

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

---

*Əlyazması hüququnda*

**ELÇİN ZİRƏDDİN OĞLU ƏSƏDOV**

**GÜCLƏNDİRİLƏN DƏMİR-BETON ELEMENTLƏRİN  
GƏRGİNLİKLİ DEFORMASIYA HALININ TƏDQIQI**

**İxtisas: 3305.03-İnşaat konstruksiyaları, bina və qurğular**

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim  
olunmuş dissertasiyanın**

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

**BAKİ – 2018**

İş Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

**Elmi rəhbər:** AzMİU-in “İnşaat konstruksiyaları” kafedrasının müdiri, texnika üzrə elmlər doktoru, professor Muxlis Əhməd oğlu Hacıyev

**Rəsmi opponentlər:** AzMİU-in "Materialşünaslıq" kafedrasının müdiri, texnika üzrə elmlər doktoru, professor İradə Nüsrət qızı Şirin zadə  
"NEFTQAZELMİTƏDQIQATLAYİHƏ" institutunun "Memarlıq və İnşaat" şöbəsinin rəisi, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent Əlixan Bayram oğlu Qarayev

**Aparıcı təşkilat:** Azərbaycan Texniki Universitetinin “Mexanika” kafedrası

Dissertasiya işinin müdafiəsi “26” “oktyabr” 2018-ci il tarixdə saat 12<sup>00</sup> -da Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən D 02.042 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

**Ünvan:** Az-1073, Bakı A. Sultanova küç. 11, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, II tədris korpusu, otaq 104.

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

Avtoreferat “25” “sentyabr” 2018-ci il tarixdə göndərilmişdir.

D 02.042 Dissertasiya Şurasının

elmi katibi, f.-r. ü.f.d., dosent

A.M.İsayev

## DİSSERTASIYA İŞİNİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Dəmirbeton konstruksiyalar dünyanın inşaat meydançalarında tikilən konstruksiyaların digər konstruksiyalarla müqayisə olunmayacaq dərəcədə böyük əksəriyyətini təşkil edir. Bu ilk növbədə dəmirbeton konstruksiyaların uzunömürlülüüyü və monolit tikintidə məmarlıq baxımından istənilən formanın alınma bilməsi ilə xarakterizə olunur. Dəmirbeton konstruksiyaların xarici təsirlərə daha yaxşı müqavimət göstərə bilmə qabiliyyəti bu konstruksiyaların tək-cə mülki tikintidə deyil, həm də sənaye tikintisində də geniş istifadəsinə şərait yaradır. Məhz bu baxımdandır ki, müasir şəraitdə istifadə olunan bir və çoxmərtəbəli sənaye və mülki binalarının əksəriyyətini dəmirbeton konstruksiyalar təşkil edir. Müasir sənayenin sürətli inkişafı bu sürətə uyğun sənaye binalarının tikintisini tələb edir. Aydın ki, mövcud sənaye binaları hər dəfə yeniləri ilə əvəz olunmur, onlar sadəcə rekonstruksiya olunurlar. Bu ilk növbədə müasir texnologiyalar dövründə hər şeydən qiymətli olan zamana və maliyyə sərfinə qənaət etməyə imkan verir. Bundan başqa texnologiyanın yeniləşməsi, istismar yüklərinin dəyişməsi, təbii və texnogen fəlakətlərdən zədələnmə konstruksiya elementlərinin gücləndirilməsi problemini bir mühəndis fəaliyyəti kimi qarşıya qoyur. Dəmirbeton konstruksiyaların əsas yükdaşıyıcı elementlərindən biri əyilməyə işləyən düzbucaqlı en kəsikli dəmirbeton elementlər olduğundan həmin elementlərin gücləndirilməsi və gücləndirilmiş elementlərin hesablanma metodikasının işlənməsi vacib mühəndis məsələlərindən biridir. Qeyd etmək lazımdır ki, adi dəmirbeton konstruksiyaların hesablanma nəzəriyyəsi özünün sürətli inkişaf mərhələsinə qədər qoymuşdur. Bu ilk növbədə sonuncu onilliklərdə dəmirbeton konstruksiyaların hesablanmasında tətbiq olunan inşaat normalarının qeyri-xətti deformasiya modelinin tətbiqini tələb etməsi ilə də sıx bağlıdır. Qeyri-xətti deformasiya diaqramının tətbiqi materialların möhkəmlilik ehtiyatından maksimum dərəcədə istifadə etməyə imkan yaratmaqla bərabər, həm də həddi hallardan fərqli olaraq yükləmənin ixtiyari səviyyəsi üçün konstruksiyada formalaşan gərginlikli deformasiya halını da öyrənməyə imkan verir.

Zədələnməmiş düzbucaqlı en kəsikli əyilməyə işləyən dəmirbeton elementlərin gücləndirilməsi üçün müxtəlif gücləndirilmə üsullarından istifadə olunur. Bunlardan ən geniş yayılanı və texnoloji baxımdan daha asan həyata keçiriləni dartılan zonalarda artırma ilə gücləndirmə üsuludur. Gücləndirməyə qədər kompozit olan element daha cavan yaşlı betonun elementə daxil olması ilə daha da mürəkkəbləşir və kompleks kəsikli elementin hesablanma metodikasının yaradılmasını tələb edir. Əgər yada

salsaq ki, beton fiziki-mexaniki baxımdan qeyri-stabil materialdır, onda gücləndirilmiş elementin hesablanma metodikası işlənərkən yükçötürmə qabiliyyətinə əsaslı surətdə təsir edən faktorların nəzərə alınması zərurətinin meydana çıxdığını görürük. Dartılan zonada gücləndirmə həm də zədələnmə zamanı köhnə beton üçün etibarlı yeni mühafizə qatının yaradılmasına şərait yaradır və köhnə armaturu korroziyaya məruz qoya biləcək xarici təsirlərdən qoruyur. Müasir inşaat normalarına əsasən adi dəmirbeton elementlərin hesablanmasında belə real qeyri-xətti deformatsiya diaqramlarının tətbiq olunması tələb olunur. Buna görə də qeyri-xətti deformatsiya modelinin tətbiqi ilə adi dəmirbeton elementlər üçün hesablama meto-dikalarının işlənməsi aktual problemlərdən biri sayılır. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi elementin gücləndirilməsi belə metodikaların yaradılmasında daha böyük çətinliklər yaratdığından dartılan zonalarında artırma ilə gücləndirilmiş əyilməyə işləyən dəmirbeton elementlərin materialların real qeyri-xətti deformatsiya diaqramlarının tətbiqi ilə betonda gedən uzunmüddətli prosesləri də nəzərə almaqla hesablanma metodikasının işlənməsi müasir dəmirbeton konstruksiyalar nəzəriyyəsinin aktual problemlərindən biridir.

**Praktiki əhəmiyyəti.** Dartılan zonasında artırma ilə gücləndirilən dəmirbeton elementlərin qısamüddətli və uzunmüddətli yükləmələrdə hesablanması üçün qeyri-xətti deformatsiya modeli əsasında qurulan hesablama metodikalarının mühüm praktiki əhəmiyyəti vardır. Bu ilk növbədə onunla izah olunur ki, həmin metodikalar xarici təsirin dəyişməsi ilə konstruksiyada formalaşan gərginlikli deformatsiya halının dəyişməsinə də izləməyə imkan yaratmaqla bərabər, həm də bu faktorlardan hansının yükçötürmə qabiliyyətinin təyininə önəmli rol oynadığını və həmin faktorun kəmiyyətə dəyərini qiymətləndirməyə imkan verir. Qeyri-xətti deformatsiya modeli əsasında məsələ ədədi olaraq həll olunduğundan hər bir təklif olunmuş hesablama metodikası üçün tərtib olunmuş giriş və çıxış parametrləri olan proqram modulları ədədi eksperimentlər nəticəsində mühəndis fəaliyyətində ilkin hesablamalarda mühüm əhəmiyyət kəsb edən yarım empirik hesablama düsturları qurmağa imkan yaradır. Həmçinin işlənməmiş hesablama metodikası dəmirbeton konstruksiyaların hesablanmasında istifadə olunan mövcud normativ sənədlərin təkmilləşdirilməsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bundan başqa dissertasiya işinin mühüm nəzəri əhəmiyyəti də vardır, çünki qeyri-xətti məsələlərin həlli üçün qurulmuş hesablama alqoritmləri müasir dəmirbeton konstruksiyalar nəzəriyyəsinin inkişafı üçün yararlıdır. Bütün bu qeyd olunanlar dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyətini göstərir.

**Dissertasiya işinin məqsədi.** Dissertasiya işinin məqsədi dartılan zonasında artırma ilə gücləndirilmiş düzbucaqlı en kəsikli dəmirbeton

elementlərin hesablanması üçün aşağıdakı məsələlərin həllinə nail olmaqdan ibarətdir:

1. Betonun sıxılmada natamam diaqramını tətbiq etməklə armaturun elastik-plastik işini də nəzərə almaqla qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında normal kəsiklər üzrə hesablanma metodikasının işlənməsi və hesablama alqoritminin proqram modulunun tərtib olunması;

2. V.M.Bondarenko tərəfindən təklif olunmuş betonun sıxılmada deformasiyanın praktik məsələlərin həllini xeyli asanlaşdıran tərs diaqramın qurulması və onun gücləndirilmiş elementlərin normal kəsiklər üzrə hesablanmasına tətbiqi;

3. Betonun sıxılmada avrokod tərəfindən təklif olunan və əsas diaqram sayılan kəsir-rasional diaqramın və armaturun elastik-plastik işini ifadə edən ikixətli diaqramın tətbiqi ilə əyilməyə işləyən gücləndirilmiş elementlərin hesablama alqoritminin və bu alqoritmi realizə edən proqram modulunun işlənməsi;

4. Betonun sıxılmada ani elastiki deformasiyasının qeyri-xəttiliyini də nəzərə alan qeyri-xətti sürüngenliyi və armaturun elastik-plastik işini nəzərə almaqla uzunmüddətli statik yükləmədə gərginlikli deformasiya halının və yükötürmə qabiliyyətinin təyini üçün çox addımlı ədədi metodikanın və bu metodikanı realizə edən proqram modulunun işlənməsi;

5. Betonun sürüngenlik meyarının cırlaşmış forması üçün ani elastik deformasiyaların qeyri-xəttiliyini də nəzərə alan qeyri-xətti irsi sürüngenliyi və armaturun elastik-plastik işini nəzərə almaqla gücləndirilmiş elementlərin hesablanması üçün biraddımlı həll metodikasının və onun proqram modulunun işlənməsi;

6. İşlənmiş proqram modulları əsasında aparılmış ədədi eksperimentlər nəticəsində gərginlikli deformasiya halına və yükötürmə qabiliyyətinə təsir edən əsas faktorların müəyyən olunması.

**Elmi yeniliyi.** Yerinə yetirilmiş dissertasiya işinin əsas elmi yeniliklərini dartılan zonasında artırma ilə gücləndirilmiş düzbucaqlı en kəsikli əyilməyə işləyən dəmirbeton elementlərin qısa və uzunmüddətli yükləmələr üçün işlənmiş və aşağıdakılar təşkil edir:

1. Betonun sıxılmada natamam diaqramının və armaturun ikixətli diaqramının tətbiqi ilə qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında normal kəsiklər üzrə hesablanma metodikası işlənmiş və hesablama alqoritminin proqram modulu tərtib olunmuşdur;

2. V.M.Bondarenko tərəfindən təklif olunmuş betonun sıxılmada deformasiyanın gərginlikdən asılılığını ifadə edən üstlü funksiya şəklindəki diaqramının mühəndis dəqiqliyini qoruyan və gərginliyin

deformasiyadan asılılığını ifadə edən və praktik məsələlərin həllini xeyli asanlaşdıran tərs diaqram qurulmuşdur;

3. Betonun sıxılmada avrokod tərəfindən təklif olunan kəsir-rasional diaqramın və armaturun elastik-plastik işini ifadə edən ikixətli diaqramın tətbiqi ilə əyilməyə işləyən gücləndirilmiş elementlərin hesablama alqoritmi və bu alqoritmi realizə edən proqram modulu işlənmişdir;

4. Betonun sıxılmada ani elastik deformasiyasının qeyri-xəttiliyini də nəzərə alan qeyri-xətti sürüngenliyini və armaturun elastik-plastik işini nəzərə almaqla uzunmüddətli statik yükləmədə gərginlikli deformasiya halının və yükötürmə qabiliyyətinin təyini üçün çox addımlı ədədi metodika və bu metodikanı realizə edən proqram modulu işlənmişdir;

5. Betonun sürüngenlik meyarının cırlaşmış forması üçün ani elastik deformasiyaların qeyri-xəttiliyini də nəzərə alan qeyri-xətti irsi sürüngenliyini və armaturun elastik-plastik işini nəzərə almaqla gücləndirilmiş elementlərin hesablanması üçün biraddımlı həll metodikası və onun proqram modulu işlənmişdir;

6. İşlənmiş proqram modulları əsasında aparılmış ədədi eksperimentlər nəticəsində gərginlikli deformasiya halına və yükötürmə qabiliyyətinə təsir edən əsas faktorlar müəyyən olunmuşdur.

**Alınmış nəticələrin dürüstlüyü.** Dissertasiya işində alınmış elmi nəticələrin dürüstlüyü ilk növbədə bu tip konstruksiyaların hesablanmasında aprobasiyadan keçmiş hipotezlərə söykənməsi, riyazi aparatın tətbiqi və ədədi eksperimentlərin nəticələrinin xüsusi hallarda digər müəlliflər tərəfindən başqa üsullarla alınmış nəticələrlə üst-üstə düşməsi ilə isbatlanmışdır.

**Tədqiqat metodikası.** Materialların qeyri-xətti deformasiya diaqramlarını tətbiq etməklə qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında həll metodikasının qurulması üçün qəbul olunmuş deformasiya diaqramlarına əsasən betondakı sıxıcı gərginliklərin və armatur millərindəki gərginliklərin kəşik üzrə paylanma qanunauyğunluqları müəyyənləşdirilərək onların baş vektor və baş momentləri təyin olunmuş və qısamüddətli statik yükləmədə kəşiyin müvazinət şərtindən qeyri-xətti həlledici tənliklər sistemi qurulmuşdur. Qurulmuş həlledici tənliklər sisteminin ədədi həlli üçün alqoritm qurulmuşdur. Uzunmüddətli yükləmələrdə betonun sürüngenlik meyarı cırlaşmış funksiya olan halda qeyri-xətti irsi inteqral sürüngenlik tənliyinin diferensial analoqu qurulmuş və məsələnin həlli qeyri-xətti tənliklər sistemi üçün Koşi məsələsinin həllinə gətirilərək ədədi olaraq dördüncü dərəcəli Runqe-Kutta üsulu ilə həll olunur. Sürüngenlik meyarının ixtiyari forması üçün qeyri-xətti irsi sürüngenlik tənliyinin diskret analoqu qurularaq məsələnin həlli hər bir daxil edilmiş zaman anı üçün statik yükləmədə istifadə

olunan qeyri- xətti cəbri tənliklər sisteminin həllinə gətirilmişdir. Təklif olunan həll metodikasında betonun sürüngenlik meyarının analitik ifadəsinə heç bir şərt qoyulmur və hətta analitik ifadə deyil bu funksiyanın qiymətinin cədvəl şəklində verilməsi yetərli olur.

**Dissertasiya işinin aprobasiyası.** Dissertasiya işinin əsas müddəaları və alınmış nəticələri AzİMETİ-də və AzMIU-nun İnşaat konstruksiyaları kafedrasının seminarlarında (2011-2017) və doktorant və dissertantların respublika konfranslarında məruzə olunmuş, bəyənilmişdir.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları müəllifin AAK tərəfindən tövsiyə olunan jurnallarda çap olunmuş yeddi məqalədə öz əksini tapmışdır.

**Disserasiya işinin həcmi və tərkibi.** Dissertasiya işi girişdən, üç fəsildən, əsas nəticələrdən və istifadə olunmuş 117 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işi 138 səhifədə çap olunmuş kompüter tekstindən ibarətdir, 10 cədvəl və 33 şəkil vardır.

## İŞİN ÜMUMİ MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti, dissertasiya işinin məqsədi, alınmış nəticələrin dürüslüyü və tədqiqat metodikası qeyd olunmuşdur.

**Birinci fəsil** dartılan zonasında stekloplastik artırma ilə gücləndirilmiş düzbucaqlı en kəsikli dəmirbeton elementlərin betonun sıxılmada natamam və tam diaqramlarının tətbiqi ilə qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablanması həsr olunub və dörd yarım fəsildən ibarətdir. Birinci yarım fəsildə dissertasiya işinin mövzusu üzrə elmi ədəbiyyatın təhlili verilmiş və göstərilmişdir ki, bu sahədə diqqətə layiq nəticələr V.M.Bondarenko, V.İ.Kolçunov, R.S.Sanjarovski, V.M.Mitasov, Adışev və b. tərəfindən alınmışdır. Qeyri-xətti deformasiya modelinin tətbiqi analitik həllərin qurulmasına imkan vermədiyindən bu sahədə həllini gözləyən məsələlər hələlik kifayət qədərdir. İkinci yarım fəsildə ümumi halda simmetrik en kəsikli dartılan zonasında stekloplastik artırma ilə gücləndirilmiş dəmirbeton elementin hesablanması metodikasının əsasları və ümumi həllin qurulmasında qəbul olunan müddəalar şərh olunur. Üçüncü yarım fəsildə betonun deformasiya diaqramının ancaq artan qolunu nəzərə alan natamam diaqramın tətbiqi ilə həll metodikasının qurulması şərh olunub. Burada həll metodikası qurularkən natamam diaqram üçün qeyri-xətti dəmirbeton konstruksiyalar nəzəriyyəsinin banilərindən sayılan V.M.Bondarenko tərəfindən təklif olunmuş

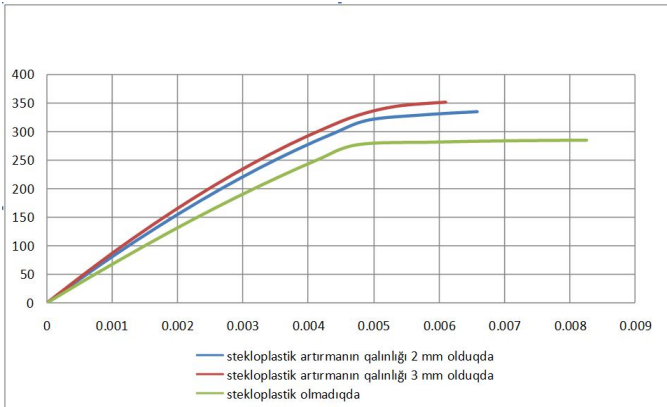
$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} \cdot \left( 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b}{R_b} \right)^{m_1} \right) \quad (1)$$

$$\text{diaqramının əksi olan } \sigma_b = E_{b1} \cdot \varepsilon_b + E_{b2} \cdot \varepsilon_b^2 + E_{b3} \cdot \varepsilon_b^3 \quad (2)$$

diaqram qurularaq məsələnin həlli aşağıdakı qeyri-xətti tənliklər sisteminin həllinə gətirilmişdir:

$$\begin{aligned} N_b(\beta, \xi) + N_s(\beta, \xi) + N_c(\beta, \xi) &= 0 ; \\ M_b(\beta, \xi) + M_s(\beta, \xi) + M_c(\beta, \xi) &= M \end{aligned} \quad (3)$$

Burada  $\xi$  - kəsiyin sıxılan zonasının nisbi hündürlüyü,  $\beta$  - kəsiyin sıxılan üzündə deformasiyanın səviyyəsidir. Dissertasiya işində bu sistemə daxil olan funksiyaların konkret ifadələri və bu sistemin həll alqoritmini realizə edən proqram modulu tərtib olunmuş və həmin modulun tətbiqi ilə ədədi misallara baxılmışdır. Aparılmış hesablamalar nəticəsində stekloplastik artırmanın qalınlığından asılı olaraq gərginlikli deformasiya halının dəyişməsi izlənmiş və əyilən elementlərin yerdəyişmələrinin təyində mühüm rol oynayan “moment-əyrilik” diaqramları qurulmuşdur. Məsələn,  $b \times h = 40 \times 60 \text{ sm}$ ,  $E_b = 32,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ ,  $R_b = 17,0 \text{ MPa}$ ,  $R_s = R_{sc} = 350 \text{ MPa}$ ,  $A'_s = 8,04 \text{ sm}^2$ ,  $A_s = 19,63 \text{ sm}^2$ ,  $E_s = E'_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\eta_1 = 1,3$ ,  $m_1 = 4,3$ ,  $E_c = 11,6 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ ,  $R_c = 14,0 \text{ MPa}$ ,  $\eta_1 = 2,4$ ,  $m_c = 4,8$  olduqda stekloplastik artırmanın müxtəlif qalınlığı üçün qurulmuş “moment-əyrilik” diaqramları aşağıdakı şək.1-də təsvir olunmuşdur.



Şək.1. Elementin birqat armirlənməsində stekloplastik artırmanın müxtəlif qalınlığı üçün  $M = f(\chi)$ - “moment-əyrilik” diaqramları,  $M [kN \cdot m]$ ,  $\chi \left[ \frac{1}{m} \right]$ .

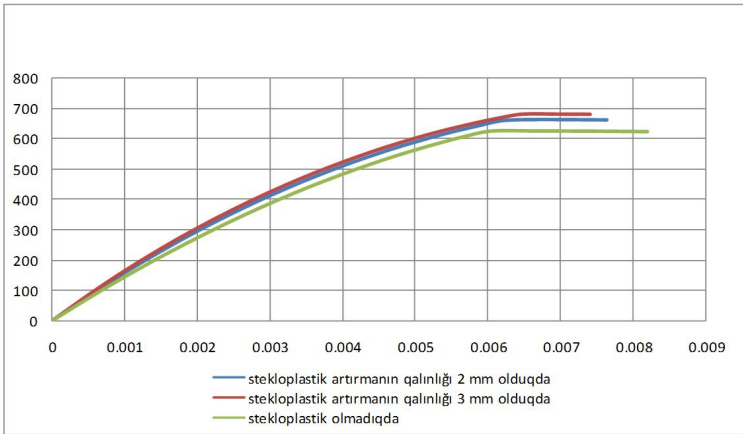


Dördüncü yarımfəsildə betonun sıxılmada Avrokod tərəfindən təklif olunan tam kəsr-rasional  $\sigma_b = R_b \cdot \frac{k\beta - \beta^2}{1 + (k-2)\beta}$  (4) diaqramının tətbiqi ilə

gücləndirilmiş elementin əyilmədə gərginlikli deformasiya halının və yükötürmə qabiliyyətinin təyini üçün həlledici tənliklər sistemi (3) şəklində yazılır, sadəcə burada qəbul olunmuş deformasiya diaqramına əsasən betondakı sıxıcı gərginliklərin baş vektor və baş momenti üçün ifadələr dəyişərək aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$M_b(\beta, \xi) = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0^2}{(k-2)^2} \cdot \xi \cdot \left[ \frac{\xi}{6} \cdot \theta - (k-1)^2 \cdot \frac{\xi}{\theta} - \frac{\theta}{2} - 1 + \right. \\ \left. + (k^2 - 2k + 3) \cdot \left(1 - \frac{\xi}{2}\right) - \left(\frac{1-\xi}{\theta} - \frac{\xi}{\theta^2}\right) \cdot \ln(1 + \theta) \right] \\ N_b(\beta, \xi) = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0}{(k-2)^2} \cdot \xi \cdot \left\{ (k-1)^2 - \frac{\theta}{2} - \frac{(k-1)^2}{\theta} \cdot \ln(1 + \theta) \right\} \quad (5)$$

Burada  $\theta = (k-2) \cdot \beta$ . Əvvəlki yarımfəsildə olduğu kimi məsələnin ədədi həllini realizə edən proqram modulu tərtib olunmuş və onun tətbiqi ilə ədədi eksperimentlər aparılmışdır.



Şək.2. Elementin birqat armirlənməsində stekloplastik artırmanın müxtəlif qalınlığı üçün  $M = f(\chi)$ - “moment-əyrilik” diaqramları,  $M [kN \cdot m]$ ,  $\chi \left[ \frac{1}{m} \right]$ .

Məsələn,  $b \times h = 40 \times 60 \text{ sm}$   $E_b = 32,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ ,  $a_s = a'_s = 5 \text{ sm}$

$R_b = 17 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ ,  $E_s = E'_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $R_s = R'_s = 350 \text{ MPa}$ ,  
 $R_c = 140 \text{ MPa}$ ,  $b = 40 \text{ sm}$ ,  $h = 60 \text{ sm}$ ,  $\delta = 2 \text{ mm}$ ,  $A'_s = 11,40 \text{ sm}^2$ ,  
 $A_s = 40,72 \text{ sm}^2$ ,  $k = 3,8235$ ,  $\eta_{1c} = 2,4$ ,  $E_c = 11,6 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ ,  $m_{1c} = 4,8$   
 olduqda stekloplastik artırmanın qalınlığının müxtəlif qiymətləri üçün  
 qurulmuş “moment-əyrilik” diaqramları şəkl.2-də təsvir olunmuşdur.

**İkinci fəsil** betonun sıxılmada qeyri-xətti irsi sürüngenliyini və arma-  
 turun elastik-plastik işini nəzərə almaqla gücləndirilmiş elementlərin gər-  
 ginlikli deformasiya halının və yükötürmə qabiliyyətinin təyini üçün çoxad-  
 dımlı hesablama metodikasının qurulmasına həsr olunub və beş yarım fəsil-  
 dən ibarətdir. Birinci yarım fəsildə qeyri-xətti irsi sürüngenlik tənliyi olan

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_b(t) = & \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \\
 & - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[ 1 + \eta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \cdot \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau
 \end{aligned} \quad (6)$$

tənliyin inteqrallama oblastı  $\tau \in [t_0, t]$  müxtəlif sayda müxtəlif uzunluqlu  
 $[t_0, t_1]$ ,  $[t_1, t_2]$ , ...,  $[t_{j-1}, t_j]$ , ...,  $[t_{n-1}, t_n = t]$  parçalara bölünərək bu  
 parçalar daxilində qeyri-xəttilik funksiyasının və inteqral tənliyin özəyinin xətti  
 qanunla dəyişdiyi qəbul olunaraq aşağıdakı diskret analoqu qurulmuşdur:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_b(t_n) = & \frac{\sigma_b(t_n)}{E_b(t_n)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_1} \right] + \\
 & + \alpha_n \cdot \sigma_b(t_n) \cdot \left[ 1 + \eta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_2} \right] + \beta_n
 \end{aligned} \quad (7)$$

Bu bərabərliyə daxil olan  $\alpha_n$  və  $\beta_n$  əmsalları əvvəlki həll addım-  
 larının nəticələrini nəzərə alır və dissertasiyada verilən düsturlar əsasında  
 hesablanırlar. Beləliklə, qeyri-xətti inteqral tənliyin həlli hər bir daxil edil-  
 miş həll addımında qeyri-xətti cəbri tənliyin həllinə gətirilmiş olur və in-  
 teqral tənliyin özək funksiyasına heç bir məhdudiyət qoyulmur. Relak-  
 sasiya məsələlərinin həllində təklif olunan həll metodikasının hətta böyük  
 addımlarda belə mühəndis dəqiqliyi ilə həllər alındığı isbatlanmışdır.  
 S.V.Aleksandrovskiy tərəfindən təklif olunmuş ən mükəmməl sürüngenlik  
 meyarının ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır

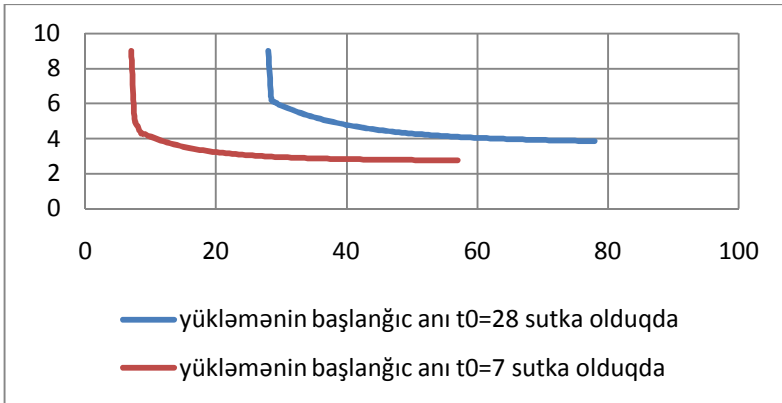
$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) - F(t) \cdot (e^{\gamma \cdot \tau} - A_2) - \Delta(\tau) \cdot e^{-\alpha \cdot (t - \tau)}$$

$$\text{Burada } F(t) = \frac{\varphi(t) - \Delta(t)}{e^{\gamma \cdot t} - A_2},$$

$$\varphi(\tau) = \varphi_0 + \varphi_1 \cdot e^{-\beta_1 \cdot \tau} + \varphi_2 \cdot e^{-\beta_2 \cdot \tau} + \varphi_3 \cdot e^{-\beta_3 \cdot \tau} + \dots,$$

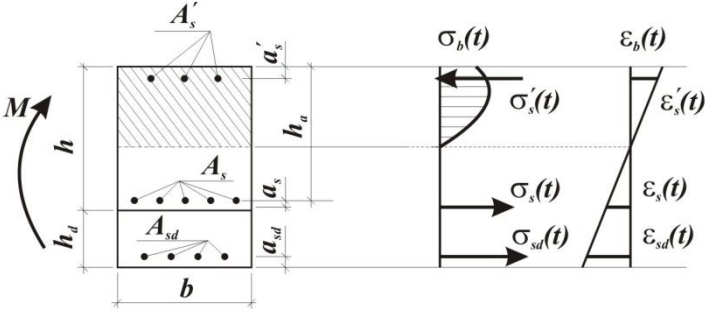
$$\Delta(\tau) = \Delta_0 + \Delta_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot \tau} + \Delta_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot \tau} + \Delta_3 \cdot e^{-\alpha_3 \cdot \tau} + \dots$$

Bu ifadələrə daxil olan əmsalların  $E_{b0} = 33 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ ;  $\beta_E = 0,575$ ;  $\alpha_E = 0,072 \text{ sutka}^{-1}$ ;  $\varphi_0 = 24,5 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\varphi_1 = 10,0 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\beta_1 = 0,023$ ;  $\varphi_2 = 43,2 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\varphi_3 = 36,0 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\beta_2 = 0,1275$ ;  $\beta_3 = 0,350$ ;  $\Delta_0 = 11,2 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\gamma = 0,02$ ;  $\Delta_1 = 34,0 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ ;  $\alpha_1 = 0,125$ ;  $A_2 = 0,85$ ;  $\alpha = 5$ ;  $R_{b0} = 17 \text{ MPa}$ ;  $\beta_E = 0,585$ ;  $\alpha_R = 0,078 \text{ sutka}^{-1}$  qiymətində ani elastiki deformasiya modulunun və möhkəmliyin də zamana görə dəyişdiyi hallarda təklif olunan həll alqoritmi əsasında qurulmuş relaksasiya əyriləri şək.3-də təsvir olunmuşdur. Bu yarımfəsildə elmi ədəbiyyatda təklif olunmuş müxtəlif meyarlar tətbiq olunmaqla relaksasiya əyriləri qurulmuş və göstərilmişdir ki, kifayət qədər böyük addımlarda belə mühəndis dəqiqliyini təmin edən həllər alınır.



Şək.3. Relaksasiya əyriləri.

İkinci yarımfəsildə dartılan zonasında beton artırma ilə gücləndirilmiş elementlərin, şək.4 uzunmüddətli yükləmədə çoxaddımlı üsulla həll metodikası işlənərək hər bir daxil edilmiş zaman anında məsələnin həlli aşağıdakı qeyri-xətti tənliklər sisteminin həllinə gətirilmişdir:



Şək.4. Gücləndirilmiş elementin hesabi sxemi.

$$\varepsilon_b(t_n) = \frac{\sigma_b(t_n)}{E_b(t_n)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_1} \right] +$$

$$+ \alpha_n \cdot \sigma_b(t_n) \cdot \left[ 1 + \eta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_2} \right] + \beta_n ;$$

$$\sigma'_s(t_n) = \begin{cases} E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) - \frac{a'_s}{h_0} \right); & \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) - \frac{a'_s}{h_0} \right) \right| \leq \varepsilon'_s, axma \text{ olduqda} \\ R'_s; & \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) - \frac{a'_s}{h_0} \right) \right| > \varepsilon'_s, axma \text{ olduqda} \end{cases}$$

$$\sigma_s(t_n) = \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot (\xi(t_n) - 1); & \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot (\xi(t_n) - 1) \right| \leq \varepsilon_s, axma \text{ olduqda} ; \\ R_s; & \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot (\xi(t_n) - 1) \right| > \varepsilon_s, axma \text{ olduqda} \end{cases}$$

$$\sigma_{sd}(t_n) = \begin{cases} E_{sd} \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) + \frac{a_s - a_{sd}}{h_0} \right); \\ \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) + \frac{a_s - a_{sd}}{h_0} \right) \right| \leq \varepsilon_{sd}, axma \text{ olduqda} \\ R_{sd}; & \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{\xi(t_n)} \cdot \left( \xi(t_n) + \frac{a_s - a_{sd}}{h_0} \right) \right| > \varepsilon_{sd}, axma \text{ olduqda} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
N_{s, tot}(t_n) &= N'_s(t_n) - N_s(t_n) - N_{sd}(t_n) = \\
&= \sigma'_s(t_n) \cdot A'_s + \sigma_s(t_n) \cdot A_s + \sigma_{sd}(t_n) \cdot A_{sd} ; \\
M_{s, tot}(t_n) &= M'_s(t_n) - M_s(t_n) - M_{sd}(t_n) = \\
&= \sigma'_s(t_n) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) - \sigma_s(t_n) \cdot A_s \cdot (h_d + a_s - a_{sd}) ; \\
n_\sigma(t_n) &= 1 - (1 - f_0) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_\sigma} ; \\
N_b(t_n) &= b \cdot h_0 \cdot \frac{\sigma_b(t_n) \cdot \xi(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 1} ; \\
M_b(t_n) &= b \cdot h_0^2 \cdot \sigma_b(t_n) \cdot \left[ \frac{\xi(t_n) \cdot (1 - \xi(t_n))}{n_\sigma(t_n) + 1} + \frac{\xi^2(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 2} \right] ; \\
N_b(t_n) + N_{s, tot}(t_n) &= 0 ; M_b(t_n) + M_{s, tot}(t_n) = M(t_n) \quad (8)
\end{aligned}$$

Üçüncü yarım fəsil yuxarıda qurulmuş tənliklər sistemi üçün başlanğıc şərtlərin təyininə həsr olunmuşdur. Burada da həll alqoritmi və onun proqram modulu qurularaq ədədi misallarda təklif olunan həll metodikasının effektivliyi isbatlanmışdır.

Dördüncü yarım fəsildə betonda gedən uzunmüddətli prosesləri də nəzərə alan həlledici qeyri-xətti tənliklər sistemi olan (8) sisteminin ədədi həll alqoritmi şərh olunmuş və onun proqram modulu tərtib olunmuşdur.

Nəhayət, beşinci yarım fəsildə qurulmuş proqram modulları əsasında ədədi misallara baxılmışdır. Məsələn, betonun sürüngənlik meyarı, S.V.Aleksandrovskiy tərəfindən təklif olunmuş ifadə ilə verilən halda

$$R_b(t_0) = 15816 \frac{kN}{m^2} ; h = 60 \text{ sm} ;$$

$$E_b(t_0) = 30011065 \frac{kN}{m^2} ; \quad \eta_1 = 1,3 ; \quad m_1 = 4,3 ; \quad b = 40 \text{ sm} ;$$

$$a'_s = a_s = a_{sd} = 5 \text{ sm} ; \quad h_d = 20 \text{ sm} ; \quad R_s = R'_s = R_{sd} = 350 \text{ MPa} ;$$

$$A'_s = 8,04 \text{ sm}^2 ; A_s = 32,17 \text{ sm}^2 ; A_{sd} = 19,63 \text{ sm}^2 , \quad \xi(t_0) = 0,46587 ;$$

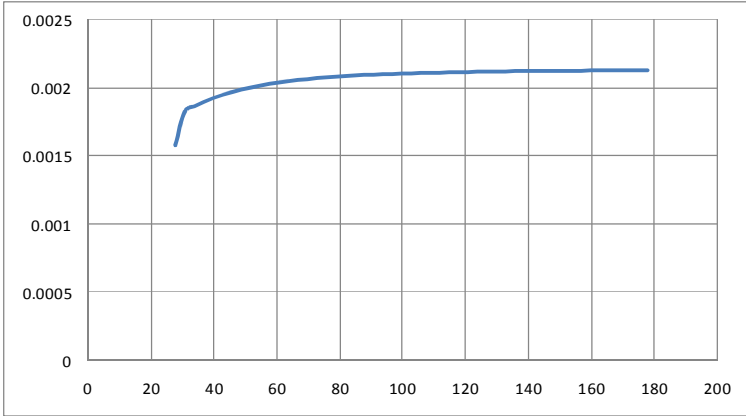
$$\sigma_b(t_0) = 13443,6 \frac{kN}{m^2} ; \quad \sigma'_s(t_0) = 118716,04 \frac{kN}{m^2} ; \quad \sigma_s(t_0) = -169073,60 \frac{kN}{m^2} ;$$

$$\sigma_{sd}(t_0) = -258288,39 \frac{kN}{m^2} ; N_s(t_0) = -955,4822 \text{ kN} ;$$

$$M_s(t_0) = 126,3120 \text{ kN} ; \quad N_b(t_0) = 955,4822 \text{ kN} ; \quad M_b(t_0) = 425,4471 \text{ kN} ;$$

$$n_\sigma(t_0) = 0,44146 ; \quad \chi(t_0) = 0,00158301 \text{ m}^{-1} ; \quad M(t_0) = 551,7591 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

olduqda kəsiyin əyriliyinin zamana görə artması şək.5-də verilmişdir.



Şək.5. Kəsiyin  $\chi(t)$ ;  $[m^{-1}]$  əyriliyinin zamana  $t$ ;  $[sutka]$  görə dəyişmə qrafiki.

**Üçüncü fəsil** betonda gedən uzunmüddətli prosesləri də nəzərə almaqla birtərəfli artırma üsulu ilə gücləndirilən elementlərin biraddımlı üsulla hesablama metodikasının işlənməsinə həsr olunub və üç yarım fəsildən ibarətdir.

Birinci yarım fəsildə betonun sürüngənlik meyarı üçün S.V.Aleksandrovskiy tərəfindən təklif olunan

$$C(t, \tau) = \left( C_1 + \frac{A_1}{\tau} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\gamma \cdot (t - \tau)} \right); \quad E_b(\tau) = E_{b0} \cdot \left( 1 - e^{-\beta \cdot \tau} \right)$$

ifadəsi çərçivəsində qeyri-xətti irsi sürüngənliyin aşağıdakı differensial analoqu qurulmuşdur:

$$\begin{aligned} \varepsilon_b(t) + \gamma \cdot \varepsilon_b(t) &= \sigma_b(t) \cdot \left[ \frac{1}{E_b(t)} + \eta_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] + \\ &+ \eta_1 \cdot m_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 - 1} \cdot \frac{\sigma_b^2(t)}{R_b(t)} - \\ &- \sigma_b(t) \cdot \left[ \frac{E_b(t)}{E_b^2(t)} + \eta_1 \cdot m_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \cdot \frac{1}{R_b(t)} \right] - \\ &- \sigma_b(t) \cdot \left[ \frac{E_b(t)}{E_b^2(t)} - \frac{2E_b^2(t)}{E_b^3(t)} \right] \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \\ &- \frac{E_b(t)}{E_b^2(t)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] \cdot \sigma_b(t) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \eta_1 \cdot m_1 \cdot \dot{R}_b(t) \cdot \frac{\ddot{E}_b(t)}{E_b^2(t)} \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1+1} - \\
& - \eta_1 \cdot m_1 \cdot (m_1+1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \frac{\dot{R}_b(t)}{R_b(t)} + \\
& + \eta_1 \cdot m_1 \cdot (m_1+1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1+1} \cdot \dot{R}_b^2(t) - \eta_1 \cdot m_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1+1} \cdot \ddot{R}_b(t) + \\
& + \gamma \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \left[ \frac{1}{E_b(t)} + \eta_1 \cdot (m_1+1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \\
& - \gamma \cdot \sigma_b(t) \cdot \frac{\dot{E}_b(t)}{E_b^2(t)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \eta_1 \cdot m_1 \cdot \gamma \cdot \dot{R}_b(t) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1+1} + \\
& + \dot{\sigma}_b(t) \cdot \gamma \cdot \left( C_1 + \frac{A_1}{t} \right) \cdot \left[ 1 + \eta_2 \cdot (m_2+1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2} \right] - \\
& - \eta_2 \cdot m_2 \cdot \gamma \cdot \left( C_1 + \frac{A_1}{t} \right) \cdot \dot{R}_b(t) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2+1}
\end{aligned}$$

Bu differensial tənlik aşağıdakı başlanğıc şərtləri ödəməlidir:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_b(t_0) &= \frac{\sigma_b(t_0)}{E_b(t_0)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right]; \\
\dot{\varepsilon}_b(t_0) &= \dot{\sigma}_b(t_0) \cdot \left[ \frac{1}{E_b(t_0)} + \eta_1 \cdot (m_1+1) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right] - \\
& - \sigma_b(t_0) \cdot \frac{\dot{E}_b(t_0)}{E_b^2(t_0)} \cdot \left[ 1 + \eta_1 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right] - \eta_1 \cdot m_1 \cdot \dot{R}_b(t_0) \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1+1} + \\
& + \gamma \cdot \left( C_1 + \frac{A_1}{t_0} \right) \cdot \sigma_b(t_0) \cdot \left[ 1 + \eta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_2} \right]
\end{aligned}$$

İkinci yarımfəsildə biraddımlı həll metodikasının tətbiqi ilə relaksasiya məsələlərinin həllinə baxılmış və göstərilmişdir ki, hətta kifayət qədər böyük həll addımlarında belə mühəndis dəqiqliyi ilə həllər almaq mümkündür. Bundan sonra növbəti üçüncü fəsildə dartılan zonasında beton artırma ilə gücləndirilmiş elementlərin bir addımlı həll

metodikası işlənmiş və onun proqram modulu tərtib olunmuşdur. Sonda məsələnin həlli aşağıdakı normal tənliklər sistemi üçün Koşi məsələsinin həllinə gətirilmişdir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\sigma}_b(t) = f_1(t) \\ \dot{\xi}(t) = f_2(t) \\ \dot{\epsilon}_b(t) = A_{15} \cdot f_1(t) + A_{16} \\ \dot{n}_\sigma(t) = A_7 \cdot f_1(t) + A_8 \\ \dot{\sigma}'_s(t) = A_1 \cdot A_{15} \cdot f_1(t) + A_2 \cdot f_2(t) + A_1 \cdot A_{16} \\ \dot{\sigma}_s(t) = A_3 \cdot A_{15} \cdot f_1(t) + A_4 \cdot f_2(t) + A_3 \cdot A_{16} \\ \dot{\sigma}_{sd}(t) = A_5 \cdot A_{15} \cdot f_1(t) + A_6 \cdot f_2(t) + A_5 \cdot A_{16} \\ \dot{N}_{s, tot}(t) = B_5 \cdot f_1(t) + B_2 \cdot f_2(t) + B_6 \\ \dot{M}_{s, tot}(t) = B_7 \cdot f_1(t) + B_4 \cdot f_2(t) + B_8 \\ \dot{N}_b(t) = B_9 \cdot f_1(t) + A_{10} \cdot f_2(t) - B_{10} \\ \dot{M}_b(t) = B_{11} \cdot f_1(t) + A_{13} \cdot f_2(t) - B_{12} \end{array} \right.$$

Daha qısa vektor şəklində bu differensial tənliklər sistemi

$$\{\dot{X}\} = \{F(\{X\}, t)\}$$

kimi yazılır. Bu sistem aşağıdakı

$$\{K_1\} = \Delta t \cdot \{F(\{X\}_0, t_0)\}; \quad \{K_2\} = \Delta t \cdot \left\{ F\left( \{X\}_0 + \frac{1}{2} \cdot \{K_1\}, t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\};$$

$$\{K_3\} = \Delta t \cdot \left\{ F\left( \{X\}_0 + \frac{1}{2} \cdot \{K_2\}, t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\};$$

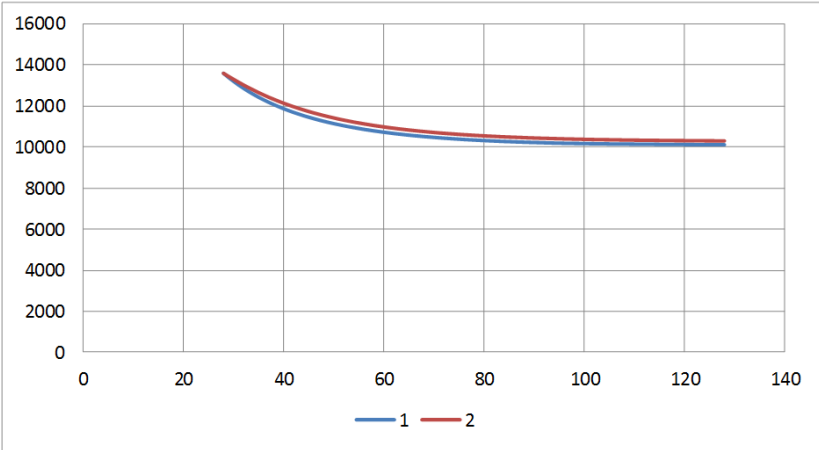
$$\{K_4\} = \Delta t \cdot \{F(\{X\}_0 + \{K_3\}, t_0 + \Delta t)\}.$$

əmsalları daxil edilməklə dördüncü dərəcəli Runge-Kutta üsulu ilə

$$\{X\} = \{X\}_0 + \frac{1}{6} \cdot \{K_1\} + \frac{1}{3} \cdot \{K_2\} + \frac{1}{3} \cdot \{K_3\} + \frac{1}{6} \cdot \{K_4\}$$

kimi həll olunaraq hər bir addımda gərginlikli deformasiya halını xarakterizə edən parametrlər hesablanır. Qurulmuş proqram modulu əsasında ədədi misallara baxılmış və onların nəticələrinin bəziləri aşağıdakı şəkl.6 və şəkl.7 təsvir olunmuşlar.

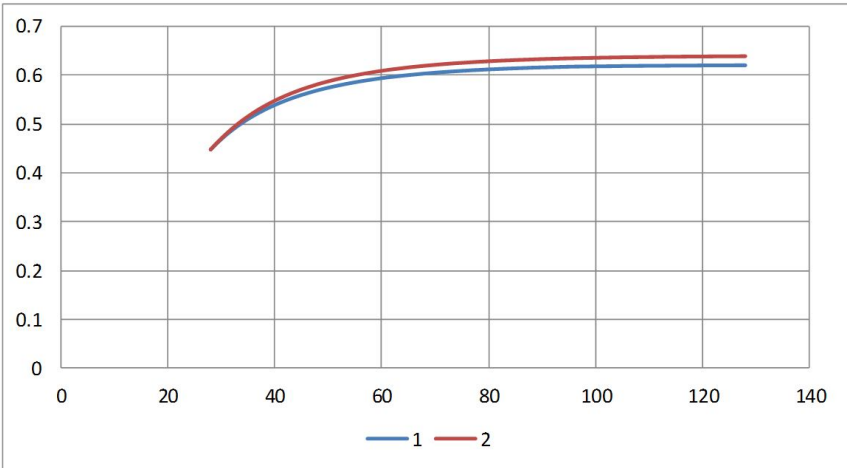




Şək.6. Sıxılan üzdə betonda sıxıcı  $\sigma_b$   $\left[ \frac{kN}{m^2} \right]$  gərginliyinin  $t$  [sutka]

zamanından asılı olaraq dəyişmə qrafiki:

- 1- deformasiya modulu və möhkəmlik zamana görə dəyişən halda;
- 2- deformasiya modulu və möhkəmlik zaman görə sabit olduğu halda.



Şək.7. Kəsiyin sıxılan hissəsinin  $\xi$  nisbi hündürlüyünün  $t$  [sutka] zamanına görə dəyişmə qrafiki: 1 – deformasiya modulu və möhkəmlik zamana görə dəyişən halda; 2- deformasiya modulu və möhkəmlik zamana görə sabit olduğu halda.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Betonun qeyri-xətti deformasiyası üçün V.M.Bondarenko tərəfindən təklif olunmuş natamam diaqramın mühəndis məsələlərinin həllini xeyli asanlaşdıran tərs asılılığı, yəni gərginliyin deformasiyadan asılılığı qurulmuş və həmin diaqramın tətbiqi ilə dartılan zonasında stekloplastik artırma ilə gücləndirilmiş düzbucaqlı profilli elementlərin hesablanması üçün qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında ədədi metodika işlənmişdir.

2. Betonun sıxılmada Avrokod tərəfindən təklif olunan kəsir-rasional diaqramının tətbiqi ilə stekloplastik artırma ilə gücləndirilmiş elementlərin hesablanma metodikası işlənmişdir.

3. Betonda gedən uzunmüddətli prosesləri qeyri-xətti irsi sürüngənlik nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə dartılan zonasında dəmirbeton artırma ilə gücləndirilən elementləri qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablanma metodikası işlənmişdir.

4. Betonun qeyri-xətti irsi sürüngənlik tənliyinin diskret analoqu qurulmuş və gücləndirilmiş elementlərin uzunmüddətli yükləmədə çoxadımli metodika əsasında hesablanmasına tətbiq olunmuşdur.

5. Sürüngənlik meyarının S.V.Aleksandrovskiy tərəfindən təklif olunmuş ifadəsi çərçivəsində qeyri-xətti irsi inteqral sürüngənlik tənliyinin diferensial analoqu qurularaq gücləndirilmiş elementlərin biraddımli metodika əsasında hesablanmasına tətbiq olunmuşdur.

6. Bütün təklif olunan hesablama metodikalarının proqram modulları tərtib olunmuş və onların tətbiqi ilə gücləndirilmiş elementlərin gərginlikli deformasiya halına və yükləyici qabiliyyətinə təsir faktorları müəyyən edilmişdir.

7. İşlənmiş hesablama metodikaları qısamüddətli və uzunmüddətli yükləmələrdə yükləmənin başlanğıcından yük götürmə qabiliyyətinin itirilməsinədək gücləndirilmiş elementin gərginlikli deformasiya halının dəyişməsinə izləməyə imkan verir.

8. Ədədi eksperimentlərdə göstərilmişdir ki, ani elastiki deformasiyanın qeyri-xəttiliyi betonda gedən uzunmüddətli proseslərə keyfiyyət və kəmiyyət baxımından ciddi təsir göstərir.

## **Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı məqalələrdə çap olunmuşdur**

1. Xəlilov H.A., Əsədov E.Z., Quliyev F.M. Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında düzbucaqlı en kəsikli dəmirbeton elementin əyilmə məsələsinin həlli // Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutunun Elmi-Praktiki Jurnalı, 2015, №3(6); s.27-34.

2. Əsədov E.Z. Betonun Avrokodda təklif olunan qeyri-xətti deformasiya diaqramının tətbiqi ilə dəmirbeton elementlərin normal kəsiklər üzrə hesablanması / Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX Respublika Elmi Konfransının Materialları, Bakı: 2016, s.452-454.

3. Əsədov E.Z. Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında birtərəfli stek-loplastik artırma ilə gücləndirilmiş dəmirbeton elementlərin hesablanması // Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutunun Elmi-Praktiki Jurnalı, 2017, №2(13); s.21-26.

4. Əsədov E.Z. Qeyri-xətti irsi sürüngenlikdə relaksasiya məsələsinin ədədi həll metodikasi. Nəzəri və tətbiqi mexanika. Ali məktəblər arası elmi-texniki jurnal, №4, 2017, səh.24-27.

5. Асадов Э.З. Построение диаграммы деформирования бетона при сжатии. «Естественные и технические науки», №7 (109), 2017, г. Москва, стр. 147-153.

6. Асадов Э.З. Расчет железобетонного элемента с односторонним наращиванием с учетом нелинейной ползучести бетона. Научный журнал "Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского" №3 (104), 2017, г. Кременчуг, стр. 79-84.

7. Hacıyev M.Ə., Əsədov E.Z. Birtərəfli artırma ilə gücləndirilən dəmirbeton elementlərin gərginlikli deformasiya halının tədqiqi. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Elmi əsərləri, Bakı, 2017, №2, s. 28-35.

[1] və [7] məqalələrində həmmüəlliflər məsələlərin qoyuluşunda və alınmış nəticələrin müzakirəsində iştirak etmişlər, məsələlərin həlli müəllifə məxusdur.

## **ЭЛЬЧИН ЗИРАДДИН ОГЛЫ АСАДОВ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УСИЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

#### **РЕЗЮМЕ**

В диссертационной работе с применением для различных нелинейных диаграмм деформирования бетона при сжатии построена эффективная численная методика расчета изгибаемых железобетонных элементов с односторонним наращиванием в растянутой зоне при кратковременном статическом нагружении. При построении расчетной методики рассмотрены применение как полных, так и не полных диаграмм деформирования бетона при упруго-пластической работе арматурных стержней. Разработанная методика позволяет определить напряженно-деформированное состояние усиленного элемента для любого уровня нагружения.

В диссертации так же разработана эффективная численная методика расчета с учетом нелинейно-наследственной ползучести бетона. При построении расчетной методики рассмотрены применение одношаговых и многошаговых численных методик. Для применения многошаговой методики не накладывая на ядро ползучести каких либо ограничений построен дискретный аналог интегрального уравнения ползучести бетона, одношаговая методика применяется для случая, когда ядро ползучести вырожденное. При этом решение сводится к решению задачи Коши для нелинейной системы дифференциальных уравнений. Все задачи, рассмотренные в диссертации доведены до получения числовых результатов. Для всех рассмотренных задач составлены соответствующие программные модули на алгоритмическом языке Turbo Pascal ABC.

## **ELCHIN ZIRADDIN OGLU ASADOV**

### **INVESTIGATION OF A STRESSED DEFORMED CONDITION OF STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

#### **SUMMARY**

In the thesis work with the application for various nonlinear diagrams of concrete deformation during compression, an effective numerical technique for calculating flexural reinforced concrete members with one-sided buildup a stretched zone under short-term static loading have been investigated. When constructing the calculation method, the application of both complete and incomplete diagrams of concrete deformation during the elastic-plastic operation of reinforcing bars is considered. The developed technique allows to determine the stress-strain state of the reinforced element for any level of loading.

An effective numerical calculation technique was also developed in the thesis, taking into account the nonlinearly hereditary creep of concrete. When constructing the calculation method, the use of single-step and multi-step numerical methods is considered. To apply a multi-step technique without imposing any limitations on the creep core, a discrete analogue of the integral equation for creep of concrete is constructed, a one-step technique is used for the case when the creep core is degenerate. The solution reduces to the solving of the Cauchy problem for a system of nonlinear differential equations. All the tasks considered in the thesis brought to obtain numerical results. For all the considered tasks were made up of appropriate software modules in the algorithmic language Turbo Pascal ABC.