

Baş redaktortex. üzrə f.d. **Qarayev A.N.** -AzİMETİ**Baş redaktorun müavini**tex. üzrə f.d. **Yusifov N.R.** -AzİMETİ**Məsul katib**iqt. üzrə f.d. **Şirinova N.S.**-AzİMETİ**Redaksiya heyəti**t.e.d., prof. **Seyfullayev X.Q.**-AzİMETİmem.dok. **Abdullayeva N.C.**-AzMİUm.d.,prof. **Əbdülrəhimov R.H.** -AzMİUt.e.d.,prof. **Hacıyev M.Ə.** -AzMİUm.d.,prof. **Nağıyev N.H.** -AzMİUtex. üzrə f.d. **Eminov Y.M.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Əmrahov A.T.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Həbibov F.H.** - AzİMETİiqt. üzrə f.d. **Nuriyev E.S.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Poluxov İ.X.** - FHNtex. üzrə f.d. **Rzayev R.A.** - AzİMETİ**MÜNDƏRİCAT**

Təsisçi :
AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI
DÖVLƏT ŞƏHƏRSALMA VƏ
ARXİTEKTURA KOMİTƏSİ

AZƏRBAYCAN
İNŞAAT VƏ MEMARLIQ
ELMİ-TƏDQIQAT İNSTİTUTU

Hüquqi ünvanı :

Az 0014, Bakı ş.

M.Füzuli küç. 65

Əlaqə telefonları:

(012) 596 37 28, 596 37 60

E-mail:

elmikatib@azimeti.az

azimeti_elmikatib@mail.ru

Kompüter dizaynı:

Mehtiyeva N.Q.

- Hacıyeva S.** Azərbaycanın – Qafqaz Albaniyasının dini memarlığında xristian və islam motivlərinin simbiozu 4
- Seyfullayev X.Q.** Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında dəmir-beton elementlərin normal kəsiklər üzrə möhkəmliyə hesablanmasının nəticələri haqqında..... 13
- Гаджиев М.А., Алаева С.М.** Напряженно деформированного состояния и несущая способность сжатых железобетонных элементов с учетом нелинейно наследственной ползучести бетона..... 23
- Yusifov N.R.** Bina və qurğuların gücləndirilmə və yenidənqurma işlərində kimyəvi ankerlərin tətbiqi yolları..... 35
- Мамедов Г.Н., Сулейманова И.Г., Тагиров Б.М.** Исследование возможности получения высококачественных пористых заполнителей на основе шлаков ТЭС..... 40

TƏBRİK EDİRİK !

Abbas Abbas oğlu Ələsgərov 13.12.1937-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1963-cü ildə Azərbaycan Politeknik İnstitutunu bitirmişdir. Əmək fəaliyyətinə 16.03.1959-cu ildən başlayan Abbas müəllim tikinti kompleksinin müəssisələrində müxtəlif vəzifələrdə, əsasən rəhbər vəzifələrdə çalışmışdır.

Azərbaycan SSR Sənaye Tikinti Nazirliyinin Tikintidə yeni texnikanı tətbiq edən trest "Orqtexstroy"da baş mühəndis, Respublika Dövlət Tikinti Komitəsinin "Azərdövlətsənayelayihə" İnstitutunda baş mühəndisin müavini, hal-hazırda Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsinin tabeliyində olan "Bakıdövlətlayihə" İnstitutunda direktor və Azərbaycan Memarlar İttifaqının sədri vəzifələrində çalışmışdır.

4 aprel 2007-ci il tarixdən etibarən Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsinin sədri vəzifəsində çalışır.

Abbas müəllimin fəaliyyəti nəticəsində respublika əhəmiyyətli bir çox layihələr reallaşmışdır: Bakı şəhərində 1-9 mikrorayonlar, Naxçıvan, Gəncə və Sumqayıt şəhərlərində mikrorayonlar, "Respublika" və "Gülüstən" sarayları, Dərin özüllər zavodu, Kür su kəməri və s. obyektlərdə yenidən qurma işləri aparılmışdır.

Abbas müəllim "Bakıdövlətlayihə" İnstitutunda direktor vəzifəsində çalışdığı illərdə "Günəşli", "Qanlı göl", Yeni Yasamal, Əhmədli, Sahil, Badamdar, Lökbatan yaşayış rayonlarının, "Xoreoqrafiya" məktəbinin Sərhəd Qoşunları üçün İdman Kompleksinin və s. obyektlərin layihələrinin hazırlanmasına rəhbərlik etmişdir.

2007-ci ildən Abbas müəllimin rəhbərliyi altında şəhərsalma planlaşdırılması və layihələndirilməsi sahəsində böyük işlər - Bakı şəhərinin mərkəzi hissəsinin müfəssəl planlaşdırılma layihəsi, 45-dən çox şəhərin baş planlarının işlənməsi, çox sayda normativ sənədlərin hazırlanması və s. işlər görülmüşdür.

Komitənin sifarişi əsasında və şəxsən Abbas müəllimin nəzarəti altında Aran, Gəncə-Qazax, Quba -Xaçmaz, Lənkəran, Şəki-Zaqatala və Dağlıq Şirvan iqtisadi rayonları üzrə “Məskunlaşmanın, təbiətdən istifadənin və məhsuldar qüvvələrin ərazi təşkilinin regional planlaşdırma sxemi” hazırlanmışdır və Yuxarı Qarabağ, Naxçıvan, Kəlbəcər-Laçın iqtisadi rayonlarında Regional planlaşdırma sxemlərinin işlənməsi planlaşdırılmışdır.

Ölkə Prezidenti İlham Əliyev Cənablarının tövsiyələri əsasında 282322,85 ha ərazini əhatə edən “Böyük Bakının Regional İnkişaf Planı”nı işlənmişdir. Bakı şəhərinin 1:10000 miqyaslı ərazidən istifadə və zonalaşdırma planı (Baş Planı) hazırlanaraq Azərbaycan hökumətinə təqdim edilmişdir.



16.06.2010-cu il.

Cənab Prezident İ.Əliyev Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsində

Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabinetinin 25 fevral 2016-cı il tarixli 86 nömrəli qərarına əsasən Bakı şəhərinin istismar müddəti başa çatmış köhnə binalarının sökülməsi və onların yerində yeni müasir tələblərə cavab verən yaşayış binalarının Pilot layihələrinin həyata keçirilməsində Abbas müəllimin rəhbərliyi altında Komitə yaxından iştirak edir.

Ömrünü Respublika tikinti kompleksinin inkişafına həsr edən A.A. Ələsgərovun xidmətləri dövlət tərəfindən yüksək qiymətləndirilmişdir. O, əmək fəaliyyəti dövründə "Şərəf Nişanı" (1971), Xalqlar Dostluğu (1986), "Şöhrət" (2012) ordenləri ilə təltif olunmuşdur və "Azərbaycan SSR əməkdar mühəndisi"(1987) və "Azərbaycan Respublikasının əməkdar memarı"(2007) fəxri adlarına layiq görülmüşdür.

Gözəl insan, qayğıkeş rəhbər, peşəkar mütəxəssis, işin mürəkkəbliyindən asılı olmayaraq tarazlaşdırılmış qərarlar qəbul edən, Milli Lider Heydər Əliyev məktəbini keçmiş və həyatının müdrik illərini yaşayan Abbas müəllimin 80 yaşı tamam olur .

Hörmətli Abbas Müəllim!

Sizi yubileyiniz münasibəti ilə Azərbaycan İnşaat və Memarlıq ETİ-nun kollektivi, “Azərbaycanda İnşaat və Memarlıq” elmi-praktiki jurnalının redaksiya heyəti və jurnalın çoxsaylı oxucuları adından səmimi qəlbədən təbrik edirik, Sizə can sağlığı və fəaliyyətinizdə uğurlar arzulayırıq.

UOT 728.03

AZƏRBAYCANIN – QAFQAZ ALBANIYASININ DİNİ MEMARLIĞINDA
XRİSTİAN VƏ İSLAM MOTİVLƏRİNİN SİMBİOZU*memarlıq doktoru S.Hacıyeva Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti*СИМБИОЗ ХРИСТИАНСКИХ И МУСУЛЬМАНСКИХ МОТИВОВ В КУЛЬТОВОЙ
АРХИТЕКТУРЕ КАВКАЗСКОЙ АЛБАНИИ- АЗЕРБАЙДЖАНА*док. архитек. С.Гаджиева Азербайджанский Архитектурно- Строительный Университет*SYMBIOSIS OF THE CHRISTIAN AND MUSLIM MOTIVES IN THE RELIGIOUS
ARCHITECTURE OF THE CAUCASIAN ALBANIA-AZERBAIJAN*doc. of architecture S.Hajieva Azerbaijan University of Architecture and Construction*

Xülasə: Azərbaycan kökləri qədim dövrlərdən başlayan zəngin memarlıq və bədii irsə malik ölkədir. Buna ilk növbədə memarlıq abidələri yaxşı sübutdur, çünki məhz memarlıq abidələri müxtəlif tarixi mərhələlərdə ölkənin inkişafını xarakterizə edən nümunələrdir. Tarixi Azərbaycanın ərazisində günümüzə qədər qorunmuş abidələrin çoxillik tədqiqatına baxmayaraq, onların tamlıqla tədqiq olunmasını əminliklə demək qeyri-mümkündür. Xristianlıq və islam dini memarlıq abidələri bir çox oxşar cəhətlərə malik idilər. Bu oxşarlıqlar dini tikililərinin quruluşunun planlaşma xüsusiyyətləri və kompozisiya üsullarında, eləcə də konstruktiv xüsusiyyətləri və dekorativ tərtibat üsullarında izlənilir. Hər bir yeni dövrün abidələri bir pillə üstün idi, çünki özündə əvvəlki nəslin zəngin təcrübəsini daşıyırdı. Nəticədə dini tikililərin müxtəlif tipləri meydana gəldi, bu öz növbəsində onların konstruktiv-texniki, funksional və estetik baxımdan tipologiyası haqqında söz demək imkanı verir. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, müəyyən memarlıq tipinə aid binalar, oxşar cəhətlərinin olmasına baxmayaraq, inşa əsnasında bir-birini təkrar etmirdilər, vahid mövzuya müxtəlif tonallıq gətirirdilər. Bu səbəbdən onların hər biri memarlıq obrazında təkrarsızdırlar, bu da özlüyündə tamamilə fərqli estetik qavranışa təkan verir.

Açar sözlər: Qafqaz Albaniyası, memarlıq abidəsi, Xristian və İslam dini abidələri.

Аннотация: Азербайджан – страна с богатейшим архитектурным и художественным наследием, истоки которого уходят в далекое прошлое. Свидетельством тому являются, в первую очередь, памятники архитектуры, ибо они наиболее показательны с точки зрения характеристики развития страны на разных исторических этапах. Несмотря на многолетние исследования памятников, сохранившихся на территории исторического Азербайджана, нельзя с уверенностью сказать, что все они в достаточной мере известны и исследованы. Христианские и мусульманские культовые сооружения обладали целым рядом схожих черт, которые прослеживаются как в особенностях планировочного построения и композиции, так и в конструктивных и декоративных особенностях памятников обеих религий. Памятники каждого нового периода были на порядок выше, ибо несли в себе богатый опыт предшествующих поколений. В результате появлялись разнообразие типы культовых сооружений, что позволяет нам говорить об их типологии с конструктивно-технической, функциональной и эстетической точек зрения. Однако необходимо отметить, что здания определенного архитектурного типа при общей схожести в построении не повторяли друг друга, но как бы придавали различную тональность единой теме. Поэтому каждый из них - шедевр, таящий ту архитектурно-образную неповторимость, которая порождает и иное образно-эстетическое восприятие.

Ключевые слова: Кавказская Албания, памятники архитектуры, христианские и мусульманские культовые памятники.

Summary: Azerbaijan is a country with a rich architectural and artistic heritage, whose origins go back to the distant past. Evidence of this are, first of all, architectural monuments, because they are most indicative of the characteristics of the country's development at different historical stages. Despite many years of research on monuments preserved in the territory of historical Azerbaijan, it can not be said that all of them are sufficiently known and investigated. Christian and Muslim religious buildings possessed a number of similar features, which can be traced both in the features of planning and composition, as well as in the constructive and decorative features of the monuments of both religions. Monuments of each new period accumulates the rich experience of previous generations. As a result, various types of religious buildings had appeared, and that allows us to talk about their typology from a constructive, technical, functional and aesthetic point of view. However, it should be noted that buildings of a certain architectural type, with a common similarity in construction, did not repeat each other, but gave a

different tonality to the same theme. Therefore, each of them is a masterpiece, conceals that architectural-imaginative uniqueness, which generates another image-aesthetic perception.

Key words: Caucasian Albania, monuments of architecture, Christian and Muslim religious monuments.

Azərbaycan kökləri qədim dövrlərdən başlayan zəngin memarlıq və bədi irsə malik ölkədir. Buna ilk növbədə memarlıq abidələri yaxşı sübutdur, çünki məhz memarlıq abidələri müxtəlif tarixi mərhələlərdə ölkənin inkişafını xarakterizə edən nümunələrdir. Azərbaycanı tədqiq edən alimlərin birinin məlum deyimində bu ölkənin bütün ərazisinin açıq səma altında muzey olduğu bildirilir, çünki Azərbaycanda qədim mədəniyyətə malik abidələrin olmadığı hər hansı bir bölgə tapmaq çətindir [6,s.5]. Arxeoloji qazıntılar ölkənin qədim tarixə malik olduğunu sübut edən çoxsaylı maddi mədəniyyət abidələri aşkar etmişdir. Azıx mağarasında (Füzuli rayonu) 500 min bundan əvvəl yaşamış insan çənəsinin sumüyü və əmək alətləri tapılmışdır [12]. Arxeoloqlar tərəfindən aşkar edilmiş eneolit və bürünc dövrlərinə aid çoxsaylı yaşayış məskənləri ölkədə baş vermiş canlanmış həyatdan, inkişaf etmiş iqtisadiyyatdan və mədəniyyətdən məlumat verir. Strabon, Pliniy (Böyük) və Klavdiy Ptolemey kimi antik müəlliflər öz əsərlərində Azərbaycanda çoxsaylı şəhərlərin olmasını göstərmişlər [10]. Ənənəvi olaraq islam dövləti kimi tanınan Azərbaycanın tarixinin ən mühüm mərhələlərindən biri Araz çayından şimala Dərbəndə kimi böyük ərazilərdə 1000 ildən artıq bir zaman ərzində Qafqaz Albaniyası dövlətinin (e.ə.IV ə. – VIII ə.) sabit şəkildə mövcud olduğu böyük tarixi dövrüdür. Çoxsaylı sərhəd dəyişikliklərinə baxmayaraq, Azərbaycan tarixi Qafqaz Albaniyasının ərazisinin təxminən 4/5 hissəsini əhatə edir və bu səbəbdən onun mədəniyyətinin varisidir. Artıq I əsrdə xristian təlimi Qafqaz Albaniyasının ərazisinə sirayət etdi, lakin IV əsrin əvvəllərində alban çarı Urnayr xristianlığı öz ölkəsinin rəsmi dini elan etdi və Qafqaz Albaniyasında fəal şəkildə dini tikililərin inşasına başlanğıc qoyuldu.

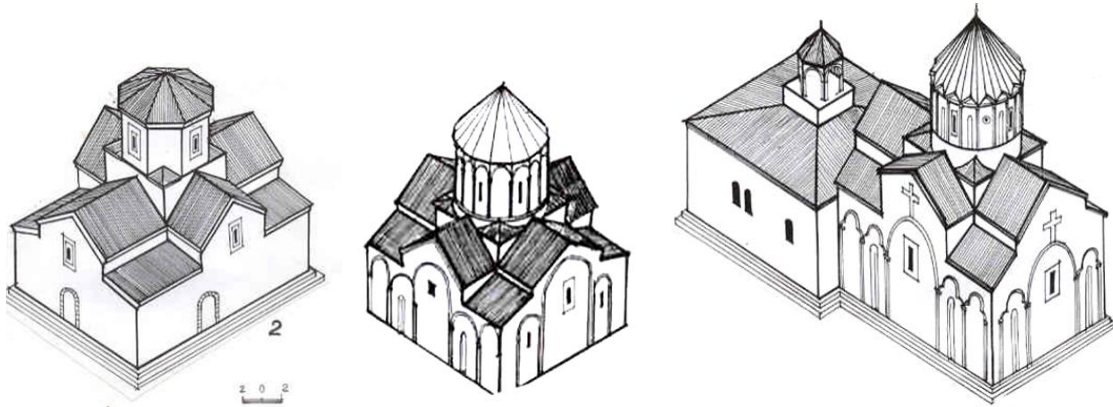
Ənənəvi olaraq Qafqaz Albaniyasını sağ və sol sahilyanı hissələrə ayırırlar. Dağlıq Qarabağın ərazisində yerləşən tarixi sağ sahilyanı Qafqaz Albaniyası hal-hazırda ermənilər tərəfindən işğal edilmiş 20% Azərbaycan torpaqlarının tərkibindədir. Bu ərazi Qafqaz Albaniyasının - Azərbaycanın memarlıq abidələri ilə zəngindir. Onların siması, nisbətləri, planlaşma xüsusiyyətləri həmin abidələrin təkrarsız özəlliklərini qeyd etməyə və qonşu dövlətlərin eyni tipli abidələrindən fərqləndirməyə imkan verir. Sol sahilyanı Qafqaz Albaniyası (hal-hazırda Azərbaycanın şimal və şimali-qərb bölgələri) antik dövrdə ölkənin iqtisadi və siyasi həyatında mühüm rola malik olmuşdur. Moisey Kalankatukluya görə, *Qəbələ* (müasir Qəbələ və ehtimal ki, Oğuz rayonları) və *Şaki* (Azərbaycanın hal-hazırkı Şəki-Zaqatala bölgəsinin ərazisi) bölgələri Qafqaz Albaniyasının ərazicə ən böyük və siyasi baxımdan ən mühüm bölgələri idi. Burada 451-ci ilə qədər Qafqaz Albaniyasının paytaxtı olmuş Qəbələ şəhəri və böyük müqəddəs bölgə yerləşirdi. Qafqaz Albaniyasında xristianlığın yayılması ilə məşğul olmuş Müqəddəs Yelisey məhz Qəbələdə dini fəaliyyət göstərmişdir. Məhz burada son antik və erkən orta dövrlərə aid olan daha böyük dini tikililər inşa edilmişdir. Buna xüsusilə Qəbələdə aparılan arxeoloji qazıntıların Pliniyin qeyd etdiyi Qabalaka və Ptolemeyin qeyd etdiyi Xabaladan məlumat verən maddi abidələrin çoxsaylı nəticələri sübutdur.

Təəssüflər olsun ki, Azərbaycan memarlıq tarixçilərinin çoxillik planlı tədqiqatlarına baxmayaraq, hələ də xristian memarlıq abidələrinin hərtərəfli araşdırılmasına kəskin ehtiyac vardır. Xristian abidələrinin az tədqiq olunmasının səbəbi ondan ibarətdir ki, onlardan bir qismi lazımi səviyyədə dövrümüzə qədər qorunmamışdır, bəziləri sovet hakimiyyətinin din əleyhinə siyasəti nəticəsində tamamilə məhv edilmişdir. Onu da qeyd etmək kifayətdir ki, tarixi Albaniyanın ərazisində tamliqlə qorunmuş orta əsr memarlıq abidələri, demək olar ki, yoxdur. Uzun müddət

ərzində Azərbaycan sifət islam ölkəsi kimi qəbul edilirdi. Həqiqətən də ölkənin müxtəlif bölgələrində islam memarlığına aid çoxsaylı gözəl abidələr günümüzdə qədər gəlib çatmışdır. Lakin islam dini burada yalnız VIII-IX əsrlərdə inkişaf etmişdir, ondan əvvəl və islam dini ilə eyni vaxtda ölkənin müxtəlif bölgələrində ardıcıl olaraq mitraizm, zərdüştlük və xristianlıq dinləri bir-birini əvəz etmiş və özlərindən sonra dini tikililərin gözəl nümunələrini mühafizə edərək qarşılıqlı sıx əlaqədə inkişaf etmişdir. Məhz bu dövrlərdə sonralar yaranmağa başlamış islam memarlığına təsir göstərmiş Azərbaycan memarlığının əsas prinsiplərinin və üsullarının formalaşması baş vermişdir. Azərbaycana yeni din olan islamı gətirmiş ərəblər təkallahlığa etiqad edən xristianlığa dözümlü münasibət bəsləyirdilər. Bunun nəticəsində keçmiş Qafqaz Albaniyasının əhalisinin bir qismi XIX əsrə kimi – Rus İmperiyasının səyi ilə erməni ailələrinin İran və Türkiyədən Qarabağ torpağına köçürülməsi nəticəsində Müqəddəs Sinodun qərarıyla Alban kilsəsinin erməniləşdirildiyi dövrə kimi - hələ xristianlığa etiqad edirdilər. Aran bölgələrində hakim mövqeyi ələ alan islam və dağ bölgələrində hələ də hökm sürən xristianlıq dinləri monumental memarlığın möhtəşəm abidələrini yaradaraq paralel olaraq inkişaf edirdilər. Onlardan az bir hissəsi xoş təsadüfdən günümüzdə qədər gəlib çatmışdır. Belə ki, ölkədə orta əsrlərdə qarşılıqlı şəkildə zənginləşərək islam və xristian mədəniyyətləri mövcud olmuşdur. Xalqın bu şəkildə dini dözümlüyü nəticəsində müxtəlif dinlərə mənsub məbədlərdə memarlıq və inşaat üsullarının qarşılıqlı təsiri və əlaqəsi baş verirdi. Bu hal tamamilə qanunauyğun idi, çünki həmin abidələr eyni xalqa mənsub memarlar tərəfindən yaradılırdı.

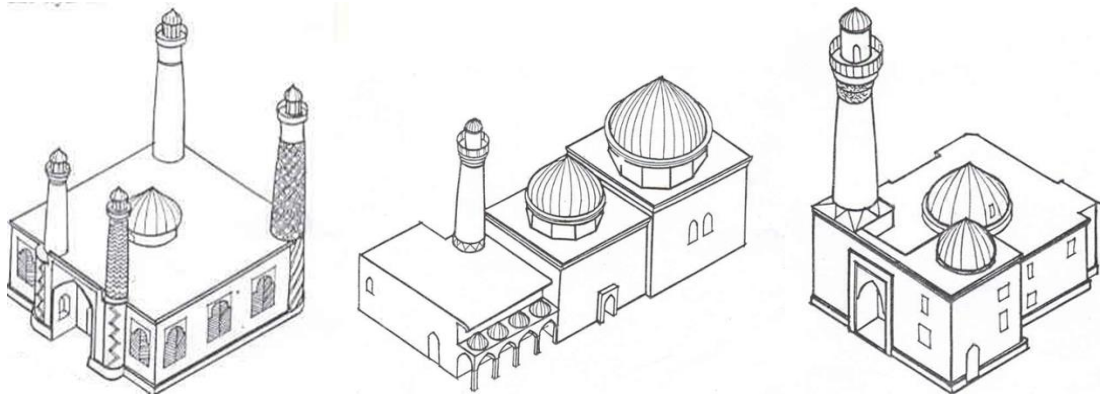
1.1. Azərbaycanda dini tikililərinin quruluşunun planlaşma xüsusiyyətləri və kompozisiya üsulları.

Erkən dövrlərdə ilk kilsələr meydana gəldi: zallı və birnefli bazilikalar (Ağdam rayonunda Gəvurqala məbədi–VI əsr; Balakən rayonunda Mazımqaray–V-VI əsrlər; Kəlbəcər rayonundakı Xudavəng monastır kompleksindəki məbəd–VI əsr), günbəzli zallar, günbəzsiz nefli bazilikalar (Təzəkənd bazilikası–Ağcabədi rayonu, VI əsr; Qum bazilikası–Qax rayonu, V əsr; Yeddi Kilsə – Qax rayonu, VI əsr; Ağoğlan bazilikası, Laçın rayonu, VI-VII əsrlər). Konstruktiv sxemləri sonralar qonşu dövlətlərdə yayılmağa başlamış dairəvi məbədlər yarandı: Qəbələ rayonunda Kilsədağ II-III əsrlər; Zaqatala rayonunda Mamrux–III-IV əsrlər; Qax rayonunda Ləkit–V-IV əsrlər. Daha sonrakı dövrlərdə Qafqaz Albaniyasındakı ənənəvi formalardan bəhrələnmiş və ölkənin bütün memarlığının inkişafının gedişinə təsir göstərmiş günbəzli çoxnefli məbədlər və sərbəst xaçşəkilli kilsələr (Şəki rayonunun Orta Zəyzit kəndində kilsə, IX-X əsrlər) yaranmağa başladı. Zaman keçdikcə ilk qaranlıq zallı və dairəvi kilsələr xaçlı – günbəzli məbədlərlə əvəz olunmağa başladı, çünki yeni dini bayram mərasimləri üçün daha böyük və işıqlı məkanlara ehtiyac və tələb yaranırdı. Kilsə təkə dini deyil, eyni zamanda kübar və mədəni mərkəzlərə çevrilməyə başladı. Daha təntənəli günbəzli zallar (Kəlbəcər rayonundakı Xudavəng monastır kompleksində Böyük Cəlalin məbədi–XII əsr), xaçlı – günbəzli məbədlər (Kəlbəcər rayonundakı Xudavəng monastır kompleksində Arzu xatun məbədi–XIII əsr; Ağdərə rayonundakı Gəncəsər məbədi – XIII əsr) meydana gəldi. Çoxsaylı arzuolunmaz tarixi proseslər kilsə ərazilərinin müdafiə olunmasına ehtiyac yaratdı, bu da özlyündə ərazilərində məbədlərdən əlavə müxtəlif təyinatlı tikililərin inşa edildiyi monastır komplekslərinin yaranmasına səbəb oldu (Zaqatala rayonunda Mamrux – III-IV əsrlər; Ağdərə rayonunda Müqəddəs Yelisey–IV-XIII əsrlər, Xatirəvəng–XIII əsr, Böyük Aran–IV-XIII əsrlər, Gəncəsər–XIII əsr; Qax rayonunda Yeddi Kilsə – XIII əsr [11]).



Şək.1. Azərbaycan kilsələrin planlaşma və kompozisiya xüsusiyyətləri (Yeddi kilsə kompleksində xacvari-günbəzli kilsə- Qax rayonu, Xudavəng kompleksində Arzu xatın kilsəsi- Kəlbəcər rayonu, Gəncəsər məbədi-Kəlbəcər rayonu)

Məlum olduğu kimi, VII əsrin sonundan başlayaraq Cənubi Qafqazın böyük hissəsi ərəb Xəlifəliyinin hakimiyyətində olmuşdur. Memarlıq formalarının inkişafının təbii axarı məcburi şəkildə dayandırıldı. Yalnız IX əsrdən başlayaraq Azərbaycan memarlığının inkişafının yenidən dirçəlişi izlənilir. Bir çox ölkələri əhatə etmiş islam hərəkatıyla bağlı Azərbaycanın islam dövrü memarlığına nəzər salarkən qeyd etmək istərdik ki, memarlığın inkişafı ölkənin müxtəlif regionlarında inşaat materiallarının qeyri-yekcinsliyi ilə əlaqədar olaraq müxtəlif memarlıq məktəblərinin formalaşmasına böyük təsir göstərmişdir. Lakin islam memarlığı şedevrlərinin yaranmasında islamdan əvvəlki dövrün memarlıq və bədii irsinin böyük əhəmiyyəti olmuşdur. Xristian memarlığında olduğu kimi, ilk müsəlman məscidlərinin formalaşması prosesi özündən əvvəlki dinlərə mənsub məbədlərin yenidənqurulması yolu ilə baş vermişdir. Bu səbəbdən Azərbaycanın ilk məscidləri öz memarlıq – planlaşma kompozisiyasına görə bütperəst və xristian məbədlərini xatırladırdı (Bakıda günümüze qədər qorunmamış və iki bütperəst dini tikilinin yerində inşa edilmiş Cümə məscidi; Şamaxıdakı Cümə məscidi). Unutmaq olmaz ki, ümumi formalaşma sxeminə baxmayaraq, erkən dövr islam memarlığının öz «üstünlükləri» olmuşdur: o, Azərbaycan torpaqlarında islamın yayılmasından bir neçə əsr əvvəl mövcud olmuş həm bütperəst, həm də xristian memarlığına istinadən yaranmışdır. Yuxarıda qeyd olunan bütün amillərin qarşılıqlı əlaqələri nəticəsində məscidlərin müxtəlif tipləri meydana gəldi: çoxzallı, mürəkkəb planlı və eyvanlı. İlk dövrlərə aid məscidlər, xristian məbədlərində olduğu kimi, üçnefli və çoxzallı inşa edilirdi (Şamaxıdakı Cümə məscidi – VIII əsr; İçərişəhərdə Məhəmməd məscidi - XI əsr).



Şək.2. Azərbaycan məscidlərin planlaşma və kompozisiya xüsusiyyətləri (mərkəzi günbəzli məscidlər: İmamzadə məscidi, Bərdə, dağıdılmış Bibi Heybət məscidi, Abşeron, Şirvanşahlar kompleksindəki məscid, Bakı)

Tədricən daha geniş yayılmış günbəzli harmonik məscid tipi formalaşdı (Mərdəkanda Tuba Şahi məscidləri (Abşeron); Təbrizdə Göy məscid, Bakıda Şirvanşahlar saray kompleksinin məscidi). Günbəzli məscidlərin yaranma prosesi xristian dini memarlığına aid xaçlı – günbəzli xristian məbədlərinin yaranmasıyla analogi idi. Bu səbəbdən xaçlı – günbəzli xristian məbədləri və günbəzli məscidlər bir çox oxşar cəhətlərə malik idilər [7].

Azərbaycanda orta əsrlərin inkişaf dövrü həm xristian, həm də islam memarlığında təntənə və monumentallığın inkişafı ilə xarakterizə olunurdu. Xristian monastır kompleksləriylə yanaşı islam dini kompleksləri də yaranmağa başlayırdı. Bu, memarlıq-konstruktiv tamlığa malik yaranmış formaların çiçəklənməsi, dini tikililərin bəzək vasitələrinin bədii zənginliyi dövrü idi.

1.2. Azərbaycanın dini tikililərinin konstruktiv xüsusiyyətləri.

Azərbaycanın dini memarlığında xristian və islam motivlərinin simbiozundan danışarkən bu və ya digər memarlıq abidəsinin simasını formalaşdıran konstruktiv və dekorativ xüsusiyyətləri qeyd etməmək mümkün deyil. Formaların böyük müxtəlifliyinə baxmayaraq, bütün *Azərbaycan tağları* özünün müəyyən qurma qaydalarına malik idilər [1.s.77]. İslam memarlığı üçün çatma iki və üçmərkəzli, xristian abidələri üçün isə – yarımşilindrik tağlar tipik idi. Azərbaycanda rast gəlinən tağların arasında ən arxaiki qədim bütperəst və erkən xristian məbədlərində rast gəlinən nalvari tağlardır (Qum bazilikası, Xudavəng və Böyük Aran məbədləri [11, s.56]).



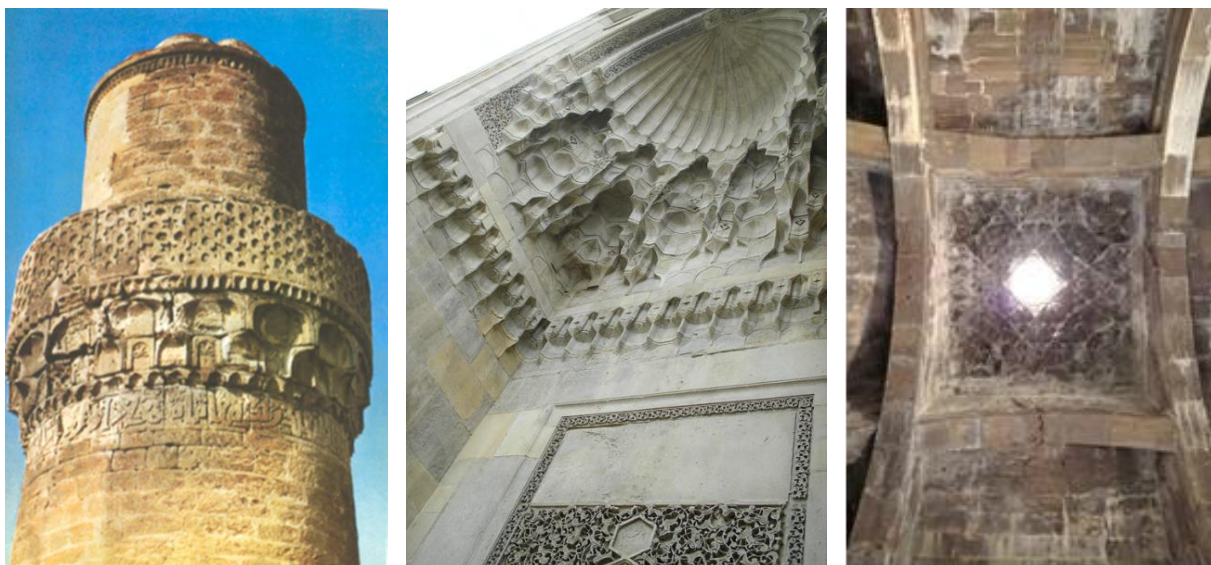
Şək.3. Azərbaycan memarlığında tağlar (Yusib ibn Küseyyir turbəsi, Naxçıvan, Şirvanşah kompleksində divanxanə- Bakı, Qum bazilikası- Qax rayonu, Həmşivəng kompleksində zəng qulləsi, Gədəbəy rayonu)

Tağbəndlərin meydana gəlməsi də dini tikililərin simasına əhəmiyyətli şəkildə öz təsirini göstərmişdir. Tağbəndlərin formaları müxtəlif idi: silindrik tağbəndlərə əsasən xristian abidələrində rast gəlinir (IV-VIII əsr Mingəçevir məbədləri, Kilsədağ məbədi, Mamrux və Ləkit məbədləri); çatma tağbəndlər isə islam memarlığı üçün xarakterik idi (Bakıda Cümə məscidi, Mərdəkanda Tuba Şahi məscidi, Bakıda Şirvanşahlar saray kompleksinin məscidi və s.). Azərbaycan memarlığı xaçvari və yelkənvari tağbəndlər kimi nümunələrə malik idi, xatirə tikililərində tətbiq edilirdi (çoxsaylı Azərbaycan türbələri). Günbəzlər ölkənin memarlığında qədim zamanlardan rast gəlinirdi. Ən qədim günbəzə bənzər tikililər – mikrodini özəklər döşəməsinin mərkəzində ritual ocağı olan planda dairəvi sadə tikililər yalançı günbəzlə tamamlanırdı (Şomu təpə, Qarğalar təpəsi, İlanlı təpə- [3]). Utilitar baxımdan daha rahat formanın yaradılması qədim insanların dini təsəvvürlərində günbəzin səma simvolu kimi qavranılmasına təkan verirdi. İlk dini və mərasim köşkləri və atəşgahlar da günbəzlə qapanırdı. Onlar qədim bütperəst məbədlərinin, sonralar isə xristian və islam abidələrinin üstünü örtən günbəzin ilk örnəyi idilər.

Xristian məbədlərində və zəng qüllələrində daxili qat çatma və ya sferik cizgilərə malik idi, xarici qat isə piramidal və ya konik çadır örtmədən ibarət idi (Gəncəsər, Xudavəng). İslam tikililərində iki sferik və ya çatma günbəz mövcud idi – daxili və xarici (Tuba Şahi məscidi,

Bakıda Şirvanşahlar saray kompleksinin məscidi, Gəncədə Cümə məscidi və s.). Nadir hallarda birqat günbəzli tikililərə rast gəlinirdi (Əlincəçay xanəqahındakı məscid – Naxçıvan MR). Bundan əlavə, bəzən dini tikililərdə daş tavalarla örtmə sisteminə malik qədim qaradam tipli örtmələrə rast gəlinirdi (İçəri şəhərdə qorunmamış Cümə məscidi). Xristian məbədlərindən fərqli olaraq İslam abidələrində kiçik baraban, bəzi müstəsna olmaq şərtilə, yalnız zəruri konstruktiv detal idi (Nehrəm kəndindəki məscid – Naxçıvan MR, Mərdəkanda Tuba Şahi məscidi) [7].

Azərbaycan memarlığında geniş yayılmış detallardan biri – günbəzli və çadır örtmələrin, portal, mehrab və tağçaların qurulması zamanı bir həndəsi formadan digərinə (çox zaman düzbucaqlı və ya kvadrat əsasdan günbəzə və ya tağbəndə) kompozisiya keçidi yaratmağa imkan verən *stalaktitlərdir*. Daha erkən məscidlərin stalaktitləri detalların işlənməsinin kobudluğu və kompozisiyanın nisbətən sadəliyi ilə seçilirdi. Onlar sanki yastılanmış, qeyri-dəqiq idilər (Məhəmməd məscidinin minarəsi – IX əsr). Lakin daha yetkin nümunələrdə stalaktit kəməri həddən artıq yüngüldür və bədii baxımdan plastiktir (İçəri şəhərdə Cümə məscidi – XIV əsr). Azərbaycanın xristian tikililərində də stalaktitlərə rast gəlinir, məsələn Gəncəsər məbədində. Stalaktit kompozisiyaları XII əsrdən başlayaraq portalların, mehrabların, divarların karnizinin tərtibatında yalnız dekor kimi istifadə edilirdi və konstruktiv yük daşıyırdılar. Stalaktit karnizlərlə işlənmiş Bakıdakı Gileyli, Dərbənddə Cümə, Təbrizdə Göy məscidlər və Şeyx Səfi kompleksinin xatirə məscidinin portalları çox böyük maraq doğurur.



Şək.4. Azərbaycan memarlığında stalaktitlər (Məhəmməd məscidi, Bakı, Şirvanşah kompleksində tağbənd- Bakı, Gəncəsər məbədi- Kəlbəcər rayonu)

Dini xarakterli ən qədim tikililərdə *portallara* təsadüf edilir. İnkişaf etmiş xristian abidələrində portallar mühüm rola malik idilər. İslam memarlığında portallara geniş yer ayrılırdı. Bu dini tikililərdə portallar onun ümumi kütlədən seçilməsi və tikiliyə tənənəlik verilməsi məqsədilə dəqiq şəkildə profillənirdi. Bu səbəbdən portallar binaların və komplekslərin kompozisiyasında mərkəzi yer tuturdu (Şirvanşahlar saray kompleksinin məscidinin portalı, Gəncədə Cümə məscidi); bir çox hallarda isə portal binanın karnizindən yuxarıya qaldırılırdı (Mərdəkanda Tuba Şahi, Şirvanşahlar saray məscidi, Keşlə kəndindəki məscid). XIV əsr Şeyx Səfi dini kompleksinin məscidinin portalı xüsusi maraq doğurur [7].



Şək.5. Azərbaycan memarlığında portallar (Şirvanşah kompleksində tağbənd- Bakı, Cümə məscid, Bakı, Tuba şaxı məscidi, Mərdəkan, Qoşavəng kompleksi, Ağın rayonu-ermənistan)

1.3. Azərbaycanın dini tikililərinin dekorativ tərtibat üsulları.

Azərbaycanın ən qədim sənət növlərindən biri daş üzərində oymadır. Belə ki, Qobustandakı qayaüstü müxtəlif rəsmlər ov, dini rəqslər, qurban gətirmə kimi mərasimlərdən məlumat verir [1,s.77]. Xristian abidələrinin dekorunun analizi göstərdi ki, alban ustalarının yaradıcılığında daha qədim mifologiya, dini baxışlar və inanclarla, eyni zamanda mitraizm və mazdaizm ideyalarına inamla bağlı süjetlər daha möhkəm yer almışdır. Lakin bütün bu elementlər, bir qayda olaraq, xristian ideologiyasına tabe idi. «Xristianlıq inam məsələlərində barışmaz idi, lakin digər ənənə və mərasimlərə güzəştə gedirdilər. Əksinə bütperəstlər isə xristianlığa etiqad edənləri, əgər onlar bütperəst ayinlərini həyata keçirməyə davam edirdilərsə də, öz sıralarından xaric etmirdilər» [16, s.46]. Nəticədə xristianlıqdan əvvəki və xristian simvolikalarının qarışımı baş verdi. Müqəddəs heyvanların təsvirləri meydana gəldi: öküz, qoyun, at, quşlar (Mingəçevir kompleksində xaçın altındakı oturacaq). Sonralar həmin təsvirlərə islam memarlığında da rast gəlinirdi (Şeyx Səfi kompleksindəki məscid, Şəki xanlarının sarayı, İrəvandakı günümüzə qədər qorunmamış məscid, yaşayış evlərinin fasadları). Özlüyündə ənənəvi olaraq xristian simvolu hesab edilən xaç xristianlıqdan öncəki Albaniyada qədim adətlərə görə bütperəstlərin etiqad etdiyi qurban gətirilən ağacların siması kimi təsvir olunurdu. Mitranın pərəstişkarları yeni xristianlıq dininə qovuşaraq özləriylə bu dinə xaçı və sinədə - alında qurtuluş, od, günəş, daimi həyat rəmzi olan xaç işarəsini gətirdilər [13]. Nəticədə xaçlar bütün xristian məbədlərinin girişlərinin üstündə həmişə öz yerini tapmışlar (binanı qoruyurdular).

Daş üzrə oymanın daha inkişaf etmiş nümunəsi Gəncəsər məbədidir. Xalça naxışı kimi incə və xırda naxışlı daş yonma barabanın tillərini və pritvordan məbədə girişin səthini örtürdü. Gəncəsər məbədinin dekoru gözəl yonma detallardan və konstruktiv elementlərdən savayı ona məna yükü verən heykəl qrupları ilə zəngindir. Bu heykəllər təkcə memarların yüksək ustalığından şahidlik etmir, eyni zamanda alban simvolikasının dərin köklərini və bu simvolikanın paralel mövcud olmuş islam memarlığı ilə əlaqəsini nümayiş etdirir. Fasadda heykəl qruplarından ən böyüyü başı üzərində quşların, önündə isə diz çökmüş fiqurların yer aldığı çarmıxa çəkilmiş İsa peyğəmbərin təsviridir. Monqol hörüklü və qıyıq gözlü İsa peyğəmbərin fiquru Alban knyazlığının monqol əsarətində olduğu dövrdə monqol memarlığının birbaşa təsirini göstərir.

Xristian və islam memarlığında həndəsi naxışların geniş yayılması sırf islam mövzularının xristianlıq mövzularına və əks keçidini göstərir (Qoşavəng kilsələri). Gəncəsər məbədinin dekorunda səkkizguşəli ulduzun çoxsaylı istifadəsi böyük maraq doğurur.



Şək.6. Azərbaycan memarlığında naxışlar (Gəncəsər məbədi- Kəlbəcər rayonu)

Səkkizguşəli ulduza artıq e.ə.I minillikdə Azərbaycan xalçalarında, milli geyim naxışlarında zərgərlik məmulatlarında və s. rast gəlinir. Səkkizguşəli ulduz zaman ərzində Azərbaycanın ümummilliyə çevrildi və öz əksini həm xristian, həm də islam dini simvolikasında tapdı. Qoşavəng monastırının kiçik kilsəsinin portalı və Gəncəsər monastırının qərb girişi xristian və islam simvollarının qarşılıqlı əlaqəsini daha parlaq əks etdirir - Qoşavəngdə çatma tağ, tağın timpanını dolduran mürəkkəb oyma və ulduzlardan ibarət haşiyə, Gəncəsərdə isə oyma naxış, rəngli geydirmə daşlarla doldurulmuş dairəvi və kvadrat pannolardan ibarətdir. Eyni zamanda Gəncəsər məbədinin fasadındakı uzunsov kəşişən altıbucaqlı şəkildə «səlcuq zənciri» mövzusu da maraqlıdır. Gəncəsər, Qoşavəng, Xudavəng və digər orta əsr xristian abidələrində xristianlıqdan əvvəlki, xristian və müsəlman motivlərinin qarışmasının anlamı xristian xatirə memarlığındakı qəbirüstü daşların – xaçdaşların simvolikasının üzə çıxarılması baxımından maraqlıdır. Dağıstanın bir sıra stellası da arxaik ornamentlərin elementlərinə malik idilər (rozetkalar, bitkilər, heyvanlar). Bundan əlavə, zəngin ornamentə malik rozetlər, medalyonlar və haşiyələrə islam memarlığında da rast gəlinir. Buna ilk növbədə müxtəlif büt-pərəst rozetkalar, oyma zolaqlı haşiyələrlə bəzədilmiş müsəlman başdaşları sübutdur [7].

Həndəsi ornamentləri tədricən əvəz edən nəbati ornamentlər də hər iki dinə mənsub tikililərdə geniş yayılmışdır. Düzgün həndəsi naxışlardan fərqli olaraq nəbati ornamentlər geniş fəaliyyət dairəsi açdırlar (Təbrizdə Göy məscid, Ərdəbildə Şeyx Səfi kompleksi). Xristian abidələrində nəbati naxışlar daha erkən dövrə aid həndəsi naxışları sıxışdırmadılar, onlarla bərabər tətbiq edilirdilər (Gəncəsər məbədi). Məscidlərin dekorativ dolğunluğu mehrab hissəsində artırdı. İslam mehrabları – səcdəgahları ilə analogiyamı bariz şəkildə xaçın çatmatağlı tağçada yerləşdirildiyi sonrakı xaçdaşlarda izləmək olar (Cuqa xaçdaşları – XVII əsr). Çox zaman naxışlarla örtülmüş, ərəb yazılı və tağça - mehrabda xaç yerləşdirilmiş stellalara rast gəlinirdi. Rəng palitrasının ciddiliyi Abşeron məscidlərinin mehrablarını Cənub Təbriz məktəbinin polixrom parlaq mehrablarından fərqləndirirdi. Xristian dininə mənsub dekora analogiyanı Abşeron məscidlərinin ciddi incəliyindən fərqli olaraq Azərbaycanın Təbriz memarlıq məktəbi üçün rəngli kompozisiyalar xarakterik idi. Onlar müxtəlif materialdan yerinə yetirilirdi: kərpic, gəc, daş, kaş və mayolika üzlük tavaları. Belə ki, Pirsaat xanəqahındakı məscidin kaşları bütün Ön Asiyada haqlı olaraq ən yaxşılardan biri hesab edilirdi. İ.Bartolemeyin yazdığı kimi, «kaş tavalar qeyri-adi dərəcədə yaxşıdırlar və buna bənzərlərini Qəzvin və Sultaniyə məscidlərində belə görmədim» [5,s.94]. Məscidin cənub divarındakı gəc üzrə bədii oyma ilə zəngin bəzədilmiş mehrab hal-hazırda Bakıda Nizami muzeyində nümayiş etdirilir.



Şək.7. Azərbaycan memarlığında naxışlar (Xaçdaş, Möminə xatın türbəsi-Naxçıvan, Pirsaat çay üzərindəki xanəqah)

Nəticə:

Tarixi Azərbaycanın ərazisində günümüzdə qədər qorunmuş abidələrin çoxillik tədqiqatına baxmayaraq, onların tamıqla tədqiq olunmasını əminliklə demək qeyri-mümkündür. Sonrakı inkişafını tapmış, xristian və islam abidələrinin ayrılmaz hissəsinə çevrilmiş memarlıq-planlaşma həlli və konstruktiv elementlər bütöpərəstlik dövründə yaranmışdır. Həmin formalar qanunauyğun şəkildə yaranmışdı. Bu dini təsəvvürlərin simvolik qavranılmasının və yerli inşaat materiallarından ustalıqla istifadənin nəticəsi idi. Yaranmış və sonralar inkişaf tapmış xristianlıq və islam da öz növbəsində, şübhəsiz ki, dini memarlığa öz təsirini göstərmişdir. Hər bir yeni dövrün abidələri bir pillə üstün idi, çünki özündə əvvəlki nəslin zəngin təcrübəsini daşıyırdı. Nəticədə dini tikililərin müxtəlif tipləri meydana gəldi, bu öz növbəsində onların konstruktiv-texniki, funksional və estetik baxımdan tipologiyası haqqında söz demək imkanı verir. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, müəyyən memarlıq tipinə aid binalar, oxşar cəhətlərinin olmasına baxmayaraq, inşa əsnasında bir-birini təkrar etmədilər, vahid mövzuya müxtəlif tonallıq gətirirdilər. Bu səbəbdən onların hər biri memarlıq obrazında təkrarsızdılar, bu da özlüyündə tamamilə fərqli estetik qavranışa təkan verir.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. Ализадe Г.М. Народное зодчество Азербайджана и его прогрессивные традиции,- Баку, Изд-во АНАЗ.ССР, 1963
2. Аскерова Н.С. Архитектурный орнамент Азербайджана, -Баку,Изд-во АНАЗ.ССР, 1961
3. Ахундов Д.А. Архитектура древнего и раннесредневекового Азербайджана- Баку, Азербайджанское Государственное Издательство, 1986
4. Барановский П.Д. Памятники в селении Кум и Лекит.- Баку, 1947
5. Бретаницкий Л.С. Зодчество Азербайджана XII-XV вв. и его место в архитектуре Переднего Востока.- М., «Наука» Гл. Ред. Вост.Лит-ры,1966
6. Бретаницкий Л.С., Веймарн Б.В.- Искусство Азербайджана IX-XVIII.-М., «Искусство», 1976.
7. Гаджиева С.Х. Взаимовлияние архитектуры христианских и мусульманских культовых сооружений средневекового Азербайджана / Дисс. ... канд.арх. / Баку,1998
8. Геюшев Р.Б. Христианство в Кавказской Албании.-Баку, «Элм», 1984
9. Геюшев Р.Б., Халилов М.Дж. Каменные изваяния раннесредневековой Албании.-Баку, «Элм», 1986
10. Исми-заде О.Ш.- Кабала – столица древней Кавказской Албании- Сб. Вопросы истории Кавказской Албании-Баку, 1962
11. Мамедова Г.Г. Зодчество Кавказской Албании.-Баку, «Чашыюглу», 2004
12. Мəmmədova G.H., Nəsiyeva S.X. Azərbaycan memarlıq tarixi Qədim və erkən orta əsrlər memarlığı Bakı-“Şərq-Qərb” Nəşriyyat evi, 1 cild, 2013
13. Нейхардт А.А. Загадка «святого» креста. –М., Гос. изд-во полит.лит-ры,1963
14. Орбели И.А. Мусульманские изразцы- Сб. «Избранные труды»,Изд-во АНАрм.ССР, Ер.-1963
15. Рзаев Н.И. Искусство Кавказской Албании IV в до н.э.-VII в.н.э.-Баку, «Элм»,1976
16. Фрайд Ричард Наследие Ирана.-М.,Гл.ред.Вост.лит-ры, 1972

UOT 620.172.242.001.57

QEYRİ-XƏTTİ DEFORMASIYA MODELİ ƏSASINDA DƏMİR-BETON
ELEMENTLƏRİN NORMAL KƏSİKLƏR ÜZRƏ MÖHKƏMLİYƏ
HESABLANMASININ NƏTİCƏLƏRİ HAQQINDA

t.e.d., prof. X.Q.Seyfullayev Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutu

О РЕЗУЛЬТАТАХ РАСЧЕТА ПО ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ
ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

д.т.н., проф. Х.К.Сейфуллаев Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры

ON THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE STRENGTH OF NORMAL
SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ON THE BASIS
OF A NONLINEAR DEFORMATION MODEL

prof. Seifullayev Kh.K. Azerbaijan Scientific-Research Institute of Construction and Architecture

Xülasə: Məqalədə dəmir-beton elementlərin qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablamalarının sadə gərginlikli halda həlləri məlum olan məsələlərə gətirilməsinin metodikasına baxılmışdır. Fiziki qeyri-xətti qoyuluşda olan məsələlərinin həllərinin sadələşdirilməsi düzxətli deformasiya diaqramından və materialların hal diaqramlarının köməyi ilə betonun sıxılan zonasında gərginliklər epürünün qurulmasına keçid mexanizmi təklif olunmaqla aparılmışdır.

Nəticədə dəmir-beton elementlərinin qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablamaların onların möhkəmliyə görə həddi-hala hesablamalarla eyni olduğu və qeyri-xətti deformasiya modelinin tətbiqində heç bir elmi yeniliyin olmadığı isbat edilmişdir.

Açar sözlər: qeyri-xətti deformasiya, müstəvi kəsik, hesablama sxeminin modeli, gərginliklər epürü, beton, armatur.

Аннотация: В работе рассмотрена методика приведения расчета железобетонных элементов на основе модели нелинейных деформации к решению простейших задач напряженного состояния железобетона. Упрощение решения задач в физически нелинейной постановке удается благодаря использованию прямолинейной диаграммы деформации и диаграмм состояния материалов и предложению механизма построения эпюр нормальных напряжений в сжатой зоне бетона.

В результате доказано что, расчет железобетонных элементов при изгибе на основании модели нелинейных деформации и расчет железобетонных элементов по прочности в предельном состоянии совпадают и в применении модели нелинейных деформации нет никакой новизны.

Ключевые слова: нелинейная деформация, плоское сечение, модель расчетной схемы, эпюра напряжений, бетон, арматура.

Summary: The paper considers the method of adjusting the calculation of reinforced concrete elements on the basis of the nonlinear deformation model to the solution of the simplest problems of stressed state of reinforced concrete. Simplification of solving problems in physically nonlinear statement is possible through the use of straight-line strain diagram and material state diagrams and proposals for constructing diagrams of normal stresses mechanism in a compressed zone of concrete.

As a result, it is proved that the calculation of flexural reinforced concrete elements on the basis of the nonlinear deformations model and the calculation of reinforced concrete elements with respect to strength in the limiting state the same and there is no novelty in the applications of the model of nonlinear deformation.

Key words: nonlinear deformation, flat section, calculation model, stress diagram, concrete, reinforcement.

Azərbaycan ərazisində Az.DTN 2.16-1 “Beton və dəmir-beton konstruksiyalar. Layihələndirmə normaları” 24 aprel 2015-ci ildən hüquqi qüvvəyə mindiyindən dəmir-beton konstruksiyalar qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablanıb layihələndirilməlidir. Lakin Rus alimlərindən bir qrupu “Строительная газета”, N19, 9 may 2014-cü ildə “О нестыковке актуализированных норм по железобетону и Еврокодов” [1] məqaləsində Rusiyada hüquqi qüvvədə olan СНиП 52.01-2003 “Бетонные и железобетонные конструкции” normativ sənədin Avropa ölkələrinin eyni adlı normativ sənədləri ilə müqayisədə bir sıra uyğunsuzluqların olduğunu və onun avrokodlara uyğunlaşdırılmasını təklif etmişdirlər.

Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutunda bu məqalə təhlil edilərək, Respublikada hüquqi qüvvədə olan AzDTN 2.16-1-də bir sıra çatışmamazlıqlar və uyğunsuzluqlar meydana çıxarılmış və bunlar [5] məqaləsində verilmişdir. Eyni zamanda Respublikanın milli normativ sənədində olan səhvlər və uyğunsuzluqlar Moskvada БСТ - də (Бюллетень Строительной Техники) [6] öz əksini tapmışdır.

Respublikanın inşaat sektorunda və bu sahədə kadr hazırlılığı ilə məşğul olan təhsil müəssisələrində çalışan mütəxəssislərə AzDTN 2.16-1 normativ sənəddən beton və dəmir-beton konstruksiyaların hesablanmasında istifadəsinə dair aşağıdakılar təqdim olunur.

AzDTN 2.16-1-in **8.1.20** bəndinə görə dəmir-beton elementlərin möhkəmliyə görə hesablamalarında elementin normal kəsiklərində qüvvə, gərginlik və deformasiyalar qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında xarici yüklərin və daxili qüvvələrin müvazinət tənliklərindən və həm də aşağıdakı müddəalarından istifadə olunaraq təyin olunur:

- beton və armaturun nisbi deformasiyalarının elementinin en kəsiyində hündürlük boyu paylanması xətti qanunu üzrə qəbul olunur (müstəvi kəsiklər fərziyyəsi);

Rus alimləri bu fərziyyədən həddi-hallara görə hesablamalarda istifadə olunmadığını bildirdiklərindən, bu da öz növbəsində Avrokodlarla СНиП 52.01-2003 normativ sənədlə uyğunsuzluqlara səbəb olmuşdur.

-ox boyu gərginliklərlə betonun nisbi deformasiyaları arasında əlaqə beton və armaturun hal diaqramları şəklində qəbul olunur;

Aşkar edilmiş uyğunsuzluluqlardan biri də Rusiyanın normativ sənədlərində dəmir-beton elementlərin hesablamalarında beton və armaturun hal diaqramlarında axıcılıq meydançalarının uzunluqları nəzərə alınmadan gərginlikli vəziyyətlər qəbul olunmuşdur

(betonda $\varepsilon_{b\ell,red} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$ və armaturda isə $\varepsilon_{s\ell} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$).

- $\varepsilon_{bi} \geq 0$ olduqda gərginlik $\sigma_{bi} = 0$ qəbul etməklə, betonun dartılan zonasının müqavimətinin nəzərə alınmamasına yol verilir. Bəzi hallarda (məsələn, əyilən və mərkəzdən xaric sıxılan beton konstruksiyalarda çatların əmələ gəlməsinə yol verilmədikdə) möhkəmliyə görə hesablanma dartılan betonun işi nəzərə alınaraq aparılır.

Bənd **8.1.21**. Betonda gərginliklər epüründən ümumiləşmiş daxili qüvvələr (M_x, N_x) sisteminə keçid normal kəsik üzrə gərginliyin ədədi inteqrallama prosedurunun köməyi ilə müəyyən edilir. Bunun üçün normal kəsiklər şərti olaraq aşağıdakı kiçik hissələrə bölünür:

- çəp mərkəzdən xaric sıxılmada (dartılmada) və çəp əyilmədə kəsiyin eni və hündürlüyü boyu;
- elementin en kəsiyinin simmetriya oxu müstəvisində mərkəzdən xaric sıxılmada (dartılmada) və əyilmədə - yalnız kəsiyin hündürlüyü boyu. Kiçik məntəqələr həddlərində gərginliklər bərabər paylanmış qəbul olunur.

8.1.23. Normal kəsiklərin möhkəmliyə görə hesablanmasında ümumi halda (şəkil 1) aşağıdakılar istifadə olunur:

- elementin normal kəsiyində xarici təsir və daxili qüvvələrin müvazinət tənlikləri:

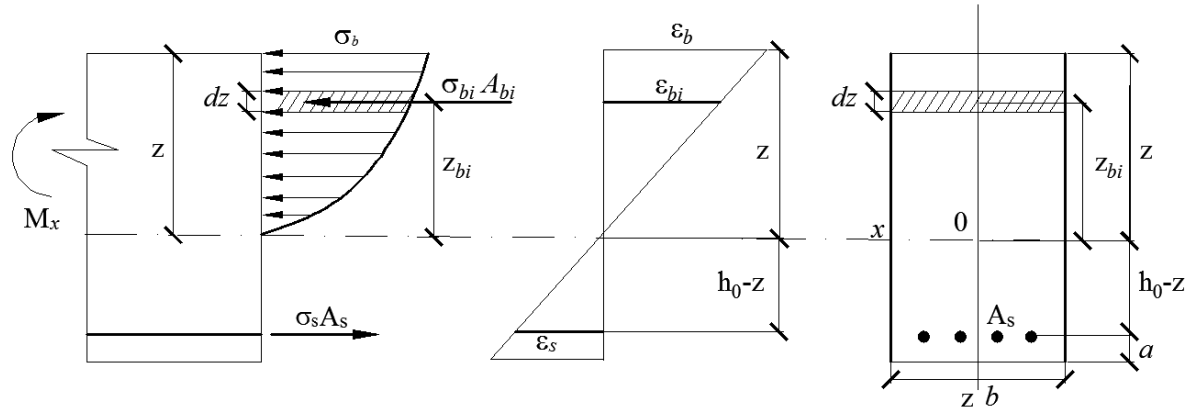
$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} z_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} z_{sj} \quad (1)$$

$$N_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} \quad (2)$$

- elementin kəsiyi üzrə deformasiyanın paylanmasını təyin edən tənliklər:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{1}{r_x} z_{bi} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{sj} = \frac{1}{r_x} z_{sj} \quad (4)$$



Şəkil 1. Dəmir-beton elementinin normal kəsiyinin hesablama sxemi

Beton və armatürün gərginlik və nisbi deformasiyalarını əlaqələndirən asılılıqlar:

$$\sigma_{bi} = E_b \cdot \nu_{bi} \cdot \varepsilon_{bi} \quad (5)$$

$$\sigma_{sj} = E_{sj} \cdot \nu_{sj} \cdot \varepsilon_{sj} \quad (6)$$

Məsələnin həllərində materiallar müqavimətindən məlum olan aşağıdakı asılılıqdan istifadə olunmuşdur:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{z_{bi}}{r_x}; \quad \varepsilon_{sj} = \frac{z_{sj}}{r_x}$$

Yuxarıdakı tənliklərdə işarə olunmuşdur:

$$dz = \frac{h_0}{n}; \quad z_{bi} = z - \frac{2i-1}{2} \cdot \frac{h_0}{n}; \quad z_{sj} = h_0 - z; \quad A_{bi} = \frac{bh_0}{n}.$$

Betonun hal diaqramına əsasən [3]:

$$0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b,red} \text{ olduqda } \sigma_b = \varepsilon_b \cdot E_{b,red}; \quad E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b,red}}$$

$$\text{Onda: } \nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \cdot \varepsilon_{bi}} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b,red} \cdot E_b};$$

$\varepsilon_{b,red} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$ olduqda isə:

$$\nu_{bi} = \frac{R_b}{E_b} \text{ qəbul olunur.}$$

Armatürün hal diaqramına əsasən:

$$0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0} \text{ olduqda } \nu_{sj} = \frac{R_s}{E_s \cdot \varepsilon_{s1}}.$$

Eyni qayda ilə $\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$ hallarda $\nu_{sj} = \frac{R_s}{E_s}$ qəbul olunur.

8.1.28. Dəmir-beton elementlərin en kəsiyinin simmetriya müstəvisində əyilməsi halı üçün müvazinət tənlikləri aşağıdakı kimi alınır:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} \quad (7)$$

$$N_x = D_{13} \frac{1}{r_x} = 0 \quad (8)$$

Burada D_{11} və D_{13} sərtlik xarakteristikaları olub aşağıdakı kimi hesablanırlar:

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} z_{bi}^2 E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} z_{sj}^2 E_{sj} \nu_{sj} \quad (9)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} z_{bi} E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} z_{sj} E_{sj} \nu_{sj} \quad (10)$$

Yuxarıda qəbul olunmuş işarələmələr nəzərə alınaraq, (8) düsturundan əyilən elementlərin sıxılan beton zonasının hündürlüyü təyin olunur:

$$D_{13} = \sum_{i=1}^{10} \frac{bh_0}{n} \left(z - \frac{2i-1}{2n} h_0 \right) R_b - (h_0 - z) A_s R_s \cdot \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} = 0$$

Burada n - en kəsiyin kiçik hissələrə bölünmüş sahələrin sayıdır ($n = 20$ qəbul olunmuşdur). Onda:

$$\sum_{i=1}^{10} \frac{bh_0}{20} \left(z - \frac{2i-1}{40} h_0 \right) = \frac{bh_0}{2} (z - 0,25h_0) \text{ alınır.}$$

Beləliklə:

$$D_{13} = \frac{R_b bh_0}{2} (z - 0,25h_0) - R_s A_s \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} (h_0 - z) = 0;$$

$$z \left(1 + \frac{2R_s A_s}{R_b bh_0} \cdot \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} \right) = 0,25h_0 + \frac{2R_s A_s}{R_b bh_0} \cdot \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} h_0$$

Sıxılan beton zonanın nisbi hündürlüyü aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\xi = \frac{z}{h_0} = \frac{0,25 \left(1 + \frac{2R_s A_s}{R_b bh_0} \cdot \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} \right)}{1 + \frac{2R_s A_s}{R_b bh_0} \cdot \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}}} \quad (11)$$

Burada $\mu = \frac{A_s}{bh_0}$ - armaturlama əmsalı kimi işarə olunur.

Təklif olunmuş qeyri-xətti deformasiya modeli ilə məsələlər həll olunduqda, dartılan armaturun sahəsi A_s məlum olmadığından, ilkin hesablamalarda əyilən elementlər üçün tövsiyə olunan armaturlama əmsalının qiymətlərindən, yəni $\mu = \frac{A_s}{bh_0} = (0,01 \div 0,025)$ qəbul olunaraq, sıxılan beton zonanın nisbi hündürlüyü hesablanır.

Baxılan misallarda beton B25 və armatur A400 qəbul olunmuşdur ($R_b = 14,5 \text{ MPa}$, $R_s = 350 \text{ MPa}$).

$\mu = 0,02$ olduqda $\xi = 0,5896$;

$\mu = 0,015$ olduqda $\xi = 0,537$;

$\mu = 0,01$ olduqda isə $\xi = 0,469$.

Hesablamalarda bu qiymətlərin orta qiymətindən $\xi = 0,531$ istifadə olunacaqdır.

Əyici moment M_x -i hesablamaq üçün D_{11} xarakteristikasını təyin etmək lazımdır:

$$D_{11} = \frac{R_b bh_0}{n} \sum_{i=1}^{10} \left(z - \frac{2i-1}{2n} h_0 \right)^2 + \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} A_s R_s \cdot (h_0 - z)^2$$

Cəmləmə əməliyyatından sonra D_{11} aşağıdakı kimi alınır:

$$D_{11} = \frac{R_b bh_0^3}{2\varepsilon_{b,red}} \left[(\xi^2 - 0,5\xi + 0,0825) + \frac{2A_s R_s}{\varepsilon_{s1}} \varepsilon_{b,red} (1 - \xi)^2 \right] \quad (12)$$

AzDTN 2.16-1-in (8.48) düsturuna əsasən :

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x}$$

Materiallar müqavimətindən məlum olan düstura əsasən

$$\frac{1}{r_x} = \frac{\varepsilon_{b,max}}{z}, \text{ onda } M_x = D_{11} \frac{\varepsilon_{b,max}}{z} \text{ təyin olunur.}$$

Beləliklə, sıxılan beton zonasının ən çox sıxılan liflərində yaranan nisbi deformasiya $\varepsilon_{b,max}$ aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\varepsilon_{b,max} = \frac{M_x z}{D_{11}}$$

Buradan çox asanlıqla D_{11} -in (12) ifadəsini və

$d_{11} = \xi^2 - 0,5\xi + 0,085 + \frac{2R_s}{R_b} \mu \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{s1}} (1 - \xi)^2$ olduğunu nəzərə alaraq $\varepsilon_{b,max}$ təyin olunur:

$$\varepsilon_{b,max} = \frac{2M_x \cdot \xi \cdot \varepsilon_{b,red}}{R_b b h_0^2 \cdot d_{11}} \quad (13)$$

$\xi = 0,531$ qəbul olunduğundan

$d_{11} = 0,2819 - 0,2655 + 0,0825 + 0,827 \cdot 0,9655 \cdot (1 - 0,531)^2 = 0,273$ qiymətini alır.

$$\varepsilon_{b,max} = 0,001593 \cdot \frac{M_x}{0,273 R_b b h_0^2} = 0,005835 \frac{M_x}{R_b b h_0^2} \quad (14)$$

Kəsiyin ölçüləri $b \times h_0 = 30 \times 71$ qəbul olunur. Onda:

$$R_b b h_0^2 = 14,5(100)30 \cdot 71^2 = 2192,8 \cdot 10^5 N \cdot sm.$$

Əyici momentin qiymətini verməklə, betonun sıxılan zonasının ən çox sıxılan liflərində nisbi deformasiya tapılır. Baxılan misalda $M_x = 800 KN \cdot m$ qəbul etməklə

$$\varepsilon_{b,max} = 0,005835 \frac{800 \cdot 10^5}{2192,8 \cdot 10^5} = 0,00213 < \varepsilon_{b2} = 0,0035$$

8.1.24. Dəmir-beton elementlərin normal kəsiklər üzrə möhkəmliyə hesablanması aşağıdakı şərtlər daxilində aparılır:

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b2} \quad (15)$$

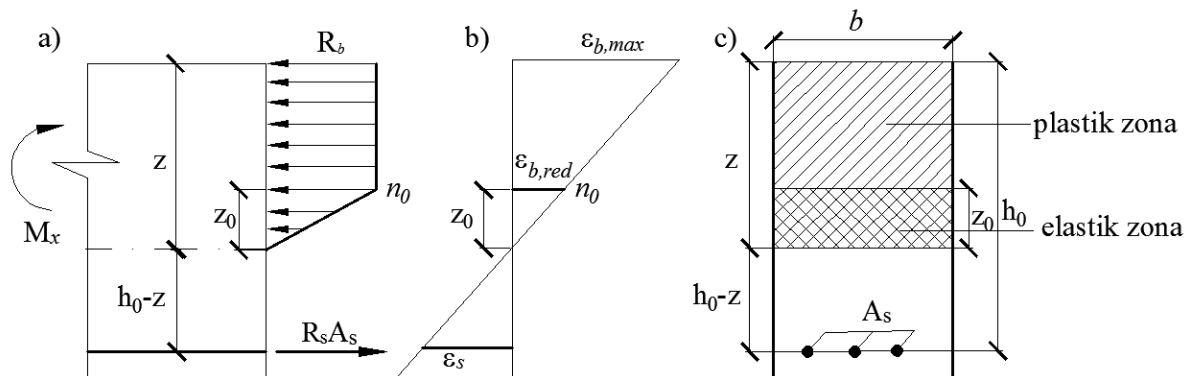
$$\varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s1} \quad (16)$$

Baxılan kəsik üçün əyici moment $580 KN \cdot m \leq M_x \leq 1355 KN \cdot m$ arasında dəyişdikdə deformasiya $\varepsilon_{b,red} \leq \varepsilon_{b,max} < \varepsilon_{b2}$ oblastında dəyişir və bu da hal diaqramının AB xətti üzrə deformasiyaların yaranması deməkdir. $\varepsilon_{b,max} < \varepsilon_{b,red}$ olduqda deformasiyalar yüksələn OA xətti üzrə əyici momentə mütənəsb olur.

Betonun hal diaqramından istifadə edərək, betonun sıxılan zonasında gərginlik epürünə keçid aşağıdakı kimi həyata keçirilir.

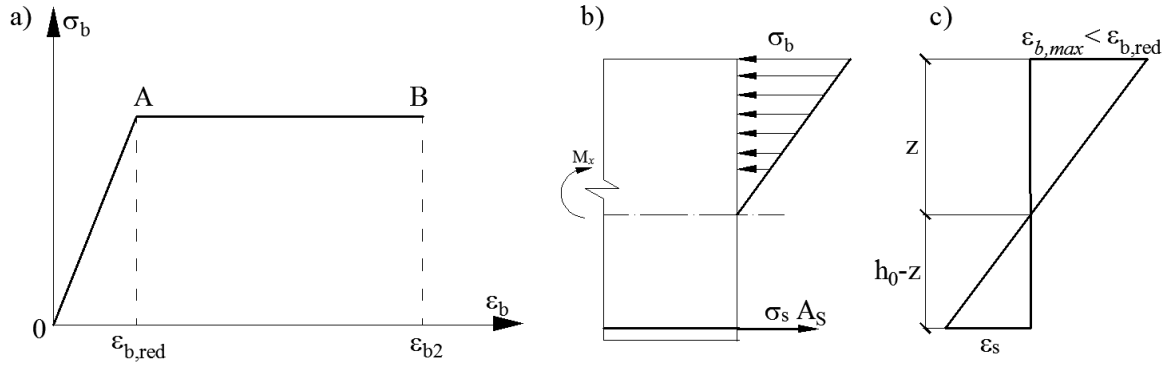
Düzxətli deformasiya diaqramında $\varepsilon_{b,red} = 0,0015$ qiymətinə müvafiq n_0 nöqtəsi tapılır:

$$z_0 = n_0 z; \quad n_0 = \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{b,max}}$$



Şəkil 2. Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablama sxemi

Betonun sıxılmada hal diaqramı əsasında elementin düzxətli deformasiya diaqramından sıxılan zonada gərginlik epürünün qurulma mexanizminə keçid aşağıdakı kimi əsaslandırılır.



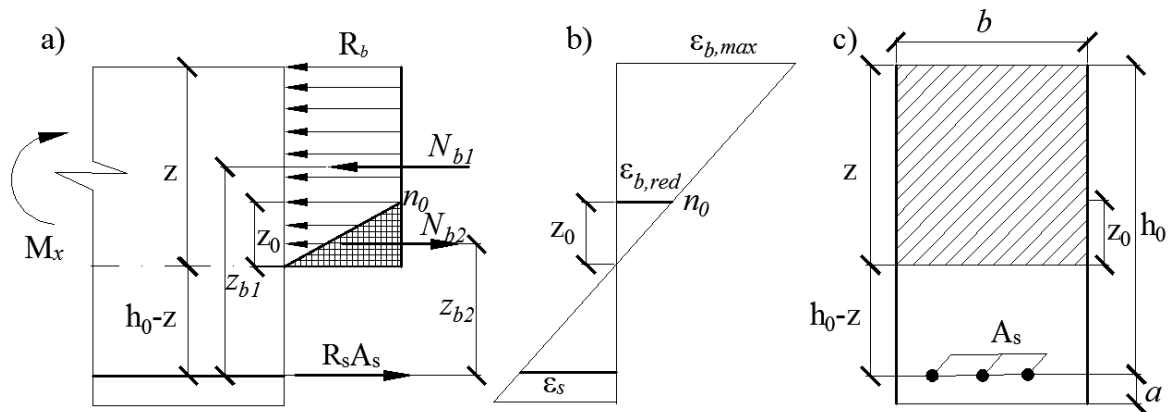
Şəkil 3. Betonun sıxılmada hal diaqramı və $\varepsilon_{b,max} < \varepsilon_{b,red}$ olduqda hesablama sxemi

Deformasiya diaqramında şəkil 2,b-də $\varepsilon_{b,red}$ qiymətinə uyğun gələn və neytral oxun z_0 məsafəsində olan n_0 nöqtəsi tapılır. Məsələnin şərtinə görə $0 \leq \varepsilon_{b,max} \leq \varepsilon_{b,red}$ oblastında, yəni n_0 nöqtəsindən aşağı liflərdə gərginlik düzxətli OA xətti üzrə (şəkil 3,a), yəni $\sigma_b = \varepsilon_b \cdot E_{b,red}$ qanunu ilə, $\varepsilon_{b,max} > \varepsilon_{b,red}$ olan liflərdə, yəni deformasiya diaqramında (şəkil 2,b) n_0 nöqtəsindən yuxarı hissədə AB xətti üzrə (şəkil 3,a) $\sigma_b = R_b$ olmalıdır. Onda gərginlik epürü şəkil 2,a -da göstərilən kimi olacaqdır.

Məsələnin həllərində əsas məqsəd dəmir-beton elementlərin ən çox sıxılan liflərində yaranan $\varepsilon_{b,max}$ -a görə düzxətli deformasiya diaqramından və materialın hal diaqramından istifadə edərək betonun sıxılan zonasında gərginliklər epürünə keçid etmək mexanizminin işlənilməsidir.

Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında əyilən elementlərin en kəsiklərinin ən çox sıxılan liflərində $\varepsilon_{b,max}$ təyin olunduqdan sonra möhkəmliyə görə hesablamalar şəkil 2, a halın öyrənilməsinə gətirilir. Şəkil 2, a sxemində göstərilən betonun sıxılan zonasında gərginlik epürü betonun hal diaqramına oxşardır ki, bu da məsələnin həllinin doğru olduğunu göstərən amillərdəndir.

Əyilən elementlərin sıxılan zonasında gərginlik epürünün forması aydın edildikdən sonra qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında en kəsiklərin möhkəmliyə görə hesablama şərtləri tərtib olunur və tələb olunan armaturların təyin olunma metodikası aşağıdakı kimi təklif olunur:



Şəkil 4. Qeyri-xətti deformasiya modeli ilə düzbucaqlı kəsiklərin hesablama sxemi

Sıxılan zonada gərginlik epürü düzbucaqlıya tamamlanır və kiçik üçbucaqla (ikiqat ştrixlənmiş) çıxılır (şəkil 4,a). Onda aşağıdakı işarələmələr qəbul olunaraq, dartılan armaturların ağırlıq mərkəzinə moment tənliyi yazılır və möhkəmlik şərti tərtib olunur:

$$N_{b1} = R_b b z; \quad N_{b2} = \frac{1}{2} R_b b z_0 = \frac{1}{2} R_b b n_0 z;$$

$$z_{b1} = h_0 - 0,5z; \quad z_{b2} = h_0 - z + \frac{1}{3}z_0 = h_0 - z \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right); \quad n_0 = \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{b,max}}$$

Müvazinətin moment tənliyi:

$$M_x \leq N_{b1}z_{b1} - N_{b2}z_{b2};$$

Müvazinətin proyeksiya tənliyi:

$$R_s A_s = N_{b1} - N_{b2}$$

Yuxarıdakı işarələmələr nəzərə alınaraq, aşağıdakı şərtlər yazılır:

$$M_x \leq R_b b z (h_0 - 0,5z) - \frac{1}{2} R_b b n_0 z \left[h_0 - z \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right) \right]$$

$\xi = \frac{z}{h_0}$ qəbul etsək, onda:

$$M_x \leq R_b b h_0^2 \left\{ \xi(1 - 0,5\xi) - 0,5n_0\xi \left[1 - \xi \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right) \right] \right\} \quad (17)$$

$$A_0 = \xi - 0,5\xi^2 - 0,5n_0\xi \left[1 - \xi \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right) \right] \quad (18)$$

$$M_x = R_b b h_0^2 A_0 \quad \text{və} \quad A_0 = \frac{M_x}{R_b b h_0^2}$$

Sıxılan zonanın nisbi hündürlüyünün təyini aşağıdakı kvadrat tənliyin həllinə gətirilir:

$$-0,5 \left[1 - n_0 \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right) \right] \xi^2 + (1 - 0,5n_0)\xi - A_0 = 0$$

Buradan alınır:

$$\xi^2 - a_1\xi + b_1 = 0 \quad (19)$$

Burada işarə olunmuşdur:

$$a_1 = \frac{2(1 - 0,5n_0)}{1 - n_0 \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right)}; \quad b_1 = \frac{2A_0}{1 - n_0 \left(1 - \frac{1}{3}n_0\right)}$$

Kvadrat tənliyin həllindən sıxılan zonanın nisbi hündürlüyü təyin olunur:

$$\xi = \frac{a_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{a_1}{2}\right)^2 - b_1} \quad (20)$$

Əgər kvadrat tənliyin kökü $\xi > \xi_R$ və yaxud real qiyməti təyin olunmazsa, onda $\xi = \xi_R$ qəbul olunmalıdır, bu o deməkdir ki, kəsik ikiqat armaturlanmalıdır.

Müvazinətin proyeksiya tənliyindən tələb olunan armatur sahəsi təyin olunur:

$$R_b b h_0 \xi - \frac{1}{2} R_b b h_0 n_0 \xi = R_s A_s$$

Buradan:

$$A_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \left(1 - \frac{1}{2}n_0\right) \xi \quad (21)$$

Birqat armaturlanmada baxılan məsələnin həllərində bir sıra maraqlı hallara rast gəlmək olar. Bunlar aşağıdakılardır:

1) Betonun sıxılan zonasının ön kənar liflərində nisbi deformasiya $\varepsilon_{b,max}$ həddi qiymətə çatmışdır, yəni $\varepsilon_{b,max} = \varepsilon_{b2} = 0,0035$. Onda:

$$n_0 = \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{b,max}} = \frac{0,0015}{0,0035} = 0,4286.$$

Bu o deməkdir ki, dəmir-beton elementlər həddi-haldadır və sıxılan zonada gərginlik epürü betonun hal diaqramı formasındadır, üçbucaq+düzbucaqlı. Həddi-halda kvadrat tənliyi əmsalları hesablanır:

$$a_1 = \frac{2(1 - 0,5 \cdot 0,4286)}{1 - 0,4286 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot 0,4286\right)} = \frac{1,574}{0,6326} = 2,484;$$

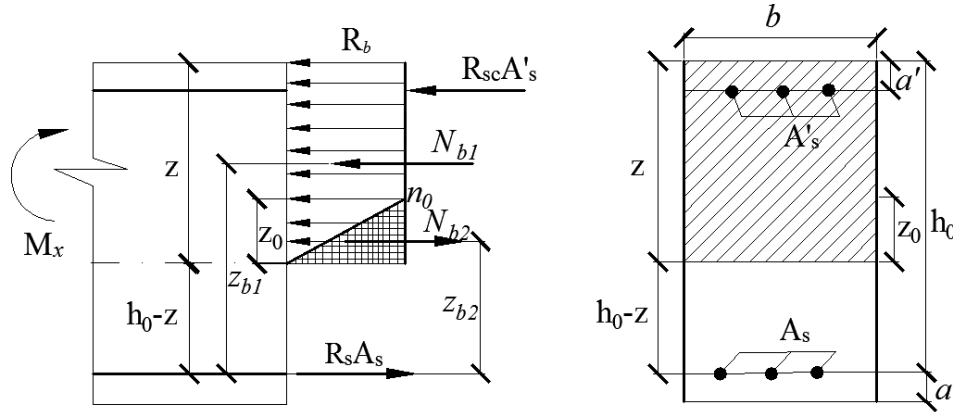
$$b_1 = \frac{2A_0}{1 - 0,4286 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot 0,4286\right)} = 3,1616A_0.$$

En kəsiyin baxılan ölçüləri üçün

$$A_0 = \frac{\max M_x}{R_b b h_0^2} = \frac{1355}{2192,8} = 0,618;$$

Kvadrat tənliyin $A_0 = 0,618$ qiymətinə müvafiq həqiqi qiyməti $\xi = 1,242 - \sqrt{1,5426 - 3,1616 \cdot 0,618} = 1,242 - \sqrt{1,5426 - 1,953}$ təyin olunmadığından, hesablamalarda $\xi = \xi_R$ qəbul edib, kəsiyi ikiqat armaturlamaq lazımdır və bu hal aşağıdakı kimi həll olunur.

İkiqat armaturlanmış düzbucaqlı kəsiklər aşağıdakı kimi hesablanırlar:



Şəkil 5. İkiqat armaturlamada hesablama sxemi

İkiqat armaturlamada $\xi = \xi_R$ qəbul olunmaqla möhkəmlik şərti aşağıdakı kimi yazılır:

$$M_x \leq R_b b h_0^2 \left\{ \xi_R (1 - 0,5 \xi_R) - 0,5 n_0 \xi_R \left[1 - \xi_R \left(1 - \frac{1}{3} n_0 \right) \right] \right\} + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (22)$$

Burada :

$$A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R) - 0,5 n_0 \xi_R \left[1 - \xi_R \left(1 - \frac{1}{3} n_0 \right) \right] \quad (23)$$

İkinci müvazinət tənliyi:

$$R_s A_s = R_b b h_0 \left(\xi_R - \frac{1}{2} n_0 \xi_R \right) + R_{sc} A'_s \quad (24)$$

Birinci (22) tənliyindən A'_s təyin olunur:

$$M_x \leq R_b b h_0^2 A_R + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

$$A'_s = \frac{M_x - R_b b h_0^2 A_R}{R_{sc} (h_0 - a')} \quad (25)$$

$$A_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} \xi_R \left(1 - \frac{1}{2} n_0 \right) + A'_s \frac{R_{sc}}{R_s} \quad (26)$$

Betonun sıxılan zonasının nisbi hündürlüyü aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\xi_R = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{b2}}} \quad (27)$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{350}{2 \cdot 10^5} = 0,00175; \quad \varepsilon_{b2} = 0,0035; \quad \xi_R = \frac{1}{1+0,5} = 0,667.$$

$\xi_R = 0,667$ -yə uyğun A_R (23) düsturu ilə hesablanır:

$$\begin{aligned} A_R &= 0,667 (1 - 0,5 \cdot 0,667) - 0,5 \cdot 0,4286 \cdot 0,667 \left[1 - 0,667 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot 0,4286 \right) \right] = \\ &= 0,445 - 0,143 (1 - 0,667 \cdot 0,857) = 0,445 - 0,143 \cdot 0,428 = 0,384 \end{aligned}$$

$A_R = 0,384$ olmaqla kvadrat tənliyin sərbəst həddi $b_1 = 3,1616A_R = 1,213$ olduqda sıxılan zonanın nisbi hündürlüyü $\xi = 1,242 - \sqrt{1,5426 - 1,213} = 0,667$ olduğu isbat olunur və $M_x \leq A_R R_b b h_0^2 \leq 763,1 \text{ KN} \cdot \text{m}$.

Tələb olunan armaturlar hesablanır:

$$A_s = \frac{14,5 \cdot 30 \cdot 71}{350} \cdot 0,667(1 - 0,2143) = 42,12 \text{ sm}^2.$$

2) $n_0 = 1$ olduqda dəmir-beton elastik həddi daxilində olur və betonda gərginlik epürü üçbucaqlı olacaqdır. Məsələn klassik buraxılabilən gərginliklər üsulu ilə həll olunur (şəkil 3,b).

Sıxılan zonanın nisbi hündürlüyünü kvadrat tənliyi həll etməklə təyin olunur. Bu halda $a_1 = 3$ və $b_1 = 6A_0$ alınır:

$$\xi^2 - 3\xi + 6A_0 = 0$$

Bu tənliyin kökü $\xi \leq \xi_R$ olmaq üçün $A_0 \leq 0,2593$ olmalıdır.

$$M_x \leq A_R R_b b h_0^2$$

A_R (23) düsturu ilə $n_0 = 1$ olduqda hesablanır:

$$A_R = 0,667(1 - 0,5 \cdot 0,667) - 0,5 \cdot 0,667 \left[1 - 0,667 \cdot \frac{2}{3} \right] = 0,445 - 0,185 = 0,26;$$

$$M_x \leq 0,26 \cdot 2192,8 \cdot 10^5 = 570 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Bu qiymətə müvafiq tələb olunan armatur sahəsi $\xi = \xi_R$ qəbul olunmaqla (21) düsturu ilə təyin olunur:

$$A_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} (1 - 0,5) \xi_R = \frac{14,5 \cdot 30 \cdot 71}{350} \cdot 0,5 \cdot 0,667 = 29,4 \text{ sm}^2.$$

3) $n_0 = 0,2$ olduqda, sıxılan zonanın betonunda gərginlik epürü düzbucaqlı və hündürlüyü $0,8z$ qəbul olunmalıdır. Bu çoxlu normativ sənədlərdə qəbul olunan geniş yayılmış haldır.

$n_0 = 0,2$ olduqda kvadrat tənliyi əmsalları $a_1 = 1,928$ və $b_1 = 2,192A_0$ alınır:

$$\xi^2 - 1,928 \xi + 2,192A_0 = 0$$

$A_0 \leq 0,384$ olduqda birqat armaturlanma tələb olunur:

$$M_x \leq A_0 R_b b h_0^2 \leq 0,384 \cdot 2192,8 \cdot 10^5 = 840 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$\xi = \xi_R$ qəbul etməklə, tələb olunan armatur sahəsi təyin olunur:

$$A_s = \frac{R_b b h_0}{R_s} (1 - 0,5n_0) \xi_R = \frac{14,5 \cdot 30 \cdot 71}{350} \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,667 = 52,9 \text{ sm}^2.$$

Beləliklə, qeyri-xətti deformasiya modeli ilə dəmir-beton əyilən elementlərin hesablanması aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:

1) sıxılan zonanın hündürlüyünün başlanğıc halda qiyməti (11) düsturu ilə təyin olunur;

2) əyilən elementlərin sərtlik xarakteristikası (12) düsturu ilə hesablanır;

3) betonun sıxılan zonasının ən çox sıxılan liflərində yaranan nisbi deformasiya $\varepsilon_{b,max}$ (13) düsturu vasitəsilə təyin olunur;

4) sıxılan zonada betonun plastiklik əmsalı $n_0 = \frac{\varepsilon_{b,red}}{\varepsilon_{b,max}}$ hesablanaraq kvadrat tənliyin əmsalları a_1 və b_1 təyin olunaraq, kvadrat tənliyini həll etməklə sıxılan zonanın hündürlüyü ξ tapılır. Əgər hesablamalarda $\xi \leq \xi_R$ olarsa, kəsik birqat və $\xi > \xi_R$ olduqda kəsik ikiqat armaturlanmalıdır;

5) kəsik birqat armaturlanırsa, armaturun sahəsi (21) düsturu ilə və ikiqat armaturlanmada (25) və (26) düsturları ilə təyin olunur.

Beləliklə, hesablamalarda istifadə olunan deformasiya xarakteristikaları $\varepsilon_{b,red}$, ε_{b2} betonun hal diaqramından, armatur xarakteristikaları isə ε_{s1} və ε_{s2} armaturun hal diaqramından istifadə olunaraq qüvvədə olan normativ sənədlər əsasında seçilir.

Məsələnin həllinin üçüncü halı, yəni $n_0 = 0,2$ olduqda dünyanın və Avropanın inkişaf etmiş ölkələrinin tikinti normalarında dəmir-beton konstruksiyaların möhkəmliyə görə həddi-hallara hesablama nəzəriyyəsinin əsasını təşkil edir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, Azərbaycan

ərazisində qüvvədə olan AzDTN 2.16-1-in avrokodlarla müqayisəsi əsasında tapılan uyğunsuzluqların aradan qaldırılması [5,6] məqalələrində baxılmışdır.

Dəmir-betonu təşkil edən beton və armaturun qeyri-xətti deformasiyalarının analitik ifadələrindən istifadə edərək məsələnin qeyri-xətti həllərinin çoxsaylı iterasiya nəticəsində xüsusi proqramlar vasitəsilə əldə edilənlər də vardır [9]. Lakin bu həllər [1] məqaləsində müzakirə olunaraq iterasiya proseslərinin yığılması, dayanıqlılığı və həddi-halda məsələnin alınma bilməməsi kimi problemlərin təhlili bu proqramların tətbiqinin uğursuzluğu ilə nəticələnir.

Bu məqalədə qüvvədə olan normativ sənədlərlə təklif olunan qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablamalar çox sadədir və texniki ədəbiyyatlarda məlum olan ənənəvi qaydalarla eynidir.

Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında dəmir-beton konstruksiyaların AzDTN 2.16-1 ilə hesablanması təhlilinin aparılması aşağıdakı nəticələrin alınmasına gətirmişdir.

Nəticələr

1. İşdə qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında beton və armaturun hal diaqramlarından və müstəvi kəsiklər fərziyyəsinə istifadə olunaraq, hesablamaların indiyə qədər həlləri məlum olan sadə ardıcılığı müəyyən edilmişdir. Burada elmi yenilik kimi müstəvi kəsiklər fərziyyəsi ilə düzxətli deformasiya diaqramından və materialların hal diaqramlarından betonun sıxılan zonasında gərginlik epürünün qurulmasına keçid yolu təklif olunmuşdur;
2. Qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında dəmir-beton elementlərin hesablanması üçün qurulan çoxsaylı iterasiya prosesinin proqramlarının müəllifləri məsələnin həllərindən betonun sıxılan zonasında gərginliklər epürünə keçid mexanizmini nəzərdən qaçırtmışlar;
3. Qeyri-xətti deformasiya modelini tətbiq etməklə dəmir-beton konstruksiyaların hesablanmasında heç bir yenilik yoxdur və onun tətbiqi AzDTN 2.16-1 normativ sənəddə baxılan həddi-hallara görə möhkəmiyyətə hesablanma üsulunun sadəcə təkrarıdır;
4. İşdə dəmir-beton elementlərin qeyri-xətti deformasiya modeli əsasında hesablama üsulu dəmir-beton elementlərin ənənəvi qaydalarla hesablanmasına gətirilmişdir, fərq ondan ibarətdir ki, məsələnin həllərində çoxiterasiyalı proseslərdən azad olunaraq yükləmənin səviyyəsinə müvafiq olan gərginlikli halda sıxılan betonda yaranan gərginliklər epüründən istifadə olunur.

İstifadə olunmuş ədəbiyyatlar:

1. Строительная газета. Нестыковка актуализированного норматива по железобетону и Еврокода - препятствие в строительстве, №19, 9 мая, 2014.
2. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения, М, 2012.
3. AzDTN 2.16-1 Beton və dəmir-beton konstruksiyalar. Layihələndirmə normaları, Bakı, 2015, 131 s.
4. Regles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en beton arme (BAEL-83), Paris, 1983.
5. Seyfullayev X.Q., Dəmir-beton elementlərin möhkəmiyyətə görə həddi-hallara hesablamalarında həddi-halların seçilməsi haqqında, Azərbaycanca İnşaat və Memarlıq. №2, Bakı 2017, səh. 2-14
6. Сейфуллаев Х.К., Гараев А.Н., О нестыковке национальных нормативов по железобетону и Еврокодов, БСТ, №9, 2017, стр. 40-45.
7. СНиП II-В.1-62 Бетонные и железобетонные конструкции.
8. НИТУ 123-55 Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций, М, 1954.
9. Гаджиев М. А. Прочность и устойчивость железобетонных стержневых элементов с применением нелинейных диаграмм деформирования материалов при кратковременном и длительном нагружениях : Автореферат докторской диссертации , Баку, 2007.

УДК 624.072

НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНО НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

д.т.н., проф. Гаджиев М.А. Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства
Алаева С.М. Алтайский Государственный Технический Университет им. И.И.Ползунова

BETONUN QEYRİ-XƏTTİ İRSİ SÜRÜNGƏNLİYİNİ NƏZƏRƏ ALMAQLA SIXILAN DƏMİRBETON ELEMENTLƏRİN GƏRGİNLİKLİ DEFORMASIYA HALI VƏ YÜKGÖTÜRMƏ QABİLİYYƏTİ

t.e.d., prof. Hacıyev M.Ə. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
baş müəllim S.M. Alayeva İ.I.Polzunov adına Altay Dövlət Texniki Universiteti

STRESS-STRAIN STATE AND THE LOAD-BEARING CAPACITY OF COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT THE NONLINEARLY HEREDITARY CREEP OF CONCRETE

doctor of technical sciences Hacıyev M.A. Azerbaijan University of Architecture and Construction
chief teacher Alayeva S.M. Altai State Technical University named after I.I.Polzunov

Аннотация. В статье с учетом нелинейно наследственной ползучести бетона, которое учитывает нелинейности упруго мгновенных деформаций и увеличение модуля упругости и прочности исследовано внецентренное сжатие железобетонной колонны. Уравнение ползучести бетона принималось в виде
$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2} \right] \cdot \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau$$

Построен дискретный аналог этого интегрального уравнения и в тестовых примерах решения задач релаксации показано, что предложенный дискретный аналог имеет высокую точность решения. В тестовых задачах изучено влияние различных факторов на релаксационные процессы и установлено, что наиболее сильное влияние на релаксацию имеет нелинейность упруго мгновенных деформаций. Методика определения начальных условий имеет самостоятельное значение и позволяет исследовать напряженно деформированное состояние и несущую способность внецентренно сжатых колонн при кратковременном статическом нагружении. При длительном нагружении исследование напряженно деформированного состояния сведено к решению нелинейной системы алгебраических уравнений и предложен алгоритм численного решения этой системы с наперед заданной точностью. Разработанный алгоритм легко программируется и составлена программа, реализующая предложенный алгоритм расчета и с ее применением рассмотрены различные численные примеры.

Ключевые слова: стареющий бетон, арматура, ползучесть, нелинейность, нелинейность упруго мгновенных деформаций, мера ползучести.

Xülasə: Məqalədə betonun ani elastiki deformasiyalarının qeyri-xəttiliyini, elastiklik modulunun və möhkəmliyin zamana görə artmasını nəzərə alan qeyri-xətti irsi sürüngenlik tənliyinin tətbiqi ilə mərkəzdən xaric sıxılan dəmirbeton sütunlar tədqiq olunmuşdur. Betonun qeyri-xətti irsi sürüngenlik tənliyi
$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2} \right] \cdot \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau$$
 kimi qəbul olunmuşdur.

Bu tənliyin diskret analoqu qurulmuş və relaksasiya məsələlərinin həllində təklif olunmuş diskret analoqun yüksək dəqiqliyə malik olması göstərilmişdir. Relaksasiya məsələlərinin həllində göstərilmişdir ki, relaksasiyanın nəticələrinə təsir edən faktorlardan ən başlıcası betonun ani deformasiyasının qeyri-xəttiliyidir. Başlanğıc şərtlərin təyininin ayrıca üstünlükləri vardır, çünki bu metodika qısa müddətli statik yükləmələrdə mərkəzdən xaric sıxılan sütunların yükötürmə qabiliyyətini və gərginlikli deformasiya halını araşdırmağa imkan verir. Uzunmüddətli yükləmələrdə mərkəzdən xaric sıxılan dəmirbeton sütunların gərginlikli deformasiya halının tədqiqi daxil edilmiş hesabi zaman anları üçün qeyri-xətti tənliklər sisteminin həllinə gətirilmişdir və bu sistemin həlli üçün istənilən dəqiqliklə məsələni həll etməyə imkan verən alqoritm təklif olunmuşdur. Təklif olunan həll alqoritmı asanlıqla proqramlaşdırıla bilər və belə bir proqram modulu qurulmuş və onun tətbiqi ilə müxtəlif ədədi misallar həll olunmuşdur.

Açar sözlər: köhnələn beton, armatur, sürüngenlik, qeyri-xətti, ani deformasiyaların qeyri-xəttiliyi, sürüngenlik həddləri.

Summary: In the article, with account of nonlinearly hereditary creep of concrete, which takes into account the nonlinearities of the elastically instantaneous deformations and the increase in the modulus of elasticity and strength, has studied an eccentric compression of the reinforced concrete column.

The equation of a concrete creep was taken in the form

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \cdot \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau. \quad \text{A discrete analogue of this}$$

integral equation is built and in the test examples of relaxation problem solutions it is shown that the proposed discrete analog has a high accuracy of solution. In the test problems, the influence of various factors on relaxation processes was studied and it was identified that the nonlinearity of elastically instantaneous deformations has the strongest effect on relaxation. The method of defining the initial conditions has an independent value and it allows to study the stress-strain state and the load-bearing capacity of eccentrically compressed columns under short-term static loadings. With a long term loading, the study of the stress-strain state reduces to solving a nonlinear system of algebraic equations and proposes an algorithm for the numerical solution of this system with in advance given accuracy.

The developed algorithm is easily programmed and the program implements the proposed calculation algorithm, which is applicable to review various numerical examples.

Key words: aging concrete, reinforcement, creep, nonlinearity, nonlinearity of elastically instantaneous deformations, creep measure

1. Дискретный аналог нелинейно наследственного интегрального уравнения ползучести стареющего бетона.

В общем случае уравнение нелинейной ползучести бетона, учитывающее нелинейность упруго мгновенных деформаций, предложенное В.М.Бондаренко [1,2] записывается в виде

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

Как показано в [3] уравнение (1) может быть представлено в следующей дискретной форме, требующей многошаговый метод решения

$$\varepsilon_{bn} = \frac{\sigma_{bn}}{E_{bn}} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{bn}}{R_{bn}} \right)^{m_1} \right] - \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{6} \cdot \sigma_{bn} \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{bn}}{R_{bn}} \right)^{m_2} \right] \cdot (2K_{n,n} + K_{n,n-1}) - G_n \quad (2)$$

Здесь,

$$\begin{aligned} G_n = & \sum_{j=1}^{j=n-1} \frac{\tau_j - \tau_{j-1}}{6} \cdot \left\{ \sigma_{bj} \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{bj}}{R_{bj}} \right)^{m_2} \right] \cdot (2K_{n,j} + K_{n,j-1}) + \right. \\ & \left. + \sigma_{b,j-1} \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{b,j-1}}{R_{b,j-1}} \right)^{m_2} \right] \cdot (2K_{n,j-1} + K_{n,j}) \right\} + \\ & + \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{6} \cdot \sigma_{b,n-1} \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{b,n-1}}{R_{b,n-1}} \right)^{m_2} \right] \cdot (2K_{n,n-1} + K_{n,n}) \end{aligned} \quad (3)$$

коэффициент, учитывающий влияние предыдущих расчетных моментов времени. В начальный момент времени при $t = t_0$ из нелинейного уравнения с одним неизвестным

$$\varepsilon_{b0} = \frac{\sigma_{b0}}{E_{b0}} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{b0}}{R_{b0}} \right)^{m_1} \right] \quad (4)$$

определяется начальное значение релаксирующего напряжения σ_{b0} , далее при известном значении начального напряжения вычисляются напряжения в последующие расчетные моменты времени. Проверим точность дискретной методики расчета решением тестовых примеров по релаксации напряжений.

Пример. Выполним расчеты при следующих исходных данных [5,6,7]: $\eta_1 = 1,3$; $\eta_1 = 1,6$; $m_1 = 4,3$; $m_2 = 4,3$; $\gamma = 0,014 \text{ сутка}^{-1}$; $C_0 = 0,000089172(\text{МПа})^{-1}$; $\beta_E = 0,85$; $\alpha_E = 0,072 \text{ сутка}^{-1}$; $\alpha_R = 0,076 \text{ сутка}^{-1}$; $\beta_R = 0,73$; $A_1 = 0,000130329(\text{МПа})^{-1}$; $t_0 = 28 \text{ сутка}$; $\Delta t = 1 \text{ сутка}$; $\sigma_{b0} = 15,5223 \text{ МПа}$; $E_{b0} = 32500 \text{ МПа}$; $R_{b0} = 17 \text{ МПа}$; $E_b(\tau) = E_{b0} \cdot (1 - \beta_E \cdot \exp(-\alpha_E \cdot \tau))$; $R_b(\tau) = R_{b0} \cdot (1 - \beta_R \cdot \exp(-\alpha_R \cdot \tau))$.

Чтобы оценить точность численного решения задачи вычисления проводились при различных значениях шага решения Δt . Результаты решения приведены в табл.1.

Таблица 1.

Шаг решения Δt ; сутка	Релаксирующее напряжение $\sigma_b(t=100)$; МПа	Разница в процентах
0,5	3,61	0
1,0	3,62	0,28%
2,0	3,66	1,39%
4,0	3,75	3,88%
6,0	3,88	7,48%
8,0	4,07	12,74%
10,0	4,32	19,67%

Как видно из этой таблицы увеличение первоначального шага восемь раз изменяет решение всего лишь на 3,88%, что означает высокую точность численного решения нелинейно наследственного интегрального уравнения ползучести бетона. После определения шага решения, обеспечивающего требуемую точность вычислений, рассматривались следующие варианты релаксации напряжений при простой ползучести, т.е. уменьшение напряжений при постоянной деформации:

- ❖ первый вариант – упруго мгновенное и длительное деформирование не линейны и учитываются увеличение во времени прочности $R_b(t)$ и модуля упруго мгновенных деформаций $E_b(t)$;
- ❖ второй вариант – упруго мгновенное деформирование линейное, а длительное деформирование не линейны и учитываются увеличение во времени прочности $R_b(t)$ и модуля упруго мгновенных деформаций $E_b(t)$;
- ❖ третий вариант – упруго мгновенное деформирование не линейно, а длительное деформирование линейно и учитываются увеличение во времени прочности $R_b(t)$ и модуля упруго мгновенных деформаций $E_b(t)$;
- ❖ четвертый вариант - упруго мгновенное и длительное деформирование не линейны, прочность во времени постоянна $R_b(t) = R_b(t_0) = const$, учитывается увеличение во времени модуля упруго мгновенных деформаций $E_b(t)$;

- ❖ пятый вариант - упруго мгновенное и длительное деформирование не линейны, прочность и модуль упруго мгновенных деформаций постоянны во времени $R_b(t) = R_b(t_0) = const$, $E_b(t) = E_b(t_0) = const$
- ❖ шестой вариант - упруго мгновенное и длительное деформирование линейны, прочность и модуль упруго мгновенных деформаций постоянны во времени $R_b(t) = R_b(t_0) = const$, $E_b(t) = E_b(t_0) = const$.

По результатам расчета на рис. 1 построены соответствующие графики уменьшения во времени напряжения, на этом рисунке номера графиков соответствуют рассматриваемому варианту. Построенные графики наглядно показывают, что нелинейности как упруго мгновенных, так и длительных деформаций сильно влияют на процесс релаксации напряжений, вместе с тем для данного примера можно пренебречь увеличением прочности бетона. В нижеследующей табл.2 даны значения предельно релаксированных напряжений и они сравнены с основным первым вариантом. Таблица и графики также показывают, что на процесс ползучести наиболее сильно влияет учет нелинейности упруго мгновенных деформаций и при выборе теории ползучести на это следует обратить особое внимание [4].

Значения предельно релаксированных напряжений.

Таблица 2.

Номер варианта	Значение предельно релаксированного напряжения $\sigma_b(\infty)$; МПа	Разница в процентах
Первый	3,47	0 %
Второй	1,47	- 57,64 %
Третий	3,95	+ 13,83 %
четвертый	3,47	0 %
Пятый	3,70	+ 6,63 %
Шестой	1,64	- 52,74 %

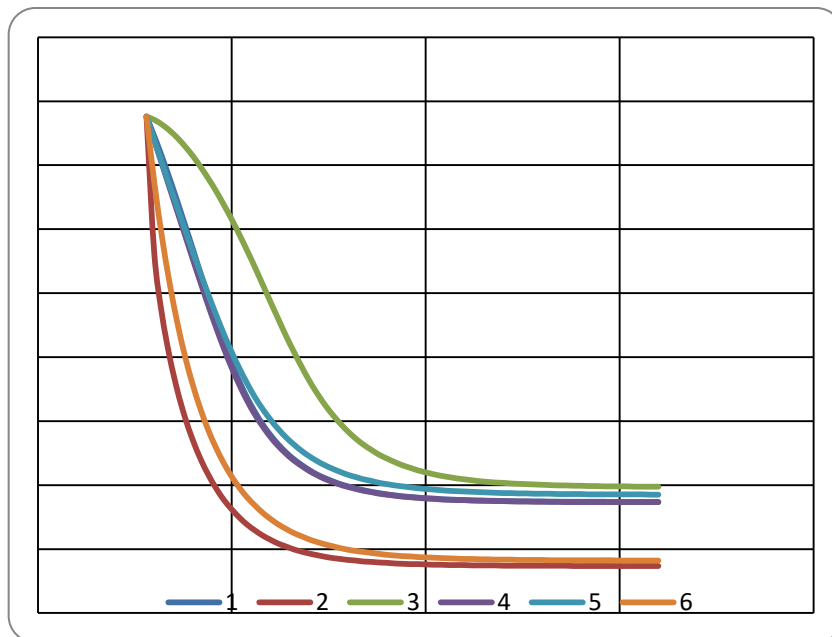


Рис.1. Уменьшение напряжений ($\sigma_b(t)$; МПа) во времени (t ; сутка) при различных вариантах.

2. Исследование напряженно деформированного состояния и несущей способности внецентренно сжатых элементов с учетом нелинейно наследственной ползучести бетона дискретным многошаговым методом.

Для момента времени t разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений рассматриваемой задачи записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{bn} &= \frac{\sigma_{bn}}{E_{bn}} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{bn}}{R_{bn}} \right)^{m_1} \right] - \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{6} \cdot \sigma_{bn} \cdot \left[1 + \eta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{bn}}{R_{bn}} \right)^{m_2} \right] \cdot (2K_{n,n} + K_{n,n-1}) - G_n \\ \sigma'_s(t_n) &= \begin{cases} E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - a'_s); & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - a'_s) \right| \leq \varepsilon'_m \\ R'_s; & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - a'_s) \right| > \varepsilon'_m \end{cases} \\ \sigma_s(t_n) &= \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - h + a_s); & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - h + a_s) \right| \leq \varepsilon_m \\ -R_s; & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)} \cdot (x(t_n) - h + a_s) \right| > \varepsilon_m \end{cases} \\ N_s(t_n) &= \sigma'_s(t_n) \cdot A'_s + \sigma_s(t_n) \cdot A_s \\ M_s(t_n) &= \sigma'_s(t_n) \cdot A'_s \cdot (0,5h - a'_s) - \sigma_s(t_n) \cdot A_s \cdot (0,5h - a_s) \\ N_b(t_n) &= \begin{cases} \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_n) - h}{x(t_n)} \right)^{n_\sigma(t_n) + 1} \right]; & \text{npu } x(t_n) > h \\ \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 1}; & \text{npu } 0 < x(t_n) \leq h \end{cases} \\ M_b(t_n) &= \begin{cases} \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x^2(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 2} \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_n) - h}{x(t_n)} \right)^{n_\sigma(t_n) + 2} \right] + \\ + \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 1} \cdot \left(\frac{h}{2} - x(t_n) \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_n) - h}{x(t_n)} \right)^{n_\sigma(t_n) + 1} \right]; & \text{npu } x(t_n) > h \\ \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x^2(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 2} + \frac{b \cdot \sigma_b(t_n) \cdot x(t_n)}{n_\sigma(t_n) + 1} \cdot \left(\frac{h}{2} - x(t_n) \right); & \text{npu } 0 < x(t_n) \leq h \end{cases} \\ n_\sigma(t_n) &= 1 - (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_n)}{R_b(t_n)} \right)^{m_\sigma}; \quad f(t_n) = k \cdot \frac{\varepsilon_b(t_n)}{x(t_n)}; \quad N_s(t_n) + N_b(t_n) = P \\ M_s(t_n) + M_b(t_n) &= P \cdot (e + f(t_n)) \end{aligned} \quad (5)$$

Чтобы решить эту систему нужно располагать начальными условиями. Начальные условия определяются из решения нелинейной системы алгебраических уравнений, полученной из выше приведенной системы заменой первого уравнения начальным условием (4), вытекающим из нелинейного интегрального уравнения наследственной ползучести бетона. Эта система уравнений для определения начальных условий записывается в виде:

$$\varepsilon_b(t_0) = \frac{\sigma_b(t_0)}{E_b(t_0)} \cdot \left[1 + \eta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right]$$

$$\sigma'_s(t_0) = \begin{cases} E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s); & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| \leq \varepsilon'_m \\ R'_s; & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| > \varepsilon'_m \end{cases}$$

$$\sigma_s(t_0) = \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h + a_s); & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h + a_s) \right| \leq \varepsilon_m \\ -R_s; & \text{npu } \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h + a_s) \right| > \varepsilon_m \end{cases}$$

$$N_s(t_0) = \sigma'_s(t_0) \cdot A'_s + \sigma_s(t_0) \cdot A_s$$

$$M_s(t_0) = \sigma'_s(t_0) \cdot A'_s \cdot (0,5h - a'_s) - \sigma_s(t_0) \cdot A_s \cdot (0,5h - a_s)$$

$$N_b(t_0) = \begin{cases} \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_0) - h}{x(t_0)} \right)^{n_\sigma(t_0) + 1} \right]; & \text{npu } x(t_0) > h \\ \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1}; & \text{npu } 0 < x(t_0) \leq h \end{cases}$$

$$M_b(t_0) = \begin{cases} \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x^2(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 2} \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_0) - h}{x(t_0)} \right)^{n_\sigma(t_0) + 2} \right] + \\ + \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \cdot \left(\frac{h}{2} - x(t_0) \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x(t_0) - h}{x(t_0)} \right)^{n_\sigma(t_0) + 1} \right]; & \text{npu } x(t_0) > h \\ \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x^2(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 2} + \frac{b \cdot \sigma_b(t_0) \cdot x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \cdot \left(\frac{h}{2} - x(t_0) \right); & \text{npu } 0 < x(t_0) \leq h \end{cases}$$

$$n_\sigma(t_0) = 1 - (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_\sigma}; \quad f(t_n) = k \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)}; \quad N_s(t_0) + N_b(t_0) = P$$

$$M_s(t_0) + M_b(t_0) = P \cdot (e + f(t_0)) \quad (6)$$

Методика определения начальных условий имеет самостоятельное значение, так как по этой методике можно определить параметры напряженно деформированного состояния и несущей способности при кратковременном нагружении. Для решения этой системы задаются значением напряжения в бетоне сжатой грани, тогда из первого уравнения системы, сразу определяется и деформация этой грани. Однозначно определяется и параметр полноты эпюры сжимающих напряжений в бетоне $n_\sigma(t_0)$ [1,2] и другие параметры становятся функциями высоты сжатой зоны сечения. Из последних двух уравнений следует, что каждому принятому значению напряжения $\sigma_b(t_0)$ соответствует своя высота сжатой зоны и это не зависит от конкретного значения сжимающей силы. Поэтому разрешающим уравнением определения высоты сжатой зоны сечения при принятом значении напряжения является уравнение:

$$M_s(t_0) + M_b(t_0) - (N_s(t_0) + N_b(t_0)) \cdot (e + f(t_0)) = 0 \quad (7)$$

Таким образом для каждого принятого значения начального напряжения $\sigma_b(t_0)$ как решение нелинейного уравнения (7) определяется и высота сжатой зоны $x(t_0)$, после чего все остальные параметры напряженно деформированного состояния вычисляются без труда. Изложенный алгоритм расчета применяется при кратковременном статическом нагружении. Данный алгоритм расчета легко программируется, составлена такая программа и с применением составленной программы рассмотрен численный пример.

Пример №1. Исследуем внецентренное сжатие шарнирно опертой колонны при следующих исходных данных: $E_b(\tau) = E_{b0} \cdot (1 - \beta_E \cdot \exp(-\alpha_E \cdot \tau))$;

$$R_b(\tau) = R_{b0} \cdot (1 - \beta_R \cdot \exp(-\alpha_R \cdot \tau)) ; \quad b = 0,6 \text{ м} ; \quad E_{b0} = 32500000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} ; \quad R_{b0} = 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} ;$$

$$\beta_E = 0,85 ; \quad \alpha_E = 0,072 ; \quad \beta_R = 0,76 ; \quad \alpha_R = 0,068 ; \quad f_0 = 0,11 ; \quad \eta_1 = 1,3 ; \quad m_1 = 4,3 ;$$

$$m_\sigma = 2,867 ; \quad l = 6 \text{ м} ; \quad A'_s = 0,00152 \text{ м}^2 ; \quad A_s = 0,004072 \text{ м}^2 ; \quad a'_s = 0,04 \text{ м} ; \quad a_s = 0,06 \text{ м} ;$$

$$m_\sigma = \frac{m_1}{1,5} = 2,8667 ; \quad h = 0,8 \text{ м} .$$

По результатам расчета на рис.2 построены диаграммы «нагрузка - прогиб» при различных эксцентриситетах и процентах армирования. Параметры напряженно деформированного состояния в момент исчерпания несущей способности приведены в табл.3.

Параметры напряженно деформированного состояния. Таблица 3.

варианты	$e, \text{ см}$	$f, \text{ м}$	$P, \text{ кН}$	$x, \text{ м}$	$\sigma'_s, \text{ МПа}$	$\sigma_s, \text{ МПа}$
первый	8,0	0,0062292	6036,07	0,70446	- 226,91	12,14
Второй	8,0	0,0064864	5421,02	0,67653	-	22,57
Третий	1,0	0,0043105	7415,02	1,01804	- 231,16	- 65,72
четвертый	1,0	0,0054430	6620,53	0,80622	-	- 19,76

Для решения системы уравнений (5) предлагается следующий численный алгоритм. Сначала по решению предыдущего расчетного времени вычисляется коэффициент, отражающий влияние предыдущих расчетных моментов времени G_n и коэффициенты ползучести бетона $K_{n,i}$. После вычисления этих коэффициентов задаются напряжением $\sigma_b(t_n)$ и по дискретному уравнению ползучести определяется соответствующее значение деформации $\varepsilon_b(t_n)$. Затем как и при определении начальных условий из уравнения

$$M_s(t_n) + M_b(t_n) - (N_s(t_n) + N_b(t_n)) \cdot (e + f(t_n)) = 0$$

находим высоту сжатой зоны сечения как решения нелинейного уравнения с одним неизвестным. После чего становятся известными все параметры напряженно деформированного состояния сечения при принятом значении напряжения $\sigma_b(t_n)$. По известным значениям параметров вычисляем нормальную силу $P = N_s(t_n) + N_b(t_n)$ и сравниваем ее с заданной силой. Варьируя значением напряжения определяем два соседних значения напряжения при котором выражение $P - N_s(t_n) + N_b(t_n)$ меняет знак. Это означает отделение корня $\sigma_b(t_n)$ [8,9]. После чего по методу деления отрезка пополам уточняется корень с любой желаемой точностью. Затем заново вычислив

коэффициенты G_n и $K_{n,i}$ повторяем расчет. Описанный алгоритм без труда программируется и составлена такая программа и с применением составленной программы рассмотрены численные примеры.

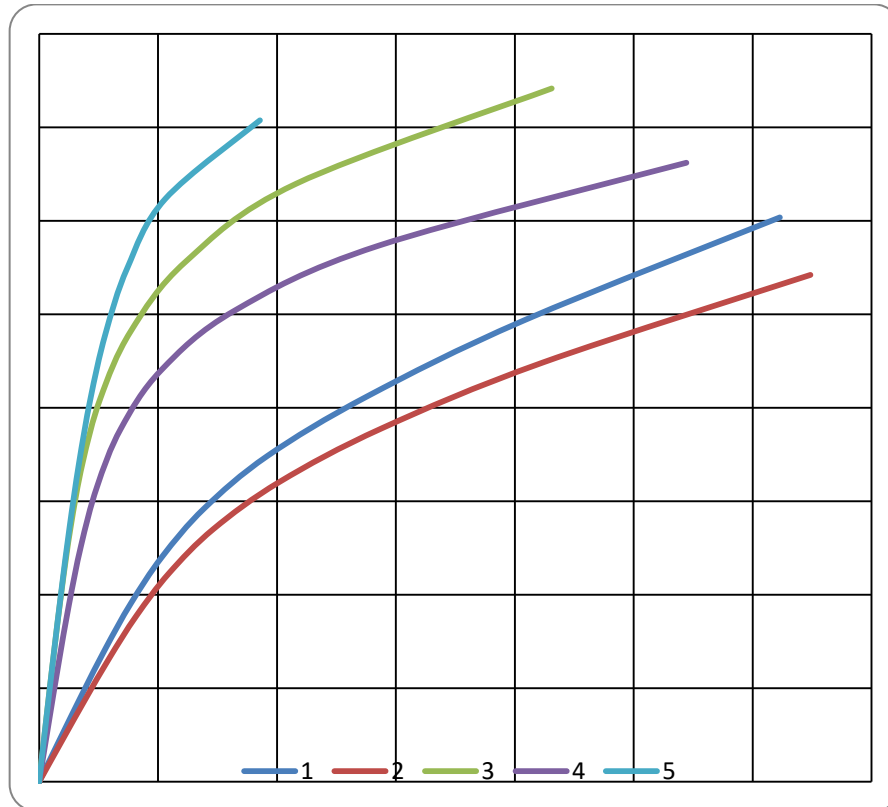


Рис. 2. Диаграммы «нагрузка (P , кН)-прогиб f , м» для шарнирно опертой колонны: 1 – при $e = 8$ см двойное армирование; 2 - при $e = 8$ см одинарное армирование; 3- при $e = 1$ см двойное армирование; 4 - при $e = 1$ см одинарное армирование; 5 – при $e = 1$ см при двойном армировании и линейном деформировании бетона, т.е. при $\eta_1 = 0$.

Пример № 1. Исследуем внецентренно сжатую колонну при следующих исходных данных: $b \times h = 60 \times 80$ см; $l = 6$ м; $a'_s = 4$ см; $a_s = 6$ см; $e = 1$ см; $E_{b0} = 32500000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$;

$$R_{b0} = 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad E_b(\tau) = E_{b0} \cdot (1 - \beta_E \cdot \exp(-\alpha_E \cdot \tau)); \quad R_b(\tau) = R_{b0} \cdot (1 - \beta_R \cdot \exp(-\alpha_R \cdot \tau));$$

$$\beta_E = 0,85; \quad \alpha_E = 0,072; \quad \beta_R = 0,76; \quad \alpha_R = 0,068; \quad \eta_1 = 1,3; \quad m_1 = 4,3; \quad \eta_2 = 1,6; \quad m_2 = 4,0;$$

$$A'_s = 0,00152 \text{ м}^2; \quad A_s = 0,004072 \text{ м}^2; \quad m_\sigma = 2,8667; \quad t_0 = 28 \text{ сутка}; \quad \Delta t = 2 \text{ сутка}.$$

При кратковременном нагружении несущая способность этой колонны составляет $P_{ult} = 7415,02 \text{ кН}$. При длительном нагружении загрузим колонну силой $P_{ол} = 0,7505 \cdot P_{ult} = 5564,90 \text{ кН}$. При этом в момент нагружения параметры напряженно деформированного состояния имели значения: $\varepsilon_b = 0,000626849$; $x = 1,85271 \text{ м}$;

$$f = 0,00123412651 \text{ м}; \quad \sigma_b = 12060,23 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad \sigma'_s = 12263311 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad \sigma_s = 7529513 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2};$$

$$N_s = 493,050 \text{ кН}; \quad M_s = -33,123 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad N_b = 5971,847 \text{ кН}; \quad M_b = 99,639 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

По результатам расчета на ниже приведенных рисунках даны графики изменения параметров напряженно деформированного состояния во времени.

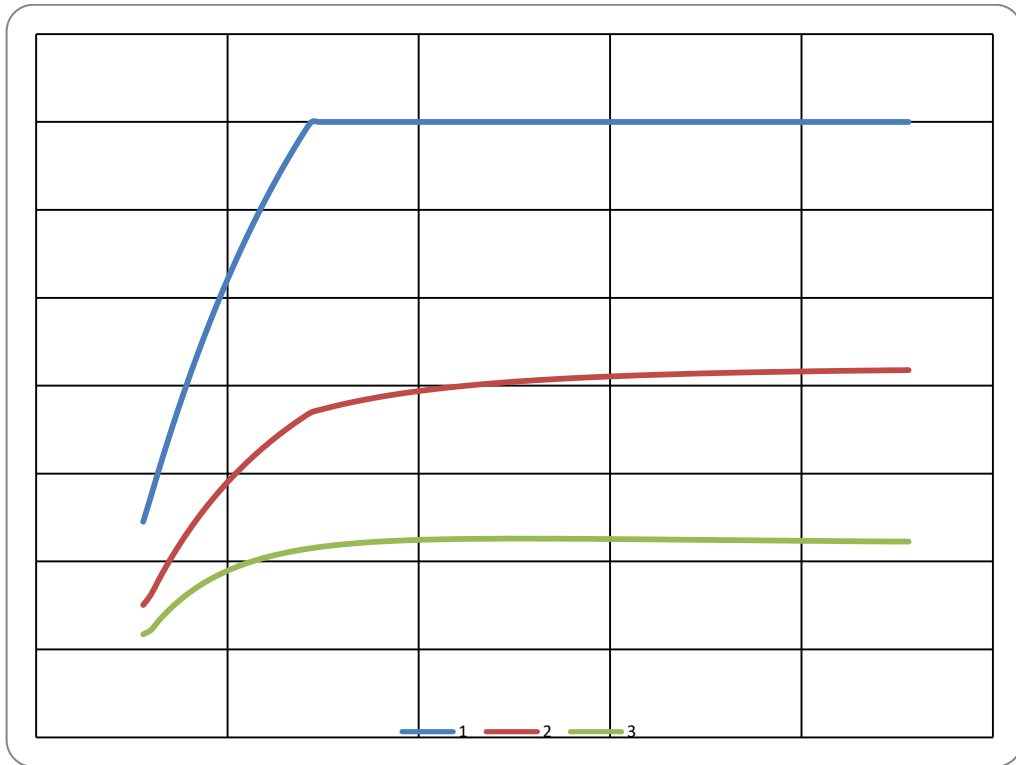


Рис. 3. Изменение напряжений $\left(\sigma'_s; \sigma_s; \frac{\kappa H}{M^2}\right)$ в арматурных стержнях во времени t ; сутка. 1 – в сжатой арматуре; 2 – в менее сжатой арматуре при двойном армировании; 3 – в менее сжатой арматуре при одинарном армировании.

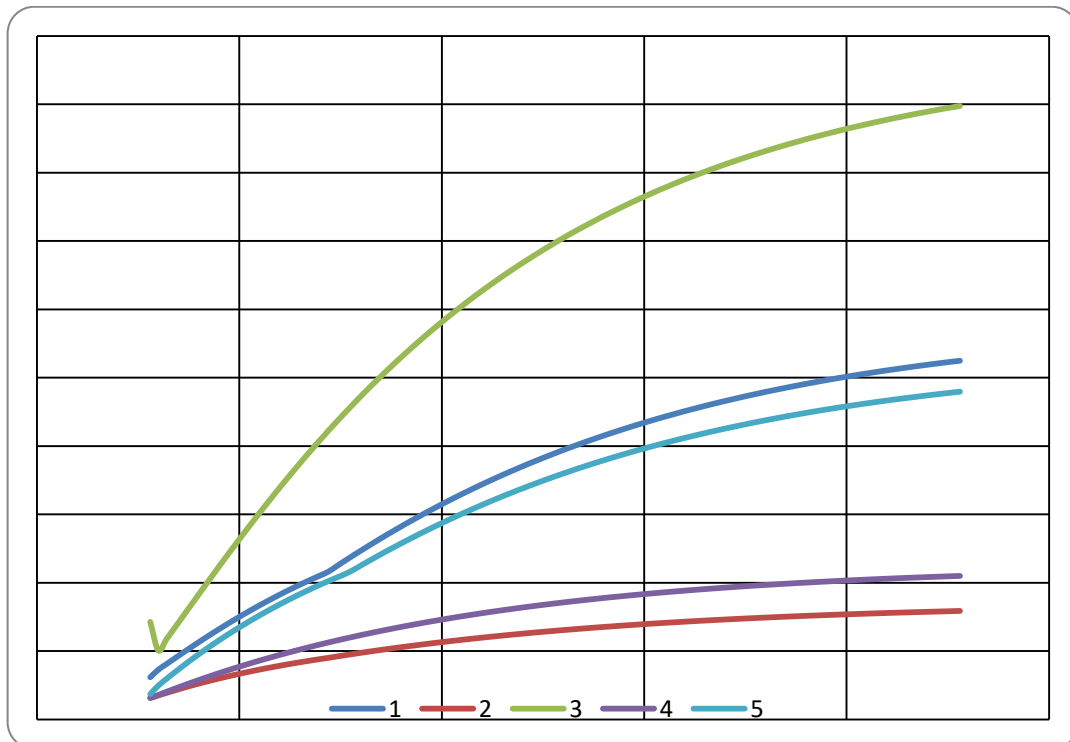


Рис. 4. Изменение во времени прогиба (f ; m) и деформации ε_b во времени t ; сутка. 1 – прогиб при двойном армировании; 2 – деформация при двойном армировании; 3 – прогиб при одинарном армировании; 4 – деформация при одинарном армировании;

5 – прогиб при двойном армировании и линейности упруго мгновенных деформаций.

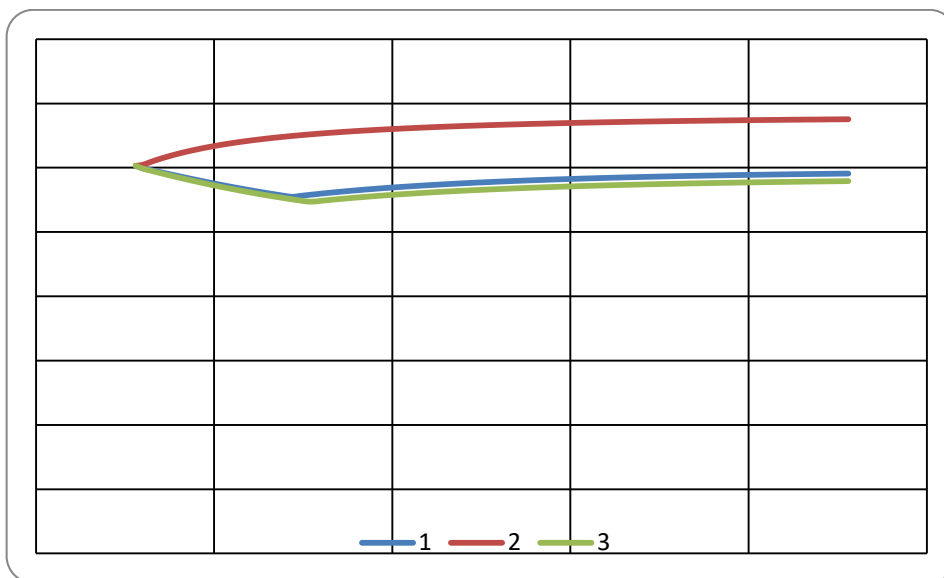


Рис. 5. Изменение напряжения в бетоне сжатой грани наиболее напряженного сечения $\left(\sigma_b; \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}\right)$ во времени t ; сутка: 1 – при двойном армировании; 2 – при одинарном армировании; 3 – при двойном армировании и линейности упруго мгновенных деформаций.

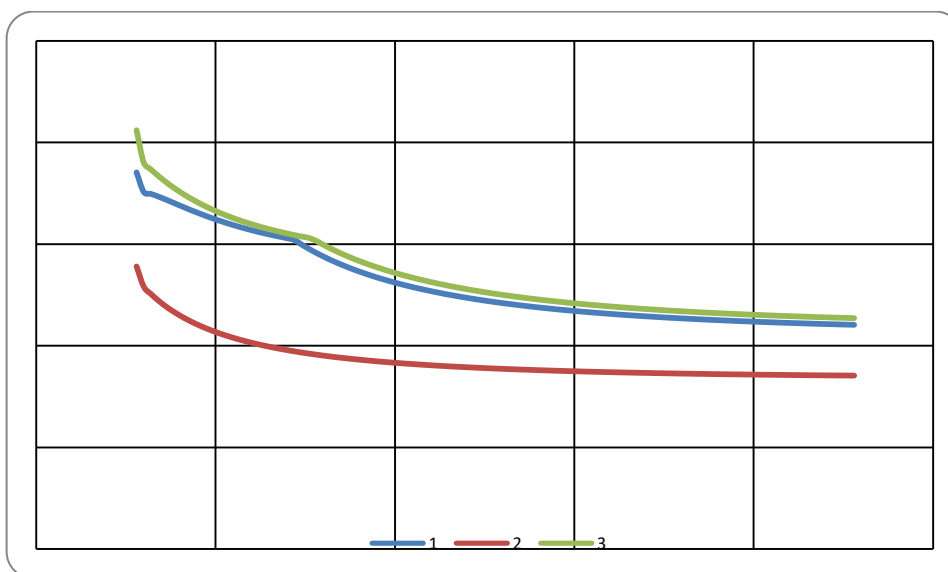


Рис. 6. Изменение во времени высоты сжатой зоны наиболее напряженного сечения $(x; \text{м})$: 1 – при двойном армировании; 2 – при одинарном армировании; 3 – при двойном армировании и линейности упруго мгновенных деформаций.

Расчет показал, что на 44-е сутки после начала загрузки сжатая арматура достигает предела текучести. До этого момента напряжения в бетоне сжатой грани уменьшается, а после начинает увеличиваться. За счет ползучести за 200 суток начальный прогиб увеличивается 8,51 раз и достигает значения $f = 0,010496 \text{ м}$, аналогично увеличивается и деформация сжатой грани сечения в 5,06 раза и достигает почти предельного значения при сжатии $\varepsilon_b = 0,00317373$. Увеличивается также напряжение растянутой или в данном случае менее сжатой арматуры, наиболее интенсивное увеличение происходит до достижения сжатой арматурой предела текучести, дальнейшее увеличение более вялое. За

200 суток ползучести в этой арматуре напряжение увеличивается от значения $\sigma_s = 75295,13 \frac{\kappa H}{M^2}$ до значения $\sigma_s = 208869,24 \frac{\kappa H}{M^2}$, т.е. увеличивается 2,77 раза.

Пример №2. Рассмотрим внецентренное сжатие элемента, рассмотренного в первом примере при одинарном армировании, т.е. все исходные данные остаются без изменений, кроме начальных значений параметров напряженно деформированного состояния и здесь $A'_s = 0$. При кратковременном нагружении несущая способность этой колонны составляет $P_{ult} = 6620,53 \kappa H$. При длительном нагружении загрузим колонну силой $P_{дл} = 0,7613 \cdot P_{ult} = 5039,91 \kappa H$. Для данного примера значения параметров напряженно деформированного состояния определяемые согласно начальным условиям имеют значения:

$$\begin{aligned} \varepsilon_b &= 0,000626849 ; & x &= 1,38991 M ; & f &= 0,002853424 M ; & \sigma_b &= 12060,23 \frac{\kappa H}{M^2} ; \\ \sigma'_s &= 0 (121761,86) \frac{\kappa H}{M^2} ; & \sigma_s &= 58621,97 \frac{\kappa H}{M^2} ; & N_s &= 238,709 \kappa H ; & M_s &= -81,161 \kappa H \cdot M ; \\ N_b &= 4801,205 \kappa H ; & M_b &= 139,849 \kappa H \cdot M \end{aligned}$$

Результаты расчеты отражены в выше приведенных рисунках. Как видно при одинарном армировании в растянутой арматуре напряжения получаются еще меньше, чем при двойном армировании, за счет ползучести со временем это напряжение увеличивается во времени и со временем стабилизируется. Например, за 200 суток ползучести это напряжение увеличивается приблизительно в 2 раза. Наиболее интенсивное увеличение напряжения в арматуре происходит в первые два месяца. Аналогично предельный прогиб шарнирно опертой колонны при одинарном армировании приблизительно в два раза больше, чем при двойном армировании, но характер изменения в обоих вариантах одинаковы. Изменение деформации сжатой грани наиболее напряженного сечения не сильно различаются. Естественно при одинарном армировании высота сжатой зоны больше чем при двойном армировании и со временем за счет ползучести высота сжатой зоны уменьшается до определенной величины и затем стабилизируется.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Построен дискретный аналог нелинейно наследственного интегрального уравнения ползучести бетона, пригодной для любого выражения ядра интегрального уравнения.
2. Построена численная методика исследования напряженно деформированного состояния и несущей способности внецентренно сжатых колонн при кратковременном нагружении.
3. При длительном нагружении внецентренно сжатой колонны исследование сведено к решению системы нелинейных алгебраических уравнений и предложена эффективная численная методика решения этой системы.
4. Разработанная методика позволяет с любой наперед заданной точностью определить параметры напряженно деформированного состояния внецентренно сжатых колонн с учетом нелинейно наследственной ползучести бетона и упруго пластической работы арматуры и проводить численные эксперименты по выявлению того или иного параметра на несущую способность и напряженно деформированное состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М., Стройиздат, 1982. – 287с.
2. Бондаренко В.М., Колчунов В.И.. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Гаджиев М.А., Алаева С.М., Гаджиева Г.М. Дискретная методика решения нелинейно наследственного интегрального уравнения ползучести бетона.// Теоретическая и прикладная механика, Баку, 2012, № 1, с. 65-70.
4. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Ползучесть бетона и его мгновенное нелинейное деформирование в расчетах железобетонных конструкций. //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений-2015-№2, с. 33-40.
5. Александровский, С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона. М. Стройиздат, 1976, 432 с.
6. Гольшев А.Б., Колчунов В.И.. Теория и расчёт железобетонных конструкций с учётом длительных процессов. Киев.: Талком, 2016. – 264 с
7. Яценко Е.А., Корнилова С.И., Бовин А.А., Соссу Г. Теория ползучести железобетонных конструкций. Днепропетровск, изд-во ПГАСиА, 2000, 600 с.
8. Турчак Л. И., Плотников П. В. Основы численных методов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 304 с.
9. Демидович Б. П., Марон И. А.. Основы вычислительной математики : 8-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011. – 672 с.

UOT 624.016; 691:620.01

**BİNA VƏ QURĞULARIN GÜCLƏNDİRİLMƏ VƏ YENİDƏNQURMA İŞLƏRİNDƏ
KİMYƏVİ ANKERLƏRİN TƏDBİQİ YOLLARI***tex.üzrə f.d. Yusifov N.R. Azərbaycan İnşaat və Memarlıq ETİ***ПУТИ ПРИМЕНЕНИЯ В УСИЛЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ ХИМИЧЕСКИХ АНКЕРОВ***к.т.н. Юсифов Н.Р. Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры***WAYS OF APPLICATION OF CHEMICAL ANCHORS IN STRENGTHENING AND
RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES***phd in tech.sc. Yusifov N.R. Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture*

Xülasə: Məqalədə sintetik qatranlar əsasında işlənmiş yapışdırıcı materialların bina və qurğuların yükötürən konstruksiyalarının gücləndirilməsi və yenidənqurulmasında tətbiqi yolları araşdırılır.

Açar sözlər: sintetik qatranlar, yapışdırıcı materiallar, bina və qurğular, yükötürən konstruksiyalar, gücləndirilmə, yenidənqurma.

Аннотация: В статье исследуются пути применения клеящих материалов, произведённых на основе синтетических смол, для усиления и реконструкция несущих конструкции зданий и сооружений.

Ключевые слова: синтетическая смола, клеящие материалы, здания и сооружения, несущие конструкции, усиления, реконструкция.

Summary: The article explores the ways of using adhesive materials made on the basis of synthetic resins, for strengthening and reconstruction of load-bearing structures of buildings and structures.

Keywords: synthetic resin, adhesive materials, buildings and structures, load-bearing structures, strengthening, reconstruction

Hal-hazırda mövcud bina və qurğuların texniki vəziyyətindən, yenidənqurma işlərinin məqsəd və tələblərindən asılı olaraq yükötürən konstruksiyaların gücləndirilməsi və yükötürmə qabiliyyətinin, eləcə də binaların zəlzələyədavamlılığının artırılması problemləri aktual olduğu üçün sintetik qatranlar əsasında kimyəvi anker sistemlərinin respublikaya idxal olunan nomenklaturasının tətbiq sahələrini və onların effektivliyini müəyyənləşdirmək vacibdir.

Bu aktual məsələlərin həlli zamanı bina və qurğuların konstruktiv sxeminə yeni həcmələrin və konstruksiyaların əlavə olunması və onların mövcud konstruksiyalar ilə birgə işinin təmin olunması üçün tədqiqatların aparılması zərurəti yaranmışdır.

Bu istiqamətdə XX əsrin sonlarından etibarən dünyanın inkişaf etmiş ölkələrində müəyyən tədqiqat işləri aparılmış və müxtəlif istehsalçı şirkətlər tərəfindən bir çox brendlər (ticarət adları) altında müxtəlif təyinatlı məhsullar istehsal olunur. Bu məhsullar, yəni kimyəvi anker sistemləri və materialları respublikamızın inşaat materialları bazarına daxil olmuş və praktiki olaraq tikinti-quraşdırma işlərinin icrasında müəyyən həcmdə istifadə olunur.

Lakin təqdim olunan kimyəvi anker materiallarının (polad millərin və sintetik qatranlar əsasında işlənmiş yapışdırıcı materialların) layihələndirmə və istehsalatda tətbiqində müəyyən çatışmamazlıqlar və problemlər mövcuddur.

Binaların yenidən qurulmasında və yeni dəmir-beton elementlərlə gücləndirilməsində konstruksiyalara armatur millərinin quraşdırılmasının, mövcud və yeni konstruksiyaların birgə işinin təmin olunmasının praktiki əhəmiyyəti vardır.

Ümumiyyətlə, bina və qurğuların uzunmüddətli istismar zamanı yaranan zədələnmələrin yaranma səbəbləri müxtəlifdir: binaların qrunut əsasında baş verən real gərginlik-deformasiya prosesləri, materiallarda temperatur-nəmlik dəyişmələri, konstruksiyaların həddən artıq yüklənməsi, onların normal istismar şəraitinin pozulması, binaların bünövrələrinin qeyri-bərabər çökməsi və s. Hər hansı bir konstruktiv elementdə çat və zədələnmələrin yaranmasına materialın

həddindən artıq deformasiyaya uğraması, istismar müddətində konstruksiya materiallarının elastiki-plastiki xassələrinin və eləcə də, gərginlik-deformasiya halının dəyişməsi səbəb olur və bu da yükötürən konstruksiyaların xüsusiyyətlərini xarakterizə edir və bir qayda olaraq iki və daha çox amillərin birgə təsiri ilə şərtlənir [1; 2].

Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, daş, kərpic, dəmir-beton və s. kimi materiallardan inşa olunmuş bina və konstruksiyaların gücləndirilməsində effektiv bərpa üsulu polimer tərkiblərlə çatların doldurulması üsuludur.

Lakin Abşeron və Bakı ərazisi üçün ənənəvi hörgü konstruksiyalarında (üçaylı və quyuvəri) hörgü daxilində mövcud boşluqların və ya çatların doldurulmasında bu üsulun tətbiqi iqtisadi cəhətdən səmərəli deyildir. Bildiyimiz kimi, epoksid qətranları əsasında polimerməhlul və polimeryapışdırıcı tərkibləri istər fiziki-mexaniki göstəricilərinin universallığı baxımından, istərsə də atmosfer təsirlərinə dayanıqlığı nöqteyi-nəzərindən digər mənşəli qətranlar (poliefir, fenolformaldehid, furfurolaseton və s.) əsasında işlənmiş tərkiblərdən daha üstündür.

İnşaat konstruksiyalarında yaranan zədələnmələrin aradan qaldırılmasında tətbiq olunan polimerməhlulların çoxlu sayda tərkibləri və üsulları işlənmişdir [4].

Sintetik qətranlar əsasında işlənmiş kompozisiya materialları və yapışdırıcılar, tərkiblərinin və doldurucu komponentlərin miqdarının variasiya olunması geniş diapazonda tərkiblərinin möhkəmlik və ilişkənlik göstəricilərini təmin edir. Bu da polad sancaqların və armatur millərinin mövcud konstruksiyalara etibarlı ankerlənməsinə, eləcə də yeni material kütləsinin mövcud material ilə tələb olunan səviyyədə ilişkənliyini təmin edir. AzİMETİ-də son illərdə aparılmış tədqiqatlarda modifikator işlədilmədən xırda və narın doldurucunun və həlledicinin miqdarının tənzim olunması yolu ilə bir sıra polimer kompozisiya tərkibləri işlənmişdir [3]. Bu tərkiblərin bir qisminə xırda və narın doldurucu kimi müvafiq ələkdən keçirilmiş və dənəvərliyi 0,63 mm-dən az olan əhəngdaşı tozu (ştib) istifadə olunmuş və onların fiziki-mexaniki xassələri araşdırılmışdır.

Polimerməhlulunun xalis dartılmada müqavimətini öyrənmək üçün diametri 20 mm, uzunluğu 240 mm olan polimer (qantel şəkilli) çubuq nümunələri hazırlanaraq hidravlik presdə dartılmaya sınaqları aparılmış və alınmış sınaq nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

Aparılmış tədqiqatlar zamanı sınaqların nəticələrində kompozisiya tərkibində doldurucunun miqdarının artması ilə nümunələrin sıxılmada müqavimətinin ilk əvvəl maksimum göstəriciyə qədər artması və sonra azalması müşahidə olunmuşdur. Doldurucunun miqdarı 82%-ə çatdıqda (başqa sözlə, epoksid: doldurucu nisbəti 1:6 olduqda) sıxılmada müqavimətin hətta kontrol nümunə ilə müqayisədə müvafiq qiymətindən aşağı olduğu qeydə alınmışdır. Digər möhkəmlik göstəriciləri isə mütəmadi azalmışdır. Xalis dartılmada bu fərq 35% qədər təşkil edir.

Polimerməhlul tərkiblərinin möhkəmlik göstəriciləri

Cədvəl 1

Göstəricilər	Tərkibin nömrəsi					
	Kontrol	1	2	3	4	5
Sıxlıq, qr/sm ³	1,1	1,22	1,34	1,42	1,50	1,52
Möhkəmlik, MPa						
-sıxılmada	54,4	63,5	61,6	57,8	56,6	53,1
-dartılmada	15,2	13,8	12,5	11,6	10,5	9,8

Bu tədqiqatların nəticələri göstərdi ki, işlənmiş tərkiblərin göstəriciləri sintetik qətranlar əsasında yapışdırıcı, anker və s. məhlullar istehsal edən bir çox şirkət və firmaların istehsal etdiyi məhlul tərkibləri ilə müqaisəsi göstərdi ki, bu tərkiblər bir-birinə çox yaxındır. Belə ki, bu qəbildən olan kimyəvi materiallarda epoksid: doldurucu nisbəti bir qayda olaraq 1:2,,1:4 intervalında qəbul olunur və apardığımız tədqiqatların nəticələri texniki ədəbiyyatların nəticə və məlumatları ilə uzlaşır.

Abşeron üçün ənənəvi hörgü texnologiyası olan butla doldurulmuş üçqatlı divar konstruksiyalarının bərpasında polimerməhlulların istifadəsi ilə “inyeksiya” üsulları tətbiq olunarkən həddən çox material sərf olunduğu üçün (hörgü daxilində boşluqların divar kütləsinin 10-15%-ə gədərini təşkil etdiyindən) iqtisadi cəhətdən səmərəli deyildir. Lakin bununla belə, zədələnmiş kəsikdə rabitə elementləri vasitəsilə bərpa üsullarında işlənmiş polimerməhlul tərkiblərinin tətbiqi gücləndirmə işlərinin etibarlılığını təmin edir.

Hal-hazırda tətbiq olunan yeni texnologiyalardan biri sintetik qətranlar əsasında işlənmiş kimyəvi anker sistemlərinin tətbiqidir. Bu üsul son illərdə Bakı şəhərində yenidənqurma işləri aparılan bir neçə obyektlərdə (Nizami kinoteatrının binası, T.Əliyarbəyov küç 2 və 4 saylı yaşayış binaları, İstiqlaliyyət küç. 5 və 7 saylı yaşayış binaları və s.), eləcə də yeni inşa olunan binalarda, otel komplekslərinin tikintisində AZİMETİ-nin layihələri əsasında tətbiq olunmuşdur (Moskva və Abşeron mehmanxalarının yerləşdiyi ərazidə FLAME TOWER, HİLTON).

Bu üsul yeni konstruktiv elementləri mövcud dəmir-beton elementlərlə etibarlı birləşdirilməsinə, konstruksiyaların birləşmə işini təmin etməyə imkan yaradır.

Kimyəvi anker sistemləri əsas etibarlı ilə iki komponenti (bəzi hallarda çox komponenti) tərkiblər kimi işlənmişdir. Bir qayda olaraq bu materialların istifadəsi zamanı komponentlər istehsalçı tərəfindən təklif olunan nisbətlərdə qarışdırılaraq konstruksiyalarda açılmış yuvalara doldurulduqdan sonra armatur və anker elementləri qoyulur və tərkibi bərkidildikdən sonra tikinti-montaj işləri davam etdirilir. Anker millərinin birləşdirilməsi üçün açılmış yuvaların tozdan təmizlənməsi və tərkiblərin inşa meydançasında qarışdırılması zərurəti yarandıqda komponentləri nisbətlərinin dəqiq gözlənilməsi vacibdir.

Kimyəvi anker sistemləri vasitəsilə yapışdırılan armatur millərini üstünlüklərinin təhlili göstərir ki, kimyəvi anker sistemlərinin inyeksiya üsulu ilə tətbiqi mövcud konstruksiyalarda yeni armatur millərinin etibarlı birləşdirilməsini təmin edir.

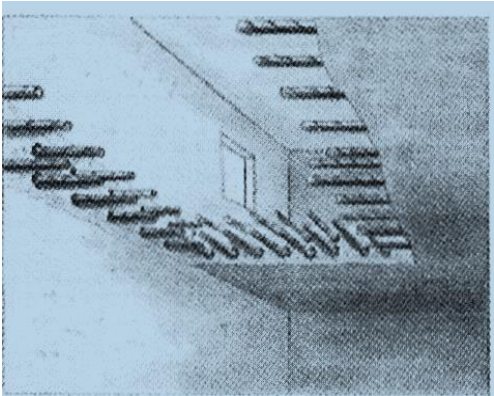
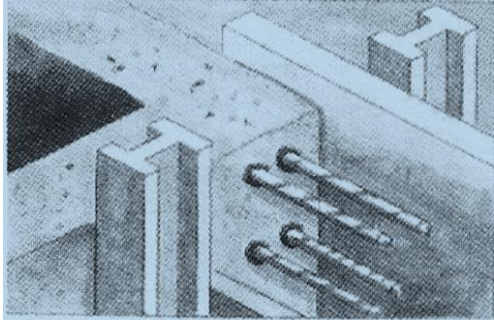
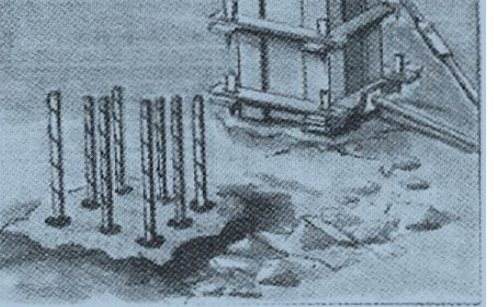
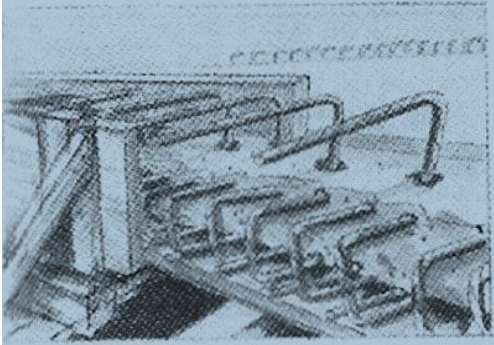
Bu sistemlər layihələndirmə işlərində qəbul olunmuş texniki həllərin reallaşdırma imkanlarını, yəni, yeni qoyulmuş armatur millərinin konstruksiyanın armatur çıxıntıları kimi eyni dərəcədə etibarlılığını və anker millərinin, birləşmə düyünlərinin tələb olunan səviyyədə yükə dözmə qabiliyyətini təmin etdiyi üçün konstruksiyaların gücləndirilmə işlərində üfüqi, şaquli və asma konstruksiyaların texniki cəhətdən həllini və monolit betonun tətbiqini sadələşdirir.

Kimyəvi anker sistemləri vasitəsilə dəmir-beton konstruksiyaların yenidənqurulma-bərpa işlərində tətbiq sahələri [5]-də şərh olunmuşdur.

Dəmir-beton konstruksiyaların karkas elementlərində müəyyən bucaq altında əyilmiş millərdən istifadə etmək ilə mövcud armatur millərinə dartıcı yüklərin örtülməsini təmin etmək olar. Bu zaman birləşdirmə üçün ancaq düz armatur millərindən istifadə olunmalıdır. Kimyəvi anker sistemləri vasitəsilə armatur millərinin mövcud konstruksiyaların işinə əlavə olunması ilə konstruktiv elementlərin hesablanması onların real iş xüsusiyyətindən asılı olaraq fərdi qiymətləndirilir və ayrı-ayrı hallarda hesablanma xüsusiyyətləri ilə bir-birindən fərqlənir.

Kimyəvi anker sistemləri ilə dəmir-beton konstruksiyaların yenidənqurulma və gücləndirilməsinin tətbiq sahələri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2.

Tətbiq sxemi	Xarakteristikaları
	<p>Örtük tavanlarının birləşdirilməsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mərtəbəarası örtük tavaları; • konstruktiv dəyişikliklər; • keçici boruların bərpası (mis. qaldırıcı kran və qurğular, inşaat zibilinin daşınması üçün və s.). <p>Üstünlükləri:</p> <ul style="list-style-type: none"> • qəlib işlərinin sadəliyi; • konstruktiv üsulların çevikliyi; • müvəqqəti keçidlərin tutulmaması; • armatur millərinin zədələnmə təhlükəsinin azalması.
	<p>Divar tirlərinin birləşdirilməsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • texnoloji tikişlər; • konstruktiv dəyişikliklər və genişləndirmələr; • üfüqi armatur çıxıntıları. <p>Üstünlükləri:</p> <ul style="list-style-type: none"> • qəlib işlərinin sadəliyi • armatur millərinin kəsilməzliyi • açılan dəliklərin diametrinin kiçikliyi
	<p>Şaquli elementlərin birləşdirilməsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sütun və estakadalar; • konstruktiv dəyişikliklər və təkmilləşdirilmələr; • svay başlıqları. <p>Üstünlükləri:</p> <ul style="list-style-type: none"> • armatur millərinin dəqiq quraşdırılması; • armatur millərinin bərkidilmə sadəliyi; • inşaat meydançasında sərbəst müdaxilə.
	<p>Konstruksiyaların böyük həcmdə bərpası:</p> <ul style="list-style-type: none"> • körpü sürəhilərinin (parapet) bərpası; • karkasın modernləşdirilməsi; • beton element və konstruksiyaların təmiri; <p>Üstünlükləri</p> <ul style="list-style-type: none"> • sürəhilərin (parapet) bərpası; • beton elementlərin məhdud həcmdə sökülməsi; • armatur millərinin qaynaq olunmasına ehtiyac duyulmaması; • asma konstruksiyaların quraşdırılması.

Konstruktiv millərin və yeni həll olunmuş düyünün işi bir neçə amillərdən asılıdır. Bu amillərdən baza materialının (betonun və s.) və eləcə də armatur və anker millərinin möhkəmlik və deformasiya göstəricilərinin, təsir edən real yüklərin (dartıcı, sıxıcı və kəsici) səviyyəsinin, xarakterinin və kəsici yüklər üçün hətta istiqamətin, armatur millərinin diametrinin və ankerlənmə dərinliyinin millər arasında məsafənin nəzərə alınması vacibdir.

Kimyəvi anker sistemləri ilə yenidənqurma işlərinin layihələndirilməsi və hesabatlar yolu ilə qiymətləndirilməsi armatur millərinin poladın, yapışdırıcı komponentin (yapışqan birləşməsinə) və baza materiallarının kəsilməyə müqavimətindən aşağı göstəricisində ankerlənmiş beton kütləsinin armatur millərinin və qrupunun dayanıqlılığın təmin olunması sərtlərini ödəməlidir.

Bu sistemlərin etibarlı və uzunömürlü işinin təmin olunması üçün belə sistemlərin atmosfer amillərinə təsiri və odadavamlılıq tələbləri nəzərə alınmalı və düyünün odadavamlılıq sinfi F90-dan (1,5 saat) az qəbul olunmamalıdır.

Nəticələr:

1. Kimyəvi anker sistemlərinin bina və qurğuların gücləndirilməsində tətbiqi effektivdir və tikinti-quraşdırma işlərinin icrasını sadələşdirməyə imkan verir.
2. Kimyəvi anker sistemlərindən tərkibləri onların fiziki-mexaniki; geoloji və s. xassələri, eləcə də, gücləndirilən konstruksiyanın materialı nəzərə alınmaqla seçilməlidir

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. Залесов А,С, Новый метод расчёта прочности железобетонных элементов по наклонным сечением /Расчёты и конструирование железобетонных конструкций. Труды НИИЖБ, Стройиздат: Москва 1977, Вып 39, с.15-17.
2. Yusifov N.R., Yusifova K.R., İskəndərova A.A. İstismar zamanı binalarda əmələ gələn çat tipli zədələnmələrin aradan qaldırılması üçün material və işlərin icra texnologiyasının işlənməsi./ AzİMETİ elmi-texniki hesabat, Bakı 2000, səh.139.
3. Zəlzələ nəticəsində və istismar zamanı divarlarda əmələ gələn çat tipli zədələrin aradan qaldırılması üçün layihə konstruktiv həllərin və işlərin icra texnologiyasının işlənilməsi / AzİMETİ elmi-texniki hesabat, Bakı 2001.
4. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений /ЦНИИСК им.Кучеренко. Стройиздат: Москва 1984.
5. Yusifov N.R., Sintetik qətranlar əsasında kimyəvi anker sistemlərinin bina və qurğularının gücləndirilməsi və yenidəngurulmasında tətbiqi xüsusiyyətləri və effektivliyi/ AzİMETİ-nin elmi əsərlər toplusu “İnşaat və memarlıqda elmi yeniliklər”, Bakı 2009, səh.120-130.

УДК 691.56.09.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ ТЭС*к.т.н. Мамедов Г.Н., док.фил.по хим. Сулейманова И.Г., Тагиров Б.М.*

МЧС Азербайджанской Республики ГАКБСР

НИПК Институт Строительных Материалов им.С.А.Дадашева

İES POSALARI ƏSASINDA YÜKSƏKMÖHKƏMLİKLİ MƏSAMƏLİ DOLDURUCULARIN ALINMASI MÜMKÜNLÜYÜNÜN TƏDQIQI*t.e.n. Məmmədov H.N., kim.üZRə f.d. Süleymanova İ.H., Tahirov B.M.*

Azərbaycan Respublikası FHN TTNDA S.Ə.Dadaşov ad. ETLK İnşaat Materialları İnstitutu

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING HIGH-QUALITY POROUS AGGREGATES BASED ON TPP SLAGS*phd in technical sc. Mamedov H.N., phd in chemical sc. Suleymanova I.G, Tagirov B.M.**The MES of the Azerbaijan Republic, State Agency for Control of the Construction Safety,**Research and Design Institute of building materials named after S.A. Dadashov*

Аннотация: В статье говорится о разработке технологии производства искусственного пористого заполнителя на основе гранулированных шлаков ТЭС. При проведении экспериментальных исследований как основное сырье было принято гранулированные шлаки ТЭС разных предприятий. Проводились исследования по вспучиваемости гранул, изготовленных из массы на основе шлаков ТЭС различных предприятий в зависимости от температурно-временных параметров. Выявлено, что шлаки ТЭС можно использовать в качестве основного сырья для производства искусственного пористого заполнителя.

Ключевые слова: производство строительных материалов, легкий заполнитель, прочность, температура вспучивания, вспучивание гранул.

Xülasə: Məqalədə İES-nın dənəvərləşdirilmiş posaları əsasında süni məsaməli doldurucuların istehsal texologiyasının işlənilib hazırlanması əks etdirilmişdir. Təcrübələrin aparılması zamanı əsas xammal kimi müxtəlif müəssisələrin dənəvərləşdirilmiş İES posaları götürülmüşdür. Müxtəlif müəssisələrin İES posaları əsasında hazırlanmış kütlələrdən alınan çiy dənəvərlərin köpməsinin temperatur və zaman amillərindən asılılığına dair tədqiqatlar aparılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, İES posalarından süni məsaməli doldurucu istehsalanda əsas xammal kimi istifadə etmək olar.

Açar sözlər: inşaat materialları istehsalı, yüngül doldurucu, möhkəmlilik, köpmə temperaturu, dənəvərlərin köpməsi.

Summary: The article deals with the development of the technology for the production of an artificial porous aggregate based on granulated slags of Thermal Power Plants (TPP). In carrying out experimental research as a basic raw material it was made of granulated slag TPP different companies. Investigations were carried out on the swelling of granules made of weight based on slag of TPP of various enterprises, depending on the temperature and time parameters. It has been revealed that TPP slags can be used as the main raw material for the production of an artificial porous aggregate.

Key words: production of building materials, lightweight aggregate, strength, swelling temperature, swelling of granules

Экономия топливно-энергетических ресурсов, снижение материалоемкости строительных конструкций, улучшение их качества, повышение теплозащитных свойств, снижение массы зданий и сооружений являются важнейшими задачами строительства.

Одним из наиболее эффективных путей решения этих проблем является производство и применение изделий и конструкций из легких бетонов на искусственных пористых заполнителях [1, 2].

Наиболее распространенным на сегодняшний день искусственным пористым наполнителем является керамзит. Вместе с тем, хорошо вспучивающиеся глинистые породы для производства керамзитового гравия имеются далеко не во всех регионах и их запасы с каждым годом уменьшаются. Большинство предприятий по его производству базируются на низкосортном сырье и корректируют составы шихты путем введения в нее различных добавок. Поэтому важное значение приобретает применение отходов промышленности, в частности шлаков ТЭС при производстве искусственных пористых наполнителей [3].

Использование отходов промышленности в производстве искусственных пористых наполнителей дает возможность сберечь материальные, а также природные ресурсы, в той или иной степени решить задачу вовлечения вторичных ресурсов в производство строительных материалов и защиты окружающей среды от загрязнения.

При изучении пригодности шлаков ТЭС, как основного сырья для производства искусственного пористого наполнителя для выполнения экспериментальных исследований были приняты шлаки разных предприятий отличающихся между собой по химическим составам. Химические составы используемых топливных шлаков представлены в таблице 1.

Анализ результатов химических составов топливных шлаков показывает, что модуль активности и модуль основности шлаков, представленных в таблице 1, не так сильно отличаются между собой. Модуль основности меняется в пределах $0,06 \div 0,25$, модуль активности от 0,30 до 0,57.

Химические свойства гранулированных топливных шлаков

Таблица 1.

№№ пп	Наименование предприятия	Химический состав, %									Модуль основ- ности	Модуль актив- ности
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	Mg O	SO ₃	Na ₂ O+ +K ₂ O	п.п.п.		
1	Московская ТЭС-12	48,72	28,06	14,42	1,16	4,19	1,11	0,49	2,05	14,3	0,06	0,57
2	Санкт- Петербургская ТЭС-5	60,4	22,8	-	8,96	4,08	2,82	0,87	3,05	0,8	0,07	0,38
3	Том-Усинская ТЭС	58,09	29,69	0,26	7,01	3,11	0,94	0,21	2,85	-	0,04	0,51
4	Назаровская ТЭС	41,10	9,47	2,02	11,25	30,07	6,5	-	1,95	-	0,72	0,23
5	Воронежская ТЭС	51,22	19,91	11,38	1,75	8,13	1,76	0,45	3,36	5,54	0,12	0,38
6	Красноярская ТЭС-1	56,2	17,2	9,21	1,78	12,3	6,5	0,85	2,75	4,68	0,25	0,30

В химическом составе шлаков заметно отличается содержание п.п.п., которые могут являться основным параметром при проявлении газообразной фазы при вспучивании.

В химическом составе шлаков Московской ТЭС-12 содержание п.п.п. составляет 14,3%, а в составе шлаков Санкт-Петербургской ТЭС-5 всего 0,8%. В составе шлаков Том-Усинской ТЭС и Назаровской ТЭС отсутствуют п.п.п. Остальные составляющие окислы в разных шлаках не так сильно отличаются друг от друга. В химическом составе имеется достаточное количество Fe₂O₃ и FeO, а также Na₂O +K₂O, которые играют большую роль

при вспучивании под воздействием высоких температур и при образовании в массе жидкой фазы.

Выявлено, что одним из основных требований для поризации исследуемых масс является первичная кристаллизация фаз в составе масс. С этой точки зрения во всех исследованных шлаках определено содержание стекла. Рентгеноструктурные анализы показывают, что во всех шлаках резкое охлаждение происходит в достаточно нормальных условиях, почти отсутствует степень кристаллизации. На рентгенограмме шлаков ТЭС основным составляющим фиксируется стекло (рис. 1). Насыпная плотность топливных шлаков меняется в пределах 1150...1300кг/м³. Размер основной части фракции образуется менее 10,0мм.



Рис. 1. Рентгеноструктурные анализы гранулированных топливных шлаков

- a – гранулированные шлаки Московской ТЭС-12;*
- в – гранулированные шлаки Санкт-Петербургской ТЭС-5;*
- с – гранулированные шлаки Том-Усинской ТЭС;*
- г - - гранулированные шлаки Назаровской ТЭС;*
- к– гранулированные шлаки Воронежской ТЭС;*
- м - гранулированные шлаки Красноярской ТЭС-1.*

С целью изучения пригодности шлаков ТЭС как основного сырья для производства искусственного пористого заполнителя готовилась шихта на основе шлаков ТЭС различных предприятий, корректировались составы масс и изготавливались образцы в виде гранулы диаметром 5-10мм, цилиндра высотой и диаметром 16мм. Образцы

высушивались и вспучивались по заданному режиму. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Результаты исследований показывают, что при воздействии высоких температур $750...800^{\circ}\text{C}$ отдельные зерна начинают размягчаться, спекаться и, в конечном счете, уплотняться. Образовываются газонепроницаемые замкнутые полости, при этом они находятся в пиропластическом состоянии, т.е. обладают способностью к пластическим деформациям без разрыва сплошности.

Плотность при этом достигает до $1,8\text{г}/\text{см}^3$. С повышением температуры выше 800°C внутри полости за счет образования газообразной фазы, выделяются газы и они не имея выхода через оболочку, создают во внутренней полости избыточное давление, под воздействием которого, будучи размягченной, начинается расширение – вспучивание гранул. Фиксируется снижение плотности вспученных гранул. Процесс вспучивания продолжается до температуры $1050...1100^{\circ}\text{C}$. Плотность вспученных гранул снижается до $1,35...1,40\text{г}/\text{см}^3$ (рис.2, гр.1а÷5а).

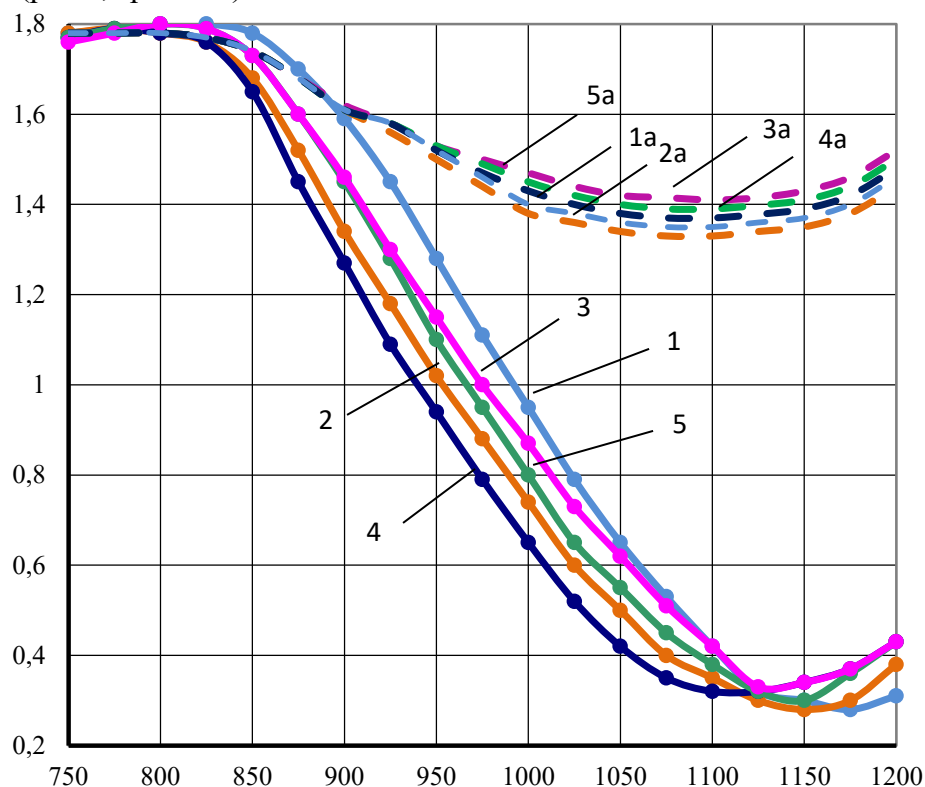


Рис.2. Влияние температуры вспучивания на плотность вспученных гранул, из масс на основе шлаков ТЭС различных предприятий

----- образцы, не прошедшие предварительную термopодготовку;

_____ образцы, прошедшие предварительную термopодготовку при температуре $300...500^{\circ}\text{C}$

1 - шлаки Московской ТЭС-12; 2 - шлаки Санкт-Петербургской ТЭС-5; 3 - шлаки Том-Усинской ТЭС; 4 - шлаки Воронежской ТЭС; 5 - шлаки Красноярской ТЭС-1.

В этом интервале прекращается процесс газовыделения и в зависимости от этого завершается процесс вспучивания. При дальнейшем повышении температуры вспучивания до $1150...1200^{\circ}\text{C}$ фиксируется повышение плотности вспученных гранул до $1,42...1,50\text{г}/\text{см}^3$. Микроскопические исследования показали, что поризация наблюдается в поверхностном слое, а внутренние слои образцов не поризованы. Причиной прекращения

вспучивания является большой перепад температур между центром и поверхностью гранул. Когда на поверхности гранулы образуется размягченная газонепроницаемая оболочка, в центре гранулы, из-за низких температур, еще не завершён процесс капсуляции частиц и не началось газообразование. Поэтому на поверхностном слое гранул прекращается процесс вспучивания, а внутренние слои, не имея свободы расширения, остаются непоризованными.

Для обеспечения вспучивания образцов по всему сечению было намечено исследовать влияние предварительной термообработки, т.е. предварительного нагрева гранул до температур ниже начала выгорания газообразующих добавок 200...600⁰С. Результаты исследований на процесс вспучивания массы из шлаков ТЭС различных предприятий представлены на рис.3.

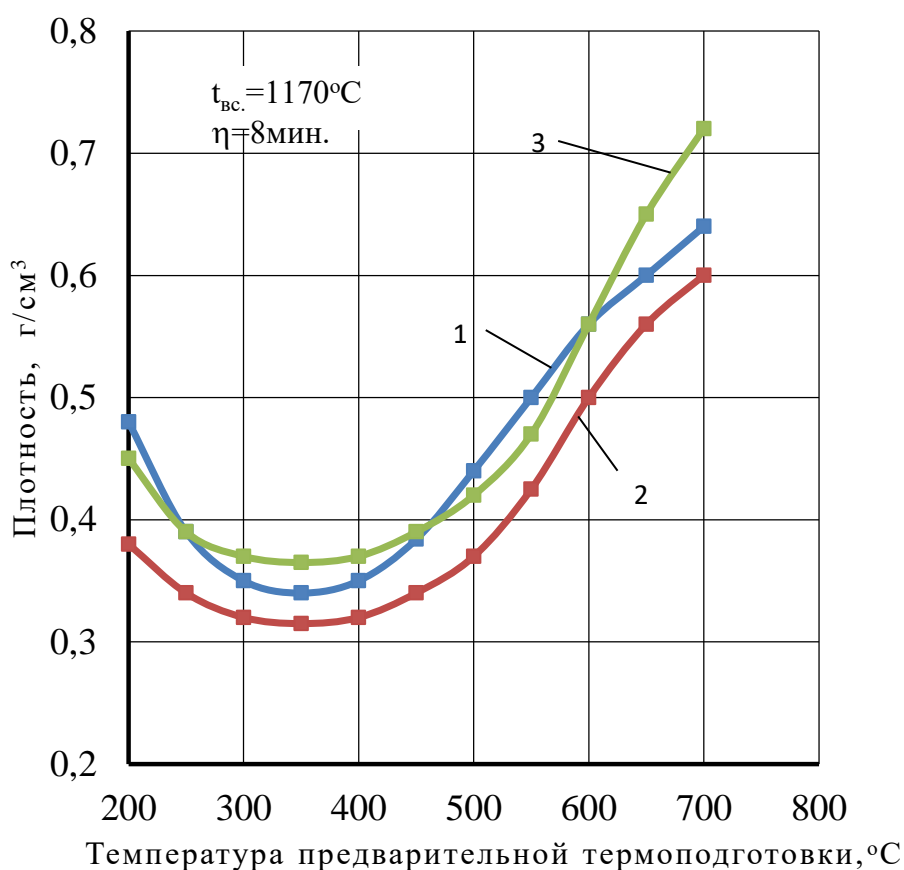


Рис.3. Влияние температуры предварительной термоподготовки на плотность вспученных образцов из масс на основе шлаков ТЭС из различных предприятий
1 – шлаков Воронежской ТЭС-1; 2- шлаков Московской ТЭС-12; 3- шлаков Красноярской ТЭС-1.

Результаты исследований, представленные на рис.3, показывают, что оптимальная поризация гранул происходит при нагреве температуры до 300...400⁰С. Ниже 300⁰С, а так же выше 400⁰С не обеспечивается совмещение процессов перехода материала в пиропластическое состояние с процессом газовыделения. Температура предварительной термоподготовки ниже 300⁰С является недостаточным для процесса начала газовыделения, а при 400⁰С газовыделение быстро начинается, образуется большое количество газов и они легко разрывают массу и выделяются из гранулы не производя полностью процесса вспучивания по всему сечению. Поэтому оптимальный интервал

температуры предварительной термоподготовки для поризации массы из шлаков ТЭС находится в пределах 300...400⁰С.

Образцы, прошедшие предварительную термоподготовку вспучиваются по всему сечению гранулы. Начало вспучивания фиксируется около 850⁰С.

Характер кривых резко меняется. Интенсивное вспучивание продолжается до температуры 1150⁰С (кривые 1÷5). Максимальное порообразование формируется в интервале температуры вспучивания 1150...1170⁰С. Пористость гранулы достигается до 80%. Завершение процесса поризации происходит при температуре около 1150...1160⁰С. При повышении температуры вспучивания выше 1170⁰С отмечается оплавление поверхности гранулы и повышение плотности вспученных образцов. Оптимальный интервал температуры вспучивания находится в пределах 1100...1170⁰С.

Результаты исследований показывают, что первичная пористая структура гранулы, изготовленной на основе шлаков ТЭС, формируется при получении сырцовых гранул. Остальная часть поризации фиксируется при вспучивании их при высоких температурах.

Плотность сырцовых гранул после предварительной термоподготовки составляет 1,62г/см³. При высокотемпературной обработке перехода материала в пиропластическое состояние, деформация и максимальная усадка происходит в течение 3...4 минут. Результаты исследований процесса вспучивания и формирования пористой структуры в зависимости от продолжительности вспучивания представлены на рис.4.

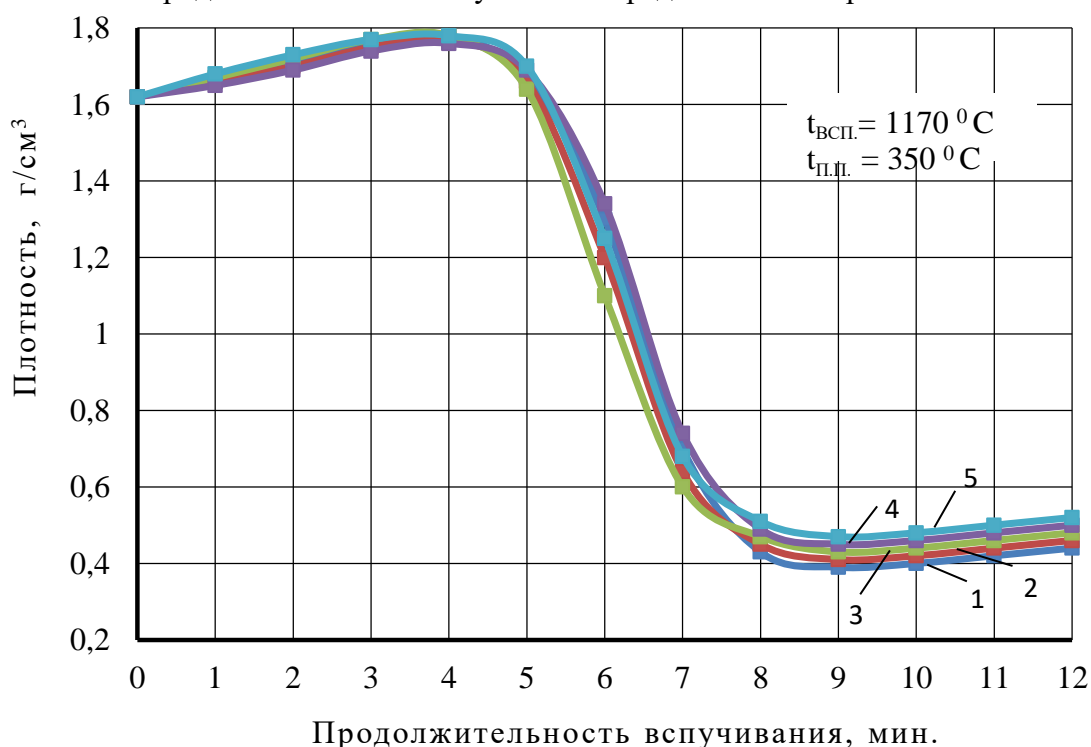


Рис.4. Влияние продолжительности вспучивания на плотность образцов из масс на основе шлаков ТЭС различных предприятий

1 – шлаки Московской ТЭС-12; 2 – шлаки Санкт-Петербургской ТЭС-5;
3- шлаки Том-Усинской ТЭС; 4 – шлаки Воронежской ТЭС; 5- шлаки Красноярской ТЭС-1.

Начало газовыделения и снижение плотности замечается после четвертой минуты. Интенсивное вспучивание и формирование пористой структуры происходит в течение 5-9 минут. Завершение процесса вспучивания фиксируется до 10 минут. Дальнейшее

увеличение продолжительности вспучивания приводит к оплавлению поверхности гранул и повышению плотности заполнителя.

Результаты исследований прошли полупромышленные испытания на опытно-технологической линии НИИСМ им. С.А.Дадашева (г.Баку). Физико-механические показатели легкого заполнителя представлены в таблице 2.

**Физико-механические показатели легкого
заполнителя, изготовленного на основе шлаков ТЭС**

Таблица 2.

№№ п/п	Свойства заполнителя, фракции 5-20мм	Марка заполнителя по насыпной плотности		
		$\frac{200}{300}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{600}{700}$
1	Плотность, г/см ³	2,46	2,42	2,48
2	Насыпная плотность, кг/м ³	$\frac{160}{280}$	$\frac{370}{460}$	$\frac{580}{670}$
3	Прочность при давлении в цилиндре, МПа	0,3-1,2	2,0-3,3	4,2-5,6
4	Водопоглощение, % по массе, за 1 час	20	17	14
5	Среднее значение коэффи- циента формы зерен гравия	1	1	1
6	Содержание в гравии расколотых зерен, % по массе	5-5	3-5	2-4
7	Морозостойкость, циклов не менее	15	15	15

Результаты исследований показывают, что физико-механические показатели легкого заполнителя, полученного из шлаков ТЭС, отвечают требованиям ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия» [6].

Таким образом, результаты исследований и полупромышленных испытаний показывают, что на основе шлаковых отходов ТЭС можно получить искусственный пористый заполнитель с высокими физико-механическими свойствами для легкого бетона. Шлаки ТЭС можно использовать как основное сырье для производства искусственного пористого заполнителя.

Выводы

1. Исследованы физико-механические свойства гранулированных шлаков ТЭС и доказана возможность использования их как основного сырья для производства искусственного пористого заполнителя.
2. Изучена кинетика вспучивания шихты на основе гранулированных шлаков ТЭС. Выявлены механизмы процесса вспучивания и закономерности формирования пористой структуры. Определена зависимость основных физико-механических свойств полученных заполнителей от температурно-временных параметров вспучивания.

3. Разработана технология производства на их основе и получен качественно новый искусственный пористый заполнитель, в виде гравия, с насыпной плотностью 160-670кг/м³ с прочностью при сдавливании в цилиндре 0,3-5,6МПа.
4. Установлено, что основным фактором, обуславливающим повышение прочности пористого гравия из гранулированных шлаков ТЭС, является формирование мелкопористой структуры, равномерно распределенной по всему объему гранулы.
5. Полученный искусственный пористый гравий по всем физико-механическим свойствам отвечает требованиям ГОСТ 9757 «Гравий, щебень и песок. Искусственные пористые. Технические условия» и рекомендуется для применения при изготовлении теплоизоляционных, теплоизоляционно-конструкционных и конструкционных легких бетонов.

Литература

1. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики // Эколит, 2011, -320с.
2. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Высокопрочные легкие бетоны: структура и свойства// Бетон и железобетон – взгляд в будущее. III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону, том V, М., 2014, с.277-285.
3. Давидюк А.Н. Легкие бетоны на стеклогранулятах - будущее ограждающих конструкций, Бетон и железобетон, 2016, №1, с.2-4.
4. Мамедов Г.Н. Высокопрочные искусственные пористые заполнители, Баку, 2000, -222с.
5. Мамедов Г.Н., Оруджев Ф.М. и др. Патент № 1828457
6. ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок. Искусственные пористые. Технические условия»

Elmi-texniki məqalənin hazırlanma qaydaları

Elmi-texniki məqalə elmin aşağıdakı istiqamətlərinə uyğun olaraq elmi yenilikləri əks etdirməklə hazırlanmalıdır:

1. Memarlıq və şəhərsalma.
2. Zəlzələyədavamlı tikintilər.
3. İnşaat konstruksiyaları, bina və qurğular.
4. Geotexnika və inşaatın ekologiyası.
5. İnşaat materialları.
6. İnşaatın təşkili və idarə olunması.
7. Tikinti norma və qaydalarının təkmilləşdirilməsi.
8. Tikinti praktikasında beynəlxalq və respublika yenilikləri.

Elmi məqalələr Azərbaycan, rus və ingilis dillərində həcmi 3 səhifədən az, 8 səhifədən çox olmamaqla formatı: A4, faylın formatı: MS Word və ya RTF; Times New Romanda 12 şriftlə, 1 intervalla yığılmalıdır; vərəqin kənarları: yuxarı və aşağı tərəflər-2 sm, sol tərəf-1,5 sm, sağ tərəf-3 sm. Əgər məqalədə şəkillər olarsa, şəkillər mətnə uyğun olaraq elektron şəkildə 1 dyümdə 300 pikseldən (və ya 300 dpi) az olmayaraq **jpeg**, **tiff** və ya **eps** formatında yerləşdirilməlidir.

Şəkillər şəkilsiz yazı və sıralama ilə müşayiət olunmalıdır .

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı AAK-ın tələblərinə uyğun tərtib olunmalıdır.

Fiziki qiymətlərin ölçüləri və parametrləri CИ sistemi ilə verilməlidir.

Məqalələr aşağıdakı ardıcılıqla yığılmalıdır: vərəqin solunda yuxarıda UOT; 1 intervaldan sonra məqalənin adı 12 keql adı şriftlə, qara; 1 interval, müəllifin (..lərin) adı, atasının adı, soyadı 12 keql şriftlə kursiv, qara; 1 interval, təşkilatın tam adı, şəhər 12 keql şriftlə, kursiv; 2 interval, məqalənin mətni.

Yuxarıdakı tələblərə uyğun olmayan məqalələr qəbul olunmur.

Məsul katibin elektron ünvanı: **e-mail: azimeti_elmikatib@mail.ru**; tel. (012) 596 37 60

Правила подготовки научно-технической статьи

Принимаются оригинальные статьи по широкой тематике архитектуры, градостроительства, строительных конструкций, сейсмостойкого строительства, геотехники водоснабжения и канализации, совершенствования строительных норм и правил, организации строительного производства и строительной экологии.

Статьи принимаются в печатном и электронном виде, объемом от 3-8 страниц текста, набранного на компьютере и напечатанного шрифтом 12-го кегля с одиночным интервалом). Поля: слева, сверху и снизу - 2см, справа- 1 см.

Статьи принимаются на азербайджанском, или английском , или русском языках.

В начале статьи в левом углу указывается УДК.

Статьи сопровождаются аннотациями (до 100-150) слов на азербайджанском, английском и русском языках, а также списком ключевых слов (5-10 слов) на азербайджанском, английском и русском языках.

Название статьи, фамилия и инициалы автора (авторов), даются на азербайджанском, английском и русском языках. Фамилия (и) автора (ов) сопровождаются должностью, местом работы и электронным адресом. Структура статьи должна по возможности включать введение, методику исследования, характеристику объекта исследования, результаты и выводы (заключение).

Электронная почта ответственного секретаря: **e-mail: azimeti_elmikatib@mail.ru**;

tel. (012) 596 37 60