

azalır (əyici moment $\frac{12,556}{0,945} \approx 13$ dəfə, əyinti isə 20%), normal qüvvələr isə eyni qalır. Nəzərə alınsa ki, qabırğalı qabıqlar momentsiz hala yaxın olur və bu da qabırğalı qabıqların əlverişli halda işlədiyini göstərir.

Qabıqların diklik əmsalı artıqca, qabırğalı qabıqlar tamamilə momentsiz hala yaxınlaşırlar.

Qabırğalı qabıqların diklik əmsalı $\psi = \frac{f}{h}$ azldıqca, momentli qüvvələr qrupu həm kefiyyətcə və həm də kəmiyyətcə xeyli dəyişirlər.

Məsələnin həllərindən görünür ki, qabırğalı lövhələr üçün triqonometrik sıralar yaxşı yığılırlar və hesablamaları birinci həddə görə aparmaq olar və nəticələr aşağıdakı kimidir.

Cədvəl 13

$\psi=0$, qabırğalı lövhələr, I variant
Daxili qüvvələr və əyintilər

X_a Kəmiyyətlər	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{10^4 D} \right)$	0	4,2948	8,1656	11,2443	13,2193	13,8991
$M_x \cdot \left(\frac{qa^2}{10^4} \right)$	0	45,885	84,632	119,242	141,230	147,85
$N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{10^2 h} \right)$	0	55,021	55,021	75,726	89,027	93,605

Hamar lövhələrə nisbətən qabırğalı lövhələrdən əyintilər $\frac{40,77}{13,89} = 2,93$ (Cədvəl 11 və Cədvəl 13) əyici momentlər $\frac{444,3}{147,85} = 3,0$ azalırlar və əhəmiyyətli dərəcədə əlavə normal qüvvələr yaranır.

Məsələnin II variantlarında hesablamalar aparıb, ancaq nəticələr aşağıda verilir.

Cədvəl 14

$\psi=0$, qabırğalı lövhələr, II variant

$x_a = \frac{x}{a}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{10^4 D} \right)$	0,0	0,03314	0,05664	0,06118	0,07465	0,07605
$M_x \cdot \left(\frac{qa^2}{10^4} \right)$	0,0	9,3223	13,9818	13,9727	12,5029	11,830
$N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{10^2 h} \right)$	0,0	12,384	23,522	32,374	38,060	40,0177

Qabırğalı lövhələr üçün də məsələnin həlli aşağıdakı kimidir:

$\psi=0$, II variant

$x_a = \frac{x}{a}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{D} 10^{-4} \right)$	0	1,355	2,977	3,551	4,170	4,385
$M_x \cdot \left(\frac{qa^2}{10^4} 10^{-4} \right)$	0	15,649	29,770	40,973	48,170	50,647
$-N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{h} 10^{-2} \right)$	0	23,229	44,188	60,675	71,332	75,176

Bu tənlilər qabırğalı momentli nəzəriyyəsinin (24) diferensial tənlilərin həllərindən alınmış cəbri tənlilərdən başlanğıc gərginlikli halı xarakterizə edən $L(m, n)B_{mn}^0$ və $L(m, n)A_{mn}^0$ hədlərinin cəbri tənlilərdə iştirakı ilə fərqlənirlər $L(m, n)B_{mn}^0$ və $L(m, n)A_{mn}^0$ ifadələri B_{mn}^0 və A_{mn}^0 - in (32) düsturlarını nəzərə aldıqdan sonra təyin olunurlar.

Qabırğalı qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyəsinin zəlzələyədavamlıq tənliləri aşağıdakı cəbri tənlilər sisteminə gətirilir.

$$\frac{D\pi^4}{a^4} \ell^*(m, n)B_{mn} + \frac{8f\pi^4}{a^4} r(m, n)A_{mn} = \frac{16q_s}{mn\pi^2}; \quad (35)$$

$$-\frac{8f\pi^4}{a^4} r(m, n)B_{mn} + \frac{\pi^4}{a^4} \frac{1}{Eh} \gamma(m, n)A_{mn} = 0$$

Məlumdur ki, məsələ həndəsi qeyri-xətti qoyuluşda həll olunduqda təyin olunan əyinti və daxili qüvvələr $\left(\frac{q}{E}\right)$ və $\left(\frac{a}{h}\right)$ nisbətlərin qeyri-xətti qiymətlərindən asılıdır. Zəlzələ yükünün təsirindən məsələlərin həlləri Cədvəl 16 və Cədvəl 19-da verilmişdir.

1) Beton B25 $\Rightarrow E = 3 \cdot 10^5 \frac{kq}{sm^2}$; $q = 200 \frac{kq}{m^2} = 0,02 \frac{kq}{sm^2}$; $a = 6,0 m$; $h = 4sm$;

$$\frac{q}{E} = \frac{0,02}{3 \cdot 10^5} = 0,67 \cdot 10^{-7}; \quad \left(\frac{a}{h}\right)^4 = \left(\frac{600}{4}\right)^4 = 5,0625 \cdot 10^8;$$

$$\left(\frac{q}{E}\right) \left(\frac{a}{h}\right)^4 = 0,67 \cdot 5,0625 = 33,9; \quad \left(\frac{q}{E}\right)^2 \left(\frac{a}{h}\right)^8 = 1150$$

$$2) \left(\frac{q}{E}\right) = \left(\frac{450}{10^4 \cdot 3 \cdot 10^5}\right) = 1,5 \cdot 10^{-7}; \quad \left(\frac{a}{h}\right)^4 = \left(\frac{600}{4}\right)^4 = 5,0625 \cdot 10^8;$$

$$\left(\frac{q}{E}\right) \left(\frac{a}{h}\right)^4 = 75,93; \quad \left(\frac{q}{E}\right)^2 \left(\frac{a}{h}\right)^8 = 5765,36$$

$$\text{Det}(m, n) = 1 + 0,512 \frac{1}{\Delta_{mn}^8} \left(\frac{q}{E}\right)^2 \left(\frac{a}{h}\right)^8; \quad \psi = 10$$

Beləliklə zəlzələ yükünə (23) tənliliklərinin həllərindən lövhələr üçün əyinti və daxili qüvvələr $y = 0,5b$ kəsiyi üçün hesablanırlar:

Cədvəl 16

$\psi=0$, qabırğalı lövhə, I variant

x_a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{D} 10^{-4} \right)$	0	17,304	32,916	45,304	53,262	55,892
$M_x \cdot (qa^2)$	0	0,01538	0,02921	0,04028	0,04735	0,04978
$N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{h} \right)$	0	-0,0065	-0,0122	-0,01690	-0,0198	-0,0209

Yuxarıdakı məsələ həm də aşağıdakı parametrlərdən asılı həll olunur.

Cədvəl 17

$\psi = 0$ hamar lövhə, I variant

Daxili qüvvələr və əyinti

x_a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{D} 10^{-4} \right)$	0,0	13,849	26,354	36,271	42,642	44,064
$M_x \cdot (qa^2)$	0,0	0,01598	0,03038	0,04182	0,04917	0,5092
$N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{h} \right)$	0,0	0,01446	0,02751	0,03786	0,04451	0,04671

Qabırğalı lövhələrin I variantından məsələnin həlləri bu kəmiyyətlərin qiymətlərindən asılı aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 18

$\psi = 0$, qabırğalı lövhə, II variant

$$\frac{q}{E} = 0,67 \cdot 10^{-7}; \left(\frac{a}{h} \right)^4 = 5,0625 \cdot 10^8; n_s = 0,3$$

x_a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{q a^4}{D 10^4} \right)$	0,0	5,494	10,4501	14,382	16,908	17,514
$M_x \cdot (q a^2)$	0,0	0,00726	0,01381	0,0190	0,02235	0,02298
$N_x \cdot \left(\frac{q a^2}{h} \right)$	0,0	0,00951	0,0181	0,0249	0,0292	0,03083

Qabırğalı qabıqların gərginlikli hallarının tədqiqi çoxlu parametrlərdən asılıdır. Bu paragrafda baxılmış ədədi misalların nəticələrinin müqayisəli təhlili imkan verir ki, lazım olan nəticələr əldə olunsun. Qabırğalı lövhələrin II variantda həlləri aşağıdakı kimi alınır.

Hesablamaların nəticələri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir:

$$\frac{q}{E} = 0,67 \cdot 10^{-7}; \left(\frac{a}{h} \right)^4 = 5,0625 \cdot 10^8; \psi = 0$$

qabırğalı lövhə, II variant

x_a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot \left(\frac{qa^4}{10^4 D} \right)$	0,0	1,7598	3,3476	4,6075	5,4167	5,6866
$M_x \cdot (qa^2 \cdot 10^{-4})$	0,0	20,359	38,7277	53,3017	62,6641	65,765
$-N_x \cdot \left(\frac{qa^2}{h} 10^{-4} \right)$	0,0	27,0254	51,4095	70,7559	83,1841	86,938

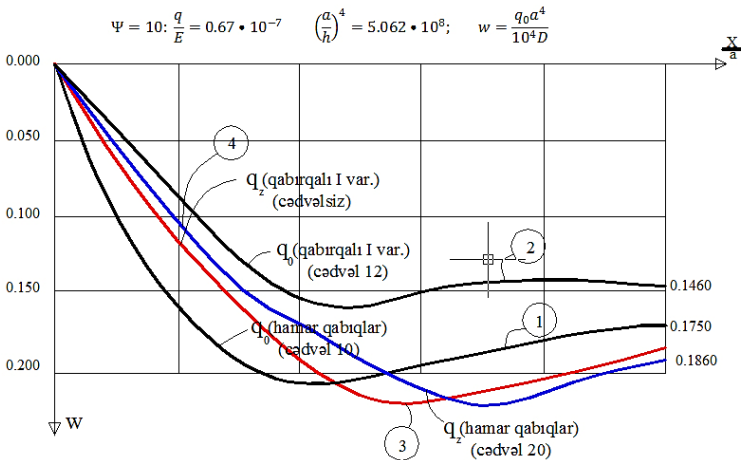
Cədvəl 20

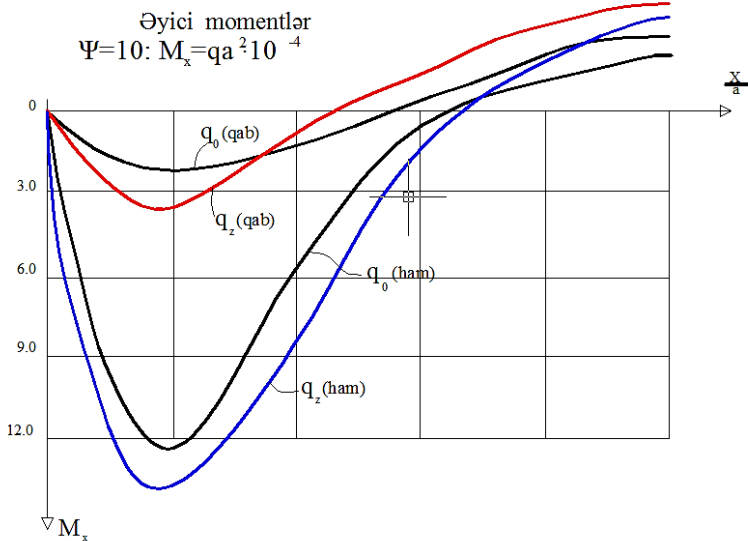
$\psi = 10$, I variant $\frac{q}{E} = 0,67 \cdot 10^{-7}$; $\left(\frac{a}{h}\right)^4 = 5,06 \cdot 10^{-8}$; $n_z = 0,3$

$\frac{x}{a}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$w \cdot 10^{-4} \cdot \frac{qa^4}{D}$	0	0,1210	0,1612	0,2259	0,2056	0,1867
$M_x \cdot 10^{-4} \cdot qa^2$	0,0	2,8371	1,046	-1,1394	-2,756	-3,615
$N_x \cdot 10^{-4} \cdot \frac{qa^2}{h}$	0,0	21,859	40,84	53,871	62,53	65,82

Aparılan hesablamalar göstərir ki, zəlzələ yükünün təsirindən və həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyənin tətbiqindən yuxarıdakı misalda əyinti, əyici moment və normal qüvvələr əhəmiyyətli dərəcədə artırlar ki, bunu praktik hesablamalarda nəzərdən atmaq böyük fərqli nəticələrin alınmasına səbəb ola bilər. Baxılan çoxlu sayda ədədi misallar əsasında aşağıdakı nəticələr əldə olunmuşdur.

Qabıqların əyintilər qrafiki.





Şəkil 2. Hamar və qabırğalı lövhə ($\Psi=0$) və qabıqların ($\Psi=10$) seysmik yükün təsirindən əyici moment və əyintilərin müqayisəli qrafikləri.

NƏTİCƏLƏR

Qabırğalı yatıq qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyəsi əsasında aparılan tədqiqatlardan aşağıdakı nəticələr əldə olunmuşdur:

1. Qabırğalı qabıqların həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyəsinin diferensial tənliklərinin həllərini iki hissəyə ayırmaqla onları iki xətti diferensial tənliklər sistemlərinin həllərinə gətirməklə xəttləşdirilmişdir: bircins sistem diferensial tənliklər başlanğıc gərginlikli halları xarakterizə edir və qabıqların xətti momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənlikləri olub həlləri məlumdur. İkinci sistem diferensial tənliklər başlanğıc gərginlikli hal məlum olduqda həndəsi qeyri-xətti diferensial tənliklərin xəttləşdirilmiş formasıdır. Beləliklə qabıqların həndəsi qeyri-xətti diferensial tənliklərin həlləri ardıcıl olaraq xətti diferensial tənliklərin həllərinin cəminin təyin olunmasına gətirmişdir.

2. Ardıcıl olaraq xətti diferensial tənliklər həll olunaraq, kontur elementləri ilə elastik qovuşan qabırğalı yatıq qabıqların sərbəst rəqslərinin tezlikləri kənar elementlərinin sərtlik göstəricilərindən asılı olaraq təyin olunmuşdur.

3. Ədədi misalların həlləri göstərir ki, qeyri xətti qoyuluşda sərbəst rəqslərin tezlikləri yükün nisbi intensivliyi $\left(\frac{q}{E}\right)$ və həndəsi ölçülərindən $\left(\frac{a}{h}\right)^4$ asılıdır və bu parametrlər artdıqca, həndəsi qeyri-xəttilik effektiv əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Qabıqların həndəsi qeyri-xəttiliyin təsiri onların sərtliyi artdıqca azalır. Böyük sərtliyə malik olan qabırğalı qabıqlarda həndəsi qeyri-xəttiliyin təsirini nəzərdən atmaq olar.

4. İlk dəfə olaraq qabırğalı yataq qabıqların elastik kontur elementlərlə qovuşma məsələsi dinamika qoyuluşunda həll olunmuşdur. Dinamika məsələlərinin həllərinə hər kontur elementin dörd sərtlik göstəricisi δ_b , δ_c , δ_r və δ_A (şaquli və ufiqi müstəvidə əyilmədə δ_b , δ_r burulmada δ_c və dartılmada δ_A göstəriciləri) daxil edilmişdir ki, onları dəyişməklə konturda ixtiyari sərhəd şərtləri alınır.

5. Qurğuların zəlzələyədavamlılığın dinamika nəzəriyyəsi əsasında qabırğalı qabıqlara təsir edən seysmik yük təyin olunmuşdur. Zəlzələ yükünü təyin etdikdə yer səthinin zəlzələ zamanı hərəkət tənliyinin ümumiləşmiş forması kimi seysmik impuls təklif olunmuşdur və nəticədə qurğulara təsir edən seysmik yükün ifadəsi ümumiləşdirilmişdir. Seysmik yükü $S(x, y) = q_0(1 + n_s)$ şəklində əldə olunmuşdur. Zəlzələnin ballıqından asılı olaraq n_s əmsalının $n_s = 0,3 - 0,6$ intervalında dəyişdiyi müəyyənləşmişdir. Seysmik yüklərin hesablanma alqoritmı təklif olunmuşdur.

6. Sərtlik qabırğaların ən kəskin ölçülərindən asılı olaraq ədədi misallarda üç varianta baxılmışdır: hamar, qabıqların ən kəskin sahələri $A_{si} = 4h^2$; $A_{si} = 15h^2$ (h – qabığın qalınlığıdır); Ədədi misalların nəticələri göstərir ki, qabırğaların ən kəskin ölçüləri artdıqca, əyinti və momentli qüvvələr qrupu əhəmiyyətli dərəcədə azalır və həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyənin məsələlərə tətbiqi əhəmiyyətini itirir.

7. Hamar lövhələrə həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyənin tətbiqi lövhələrdə əlavə momentsiz qüvvələrin yaranmasına səbəb olur. Aparılan ədədi misalların təhlili göstərir ki, başlanğıc gərginlikli halların nəzərə alınması qabıqlar nəzəriyyəsində dinamika məsələlərinin həllərində yeni nəticələr alınmışdır. Xarici yükün statik və dinamik hissələrə ayrılması nəticəsində qabıqların zəlzələyədavamlılığının xəttiləşdirilmiş momentli nəzəriyyəsinin diferensial tənlikləri əldə olunmuş və ədədi misallarda onların həlləri verilmişdir.

Dissertasiya işi üzrə aşağıdakı elmi məqalələr çap edilmişdir:

1. Davud Pur. Həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyə ilə yataq qabırğalı dəmir-beton qabıqların dinamika məsələlərinin tədqiqi. Doktorant və gənc tədqiqatçıların XVII Respublika elmi konfransın materialları, II cild, Bakı-2013, səh. 225-227.
2. Davud Pur. Kontur elementləri ilə elastik qovuşan yataq qabıqların dinamika məsələlərinin qeyri-xətti nəzəriyyəsi ilə həlləri. Nəzəri və tətbiqi mexanika, Ali məktəblərarası elmi-texniki jurnal, N3-4, Bakı, 2013, səh., 3-7.
3. Davud Pur. Qabırğalı qabıqların sərbəst rəqslərinin həndəsi qeyri-xətti momentli nəzəriyyə ilə tədqiqi. Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Memarlıq komitəsi, Az. İnşaat və Memarlıq Elmi- Tədqiqat İnstitutunun yaranmasının 30 illiyinə həsr olunmuş “İnşaat və Memarlıqda Elmi-Texniki Tərəqqi” mövzusunda beynəlxalq konfransın materialları Bakı, 2014, səh. 122-129.
4. Davud Pur. Həndəsi qeyri-xətti nəzəriyyə ilə yataq dəmir-beton qabıqların dinamika məsələlərinin tədqiqi. “Müasir inşaatın nəzəri və praktiki problemləri” mövzusunda beynəlxalq konfrans materialları AzMİU-nın İnşaat fakültəsi, 29-30 noyabr 2012-ci il, səh., 131-136.
5. Давуд Пур. Решения задач динамики конструктивно – ортотропных оболочек с учетом начального моментного состояния. Естественные и технические науки, Москва, №2, 2014, стр. 268-274.
6. Davud Pour and Seyfullah Khanlar. Nonlinear inelastic dinamik analisis of space steel frames with semi-rigid connections. Indian J. Scientific Research (2) 229-241, 2014.
7. An assessment on stress distribution in connecting bolts of smooth plates by bolts arrangement pattern change. Cümhuriyyət Universiteti, Fən Fakültəsi, Fən Bilimleri Dergisi, Cilt, No.2015
8. The analysis of mechanical behavior of plane shells with bolted jointed by means of numerical simulation method/ James publication, Mitteilungen Saechsischer Entomologen (MSE), 6 Jule 2015.
9. Давуд Пур. Методика определения сейсмической нагрузки по геометрически нелинейный теории конструктивно–ортотропных оболочек. Ali məktəblərarası elmi-texniki jurnal. N2, Bakı, 2014, səh. 102-105.

Давуд Пур Али оглы

**Исследование по геометрически нелинейной теории
динамических задач пологих оболочек**

Резюме

В работе рассматривается ребристые пологие оболочки при больших прогибах. Влияния ребер жесткости учитывается путем размазывания их по срединной поверхности пологих оболочек и получается конструктивная орторонная двухлойная оболочка. В первой главе основные нелинейные дифференциальные уравнения получены в смешанной форме по известной методике теории пологих оболочек. Граничные условия на контуре пологих оболочек, прямоугольных в плане получены исходя из совместной работы пологих оболочек и контурных элементов.

Уравнения движения ребристых оболочек получены на основе принципа Даламбера.

Во второй главе рассматриваются решения о свободных колебаний ребристых оболочек при больших прогибах. При этом использована метод выделения главной части из двух слагаемых, нелинейных дифференциальных уравнений и путем отбрасывания малых членов второго порядка задача линеаризуется.

Приводятся числовые примеры определения частот и форм свободных нелинейных колебаний пологих оболочек.

В третьей главе рассмотрены задачи сейсмостойкости пологих ребристых оболочек на основе линеаризованных уравнений ребристых оболочек, предложенной методике второй главы.

Приводятся числовые примеры задачи сейсмостойкости пологих ребристых оболочек.

На основании исследования динамических задач ребристых оболочек при больших прогибах сделаны выводы и практические рекомендации.

Davud Pur Ali

Study on the theory of geometrically nonlinear dynamic problems of depressed shells

Summary

The study deals with ribbed depressed shell in large deflection. The influence of reinforcements counted by spreading them median surface of depressed shells and constructive orthotropic two-layer shell is got. In the first chapter of basic nonlinear differential equations are obtained in mixed form with the famous technique theory of depressed shells. Boundary conditions on the shallow shells, rectangular in plan derived from the joint work of depressed shells and contour elements.

The equations of motion of ridged shells are based on the principle of D'Alembert.

The second chapter examines the decision of free vibrations ribbed shells with large deflection.

The method of discharging of main part from two components, nonlinear differential equations and by truncation of second system the task is linearized.

Numerical examples of identifying parts and forms of free nonlinear oscillations depressed shells are brought.

The third chapter includes tasks for shallow seismic ribbed shells based on linearized equations ridged shells, on the basis of the proposed methodology of the second chapter.

Numerical examples are given the tasks of earthquake resistance of shallow depressed shells.

Conclusions and practical recommendations were made on the basis of the study of dynamic problems of ribbed shells in large deflection.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ
АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО- СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

ДАВУД ПУР АЛИ оглы

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИ
НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК**

*СПЕЦИАЛЬНОСТЬ: 3305.03- “Строительные конструкции, здания и
сооружения”*

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике**

БАКУ-2016